

EVO

EFFICIENCY VALUATION ORGANIZATION



Protocole International de Mesure et de Vérification de la Performance énergétique

**Concepts et options pour l'évaluation
des économies d'énergie et d'eau
Volume 1**

Préparé par Efficiency Valuation Organization
www.evo-world.org

Septembre 2010

EVO 10000 – 1 : 2010 (Fr)

Protocole International de Mesure et de Vérification de la Performance énergétique

**Concepts et options pour l'évaluation
des économies d'énergie et d'eau
Volume 1**

Préparé par Efficiency Valuation Organization
www.evo-world.org

Septembre 2010

EVO 10000 – 1:2010 (Fr)



La vision d'EVO

Un marché global qui évalue convenablement l'utilisation efficace des ressources naturelles et emploie l'efficacité dans l'utilisation finale des ressources comme alternative viable à de nouveaux approvisionnements en énergie.

La mission d'EVO

Développer et promouvoir l'utilisation de méthodes standardisées pour évaluer les bénéfices et gérer les risques liés aux transactions qui portent sur l'efficacité dans l'utilisation finale des ressources en énergie, l'utilisation des énergies renouvelables, et la consommation des ressources en eau.



Septembre 2010

Chers lecteurs,

Alors que le monde vient de reconnaître l'efficacité énergétique comme étant à la base d'une bonne gestion environnementale, l'importance d'une documentation appropriée des *économies* n'a jamais été aussi grande. Il est certainement dans l'intérêt de tous que les *économies* prévues soient atteintes et démontrées. Notamment :

- Les acheteurs de produits d'efficacité énergétique veulent savoir si les produits qu'ils pourraient acheter ont fait leurs preuves en utilisant des méthodes largement reconnues;
- Les acheteurs de produits ou de services d'efficacité énergétique ont besoin d'avoir une rétroaction sur l'efficacité de leurs achats, pour les aider à optimiser les performances et à se décider au sujet d'éventuels achats;
- les investisseurs dans les projets d'efficacité énergétique ont besoin de savoir que la valeur des *économies d'énergie* peut être clairement distinguée des profils complexes de consommation d'*énergie* des industries ou bâtiments, de sorte que le flux net de trésorerie obtenu puisse être identifié comme garantie pour tout investissement de capitaux nécessaires;
- les gouvernements et les services publics ont besoin de savoir que les *économies* obtenues à partir des programmes d'efficacité énergétique sont fondées sur les résultats réels mesurés sur le terrain, en suivant un protocole largement accepté.

Fondamentalement, la connaissance à l'effet que les *économies d'énergie* puissent être rapportées de manière transparente est essentielle à l'acceptation des propositions d'efficacité énergétique. C'est le rôle que remplit l'IPMVP : la définition de la transparence, tout en rassemblant les meilleures pratiques du monde entier, afin que les praticiens puissent rendre compte des résultats qui seront largement reconnus.

EVO est le seul organisme au monde dédié à la fourniture d'outils pour quantifier les résultats des projets et programmes d'efficacité énergétique. À cette fin, EVO a publié l'IPVMP (maintenant à sa sixième édition depuis sa création en 1996) et le Protocole international de financement des projets en efficacité énergétique.

Le cadre souple des options du M&V de l'IPMVP permet aux praticiens de choisir le bon plan de *mesurage* et de vérification pour leurs bâtiments ou installations industrielles, inspirant confiance à ceux qui souhaitent récolter leurs bénéfices financiers ou environnementaux. Des définitions claires des termes et une emphase sur les méthodes compatibles et transparentes sont les préceptes de base de l'IPMVP. Les détails peuvent différer d'un projet à l'autre, mais les méthodes générales détaillées aux pages suivantes ont été appliquées avec succès à des milliers de projets et programmes, grands et petits, dans des dizaines de pays, en utilisant toute une gamme de techniques d'efficacité énergétique.

L'IPMVP est le travail de nombreux bénévoles et commanditaires, énumérés ci-après et dans les éditions précédentes. Je tiens à remercier tous ceux qui figurent dans la section des remerciements des présentes. Vous pouvez rejoindre ce groupe unique de professionnels en présentant des exemples, en partageant vos expériences sur le site d'EVO, en joignant un comité EVO, ou en souscrivant à EVO. J'encourage tous les lecteurs à donner leur avis afin que nous puissions améliorer sans cesse l'IPMVP (écrire à : ipmvprev@evo-world.org).

John Cowan
Président du conseil
Toronto, Canada

TABLE DES MATIÈRES I

REMERCIEMENTS IV

MODIFICATIONS APPORTÉES À CETTE ÉDITION VI

AVANT-PROPOS VII

 Plan du documentvii

 EVO et l'IPMVPviii

 Publications actuelles d'EVOviii

 Historique des éditions précédentes ix

 Formation et certification ix

 Développements futurs..... x

CHAPITRE 1 INTRODUCTION À L'IPMVP..... 1

 1.1 But et portée de l'IPMVP 1

 1.2 Avantages à utiliser l'IPMVP.....2

 1.3 Relation de l'IPMVP avec d'autres directives de M&V2

 1.4 Qui utilise l'IPMVP?.....2

CHAPITRE 2 DÉFINITION ET BUTS DE M&V 10

 2.1 Buts des M&V 10

CHAPITRE 3 PRINCIPES FONDAMENTAUX D'UN PLAN DE M&V ... 12

CHAPITRE 4 STRUCTURE ET OPTIONS DE L'IPMVP..... 13

 4.1 Introduction 13

 4.2 Terminologie en *énergie*, eau, et demande..... 14

 4.3 Procédés de conception et de suivi, en matière de M&V 14

 4.4 *Périmètre de mesure*..... 15

 4.5 Choix de la *période de suivi* 16

 4.6 Base d'ajustements..... 17

 4.7 Vue d'ensemble des options proposées par l'IPMVP21

 4.8 Options A et B : Isolement des MCE24

 4.9 Option C : Le *site* entier 32

 4.10 Option D : Simulation calibrée..... 35

 4.11 Guide de sélection des options..... 39

CHAPITRE 5	CONTENU DU PLAN DE M&V	42
CHAPITRE 6	SUIVI DU PLAN DE M&V	45
CHAPITRE 7	ADHÉSION À L'IPMVP	46
CHAPITRE 8	M&V - QUESTIONS COURANTES	47
8.1	Application des prix de l'énergie	47
8.2	Ajustements (non périodiques) de la <i>base de référence</i>	48
8.3	Rôle de l'incertitude (<i>Précision</i>).....	49
8.4	Coût	50
8.5	Équilibrer l'incertitude et le coût	52
8.6	Révision par un vérificateur indépendant.....	53
8.7	Données pour l'échange de certificats de réduction d'émissions	54
8.8	Conditions d'exploitation minimales.....	55
8.9	Données climatiques	55
8.10	Normes minimales de consommation d'énergie	55
8.11	Éléments à propos de la <i>mesure</i>	55
8.12	<i>Chiffres significatifs</i>	59
CHAPITRE 9	DÉFINITIONS	62
CHAPITRE 10	RÉFÉRENCES	66
10.1	Autres sources d'information aux États-Unis.....	70
10.2	Références en <i>mesurage</i>	71
10.3	Références sur l'étalonnage	72
10.4	Normes européennes et internationales en appui à l'efficacité énergétique dans les bâtiments.....	73
ANNEXE A	EXEMPLES	74
A-1	Introduction.....	74
A-2	Amélioration de l'efficacité d'une pompe/moteur – Option A.....	74
A-3	Efficacité des appareils d'éclairage – Option A	77
A-4	Gestion des fuites d'un système d'air comprimé – Option B	82
A-5	Amélioration d'un groupe électrogène à turbine à vapeur – Option B	83
A-6	Amélioration d'efficacité de la chaudière – Option A	84
A-7	Mesures d'efficacité énergétique multiples avec des données de la <i>base de référence</i> relevées au compteur – Option C.....	86

A-8 Mesures d'efficacité énergétique multiples dans un bâtiment sans compteur de consommation d'énergie pendant la période d'évaluation de la base de référence – Option D	90
A-9 Bâtiment neuf, de conception plus exigeante que les prescriptions locales en vigueur – Option D	93
ANNEXE B INCERTITUDE	95
B-1 Introduction.....	95
B-2 Modélisation.....	99
B-3 Échantillonnage.....	104
B-4 <i>Mesure</i>	106
B-5 Combinaison des composantes de l'incertitude	107
B-6 Exemple d'une analyse d'incertitude	111
ANNEXE C SPÉCIFICITÉS RÉGIONALES.....	113
C-1 United States of America - April 2007	113
C-2 France - Juillet 2009	114
C-3 España - 2009.....	115
C-4 Romania - July 2010	116
C-5 Bulgaria - July 2010.....	118
C-6 Czech Republic - September 2010.....	119
C-7 Croatia - September 2010.....	120
C-8 Poland - September 2010	120
INDEX	121

REMERCIEMENTS

L'IPMVP est mis à jour par les bénévoles suivants. EVO apprécie leur travail de révision et commentaires qui ont menés à l'édition 2010. EVO apprécie l'appui et l'engagement des employeurs des bénévoles de EVO.

Conseil d'administration d'EVO (2010)

John Cowan (Canada), président Environmental Interface Limited
Thomas Dreessen (ÉU), vice-président, EPS Capital
John Stephen Kromer (ÉU), trésorier et président sortant, Independent Consultant
Anees Iqbal (Royaume-Uni), Secrétaire, Maicon Associates Ltd.
Hema Hattangady (Inde), Consultant and Adviser Schneider Electric
Timothy Hui (Chine), EcoTech International (ETI)
Jin Ruidong (Chine) Natural Resources Defence Council
Patrick Jullian (France), GIMELEC
Satish Kumar (Inde), International Resource Group (IRG)
Pierre Langlois (Canada), Econoler
Tienan Li (Chine), Center for Industrial Energy Efficiency (CIEE)
Steven R. Schiller (ÉU), Schiller Consulting Inc.
Alain Streicher (ÉU), International Resources Group (IRG)

Comité technique de l'IPMVP (2010)

David Jump, Chair (ÉU) Quantum Energy Services & Technologies, Inc (QuEST)
Thomas Adams (ÉU), AFCESA
Raja Chirumamilla (ÉU), Sain Engineering Associates, Inc.
Ellen Franconi (ÉU), Rocky Mountain Institute
LJ Grobler (Afrique du Sud), Energy Cybernetics Pty Ltd.
Sami Khawaja (ÉU), Cadmus Group Inc.
David Korn (ÉU), Cadmus Group Inc..
Ken Lau (Canada), BC Hydro
Daniel Magnet (Suisse), IBTECH
Fernando Milanez (Brésil), National Institute for Energy Efficiency (INEE)
Tracy Phillips (ÉU), Architectural Energy Corporation
Eric Thut (ÉU), Chevron Energy Services
Phil Voss (ÉU) National Renewable Energy Laboratory
Kevin Warren (ÉU), Warren Energy Engineering
Lia Webster (ÉU), Portland Energy Conservation Inc. (PECI)

Sous-comité Plan M&V (2010)

Eric Thut, Chair (ÉU), Chevron Energy Solutions
Salil Gogte (ÉU), Nexant Inc.
David Korn (ÉU), Cadmus Group Inc.
Thomas Adams (ÉU), AFCESA

Membres agréés IPMVP

Jeff Haberl (ÉU), Texas Agricultural and Mechanical University
John Stephen Kromer (ÉU), Independent Consultant
Steven R. Schiller (ÉU), Schiller Consulting Inc.

Souscripteurs 2010

EVO exprime également sa reconnaissance à tous les souscripteurs individuels et provenant d'organisations (se trouvant également sur www.evo-world.org):

ADENE – Agencia para a Energia (Portuguese Energy Agency)
BC Hydro
Bonneville Power Administration
EDF Electricite de France
Energy Decisions Pty Ltd.
EU.BAC – European Building Automation and Controls Association
Gas Natural Fenosa
HEP-ESCO d.o.o.
Itron, Inc.
Nexant, Inc.
North American Energy Standards Board
powerPerfector Plc.
Quantum Energy Services & Technologies, Inc.
San Diego Gas & Electric Company
Schneider Electric Conzerv India Pvt. Ltd.
SGS-CSTC Standards Technical Services Co., Ltd, China
Southern California Edison
Summit Blue Consulting, LLC
Taiwan Green Productivity Foundation (TGPF)
The Energy Foundation
Université de Genève
U.S. EPA Office of Atmospheric Programs
Vanguards Power (Hong Kong) Limited

Version française révisée de 2010

La version révisée de 2010 a été réalisée avec la collaboration de CanmetÉNERGIE de Ressources naturelles Canada, le Club des Services en Efficacité Énergétique (France) et la société Econoler, qu'EVO tient à remercier pour leurs contributions des plus appréciées.

MODIFICATIONS APPORTÉES À CETTE ÉDITION

Cette édition de 2010 comporte les modifications suivantes par rapport à l'édition 2009 :

1. Des sections pour la Bulgarie, la Croatie, la République tchèque et la Roumanie ont été ajoutées à l'Annexe C, à la suite des observations d'un organisme clé de chaque pays participant au projet PERMANENT de l'Intelligent Energy Europe, (voir www.permanent-project.eu)
2. Quelques références à la directive ASHRAE 14 ont été déplacées au Chapitre 10 et son rôle unique a été précisé pour un public international, et ce, dans les chapitres 1.3, 4.8, 4.9 et 4.10.
3. Au Chapitre 9, une définition sur la Demande a été ajoutée.
4. Des sous-chapitres ont été prévus au Chapitre 10 pour identifier les ressources des grandes régions et des références ont été ajoutées pour les normes internationales et européennes.
5. Une table de conversion des unités techniques communes a été fournie à l'Annexe A-1.
6. L'exemple de l'Annexe A-7 a été converti pour refléter le contexte européen.
7. Des corrections mineures ont été apportées aux erreurs typographiques ou de vocabulaire et une mise à jour des références a été faite à cette édition de l'IPMVP.

L'ajout de la section 8.12 sur les *chiffres significatifs* a été fait et les exemples ont été révisés afin de refléter les changements apportés.

Plan du document

Le **volume 1** du **Protocole International de Mesure et Vérification de la Performance énergétique** (IPMVP) est un document d'appui, décrivant les pratiques communes en *mesure*, en calcul, en suivi, des *économies* réalisées dans le cadre de projets d'efficacité énergétique ou d'eau, pour le compte d'utilisateurs finaux.

L'IPMVP dispose d'une structure de base et de quatre options de *Mesure et Vérification* (M&V) pour évaluer les *économies* d'un projet de façon transparente, fiable et cohérente.

Les activités de M&V incluent les études sur le *site*, la *mesure* du flux d'*énergie* ou d'eau, le suivi de variable(s) indépendante(s), les calculs et les rapports. Lorsqu'elles adhèrent à l'IPMVP, ces activités de M&V permettent de produire des rapports vérifiables d'*économies* générées.

L'IPMVP est destiné aux professionnels comme base de travail pour la préparation des rapports de suivi de ces *économies*. Chaque utilisateur doit établir son propre *Plan de M&V*, prenant en compte les caractéristiques uniques du projet en question.

L'IPMVP n'est pas une norme, il n'existe donc pas de mécanisme de conformité formel à ce document. L'adhésion à ce dernier requiert la conception d'un *Plan de M&V* conforme à la terminologie IPMVP, pour un projet spécifique. Ce *Plan de M&V* doit annoncer l'option choisie parmi les quatre proposées par l'IPMVP, préciser les méthodes de *mesure* et d'analyse qui seront appliquées, signaler les procédures d'assurance qualité qui seront suivies. Il nommera aussi la personne responsable des opérations de M&V.

Les chapitres du **volume 1** de l'IPMVP sont structurés comme suit :

1. Présentation d'EVO et de l'IPMVP dont le chapitre 1.4 fait office de guide d'utilisation : il aide le lecteur à comprendre les différentes façons d'appliquer le document.
2. Définition du concept de M&V et énumération des huit objectifs servis par les techniques de M&V.
3. Fondements des M&V : définition de leurs principes fondamentaux et résumé de leurs méthodes d'application fréquentes dans l'industrie.
4. Structure de l'IPMVP et ses quatre options : définition des méthodologies et ajustements de base pour la *mesure d'énergie* ou d'eau, requis pour concevoir les rapports de suivi des *économies*. Voir tableaux 1 et 3, et aussi figure 3, pour une récapitulation des quatre options et des conseils amenant à l'option adaptée à chaque application.
5. Liste des sujets à inclure dans un *Plan de M&V*. Recommandations sur les décisions à prendre, afin de rendre l'activité de M&V rentable pour tous les destinataires des rapports de suivi des *économies*.
6. Informations-clés à intégrer à chaque rapport de suivi des *économies*.
7. Références à l'IPMVP : moyens de spécifier, dans un contrat de performance écoénergétique, l'application conforme, donc son adhésion, au document.
8. Liste des questions couramment posées lors de la conception et du suivi d'un *Plan de M&V*.
9. Lexique des mots apparaissant en italique dans le document.
10. Références et autres ressources utiles.

L'Annexe A propose 10 exemples d'application de l'IPMVP, avec plusieurs niveaux de détails. D'autres modèles de Plans de M&V et de rapports de suivi des *économies* réalisées figurent sur le site Web d'EVO, qui lui est complémentaire.

L'Annexe B résume les techniques de base servant à la quantification des incertitudes, pour orienter les décisions concernant le niveau de rigueur approprié à chaque processus de M&V. L'Annexe C recense les dérogations régionales applicables.

EVO et l'IPMVP

Le présent Protocole International de Mesure et Vérification de la Performance énergétique (IPMVP) est commandité par l'Efficiency Valuation Organization (EVO), société privée sans but lucratif.

EVO a comme vision un marché global qui évalue convenablement l'utilisation efficace des ressources naturelles et emploie l'efficacité dans l'utilisation finale des ressources comme alternative viable à de nouveaux approvisionnements en *énergie*.

La mission d'EVO consiste à développer et promouvoir l'utilisation de méthodes standardisées pour évaluer les bénéfices et gérer les risques liés aux transactions qui portent sur l'efficacité dans l'utilisation finale des ressources en *énergie*, l'utilisation des *énergies* renouvelables, et la consommation des ressources en eau.

EVO, organisation soutenue par de nombreux souscripteurs, individuels et collectifs, à travers le monde, est reconnaissante du travail de ses équipes de volontaires qui développent et maintiennent ses produits. Les membres actuels du conseil d'administration et des comités techniques ayant contribué à l'évolution de ce présent document, font l'objet d'un chapitre précédent intitulé « remerciements ».

EVO maintient un site Web (www.evo-world.org) offrant :

- une section dédiée aux souscripteurs qui bénéficient d'un accès préalable au contenu de documents de référence, bulletins, forums de discussion, et liens vers d'autres ressources;
- les listes actualisées des membres de comités et des souscripteurs;
- les dernières mises à jour de documents et les éditions archivées;
- une invitation à commenter les documents de l'IPMVP à l'adresse de courriel : ipmvprev@evo-world.org;
- des informations relatives aux programmes de formation et de certification d'EVO.

Par le niveau d'exigence fixé par EVO pour sa documentation, celle-ci se doit d'englober des méthodes uniques, provenant du monde entier. Ce même souci du service de qualité conduit EVO à œuvrer, aujourd'hui, à la formation de groupes internationaux et régionaux, dans le but de documenter les méthodes internationales de M&V. **Pour participer en tant que bénévole ou souscripteur d'EVO, veuillez consulter le site Web : www.evo-world.org.**

Publications actuelles d'EVO

Quatre publications d'EVO sont actuellement disponibles sur son site Web :

Volume I de l'IPMVP : Concepts et options pour l'évaluation des économies d'énergie et d'eau

Terminologie et règles de l'art pour documenter des projets efficaces dans les secteurs de l'*énergie* et de l'eau, relatifs aux bâtiments et aux *sites* industriels.

Ces termes et ces pratiques aident les gestionnaires à préparer le *Plan de M&V* propre au projet concerné, spécifiant la méthodologie de *mesure* des économies souhaitées.

Un *Plan de M&V* réussi facilite la *vérification*, parce qu'il exige des rapports transparents de la performance actualisée du projet.

Volume II de l'IPMVP : Problèmes reliés à la qualité de l'environnement intérieur

Passage en revue des aspects pouvant être influencés par les projets d'efficacité énergétique. Règles de l'art touchant à la conception et à l'implantation de projets d'efficacité énergétique, capables de maintenir des conditions d'environnement intérieur acceptables .

Conseils relatifs aux moyens de *mesure* des paramètres de qualité de l'environnement intérieur, qui permettent de valider tout changement par rapport à la *situation de référence*, en déterminant les *économies*.

Volume III de l'IPMVP : Applications

Recommandations spécifiques aux applications présentées dans le **volume I, réparties en deux tomes** : Construction des nouveaux bâtiments (**partie I**), *Énergies* renouvelables sur les *sites* existants (**partie II**). Sans cesse enrichi de nouvelles définitions d'applications, ce volume est présumé être en évolution constante.

International Energy Efficiency Financing Protocol (IEEFP)

L'IEEFP procure aux institutions financières internationales des directives pour l'*évaluation* et le financement de projets d'efficacité énergétique et de rénovations basées sur les *économies*.

Historique des éditions précédentes

L'édition initiale de l'IPMVP, parue sous le nom de « North American Energy Measurement and Verification Protocol » (Protocole nord-américain de Mesure et de Vérification de la Performance énergétique), a été publiée en mars 1996, puis modifiée en décembre 1997, et renommée « International Performance Measurement and Verification Protocol » (Protocole International de Mesure et de Vérification de la Performance énergétique). Les **options A et B** apparaissent dans la version 2001, sur laquelle des ajustements mineurs ont été entrepris, avant la publication de l'édition IPMVP 2002 et du volume II ayant pour objet la qualité de l'environnement intérieur. Jusqu'à cette date, les documents cités ont été rédigés et rendus publics par des comités commandités par le ministère de l'*Énergie* des États-Unis (United States' Department of Energy - DOE).

En 2002, fut fondée l'**IPMVP Inc.**, société indépendante sans but lucratif, afin de relever le ministère de l'*Énergie* des États-Unis de ses responsabilités d'organisateur, et d'inclure dans le projet la communauté internationale. L'**IPMVP Inc.**, fonctionnant alors avec ses propres fonds, crée un site Web et lance le volume III, en deux parties.

En 2004, la société **IPMVP Inc.** a pris le nom d'EVO, « Efficiency Valuation Organization », suite à l'extension de ses objectifs.

En 2007, EVO a mis à jour l'IPMVP Volume I principalement pour des raisons de clarté, en révisant l'Annexe B sur l'incertitude. Aucun changement majeur n'a été apporté aux concepts de base, mais les titres des Options A & B ont été modifiés afin d'assurer une meilleure compréhension. En 2009, le Volume I a été modifié afin de séparer les références spécifiques aux États-Unis et d'établir une structure pour le matériel spécifique à certaines régions dans une nouvelle annexe C.

Formation et certification

L'amélioration de l'*évaluation* de l'efficacité énergétique, dans le monde, ne peut se suffire de la production et la publication de documents. EVO initie, avec le soutien de ses partenaires mondiaux, des programmes de sensibilisation et de formation à la *Mesure* et à la *Vérification*. Ces programmes permettent d'offrir aux professionnels une mise à niveau en matière de méthodes et de récents développements des M&V.

Par ailleurs, EVO a mis sur pied un programme professionnel de certification en matière de *mesure et vérification* « Certified Measurement and Verification Professional ». Il s'adresse aux

professionnels de l'efficacité énergétique et consiste en un examen visant à démontrer leurs connaissances de l'IPMVP ainsi que de leur expérience et/ou celle issue d'une formation appropriée. Ces personnes sont ainsi certifiées posséder les compétences nécessaires pour développer et mettre directement en application des plans de M&V. Pour plus de renseignements sur le programme de CMVP ou pour obtenir la liste des noms des personnes certifiées, se reporter au site Web : www.evo-world.org.

Développements futurs

Les développements futurs en termes de formation et de publications sont largement tributaire des initiatives et de la dynamique mise en place par ses souscripteurs et ses bénévoles. Pour cette raison, EVO invite les lecteurs de l'IPMVP à devenir souscripteurs, à lui faire part de leurs commentaires, critiques ou recommandations, à participer aux activités en cours ou en projet.

Pour poursuivre ses objectifs internationaux, EVO entreprends de :

- développer des organisations affiliées actives qui contribuent au développement et à la mise à jour des publications d'EVO;
- offrir des programmes additionnels de formation et de certification à travers le monde;
- traduire les plus récents documents dans plusieurs langues;
- encourager les souscripteurs à partager des idées concernant les différents protocoles et activités d'EVO.

Vos réactions et vos suggestions sont les bienvenues à l'adresse : ipmvprev@evo-world.org. Tous les commentaires seront pris en considération, à défaut d'une réponse individuelle, qui n'est pas toujours possible.

Le téléchargement des documents d'EVO des dernières versions en langue anglaise et de celles des traductions certifiées est possible via Internet, à l'adresse : www.evo-world.org.

La révision des documents d'EVO est planifiée à un rythme annuel. Nous vous engageons à nous faire part de vos remarques afin d'améliorer et d'étendre nos services !

1.1 But et portée de l'IPMVP

EVO a publié le Protocole International de Mesure et Vérification de la Performance énergétique (IPMVP) dans le but d'accroître, à travers le monde, les investissements réalisés dans les domaines de l'efficacité énergétique et des économies d'eau, la gestion des appels de puissance et les projets d'énergies renouvelables.

l'IPMVP promeut les investissements en efficacité énergétique au travers des actions suivantes :

- S'adressant aux acheteurs, aux vendeurs et aux financiers, il documente la terminologie commune et les méthodes d'évaluation de la performance dans les projets d'efficacité énergétique. Certaines méthodes ou des termes qui y sont définis peuvent être utilisés comme termes contractuels, bien que la formulation de l'IPMVP n'ait pas cette vocation.
- Ainsi, pour déterminer les économies¹ des Actions d'amélioration de la performance énergétique (APE) ou des Mesures de conservation d'énergie (MCE)², à l'échelle d'une installation entière ou à celle de mesures isolées, l'IPMVP fournit des méthodes différentes aux niveaux des coûts et de la précision.
- L'IPMVP spécifie également le contenu du Plan de mesure et de vérification (Plan de M&V). Celui-ci adhère aux principes fondamentaux des M&V et amène à produire des rapports de suivi des économies vérifiables. Le Plan de M&V doit être développé pour chaque projet, par une personne qualifiée³.
- Enfin, l'IPMVP s'applique à une grande variété d'installations, y compris les nouvelles constructions, les bâtiments existants, et les procédés industriels. Le chapitre 1.4 du Guide de l'utilisateur récapitule les différentes lectures possibles de l'IPMVP.

Le volume I de l'IPMVP définit les M&V dans le chapitre 2, présente leurs principes fondamentaux dans le chapitre 3, et décrit le cadre nécessaire à un Plan de M&V au chapitre 4. Les détails de ce Plan de M&V et des rapports de suivi des économies sont énumérés respectivement dans les chapitres 5 et 6. Les conditions spécifiant l'utilisation de l'IPMVP ou l'adhésion à celui-ci, sont présentées au chapitre 7. Enfin, il résume, au chapitre 8, les aspects communs de conception des M&V et liste d'autres sources dignes d'intérêt, traitant des M&V.

Dix exemples de projets sont détaillés dans l'Annexe A et des méthodes de base relative à l'analyse de l'incertitude sont récapitulées dans l'Annexe B. Les spécificités régionales se trouvent à l'Annexe C.

Le volume II de l'IPMVP fournit une approche complète pour l'évaluation des aspects de la qualité de l'environnement intérieur des bâtiments ayant un lien avec la conception des MCE, la réalisation et la maintenance. Il suggère des méthodes de mesure des conditions intérieures pour identifier les changements par rapport aux conditions de la période de référence.

Le volume III de l'IPMVP détaille les méthodes de M&V liées aux nouvelles constructions et aux systèmes d'énergies renouvelables, ajoutés aux installations existantes.

Ces trois volumes constituent une suite de documents en constante évolution. Les dernières modifications apportées à chacun d'entre eux sont disponibles sur le site Web d'EVO :

www.evo-world.org.

¹ Les termes écrits en italique dans le document ont un sens spécifique, défini au chapitre 9.

² Bien qu'il y ait débat sur la différence entre les deux expressions — Mesure de conservation d'énergie (MCE) et Actions d'amélioration de la performance énergétique (APE ou MEE) —, on utilisera l'acronyme MCE dans ce qui suit afin de couvrir à la fois les actions visant à l'amélioration de l'efficacité et celles plutôt destinées à assurer leur pérennité (Voir chapitre 9).

³ Le site Web : www.evo-world.org propose la liste actuelle des professionnels certifiés en M&V. Ces personnes possèdent une expérience appropriée et ont démontré leur connaissance de l'IPMVP, en réussissant l'examen (PCMVP / CMVP).

1.2 Avantages à utiliser l'IPMVP

L'évolution de l'IPMVP depuis 1995 et son audience internationale procurent aux projets et aux programmes adhérant à ses recommandations, les avantages suivants:

- Justification du règlement des prestations en fonction de la performance. Les projets dans lesquels le règlement des prestations est basé sur les *économies* démontrées, en *énergie* ou en eau, et adhérant à l'IPMVP, bénéficient de l'assurance que l'*évaluation des économies* est effectuée selon des pratiques reconnues. Les rapports de suivi des *économies*, de type IPMVP, offrent à un client, à un consommateur ou à un fournisseur d'*énergie*, la garantie de l'effectivité de la performance du projet considéré. Les entreprises de services éconergétiques (ESE) dont les factures s'appuient sur des rapports de suivi des *économies* de type IPMVP, sont rétribuées plus rapidement.
- Réduction des coûts de transaction dans un contrat de performance éconergétique. Les spécifications de l'IPMVP comme base de conception du *Plan de M&V* d'un projet peuvent simplifier les négociations d'un contrat de performance éconergétique.
- Crédibilité internationale reconnue aux rapports de suivi des *économies d'énergie*, augmentant ainsi, pour un acheteur, la valeur d'un projet et des *économies d'énergie* associées.
- Amélioration de la classification des bâtiments, dans un contexte de qualité environnementale.
- Ces concepts encouragent le développement durable des bâtiments, soit dans leur concept, soit dans leur exploitation, en incitant leurs propriétaires à mettre en place un programme de M&V tel que celui de l'IPMVP.
- Aider les agences nationales et les organisations de l'industrie à promouvoir et à réaliser la gestion efficace des ressources et les objectifs environnementaux. L'IPMVP, largement adopté par les agences gouvernementales, nationales ou régionales, et par des organisations industrielles, les aide à gérer leurs programmes et à renforcer la crédibilité des résultats rapportés.

1.3 Relation de l'IPMVP avec d'autres directives de M&V

Le chapitre 9 énumère d'autres ressources intéressantes pour les lecteurs de l'IPMVP. Deux documents particuliers méritent d'être soulignés :

- ASHRAE , directive 14-2002 sur le *mesurage des économies d'énergie et de puissance* (voir la référence 3 au chapitre 10). Ce document de l'American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) donne des détails complémentaires à l'IPMVP. La directive 14 a plusieurs rédacteurs en commun avec l'IPMVP. Bien que la directive 14 fournisse des détails techniques sur plusieurs concepts identiques à l'IPMVP, les noms des options sont différents de ceux de l'IPMVP. La directive 14 est une ressource utile pour les professionnels de M&V et est disponible pour achat à la librairie d'ASHRAE <http://resourcecenter.ashrae.org/store/ashrae/>.
- Le Greenhouse Gas Protocol for Project Accounting (2005) – « Protocole sur les gaz à effet de serre pour l'évaluation de projet » - développé conjointement par le World Resources Institute (WRI) et le World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). Le Comité technique de l'IPMVP a été représenté dans le comité consultatif pour ce document qui définit des façons de documenter l'impact des gaz à effet de serre des projets de réductions d'émission de gaz dans l'atmosphère et de séquestration du carbone. Voir www.ghgprotocol.org.

1.4 Qui utilise l'IPMVP?

L'IPMVP présente des principes et une terminologie, largement acceptés comme base de travail pour engager tout processus de M&V de qualité.

Il ne définit pas des opérations standardisées de M&V qui seraient valables pour toutes les applications. Au contraire, chaque projet doit être conçu individuellement, afin de répondre aux

besoins des utilisateurs des rapports de suivi des *économies d'énergie* ou d'eau à réaliser. Cette démarche personnalisée mène à un *Plan de M&V* spécifique au projet, documentant, entre autres, l'instrumentation, les *mesures* et les rapports de suivi des *économies*.

L'IPMVP est rédigé de manière didactique : le lecteur atteindra progressivement le meilleur niveau de définition des pratiques de M&V, au fur et à *mesure* de sa progression au travers des chapitres résumés ci-dessous :

- Le chapitre 2 définit les *M&V* et décrit huit applications relatives à leurs techniques.
- Le chapitre 3 expose les six principes fondamentaux inhérents aux *M&V* et présente l'IPMVP. Ils sont utiles pour renseigner le lecteur sur les détails de la conception du *M&V* là où l'IPMVP reste générique.
- Le chapitre 4 présente le cadre général et les équations pour le calcul des *économies* nécessaires pour bien représenter les *économies*. Le tableau 1 récapitule quatre options de conception de *M&V*. Chaque option est décrite dans les chapitres 4.8 et 4.10. Les chapitres 4.11 offrent des conseils et un diagramme logique pour sélectionner la bonne option pour toute application. L'Annexe A fournit des exemples d'applications des méthodes de l'IPMVP à 10 projets typiques.
- Le chapitre 5 énumère les éléments (articles et données) à inclure dans un *Plan de M&V* et offre quelques suggestions quant aux aspects clés de chaque article. Les lecteurs peuvent utiliser cette énumération comme liste de contrôle pour décrire la conception du *M&V* pour un projet en particulier.
- Le chapitre 6 liste les éléments (articles et données) à inclure dans les rapports de suivi des *économies*.
- Le chapitre 7 précise les conditions d'adhésion à l'IPMVP et suggère les termes pour spécifier l'utilisation de l'IPMVP dans les contrats.
- Le chapitre 8 passe en revue une variété de questions courantes à considérer dans tout programme de *M&V*, dont celle de la nécessité de concilier, dans le cadre d'un projet, un niveau de *précision* raisonnable avec un coût acceptable. Chaque utilisateur doit trouver son propre équilibre entre la *précision* et le coût des opérations de *M&V*. Le chapitre 8.5 fait particulièrement le point sur les facteurs impliqués dans ce compromis. Il évoque également des aspects se rapportant à la *mesure*, bien que ce ne soit pas un texte exhaustif sur le *mesurage* lui-même. L'Annexe B donne un aperçu des analyses et techniques d'*évaluation* de l'incertitude, de l'échantillonnage, des méthodes statistiques. Cet aperçu n'est nullement une analyse approfondie sur le sujet. Il est recommandé aux utilisateurs de chercher une aide sur la conception statistique appropriée pour la normalisation de données de tout programme de *M&V*, l'échantillonnage et les techniques d'*évaluation* d'incertitude qu'ils vont probablement utiliser.
- Le chapitre 9 regroupe les définitions des mots-clés, apparaissant en italique, dans ce document. La mention en italique indique un sens particulier explicité au chapitre 9.
- Le chapitre 10 fournit la liste des lectures complémentaires, des références et d'autres sources utiles d'information.

Bien que l'application de l'IPMVP doive se faire spécifiquement à chaque projet, certains types d'utilisateurs auront recours, lors de la conception du *Plan de M&V* et de sa mise en oeuvre, à des méthodes similaires. Les chapitres 1.4.1 à 1.4.10 indiquent comment ce document peut être exploité par les groupes de professionnels suivants :

- Les entrepreneurs en contrat de performance écoénergétique et leurs clients du secteur des bâtiments.
- Les entrepreneurs en contrat de performance écoénergétique et leurs clients du secteur industriel.
- Les consommateurs d'*énergie* qui réalisent leurs propres rénovations en comptabilisant les *économies*.

- Les gestionnaires d'installations qui comptabilisent convenablement les variations de budgets énergétiques.
- Les concepteurs de nouveaux bâtiments.
- Les concepteurs de nouveaux bâtiments, qui recherchent ou non une certification qualitative environnementale.
- Les gestionnaires de bâtiments existants, qui recherchent une certification qualitative environnementale.
- Les concepteurs et les directeurs de programmes de gestion de la demande énergétique.
- Les développeurs de programmes d'économie de consommation en eau.
- Les concepteurs de programmes d'échange de certificats de réduction d'émission de gaz à effet de serre.

Les commanditaires financiers et les acheteurs de crédits d'émission de l'une des applications mentionnées plus haut sauront trouver les principales façons d'utiliser ce document sous ces mêmes rubriques.

Ce chapitre utilise des termes expliqués dans les chapitres suivants comme indiqué entre parenthèses, ou comme défini dans le chapitre 9 pour les mots écrits en italique.

1.4.1 Les entrepreneurs en contrat de performance écoénergétique et leurs clients du secteur des bâtiments

Le but principal du *Plan de M&V*, dans le contexte des contrats de performance écoénergétique pour le secteur du bâtiment, est de présenter la performance réelle d'un projet de modernisation, valorisée en unités monétaires. Le *Plan de M&V* devient alors une partie des termes du contrat ; il définit les *mesures* et les calculs qui détermineront les paiements ou démontreront la conformité avec un niveau de performance garanti.

Les coûts de M&V peuvent être influencés en considération des responsabilités des parties co-contractantes. Lorsque certains paramètres peuvent être estimés avec une *précision* suffisante pour chacune des parties, l'Option A (chapitre 4.8.1) peut se révéler la plus économique.

Par exemple, un entrepreneur qui met en oeuvre une *mesure* d'amélioration de l'efficacité sur un groupe de production frigorifique, peut être amené à démontrer l'efficacité de ce dernier, avant et après les travaux d'amélioration, sans tenir compte de la consommation continue d'*énergie* due aux charges de climatisation, lesquelles ne relèvent pas de sa responsabilité. Cependant, si l'entrepreneur prend également en charge la réduction de la consommation d'*énergie* de ce groupe, on exigera de lui la comparaison entre la consommation d'*énergie* de l'installation avant et après les travaux d'amélioration. Dans ce cas, l'Option B (chapitre 4.8.2) se révélera la mieux adaptée, si les compteurs d'*énergie* du groupe sont utilisés. L'Option C (chapitre 4.9) sera choisie si les compteurs centraux du bâtiment sont utilisés pour en mesurer la performance énergétique, ou lorsque les contrats de performance écoénergétique visent la performance globale du bâtiment, ou encore lorsqu'il est difficile d'évaluer les effets croisés de plusieurs MCE. Il faudra s'assurer que le *Plan de M&V* (voir chapitre 5) énumère les *facteurs statiques* de la *situation de référence* et précise à qui revient la responsabilité de leur contrôle, pendant la *période de suivi*.

On retiendra l'Option D (chapitre 4.10 ou partie I du volume III) dans le cadre de nouvelles constructions, ou bien lorsqu'un compteur central existe pour un groupe de plusieurs bâtiments et que les compteurs individuels de ces bâtiments ne sont pas encore installés. Ainsi, le projet ne sera pas retardé par l'obtention nécessaire, pendant la *période de référence*, de nouvelles données provenant des sous-compteurs, avant de planifier les travaux.

Les *mesures* devront être faites durant toute la durée du contrat de performance écoénergétique ou pendant la période de test définie par le contrat, peu de temps après la conclusion des travaux modificatifs. Plus la *période de suivi* (chapitre 4.5.2) est longue, ou plus le *périmètre de mesure* (limites de *mesure* : chapitre 4.4) est étendu, plus il faudra prêter attention, après les travaux d'amélioration, à la possibilité de changement des conditions

relevées dans la *situation de référence*. Cette probabilité de changement demande un relevé sérieux, effectué à l'avance, des *facteurs statiques* dans le *Plan de M&V*, ainsi qu'un suivi minutieux de leurs valeurs ou états, après les travaux d'amélioration (chapitre 8.2). La complexité de conception des compteurs et des calculs, dans les systèmes de M&V (chapitres 4.8.3 et 8.11) devrait aussi prendre en considération l'économie du projet concerné, les coûts de M&V, l'ampleur des *économies* attendues, la *précision* désirée dans les rapports de suivi (chapitre 8.3-8.5 et Annexe B).

Les tarifs utilisés pour traduire en valeur financière les unités économisées sur la demande et la consommation d'*énergie* ou d'eau, devraient être établis dans le contrat de performance (chapitre 8.1).

Lorsque le consommateur d'*énergie* ne possède pas les compétences pour appréhender le contenu du *Plan de M&V* ou des rapports de suivi des *économies*, il peut engager un vérificateur, autre que l'entrepreneur avec lequel il est en contrat de performance écoénergétique (chapitre 8.6), pour en assurer leur révision.

L'Annexe A contient des exemples d'application de l'IPMVP au secteur des bâtiments (sections A-6 et A-7, tandis que les sections A-2, A-3 et A-5 concernent les technologies rencontrées dans la plupart des bâtiments).

1.4.2 Les entrepreneurs en contrat de performance écoénergétique et leurs clients du secteur industriel

Le but principal du *Plan de M&V*, dans le cadre des contrats de performance énergétique du secteur industriel, consiste toujours à démontrer la performance, à court terme, d'un projet de rénovation. Suivant un tel schéma, c'est l'industriel lui-même qui prend la responsabilité de l'exploitation, ne cherchant pas un engagement de longue durée auprès d'une ESE. Le *Plan de M&V* devient alors une partie des termes du contrat de performance écoénergétique; il définit les *mesures* et les calculs qui détermineront les paiements ou démontreront la conformité avec n'importe quel niveau de performance garanti.

Les procédés industriels impliquent, généralement, des corrélations complexes entre la consommation d'*énergie* et une gamme de variables énergétiques plus étendue que celle en usage dans le secteur du bâtiment. Peuvent être considérés, en plus du climat, des paramètres tels que le type de produit, les variations dans l'utilisation des matières premières, le taux de production et le planning des équipes. Il faut être prudent dans la sélection des variables indépendantes à utiliser (Annexe B-2.1). L'analyse devient très difficile, si l'on essaie d'identifier les *économies* au seul compteur d'*énergie* principal de l'usine, surtout si plus d'un type de produits y est fabriqué.

Les options d'isolement des MCE (chapitre 4.8) aident à minimiser les complications liées aux variables de production qui sont généralement indépendantes des termes du contrat de performance. L'isolement des MCE limite la *mesure* aux systèmes dont la performance énergétique peut, d'une façon relativement facile, être comparée aux variables de la production. L'installation des sous-compteurs en vue du *Plan de M&V* peut aussi fournir des renseignements utiles pour le contrôle de procédés.

Les coûts de M&V peuvent être contrôlés, si l'on prend en compte les responsabilités revenant à chacun des partenaires du contrat de performance écoénergétique. Lorsque certains paramètres peuvent être estimés avec une *précision* acceptable pour toutes les parties, l'Option A (chapitre 4.8.1) peut se révéler la plus économique.

Par exemple, un entrepreneur qui accepte d'améliorer l'efficacité d'un four industriel peut démontrer le changement intervenu au niveau de la consommation d'*énergie* durant la charge de pointe, après l'installation d'un dispositif de récupération de la chaleur des gaz de combustion chauds. Il n'est pas responsable de la consommation d'*énergie* continue du four, régie par des paramètres de production indépendants de sa volonté. Cependant, si l'entrepreneur accepte de réduire la consommation d'*énergie* du four, la consommation d'*énergie* modifiée de ce dernier est alors comparée aux besoins énergétiques projetés dans les conditions du fonctionnement initial, sur une durée limitée prédéfinie. Dans ce cas,

l'Option B (chapitre 4.8.2) se révélera la mieux adaptée, si un compteur *mesure* la consommation de combustible du four. L'Option C (chapitre 4.9) sera choisie si les compteurs principaux ou des sous-compteurs de secteurs de l'usine mesurent la performance énergétique totale ou d'un secteur de l'usine.

Il importe d'accorder une attention particulière à l'utilisation des techniques d'isolement des MCE : toutes les *énergies* affectées par les MCE (chapitre 4.4) doivent être considérées, y compris les *effets interactifs*.

Les contrats de performance écoénergétique dans le secteur industriel demandent, généralement, des *mesures* pour une courte *période de suivi* après les travaux d'amélioration. De plus longues périodes de suivi (chapitre 4.5.2), ou des périmètres de *mesure* plus étendus (chapitre 4.4), requièrent, après les travaux d'amélioration, plus d'attention aux changements possibles des conditions relevées dans la *situation de référence*. Un recensement sérieux, mené antérieurement, des *facteurs statiques* dans le *Plan de M&V* (chapitre 5), ainsi qu'un suivi minutieux des conditions, après les travaux d'amélioration (chapitre 8.2) aident à identifier les changements de la *situation de référence*.

Les industriels ont recours normalement au suivi énergétique, à long terme, pour minimiser la perte d'*énergie*. Les entrepreneurs, partenaires de contrats de performance écoénergétique, se concentrent, par contre, sur le suivi à court terme, dans le but de mettre en valeur leur performance (chapitre 4.5.2).

La performance peut être démontrée, pour les modifications touchant aux installations facilement mises en arrêt temporaire, tel qu'un récupérateur de chaleur, par des essais séquentiels à court terme, utilisant la technique du test Activation/Désactivation (chapitre 4.5.3).

La complexité de conception des compteurs et des calculs, dans les systèmes de M&V (chapitre 4.8.3 et 8.11), devrait aussi prendre en considération l'économie du projet concerné, les coûts de M&V, l'ampleur des *économies* attendues, la *précision* désirée dans les rapports de suivi (chapitre 8.3-8.5 et Annexe B).

Les tarifs utilisés pour évaluer les *économies* doivent être ceux mentionnés dans le contrat de performance écoénergétique (chapitre 8.1).

Lorsque le consommateur d'*énergie* ne possède pas les compétences pour appréhender le contenu du *Plan de M&V* ou des rapports de suivi des *économies*, il peut engager un vérificateur, autre que l'entrepreneur avec lequel il est en contrat de performance écoénergétique (chapitre 8.6), pour en assurer leur révision.

L'Annexe A contient des exemples d'applications industrielles de l'IPMVP (section A-4, tandis que les sections A-2, A-3.1 et A-5 concernent les technologies rencontrées dans la plupart des installations industrielles).

1.4.3 Consommateurs d'énergie des secteurs industriel et du bâtiment, réalisant leurs propres rénovations

Les consommateurs finaux d'*énergie* mettent souvent eux-mêmes en œuvre des MCE. Quand ils sont certains d'avoir réalisé les *économies* prévues, une approche « sans M&V » rend la totalité du budget des *économies* disponible pour des rénovations. Cependant, ils peuvent avoir à justifier les investissements, à rendre plus crédibles les demandes de futurs investissements, ou à quantifier l'incertitude de la performance des projets concernés.

Les aspects conceptuels de M&V sont semblables à ceux décrits, précédemment, dans les sections 1.4.1. ou 1.4.2, à la différence qu'il n'y a à prévoir aucune répartition des responsabilités entre l'utilisateur d'*énergie* et une entreprise de services. Les coûts relatifs aux rapports de suivi peuvent être plus faibles, la procédure de suivi étant moins formelle.

1.4.4 Gestionnaires d'établissements responsables des variations de budget d'énergie/d'eau

Pour bien contrôler les coûts énergétiques, un gestionnaire de *site* doit comprendre la corrélation existant entre l'utilisation de l'*énergie* et les paramètres de fonctionnement du *site* dont les plus importants consistent en taux d'occupation, de production, et les incidences du

climat. Si ce gestionnaire néglige ces dernières variables indépendantes, il peinera à expliquer les variations du budget énergétique prévu et risquera de commettre de futures erreurs de budget. Par ailleurs, des ajustements de la *base de référence* sont nécessaires pour prendre en compte les changements inhabituels dans les conditions d'exploitation de l'établissement.

Même s'il n'y a aucune économie planifiée, les techniques de calcul du chapitre 4 peuvent aider à expliquer les divergences du budget énergétique. Par conséquent, les Plans de M&V (chapitre 5) s'avèrent utiles, avec ou sans rénovation. Les méthodes de l'Option C pour le *site* entier (chapitre 4.9) peuvent être suivies, si l'on se base sur les compteurs principaux du fournisseur d'énergie ou sur les sous-compteurs des principaux secteurs du *site*. Si des sous-compteurs sont placés sur des éléments spécifiques d'équipement (chapitre 4.8), l'imputation des coûts aux départements utilisateurs ou aux locataires du *site* se fera plus aisément, avec l'aide des approches de l'option A ou B.

Les composantes importantes des variations du budget énergétique global peuvent être isolées pour une *mesure* séparée de leur consommation d'énergie (Option B, chapitre 4.8.2) ou d'un paramètre principal de leur consommation d'énergie (Option A, chapitre 4.8.1). Ces deux cas exigent une *mesure* sur le long terme. Il importe d'accorder une attention particulière aux coûts de maintenance et de calibrage des compteurs, et aussi de gestion des données obtenues des compteurs (voir chapitre 4.8.3 et 8.12).

1.4.5 Concepteurs de nouveaux bâtiments

Souvent, les financiers investissant dans les nouveaux bâtiments souhaitent comparer les performances réalisées après la mise en place de dispositifs spécifiquement conçus pour l'efficacité énergétique, aux résultats qui auraient été obtenus sans procéder à ces installations.

L'absence de donnée de base réelle impliquerait le choix de l'Option D (chapitre 4.10), afin d'établir la *base de référence*. Les compétences en simulation sur ordinateur, requises pour une application correcte de l'Option D, devraient être présentes au sein de l'équipe chargée de la conception, au moment de la conception. Il faut toutefois noter que l'élément crucial de l'Option D est la calibration de la simulation, par rapport aux données recueillies pendant une année complète. Par conséquent, il paraît important de s'assurer que les compétences de simulation demeurent disponibles jusqu'à ce que la calibration soit réalisée.

À la fin de la première année de fonctionnement régulier, il serait normal d'utiliser les données de *mesures* énergétiques, celles de cette première année, en tant que nouvelle *base de référence*. L'Option C (chapitre 4.9) permettra de déterminer les changements qui se sont produits par rapport à la nouvelle *base de référence*.

Tous les défis qu'il importe de relever dans le domaine des nouvelles constructions sont analysés de façon approfondie dans la Partie I du volume III de l'IPMVP, y compris les situations spéciales.

1.4.6 Concepteurs de nouveaux bâtiments visant la certification "LEED"

Les concepteurs de bâtiments peuvent chercher à faire certifier leurs bâtiments sous le programme "Leadership in Energy Efficient Design" (LEED) du "United States Green Building Council", et autres. Pour bénéficier des crédits M&V du système d'évaluation LEED, le bâtiment doit avoir un *Plan de M&V* qui adhère à l'IPMVP. L'adhésion au protocole IPMVP est définie dans le chapitre 7 ainsi que la préparation d'un *Plan de M&V* (chapitre 5) en utilisant la terminologie de l'IPMVP, puis en gérant par la suite, les opérations de M&V selon le *Plan de M&V*.

Le concepteur devra également suivre les recommandations du chapitre 1.4.5 ci-dessus, et la Partie I du volume III du IPMVP.

1.4.7 Gestionnaires de bâtiments existants visant la certification "LEED" pour bâtiments existants

Les gestionnaires des bâtiments existants peuvent chercher à faire certifier leurs bâtiments dans le cadre d'un programme régional "Leadership in Energy Efficient Design" (LEED) du

"United States Green Building Council", et autres. Pour bénéficier des crédits *énergie* et atmosphère du système d'évaluation LEED, le bâtiment doit avoir un *Plan de M&V* qui adhère à l'IPMVP. L'adhésion à l'IPMVP est définie dans le chapitre 7 comme la préparation d'un *Plan de M&V* (chapitre 5) en utilisant la terminologie de l'IPMVP, puis en gérant par la suite, les opérations de M&V selon le *Plan de M&V*. L'option de M&V de l'IPMVP traitant des cas d'isolement des MCE (chapitre 4.8) aiderait à obtenir les crédits LEED de *mesurage* amélioré en se basant sur le nombre de sous-compteurs installés.

L'Option C (chapitre 4.9) pourrait fournir le concept de suivi énergétique approprié du *site* entier pour les bâtiments existants. Cependant, s'il n'existe pas de compteurs pour tout le bâtiment avant la demande de certification, l'Option D (chapitre 4.10) sera requise pendant toute la période de développement de la *base de référence* pour une année après que les principaux compteurs aient été initialement installés dans le bâtiment.

Les gestionnaires de bâtiments devront également suivre les conseils du chapitre 1.4.3 ci-dessus.

1.4.8 Concepteurs et gestionnaires de programmes régionaux d'efficacité

En général, les concepteurs et les directeurs de programmes de gestion de la demande en *énergie*, au niveau régional ou à celui du fournisseur d'*énergie*, ont besoin de développer des approches rigoureuses dans l'évaluation de l'efficacité énergétique de leurs programmes. Une façon d'évaluer l'impact d'un programme de gestion de la demande énergétique consiste à estimer les *économies* réalisées sur les installations des utilisateurs finaux, sélectionnés de façon aléatoire. Ces données peuvent donner lieu à une projection des résultats sur le groupe entier de participants au programme. Les options de l'IPMVP, présentées au chapitre 4, répondent au problème d'évaluation des *économies*, dans un échantillon d'installations.

Dans l'évaluation de n'importe quel programme régional, doivent être mentionnés les options de l'IPMVP autorisées, l'échantillon minimal exigé, la *mesure*, la *précision* analytique requise, afin d'accorder au suivi du programme la rigueur nécessaire.

Les fournisseurs d'*énergie* possèdent, dans leurs bases de données, tous les éléments relatifs à leur produit, pour le *site* entier. Ils peuvent, par conséquent, appliquer l'Option C (chapitre 4.9) pour tous les participants au programme, ou seulement pour un échantillon. Cependant, sans une bonne connaissance des modifications apportées à chaque installation, l'on peut s'attendre à un pourcentage élevé de variations des *économies*, surtout au fur et à mesure que le temps s'écoule entre la *situation de référence* et les périodes de suivi.

EVO, attentive aux besoins d'évaluation des programmes des fournisseurs d'*énergie*, a pris en considération le développement des recommandations spéciales de M&V pour évaluer les programmes de maîtrise de la demande en *énergies* (MDE) et établir des bases de référence pour mesurer la « réponse à la demande » des clients recevant du fournisseur d'*énergie* les données tarifaires ou les signaux de réduction des appels de puissance (voir avant-propos, les futurs plans d'EVO).

1.4.9 Développeurs de programmes d'économie d'eau

Le *Plan de M&V* d'un programme d'économie de la consommation en eau, similaire à celui d'un programme d'efficacité énergétique, utilise des techniques de M&V communes. La technique appropriée à tout projet dépend de la nature de l'amélioration à évaluer et de la situation de l'utilisateur final, ainsi que le mentionnent les sections 1.4.1 à 1.4.5, et 1.4.8.

L'équipement consommant de l'eau se trouve, souvent, sous le contrôle des usagers du *site* (occupants de bâtiments ou directeurs de production), ce qui rend difficile le suivi du comportement de l'utilisateur, comme requis pour les ajustements de la consommation d'eau du *site* entier, si l'on choisit l'Option C. Les méthodes d'isolement des MCE sont souvent plus facilement applicables (chapitre 4.8), en partant d'un échantillon de projets réalisés (Annexe B-3) pour démontrer la leur performance.

Lorsque la consommation d'eaux pluviales est évaluée, le terme d'ajustements dans l'équation 1 de l'IPMVP (chapitre 4) devra être mis en relation aux paramètres qui influencent cette consommation. Par exemple, les précipitations.

Les appareils de *mesure* du débit des liquides (voir chapitre 8.11, le Tableau 5) servent généralement aux M&V pour les projets d'économie de la consommation en eau.

1.4.10 Programmes d'échange de certificats de réduction d'émissions

Les programmes d'efficacité énergétique peuvent aider un grand nombre d'utilisateurs d'*énergie* à respecter leur quota réglementaire d'émissions de gaz à effet de serre. Ce document leur propose des techniques de gestion de leur consommation d'*énergie* par une comptabilité appropriée (sections 1.4.3 et 1.4.4).

Ils peuvent également représenter la base du commerce des produits financiers associés aux certificats de réduction d'émissions de gaz à effet de serre (crédits, compensations, réserves, etc.). De tels échanges devant pouvoir être audités publiquement, le fait qu'ils soient conformes à un protocole d'industrie renommé, leur accorde une crédibilité certaine.

Les concepteurs de programmes d'échange de certificats de réduction d'émissions de gaz à effet de serre devraient déclarer leurs programmes conformes à l'édition 2002 (voire à une édition plus récente) de l'IPMVP. En outre, ils peuvent exiger, quant aux *économies d'énergie* prévues, l'approche par le *mesurage* dans les options B ou C (sections 4.8.2 ou 4.9). Ces dispositions précises réduisent l'incertitude dans la quantification, en éliminant les options basées sur des valeurs estimées ou simulées, plutôt que sur des valeurs mesurées.

Le chapitre 8.7 traite des aspects spécifiques de conception du *Plan de M&V* pour les échanges de certificats de réduction d'émissions.

CHAPITRE 2 DÉFINITION ET BUTS DE M&V

Les *mesure et vérification* (M&V) constituent un processus d'utilisation de la *mesure*, pour déterminer de façon fiable les *économies*⁴ réelles que génère, dans un établissement individuel, un projet de gestion de l'*énergie*. Les *économies* réalisées ne peuvent pas être mesurées directement, puisqu'elles représentent l'absence de consommation d'*énergie*. Elles sont plutôt définies par la comparaison de la consommation, mesurée avant et après la réalisation du programme d'efficacité énergétique, avec les ajustements appropriés aux changements affectant les conditions.

Les activités de M&V comportent, en tout ou en partie, les actions suivantes :

- l'installation, la calibration et la maintenance des compteurs;
- la collecte et le traitement des données;
- le développement d'une méthode de calcul et d'estimations acceptables;
- la réalisation des calculs à partir des données mesurées;
- le suivi, l'assurance de la qualité, et la *vérification* des rapports par un tiers.

Lorsque les résultats affichés, en fin de réalisation, par un projet d'efficacité énergétique, ne prêtent à aucun doute, ou lorsqu'il n'y a pas obligation de résultats face à un partenaire, le recours aux M&V n'est pas forcément nécessaire.

Toutefois, il semble toujours judicieux, après avoir entrepris des travaux d'amélioration de la performance énergétique, de vérifier que l'équipement nouvellement installé conduit effectivement aux *économies* prévues : la vérification de la capacité de l'installation à réaliser ces *économies* implique une inspection régulière et une maintenance suivie de cette dernière. Cependant, un tel contrôle du potentiel à générer les *économies* ne doit pas être assimilé au protocole qui régit les M&V. Il ne peut adhérer à l'IPMVP, étant donné qu'aucune *mesure* de l'*énergie* n'est requise, dans ce cas.

2.1 Buts des M&V

Les techniques de M&V s'adressent aux propriétaires ou gestionnaires d'installations et aux investisseurs dans les projets d'efficacité énergétique, pour les raisons suivantes :

a) **Accroître les économies d'énergie**

Déterminer, de façon précise, les *économies d'énergie* réalisées apporte aux propriétaires et aux gestionnaires d'installations des indications précieuses sur leurs *mesures de conservation d'énergie* (MCE). Ces indications les aident à optimiser la conception de leurs MCE ou l'exploitation, afin de renforcer les *économies*, en assurer une plus grande pérennité, en réduire leur variabilité. (Kats et al. 1997 et 1999, Haberl et al. 1996).

b) **Documenter les transactions financières**

Pour certains projets, les *économies d'énergie* réalisées représentent la base de transactions financières indexées sur la performance ou le fonds de garantie dans un contrat de performance. Un *Plan de M&V* bien défini, puis mis en application, peut servir de source de documentation de la performance, dans une démarche claire, se prêtant à une *vérification* effectuée par un organisme indépendant.

c) **Favoriser le financement des projets d'efficacité énergétique**

Un *Plan de M&V*, bien conçu, met en valeur la transparence et la crédibilité des résultats obtenus selon les investissements consentis, par des projets d'efficacité énergétique, mais aussi celles de leur projection dans le temps. Cette démarche peut inciter à la confiance des investisseurs et des commanditaires, et accroître leurs chances d'obtenir un financement adéquat.

⁴ Les termes écrits en italique dans le document ont un sens spécifique, défini au chapitre 9.

d) Améliorer l'ingénierie, l'exploitation des installations et la maintenance

La préparation sérieuse d'un *Plan de M&V* conduit à une prise en compte exhaustive du projet, y incluant la totalité des coûts de M&V dans les aspects économiques. Ainsi rédigé, un tel plan aide les gestionnaires à déceler et, par voie de conséquence, à réduire les risques de dysfonctionnement et de faiblesses du plan de maintenance, ce qui leur permet de superviser, plus efficacement, l'ensemble des installations. Il fournit également matière à formuler des projets futurs.

e) Gérer les budgets énergétiques

Même lorsque l'on ne prévoit pas d'action particulière devant générer des *économies*, les techniques de M&V permettent d'évaluer et de gérer l'utilisation de l'*énergie*, pour expliquer la variabilité des budgets. Elles s'ajustent aux changements des conditions de fonctionnement des installations, afin d'établir les budgets appropriés et de prendre en compte les variations de ceux-ci.

f) Augmenter la valeur des crédits de réduction d'émissions

Comptabiliser les réductions d'émissions apporte, sans conteste, une valeur additionnelle aux projets d'efficacité énergétique. L'utilisation d'un *Plan de M&V*, dans le but de déterminer les *économies d'énergie*, détermine un niveau d'exigence plus élevé pour les rapports de réduction des émissions comparés à ceux, réalisés sans *Plan de M&V*.

g) Soutenir l'évaluation des programmes d'efficacité énergétique régionaux

Les programmes gouvernementaux et ceux des fournisseurs d'*énergie* peuvent utiliser les techniques de M&V pour évaluer les *économies*, prévues ou réalisées, dans les projets initiés par les utilisateurs d'*énergie*. Étayées par des techniques statistiques et des hypothèses appropriées, les *économies* que déterminent les activités M&V sur des installations individuelles sélectionnées, peuvent aider à prévoir les *économies* engendrées par d'autres installations, non mesurées, afin d'étendre leur performance au programme tout entier.

h) Augmenter la compréhension du public dans la gestion de l'énergie, considérée comme un outil de politique publique

En garantissant la crédibilité des projets de gestion de l'*énergie*, les M&V parviennent à une acceptation publique de la réduction des émissions associées. Une telle acceptation publique encourage les investissements dans les projets d'efficacité énergétique, et dans les crédits d'émission qu'ils peuvent générer. En augmentant les *économies*, les bonnes pratiques de M&V mettent en évidence les avantages publics qu'engendre une bonne gestion de l'*énergie* : amélioration de la santé publique, réduction de la dégradation de l'environnement, et augmentation du taux d'emploi.

CHAPITRE 3 PRINCIPES FONDAMENTAUX D'UN PLAN DE M&V

Les principes fondamentaux d'un *Plan de M&V*⁵ sont décrits ci-dessous, par ordre alphabétique.

Précis Les rapports de M&V doivent être aussi précis que le budget de M&V le permet. Les coûts de M&V doivent, normalement, être faibles comparativement à la valeur financière des *économies* à évaluer. Les dépenses de M&V doivent également être estimées par rapport aux implications financières que pourraient générer une sur ou une sous *évaluation* de la performance du projet. Les compromis sur la *précision* doivent être accompagnés d'une approche conservatrice dans les estimations et les hypothèses.

Exhaustif Le suivi des *économies d'énergie* doit englober tous les effets d'un projet. Les activités de M&V doivent utiliser le *mesurage* pour quantifier les effets significatifs, tout en estimant tous les autres.

Conservateur Lorsque des hypothèses sont considérées pour des quantités incertaines, les procédures de M&V doivent être conçues pour sous-estimer les *économies*.

Cohérent Le rapport de suivi de l'effectivité d'un projet d'efficacité énergétique doit respecter la cohérence entre :

- les différents types de projets d'efficacité énergétique;
- les professionnels du secteur de l'efficacité énergétique de tout projet;
- les différentes périodes d'un même projet;
- les projets d'efficacité énergétique et les nouveaux projets de production énergétique.

« Cohérent » ne signifie pas « identique », puisqu'il est reconnu que tout rapport de type empirique, comporte des stipulations qui peuvent ne pas être faites de façon identique par tous les rapporteurs. En identifiant les principaux éléments d'hypothèses, l'IPMVP permet d'éviter des contradictions qui résulteraient de la non considération d'aspects importants.

Pertinence La détermination des *économies* doit se concentrer sur le *mesurage* des paramètres clés de performance choisis, ou ceux bien connus, alors que les paramètres moins critiques ou prévisibles peuvent être estimés.

Transparent Toute activité de M&V doit être clairement et entièrement documentée de manière accessible à toutes les parties cocontractantes. La divulgation de ces informations doit inclure l'ensemble des éléments définis dans les chapitres 5 (Contenu du *Plan de M&V*) et 6 (Rapports de suivi des M&V).

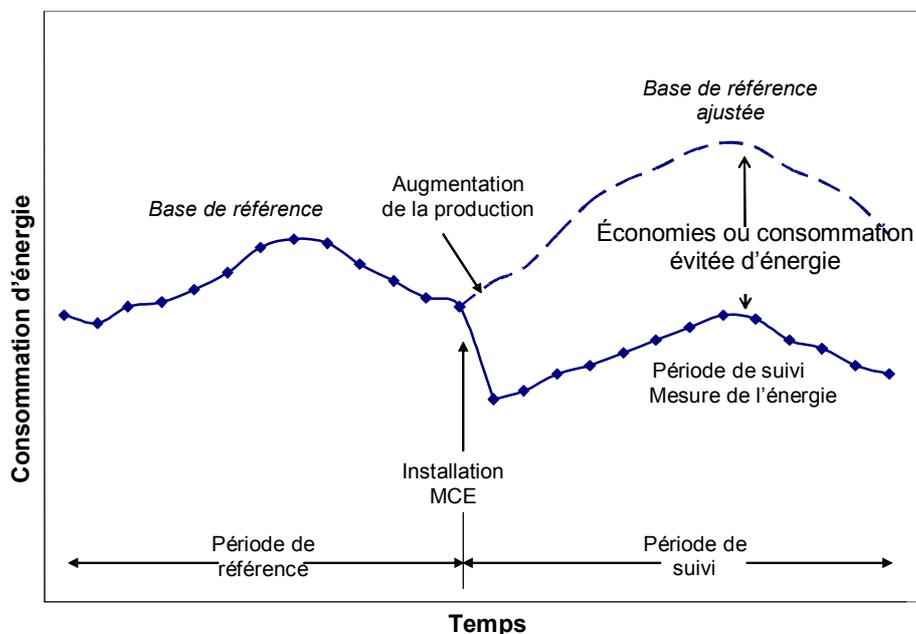
Le présent document s'équilibre entre, d'une part, un cadre flexible de procédures de base, ainsi que sur quatre options de mise en œuvre du processus de M&V obéissant aux principes fondamentaux évoqués ci-dessus, d'autre part. Ces derniers doivent être considérés comme des recommandations, lorsque le cadre ne fournit aucune indication ou qu'il n'est pas approprié à une application particulière.

⁵ Les termes écrits en italique dans le document ont un sens spécifique, défini au chapitre 9.

4.1 Introduction

Les *économies*⁶ d'énergie, d'eau, ou en termes d'appels de puissance, ne peuvent être directement mesurées, puisqu'elles représentent l'absence de demande ou de consommation d'énergie ou d'eau. Elles sont plutôt définies par la comparaison de la demande ou de la consommation, mesurée avant et après l'implantation d'un programme d'efficacité énergétique, en procédant aux ajustements adéquats pour tout changement affectant les conditions.

Figure 1 Exemple
Historique d'énergie



Illustrant un exemple du procédé d'évaluation de l'économie, la figure 1 retrace l'historique énergétique d'une chaudière industrielle, avant et après la mise en place d'une *mesure de conservation d'énergie* (MCE), afin de récupérer la chaleur provenant des gaz d'échappement. L'implantation de la MCE s'est faite simultanément avec une augmentation de la production de l'usine.

Pour documenter correctement l'impact de la MCE, il faut séparer son effet énergétique de celui imputable à l'augmentation de la production. Avant l'implantation de la MCE, la modélisation de « l'énergie de référence » a été étudiée pour déterminer l'équation du rapport entre la consommation d'énergie et la production. Après la mise en œuvre de la MCE, cette équation de la *base de référence* a servi à estimer la quantité d'énergie nécessaire à l'usine, chaque mois, si la MCE n'avait pas été mise en place : c'est l'énergie de la *base de référence ajustée*. Les *économies* appelées « consommation évitée d'énergie », résultent de la différence entre l'énergie de la *base de référence ajustée* et l'énergie réellement mesurée pendant la *période de suivi*.

Sans un ajustement prenant en compte le changement de production, la différence entre l'énergie de la *base de référence* et l'énergie consommée en *période de suivi* aurait été inférieure, si l'on avait considéré l'effet de récupération de chaleur de façon incomplète.

Il est impératif d'isoler les effets énergétiques d'un programme d'économie de ceux, simultanés, résultant d'autres influences pouvant affecter la consommation d'énergie des systèmes. La

⁶ Les termes écrits en italique dans le document ont un sens spécifique, défini au chapitre 9.

comparaison de la demande/consommation d'*énergie*, avant et après la mise en place d'une MCE, doit être faite sur une base solide, utilisant l'équation 1) suivante :

Économies = Consommation (ou appel de puissance) de la *période de référence* — consommation (ou appel de puissance) de la *période de suivi* ± Ajustements

1)

Dans cette équation d'ordre général, le terme « ajustements » de la consommation (ou des appels de puissance) en *période de référence* et en *période de suivi*, réexprime les consommations et la demande sous un ensemble de conditions communes. Ce terme distingue les rapports de suivi des *économies* réelles d'une simple comparaison des coûts ou de l'utilisation avant et après l'implantation d'une *mesure de conservation d'énergie* (MCE). La simple mise en parallèle des coûts facturés par le fournisseur d'*énergie*, sans effectuer ces ajustements, aboutit seulement aux changements de consommation (ou de tarifs) d'une période à l'autre; elle ne traduit pas la véritable performance d'un projet. Pour bien cerner les *économies* réelles d'un projet, les ajustements pratiqués doivent refléter les changements apportés aux conditions, entre les périodes de référence et de suivi.

Le reste de ce chapitre définit des méthodes de base pour la *mesure* et procédés d'ajustement. Si ces méthodes ne couvrent pas toutes les questions qui surgissent dans votre projet, consultez les principes de M&V (chapitre 3) pour plus de conseils.

4.2 Terminologie en *énergie*, eau, et demande

Les procédés de détermination des *économies d'énergie* sont similaires à ceux des domaines de l'eau et de la demande. De ce fait, et pour simplifier la rédaction de ce document, le mot « *énergie* », écrit en italique, signifie la consommation (ou la demande) d'*énergie* ou d'eau. De même, l'expression : *mesure de conservation d'énergie* (MCE) désigne toute mesure d'amélioration de l'efficacité ou de conservation de l'*énergie* ou de l'eau, ou encore de gestion de la demande et des appels de puissance.

4.3 Procédés de conception et de suivi, en matière de M&V

Les procédés de conception et de suivi, en matière de M&V, parallèle aux processus de conception et d'implantation des MCE, devraient être mis en œuvre selon les étapes suivantes :

1. Prendre connaissance des besoins de l'utilisateur du (des) rapport(s) planifié(s) de M&V. S'il place en priorité le contrôle du coût global, les méthodes du *site* entier (*site* dans sa globalité) pourront convenir le mieux. S'il attache davantage d'intérêt aux MCE, les techniques d'isolement des MCE seront plus indiquées (voir chapitre 4.4).
2. Pour développer les MCE, choisir l'option de l'IPMVP la plus conforme (voir chapitres 4.7 à 4.11), c'est-à-dire adaptées aux MCE, aux besoins de *précision* et au budget alloué aux M&V. Déterminer si l'ajustement de toutes les quantités d'*énergie* sera fait suivant les conditions de la *période de suivi* ou d'autres (voir chapitre 4.6). Fixer la durée des périodes de référence et de suivi (voir chapitre 4.5). Ces décisions fondamentales peuvent être mentionnées dans les termes d'un contrat de performance écoénergétique.
3. Recueillir les données concernant l'*énergie* et le fonctionnement appropriés de la *période de référence*. Les enregistrer de façon à pouvoir y accéder ultérieurement.
4. Préparer un *Plan de M&V* (voir chapitre 5), en y reportant les résultats des étapes 1 à 3 ci-dessus ainsi que les étapes subséquentes de 5 à 9.
5. Dans le cadre de la conception et de l'installation finale de MCE, envisager, concevoir, installer, calibrer et mettre en service tout équipement de *mesure* spécial, nécessaire au *Plan de M&V*.
6. Après la mise en place des MCE, inspecter l'équipement mis en oeuvre et les procédures de fonctionnement révisées, pour s'assurer qu'ils sont conformes à la

conception initiale. Ce procédé s'appelle « mise en service » ou *commissioning* (L'ORNL 1999 et la Directive 1-1996 d'ASHRAE définissent les règles de l'art du *commissioning* de la plupart des modifications de bâtiments).

7. Collecter les données concernant l'énergie et l'exploitation durant la *période de suivi*, comme défini dans le *Plan de M&V*.
8. Évaluer les économies d'énergie et les unités monétaires selon le *Plan de M&V*.
9. Les transcrire dans un rapport (voir chapitre 6).

Effets interactifs : exemple

Pour une MCE réduisant les besoins d'alimentation électrique de l'éclairage, le *périmètre de mesure* doit inclure la puissance des sources lumineuses. Cependant, diminuer la puissance de l'éclairage peut également réduire les besoins en refroidissement mécanique ou augmenter ceux en chauffage. Habituellement, de telles variations d'énergie attribuables aux systèmes d'éclairage ne peuvent pas être facilement mesurées. Ce sont, par voie de conséquence, des *effets interactifs* qui devront être estimés, plutôt qu'inclus dans le *périmètre de mesure*.

Les étapes 7 à 9 sont répétées périodiquement, lorsqu'un rapport de suivi des économies est nécessaire.

Un tiers peut vérifier que le *Plan de M&V*, établi dans le cadre d'un projet, adhère à l'IPMVP, et, le cas échéant, à un contrat de performance écoénergétique. Il peut aussi vérifier que les rapports de suivi des économies sont conformes au *Plan de M&V* approuvé (voir chapitre 8.6).

Le reste de ce document ajoute des détails sur la façon de déterminer et rapporter les économies générées.

4.4 Périmètre de mesure

Les économies peuvent être déterminées pour un *site* entier ou pour une partie de celui-ci, selon les buts du suivi.

- Si le but du suivi est d'aider à gérer seulement l'équipement concerné par le programme d'économie, un *périmètre de mesure* sera établi autour de cet équipement. Alors, toutes les conditions énergétiques significatives, reliées à l'utilisation de cet équipement, à l'intérieur du *périmètre de mesure*, pourront être déterminées⁷. Cette approche est utilisée dans les options d'isolement des MCE du chapitre 4.8.
- Si le but du suivi est d'aider à gérer la performance énergétique totale d'un *site*, les compteurs mesurant l'alimentation en énergie de ce dernier peuvent servir à évaluer la performance, donc les économies réalisées. Dans ce cas, le *périmètre de mesure* englobe le *site* entier. C'est l'Option C décrite au chapitre 4.9.
- Si les données énergétiques de la *période de référence* ou de la *période de suivi* sont incertaines ou indisponibles, celles que génère un programme de simulation calibrée peuvent remplacer les données manquantes, en partie ou pour le *site* entier. Par conséquent, le *périmètre de mesure* peut être défini de manière adéquate. L'Option D de simulation calibrée est décrite au chapitre 4.10.

Certains des besoins énergétiques des systèmes ou des équipements évalués peuvent se révéler en dehors du *périmètre de mesure* pratique. Il faudra, néanmoins, prendre en

⁷ La consommation d'énergie peut être déterminée par le *mesurage* direct du flux d'énergie ou par celui d'indicateurs qui donnerait une idée conforme de l'énergie consommée.

considération la totalité des effets énergétiques des MCE : les plus significatifs seront mesurés; les autres, estimés ou ignorés.

Tout effet énergétique se produisant au-delà du *périmètre de mesure* est appelé « effet interactif⁸ ». La somme des *économies* prévues dans le cadre d'un projet est largement tributaire de la façon d'estimer l'ampleur de ces *effets interactifs*. Tant que le *Plan de M&V* inclut une présentation de chaque effet et de sa magnitude probable, ces *effets interactifs* peuvent être ignorés.

4.5 Choix de la *période de suivi*

Il faut choisir avec prudence les intervalles de temps consacrés aux périodes de référence et de suivi. Les stratégies qui conviennent à chacune d'elles sont examinées ci-dessous.

4.5.1 *Période de référence*

La *période de référence* devrait être choisie pour servir plusieurs objectifs :

- Représenter tous les modes de fonctionnement du *site*, en couvrant un *cycle* complet, passant par les consommations maximale et minimale d'*énergie*.

Cycles de fonctionnement : Exemples

- Développer la consommation d'énergie est largement tributaire des conditions atmosphériques, c'est pourquoi les données de la *situation de référence* s'étendant sur toute une année, sont nécessaires pour définir un *cycle* de fonctionnement.
 - La consommation d'énergie d'un système d'air comprimé peut seulement être régie par les niveaux de production de l'usine variant suivant un *cycle* hebdomadaire. Ainsi les données d'une semaine suffiront à définir une *période de référence* de performance.
- Représenter toutes les conditions de fonctionnement d'un *cycle* normal. Ainsi, lorsqu'une année est choisie comme *période de référence* et que, pour l'un de ces douze mois, des données s'avèrent manquantes, il est possible de recourir aux données valides d'une année différente, pour le même mois, afin que les conditions du mois manquant ne soient pas sous-représentées dans les enregistrements de la *période de référence*.
 - Sélectionner uniquement les intervalles de temps pour lesquels tous les faits, fixes et variables, régissant l'*énergie*, sont connus. Étendre vers le passé la *période de référence*, pour y inclure les multiples *cycles* de fonctionnement, exige la connaissance de tous les facteurs inhérents à la *situation de référence*, dont l'action influe sur l'*énergie*. Moyennant cette condition, les ajustements, périodiques et non périodiques, pourront être définis correctement, après l'installation des MCE (voir chapitre 4.6).
 - Sélectionner la période antérieure la plus proche de la date de décision d'entreprendre une amélioration. Les périodes de temps plus éloignées dans le passé pourraient ne pas refléter les conditions telles qu'elles existent immédiatement avant les travaux. Ils ne peuvent donc fournir une *période de référence*, pour mesurer l'effet des MCE.

Parfois, la conception des MCE peut nécessiter une période d'étude plus longue que celle choisie pour la *période de référence*, pour aider l'ingénieur à comprendre la performance énergétique du *site* et à déterminer la durée normale et réelle d'un *cycle*.

⁸ Ces *effets interactifs* sont souvent appelés « fuites ».

4.5.2 Période de suivi

C'est essentiellement au destinataire des rapports de suivi des *économies* de déterminer la durée de la *période de suivi*. Celle-ci devrait couvrir, au moins, un *cycle* entier de fonctionnement normal de l'équipement ou du *site*, afin d'acquérir les garanties de gains d'efficacité, dans tous les modes normaux possibles d'exploitation.

Pour certains projets, le suivi des *économies* peut être cessé après une « période d'essai » prédéfinie, pouvant s'étendre entre la durée nécessaire d'un relevé ponctuel à une période d'une année ou deux.

La durée de toute *période de suivi* devrait être fixée par rapport à la durée de vie d'une MCE en tenant compte de la probabilité de dégradation des *économies* réalisées à l'origine.

Indépendamment de la durée de la *période de suivi*, les compteurs servant aux *mesures* peuvent être maintenus en place, afin de fournir au personnel une rétroaction, en temps réel, des données d'exploitation.

Si l'on réduit la fréquence à laquelle sont produits les rapports de suivi, par exemple à la suite d'une *mesure* de preuve de performance initiale, d'autres actions de monitoring du *site* peuvent être intensifiées afin de s'assurer que les *économies* demeurent pérennes.

Seules des *économies* évaluées pour une *période de suivi* et selon une procédure conformes à l'IPMVP, peuvent être déclarées « en conformité » à l'IPMVP. Si des *économies* servent de base à une projection dans l'avenir, les *économies* « futures » ne peuvent être déclarées conformes à l'IPMVP.

4.5.3 Périodes adjacentes de mesure (essai d'Activation/Désactivation)

Lorsque les MCE se prêtent facilement à leur activation en mode opérationnel ou à leur désactivation, des périodes de référence et de suivi, adjacentes dans le temps, peuvent être choisies. Un changement dans la logique de commande est un exemple de MCE aisément désactivée, puis réactivée, sans affecter le *site*.

Ces essais d'activation/de désactivation impliquent que les *mesures d'énergie* soient pratiquées avec une MCE en mode de fonctionnement, puis immédiatement après en mode d'arrêt, afin que les conditions de pré-MCE (*situation de référence*) soient rétablies. La différence de consommation d'*énergie* entre les deux *cycles* de *mesure* adjacents, représente les *économies* produites par la MCE. L'équation 1, présentée au chapitre 4.1 permet leur calcul, sans condition d'ajustement, si tous les facteurs d'influence d'*énergie* sont les mêmes dans les deux périodes contigües.

Cette technique peut être appliquée pour déterminer l'isolement des MCE et choisir les options à l'échelle du *site* entier. Cependant, la réduction du *périmètre de mesure* en adéquation avec celle du système contrôlé facilite la détection d'une différence significative dans la consommation d'*énergie* mesurée lorsque les équipements (ou systèmes) sont activés ou désactivés.

Les périodes successives utilisées pour l'essai Activation/Désactivation devraient être suffisamment longues pour représenter une phase de fonctionnement équilibrée. Elles devraient se dérouler en mode de fonctionnement normal du *site*, répétées sous différents modes de fonctionnement tels que des variations de saison ou du taux de production.

Il faut noter que les MCE pouvant être désactivées pour ces tests, risquent de l'être de façon accidentelle ou malencontreuse, alors qu'elles devraient être en mode opérationnel.

4.6 Base d'ajustements

Le terme **ajustements** apparaissant dans l'équation 1), présentée au chapitre 4.1 devrait être calculé en fonction de faits physiques identifiables, concernant les éléments régissant les besoins énergétiques de l'équipement concerné, à l'intérieur du *périmètre de mesure*. Il existe deux types d'ajustements possibles :

- **Ajustements périodiques** - pour tout facteur régissant l'*énergie*, présumé changer souvent au cours de la *période de suivi* : Ex. la température extérieure ou le volume de

production. Une variété de techniques permettent de définir la méthodologie d'ajustement. Les techniques peuvent se présenter sous une forme aussi simple qu'une valeur constante (aucun ajustement) ou aussi complexe que plusieurs équations non linéaires, à paramètres multiples, chacune d'elles associant l'énergie à une ou plusieurs variables indépendantes. Des techniques mathématiques adéquates doivent être employées pour dériver la méthode d'ajustement adaptée à chaque *Plan de M&V*. Voir Annexe B : Conseils sur l'évaluation de la validité des méthodes mathématiques.

- **Ajustements non périodiques** - pour les facteurs régissant l'énergie qui, habituellement, ne varient pas : Ex. les dimensions du site, la conception et le fonctionnement de l'équipement installé, le nombre hebdomadaire d'équipes de production, ou le type d'occupants. Ces *facteurs statiques* doivent être contrôlés pendant toute la *période de suivi*. Voir chapitre 8.2 pour l'explication des *ajustements non périodiques*.

Facteurs statiques

Exemples de changements potentiels dans les facteurs statiques ayant besoin d'*ajustements non périodiques* :

- volume de l'endroit chauffé ou climatisé;
- type de produits fabriqués ou nombre de quarts de travail par jour;
- caractéristiques des enveloppes des bâtiments (nouvelle isolation, fenêtres, portes, étanchéité à l'air);
- quantité, type ou usage des équipements *du site* et de leurs utilisateurs;
- norme environnementale intérieure (ex. le niveau d'éclairage, la température, le débit de renouvellement d'air);
- type ou horaire des occupants.

Par conséquent l'équation 1) peut être formulée plus complètement comme suit :

Économies = (énergie de la période de référence – énergie de la période de suivi)

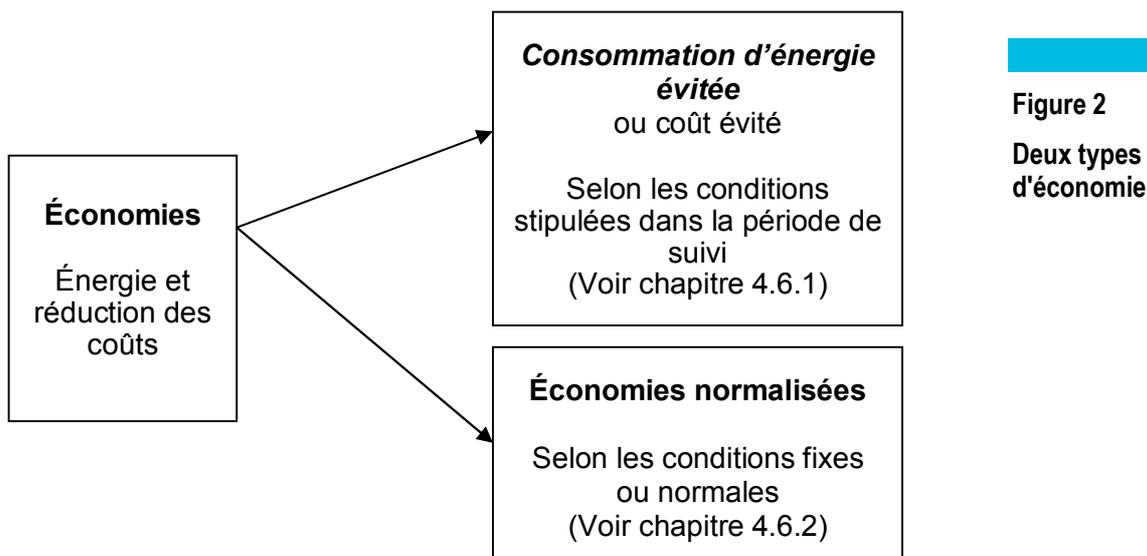
± *ajustements périodiques* ± *ajustements non périodiques*

1a)

Les termes des ajustements, dans l'équation 1a), expriment les deux catégories de données d'énergie mesurée dans le même ensemble de conditions.

Le mécanisme des ajustements dépend des *économies* qui seront effectives sur la base de la *période de suivi* ou qui seront normalisées dans un autre ensemble de conditions, tel que démontré au schéma ci-dessous :⁹

⁹ Les méthodes générales signalées dans le schéma peuvent être appliquées aux options A, B et C, décrites dans la suite du chapitre 4. L'option D inclut, généralement, les ajustements de la simulation, bien qu'il faille en choisir les conditions.



4.6.1 Période de suivi ou consommation d'énergie évitée

Les économies réalisées dans les conditions de la *période de suivi* peuvent aussi être appelées « *Consommation d'énergie évitée* ». La *consommation d'énergie évitée* représente la mesure des économies effectives de la *période de suivi*, en relation à ce que la consommation d'énergie aurait été sans la mise en œuvre des MCE.

Lorsque rapportée aux conditions de la *période de suivi*, la consommation d'énergie de la *période de référence* devra être « ajustée » aux conditions de la *période de suivi*.

Pour ce modèle commun de suivi d'économie, l'équation 1a) peut être réécrite comme suit (version 1b) :

$$\begin{aligned} \text{Consommation d'énergie évitée (ou économies)} = & \\ & (\text{énergie de la période de référence} \pm \text{ajustements périodiques aux conditions de la période de suivi} \\ & \pm \text{ajustements non périodiques aux conditions de la période de suivi}) \\ & - \text{énergie de la période de suivi} \end{aligned}$$

Cette équation prend souvent la forme simplifiée suivante :

$$\begin{aligned} \text{Consommation d'énergie évitée (ou économies)} = & \\ & (\text{énergie de la période de référence ajustée} - \text{énergie de la période de suivi} \\ & \pm \text{ajustements non périodiques de l'énergie de la période de référence aux conditions de la période de suivi}) \end{aligned}$$

1b)

L'énergie de la base de référence ajustée est définie en tant qu'énergie de la *période de référence* à laquelle s'ajoutent les *ajustements périodiques* nécessaires pour l'adapter aux conditions de la *période de suivi*.

L'énergie de la base de référence ajustée se calcule selon un modèle mathématique associant les données réelles de la *période de référence* aux variables indépendantes appropriées de la *situation de référence*. Les valeurs des variables indépendantes, pour

chaque *période de suivi*, insérées dans le modèle mathématique de la *période de référence*, expriment la consommation d'énergie de la *période de référence ajustée*.

Variables indépendantes

Une variable indépendante est un paramètre qui peut varier régulièrement et peut avoir un impact mesurable, sur la consommation d'énergie d'un système ou d'un site. Par exemple, la température extérieure est l'une des *variables indépendantes* de la consommation d'énergie d'un bâtiment.

Dans une usine, le nombre d'unités produites pour une période déterminée constitue souvent *une variable indépendante*, affectant la consommation d'énergie de manière significative.

Autre variable indépendante, d'usage commun : le nombre de secondes, d'heures ou de jours affecté à chaque période de *mesurage* (voir chapitre 4.9.3).

4.6.2 Conditions fixes ou économies normalisées

Des conditions autres que celles de la *période de suivi* peuvent servir de base pour les ajustements : conditions de la *situation de référence*, conditions d'une période fixée arbitrairement, ensemble de conditions normales, typiques ou moyennes.

L'ajustement à un ensemble fixe de conditions représente un modèle d'**économies normalisées** de la *période de suivi*. Dans cette méthode, les données d'énergie relatives à la *période de suivi*, et probablement à la *situation de référence*, sont « ajustées » de leurs conditions réelles aux conditions communes (ou normales) sélectionnées.

Les rapports de suivi des *économies* normalisées reprennent, dans une version 1c), les termes de l'équation de portée plus générale 1a) :

Economies normalisées =

(quantité d'énergie de la *période de référence* ± ajustements courants aux conditions fixes
± *ajustements non périodiques* aux conditions fixes)
– (quantité d'énergie de la *période de suivi*
± *ajustements périodiques* aux conditions fixes ± *ajustements non périodiques* aux conditions fixes

1c)

Le calcul des *ajustements non périodiques* en *période de suivi* implique le développement d'un modèle mathématique associant les données d'énergie de la *période de suivi* à ses variables indépendantes. Ce modèle servira à « ajuster » la consommation d'énergie de la *période de suivi* aux conditions fixes choisies.

En outre, si l'ensemble des conditions fixes n'est pas celui de la *situation de référence*, un autre modèle mathématique relatif aux données de l'énergie de la *période de référence*, devra être établi afin d'ajuster la consommation d'énergie de la *période de référence* aux conditions fixes choisies.

Quelle base d'ajustements ou quel type « d'économie » ?

Facteurs à considérer, pour choisir entre la *Consommation d'énergie évitée* et les *économies normalisées* :

Le modèle *des économies* produites par la *Consommation d'énergie évitée* (Équation 1b)

- dépend des conditions de fonctionnement en période de suivi. Bien que les *économies* puissent être correctement ajustées aux phénomènes naturels, comme le climat, le niveau *des économies* réalisées dépend des conditions météorologiques réelles.
- ne peut être directement comparé *aux économies* prévues dans les conditions de *la situation de référence*.

Le modèle *des économies normalisées* (Équation 1c)

- reste inchangé dans les conditions de *la période de suivi*, puisque les conditions fixes sont établies en permanence.
- peut être directement comparé *aux économies* prévues, selon le même ensemble de conditions fixes.
- ne peut être pris en compte qu'après *un cycle* complet de consommation d'énergie en période de suivi, de sorte que la corrélation mathématique entre la consommation d'énergie de la période de suivi et les conditions d'exploitation, puisse être établie.

4.7 Vue d'ensemble des options proposées par l'IPMVP

Les quantités d'*énergie* mentionnées dans les diverses formes de l'équation 1 peuvent être mesurées par une ou plusieurs des techniques suivantes :

- Factures du fournisseur d'électricité ou de carburant; lecture des compteurs, en procédant aux mêmes ajustements que le fournisseur d'*énergie*.
- Compteurs isolant des MCE ou une partie d'un *site* du reste du *site*. Les *mesures* peuvent être périodiques sur des intervalles courts, ou continues en *période de référence* ou de *période de suivi*.
- *Mesures* séparées des paramètres utilisés dans le calcul de la consommation d'*énergie*. Par exemple, les paramètres de charge électrique des appareils et les heures d'exploitation peuvent être mesurés séparément, puis multipliés, pour obtenir la consommation en *énergie* de ces appareils.
- *Mesures d'indicateurs* pertinents pour la consommation d'*énergie*. Par exemple, si la consommation d'*énergie* d'un moteur a été associée au signal de sortie de la vitesse variable contrôlant le moteur, ce signal de sortie peut faire office d'*indicateur* pertinent pour la consommation d'*énergie* du moteur.
- Simulation sur ordinateur, calibrée avec des données de *mesure* réelles de performance du système ou du *site* modélisé. Exemple de simulation sur ordinateur : l'analyse faite à partir du logiciel DOE-2 pour les bâtiments (**Option D** seulement).

Si la valeur (a) de l'*énergie* est déjà connue avec la *précision* adéquate, ou si l'*énergie* est plus coûteuse à mesurer que justifiable par les circonstances, il peut s'avérer que sa *mesure* ne soit ni nécessaire, ni appropriée. Dans ce cas, on estimera certains paramètres de la MCE (**Option A** seulement).

L'IPMVP propose **quatre options (A, B, C et D)** pour déterminer les *économies*. Leur choix dépend de plusieurs facteurs, dont le *périmètre de mesure* (voir chapitre 4.4).

S'il est décidé d'évaluer les *économies* au niveau d'un *site*, on fera appel à l'**option C ou D**.
Si, seule la performance des MCE en tant que telle est concernée, une technique d'isolement des MCE se révélera plus adaptée (**options A, B ou D**).

Des exemples d'utilisation de chacune des options sont présentés à l'**Annexe A** alors que la section 4.11 offre des conseils sur la manière de choisir l'option appropriée à tout projet spécifique.

Le Tableau 1 des pages suivantes récapitule ces quatre options, détaillées dans les chapitres 4.8 à 4.10.

Tableau 1	Option de l'IPMVP	Comment calculer les <i>économies</i>	Applications typiques
<p>Vue d'ensemble des options IPMVP</p>	<p>OPTION A Isolement des MCE : mesure des paramètres clés</p> <p>Les <i>économies</i> sont déterminées par la mesure, sur le terrain, des principaux paramètres de performance énergétique qui définissent la consommation <i>d'énergie</i> des systèmes concernés par les MCE ou le succès d'un projet.</p> <p>La fréquence de <i>mesure</i> varie sur une large gamme : de la <i>mesure</i> effectuée sur un court terme jusqu'à celle, prise en continu, selon les variations prévues du paramètre mesuré et de la durée de <i>la période de suivi</i>.</p> <p>Les paramètres qui ne sont pas retenus pour être mesurés sont estimés. Ces <i>évaluations</i> peuvent être basées sur des données historiques, des caractéristiques du fabricant, ou encore le jugement de l'expert.</p> <p>La documentation de la source ou de la justification de l'estimation du paramètre est exigée. L'erreur d'économie probable, conséquence du fait de <i>l'évaluation</i> plutôt que de la <i>mesure</i>, est elle-même évaluée.</p>	<p>Calcul de la consommation <i>d'énergie</i> en <i>période de référence</i> et en <i>période de suivi</i>, à partir de :</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>mesures</i>, continues ou sur court terme, des paramètres principaux de fonctionnement; • valeurs estimées. <p><i>Ajustements périodiques</i> et non périodiques, comme requis.</p>	<p>Dans la mise en place de l'amélioration de l'éclairage, le paramètre principal de performance est la puissance appelée, laquelle est périodiquement mesurée.</p> <p>Estimation des heures de fonctionnement des appareils d'éclairage, basée sur les horaires d'occupation des bâtiments et le comportement des occupants.</p>



Tableau 1
Vue d'ensemble
des options
IPMVP

<p>OPTION B Isolement des MCE : <i>mesure</i> de tous les paramètres</p> <p><i>Les économies</i> sont déterminées par <i>la mesure</i>, sur le terrain, de la consommation <i>d'énergie</i> des systèmes concernés par <i>les MCE</i>.</p> <p>La fréquence de <i>mesure</i> varie sur une large gamme : de la <i>mesure</i> effectuée sur un court terme jusqu'à celle, prise en continu, selon les variations prévues du paramètre mesuré et de la durée de <i>la période de suivi</i>.</p>	<p><i>Mesure</i>, sur un court terme ou en continu, de la consommation <i>d'énergie</i> en <i>période de référence</i> et en <i>période de suivi</i>, ou calculs basés sur des <i>mesures</i> de consommation <i>d'énergie</i>.</p> <p><i>Ajustements périodiques</i> et non <i>périodiques</i> requis.</p>	<p>Régulation du débit d'une pompe : mise en place d'un variateur de fréquence vitesse et d'un régulateur avec une sonde de pression, sur un moteur.</p> <p><i>Mesure</i> de la puissance électrique avec un ampèremètre, installé sur l'alimentation électrique du moteur, indiquant la puissance par minute.</p> <p>En <i>période de référence</i>, ce compteur est en place pendant une semaine, pour vérifier la constance de la charge.</p> <p>En <i>période de suivi</i>, il est en place pour mesurer les variations de l'utilisation de puissance.</p>
<p>OPTION C Site entier</p> <p><i>Les économies</i> sont déterminées par <i>la mesure</i> de la consommation <i>d'énergie</i> au niveau <i>du site entier</i>, ou d'une partie autonome de celui-ci.</p> <p>Des <i>mesures</i>, en continu, de la consommation <i>d'énergie</i> <i>du site entier</i> sont effectuées tout au long de <i>la période de suivi</i>.</p>	<p>Analyse des données issues des <i>périodes de référence</i> et de <i>suivi</i>, pour <i>le site entier</i> (fournisseur <i>d'énergie</i>).</p> <p><i>Ajustements périodiques</i>, si requis, en utilisant des techniques telles que la comparaison simple, ou <i>l'analyse de régression</i>.</p> <p><i>Ajustements non périodiques</i>, si requis.</p>	<p>Programme de gestion de <i>l'énergie</i>, multi-facettes, concernant plusieurs systèmes, sur <i>un site</i>.</p> <p><i>Mesure</i> de la consommation <i>d'énergie</i> au moyen des compteurs de gaz et d'électricité des fournisseurs <i>d'énergie</i>, sur une <i>période de référence</i> de douze mois et pendant toute <i>la période de suivi</i>.</p>

Tableau 1

Vue d'ensemble
des options
IPMVP

<p>OPTION D Simulation calibrée</p> <p><i>Les économies</i> sont déterminées par la simulation de la consommation <i>d'énergie du site entier</i>, ou d'une partie autonome de celui-ci.</p> <p>Les algorithmes de simulation sont démontrés modéliser convenablement la performance énergétique mesurée sur <i>le site</i>.</p> <p>Cette option exige des compétences affirmées dans le domaine de la simulation et de sa calibration.</p>	<p>Simulation de la consommation <i>d'énergie</i>, calibrée au moyen des données horaires ou mensuelles de facturation du fournisseur <i>d'énergie</i>. (La <i>mesure</i> de la consommation <i>d'énergie</i> finale peut aider à affiner les données retenues pour être utilisées.)</p>	<p>Programme de gestion de <i>l'énergie</i>, multi-facettes, concernant plusieurs systèmes sur <i>un site</i>, où il n'existait aucun compteur pendant la <i>période de référence</i>.</p> <p>Les <i>mesures</i> de la consommation <i>d'énergie</i>, après installation des compteurs de gaz et d'électricité, servent au calibrage de la simulation.</p> <p>La consommation <i>d'énergie</i> en <i>période de référence</i>, déterminée par la simulation calibrée, est comparée à une simulation de la consommation <i>d'énergie</i> en <i>période de suivi</i>.</p>
---	--	---

4.8 Options A et B : Isolement des MCE

Le chapitre 4.4 définit le concept de **périmètre de mesure** englobant le ou les équipements, objets du programme d'amélioration de la performance énergétique.

L'isolement des MCE permet de réduire le *périmètre de mesure* et, par conséquent, le travail nécessaire pour évaluer les variables indépendantes et les *facteurs statiques*, lorsque les modifications affectent seulement une partie du *site*. Cependant, notez qu'un périmètre inférieur (une installation ou un système) au *site* entier ou a une partie importante autonome de celui-ci (un bâtiment par exemple) demande, en général, la pose de compteurs additionnels. Par ailleurs, un *périmètre de mesure* étroit présente la possibilité de « fuites », par des *effets interactifs* non mesurés.

Comme la *mesure* ne concerne pas le *site* entier (ou la partie de celui-ci, autonome, desservie à partir d'un compteur spécifique du fournisseur *d'énergie*), les résultats des techniques d'isolement des MCE ne peuvent pas être corrélés à celui de la consommation totale *d'énergie* du *site*, telle que présentée par les factures du fournisseur *d'énergie*.

Les modifications du *site* au-delà du *périmètre de mesure*, et indépendantes des MCE, ne seront pas traitées au moyen des techniques d'isolement des MCE, mais incluses dans la consommation (ou les appels de puissance) mesurée par le fournisseur *d'énergie*.

Deux options permettent d'isoler la consommation *d'énergie* d'un équipement faisant l'objet d'une MCE, de la consommation *d'énergie* du reste du *site* :

- Option A, Isolement des MCE : *mesure* des paramètres clés (voir chapitre 4.8.1)
- Option B, Isolement des MCE : *mesure* de tous les paramètres (voir chapitre 4.8.2)

Le compteur est placé sur le *périmètre de mesure* entre l'équipement en rapport avec la MCE et celui qui ne l'est pas.

Exemple d'isolement des MCE

Une chaudière est remplacée par une autre, plus efficace. Le *périmètre de mesure* retenu circonscrit uniquement la chaudière, de sorte que l'évaluation du nouvel équipement ne soit pas affectée par les variations de la charge calorifique *du site entier*. Les compteurs de consommation de carburant et la chaleur dégagée suffisent à évaluer l'efficacité des deux chaudières sur une durée de leur fonctionnement. Les *économies* calculées résultent de l'amélioration observée de l'efficacité, rapportée à une charge annuelle estimée de la chaudière. Le test d'efficacité de celle-ci est répété tous les ans.

Pour tracer un *périmètre de mesure*, il faut se montrer vigilant aux flux d'*énergie* qui se produisent au-delà des limites. Pour estimer ces « *effets interactifs* », une méthode doit être développée (voir chapitre 4.4).

Par exemple une réduction de la charge électrique d'une installation d'éclairage diminue souvent la consommation d'*énergie* du système de CVC, mais le seul *périmètre de mesure* économiquement raisonnable se limiterait à la consommation électrique des appareils d'éclairage, excluant, de ce fait, l'impact sur la consommation d'*énergie* de chauffage et de refroidissement.

Dans le cas évoqué ci-dessus, l'impact de la MCE sur les besoins énergétiques du système de CVC est un effet interactif qui doit être évalué. S'il s'avère être significatif, des *évaluations* par calcul pourront être formulées sur la base d'une fraction des *économies d'énergie* réalisées par les systèmes d'éclairage mesurés : chauffage conventionnel et calculs de refroidissement pourraient fournir les données appropriées pour chaque saison.

Il est évident que, si le *périmètre de mesure* peut être étendu pour englober ces *effets interactifs*, de telles estimations ne s'avèrent plus nécessaires.

À l'exception d'*effets interactifs* estimés de faible impact, le *périmètre de mesure* définit les points de *mesure* et la portée de tout ajustement, présents dans les différentes formes applicables de l'équation 1. Seuls les changements apportés aux systèmes d'*énergie* et les variables opérant à l'intérieur du *périmètre de mesure* doivent être suivis pour préparer le(s) terme(s) des ajustements de l'équation.

Le concept de **période de mesure** est exposé, de façon générale, au chapitre 4.5.

Les paramètres peuvent être mesurés en continu ou périodiquement pendant de courtes périodes. L'importance des variations attendues sur un paramètre permettra de décider de leur fréquence ou de la nécessité d'une *mesure* en continu. Lorsqu'un paramètre est estimé constant dans le temps, il sera mesuré dès la mise en place de la MCE, et vérifié occasionnellement pendant la *période de suivi*. Cette vérification commencera par des *mesures* fréquentes, dans le but de s'assurer que la valeur du paramètre reste constante. Une fois ce fait acquis, la fréquence de la *mesure* peut être réduite. Si la fréquence des *mesures* décroît, il peut être utile, pour garantir la pérennité des *économies*, d'effectuer des inspections plus fréquentes ou d'autres tests afin de s'assurer de la continuité de la qualité de l'exploitation.

La *mesure* en continu fournit une meilleure démonstration des *économies* rapportées et une information plus substantielle au sujet du fonctionnement de l'équipement, qui peut servir à améliorer ou optimiser ce dernier, en temps réel, renforçant, de ce fait, les bénéfices engendrés par la MCE.

Les résultats de plusieurs études établissent qu'un pourcentage non négligeable (de 5 à 15 %) des *économies d'énergie* annuelles peut être atteint, grâce à une utilisation pertinente des enregistrements continus de données (Claridge et autres, 1994, 1996; Haberl et autres, 1995).

Si la *mesure* n'est pas continue et que les compteurs ne restent pas en place entre les lectures, le *Plan de M&V* exige la notification des emplacements et les caractéristiques du dispositif de *mesure*, ainsi que la procédure de calibration des compteurs utilisés. Lorsqu'un paramètre est estimé constant dans le temps, les périodes de *mesure* peuvent être brèves et occasionnelles. Par exemple, en supposant une charge constante, les moteurs électriques d'une unité de

production industrielle représentent un modèle à puissance constante. Cependant, le temps de fonctionnement de ces mêmes moteurs pourrait changer, au jour le jour, selon le type de produit fabriqué. Lorsqu'un paramètre varie périodiquement, les *mesures* occasionnelles le concernant (temps de fonctionnement, dans ce cas précis) seront effectuées à des moments représentatifs du comportement normal du système.

Lorsqu'un paramètre varie quotidiennement, ou toutes les heures, comme pour la plupart des systèmes de chauffage ou de climatisation des bâtiments, la *mesure* continue paraît être la solution la plus simple. Lorsque les charges dépendent des conditions climatiques, la *mesure* s'étalera sur une période suffisamment longue pour bien cerner le profil de charge pour toutes les phases de son *cycle* normal annuel (saison, jour de la semaine, fin de semaine, etc.). Elle pourra être répétée, suivant les besoins, pendant la *période de suivi*. Des exemples de jour-type peuvent être trouvés dans Katipamula et Haberl (1991), Akbari et autres (1988), Hadley et Tomich (1986), Bou Saada et Haberl (1995a, 1995b), et Bou Saada et autres (1996).

Quand de multiples versions de la même mise en oeuvre de MCE sont incluses dans le *périmètre de mesure*, des échantillons statistiquement valides peuvent servir de *mesures* valides pour déterminer la grandeur d'un paramètre applicable à la MCE d'ensemble. De telles situations peuvent se produire, par exemple, lorsque la *mesure* de la puissance totale d'un système d'éclairage ne peut pas être effectuée au niveau du tableau électrique, pour cause de départs de circuits communs entre éclairage et autres (prises de courant). Dans un tel cas, un échantillon statistiquement significatif des appareils constituant l'installation d'éclairage est mesuré, avant et après les travaux d'amélioration énergétique, pour évaluer le changement de puissance installée. Ces données d'échantillon peuvent être utilisées en tant que *mesure* de puissance d'éclairage. L'Annexe B-3 traite des questions de statistiques appliquées à l'échantillonnage.

Lorsque des *mesures* ponctuelles sont à réaliser il est possible d'utiliser des compteurs portatifs dont le coût peut être mutualisé avec d'autres usages. En contrepartie, des compteurs installés de manière permanente offrent un usage pertinent supplémentaire des informations de *mesures* au personnel d'exploitation ou aux dispositifs de contrôle/ commande, en vue de l'optimisation des systèmes. Les compteurs supplémentaires peuvent également – sous certaines conditions- être utilisés pour la refacturation aux utilisateurs individuels ou aux départements d'une organisation.

Les techniques d'isolement des MCE s'appliquent au mieux dans les cas suivants :

- Seule la performance des systèmes en relation avec la MCE est concernée, soit en raison des responsabilités respectives des partenaires d'un même contrat de performance écoénergétique, soit à cause du faible niveau d'*économies* réalisées, et donc difficiles à détecter pendant la durée de temps disponible, dans le cadre de l'Option C.
- Les *effets interactifs*, induits par la MCE sur la demande ou la consommation d'*énergie* des autres équipements du *site*, peuvent être raisonnablement estimés ou considérés comme négligeables.
- Les changements possibles du comportement énergétique du *site*, en dehors du *périmètre de mesure*, seront difficiles à identifier ou à évaluer.
- Les variables indépendantes qui affectent la consommation d'*énergie* ne sont pas excessivement difficiles ou coûteuses à superviser.
- Les sous-compteurs, isolant la consommation d'*énergie* des systèmes objets des MCE, existent déjà.
- Les compteurs additionnels sur le *périmètre de mesure* peuvent être utilisés à d'autres fins dans l'exploitation, ou pour la refacturation interne.
- La *mesure* des paramètres est plus économique que les simulations proposées par l'**Option D** ou l'impact d'*ajustements de la base de référence* (ABR) de l'**Option C**.
- La pérennité des résultats, sur le long terme, ne doit pas être démontrée.

- Il n'est pas exigé de réconciliation entre les *économies* rapportées au niveau des MCE isolées et d'éventuelles justifications de modifications relevées au niveau des facturations d'*énergie*.

Les caractéristiques spécifiques de chacune des techniques d'isolement des MCE sont présentées, dans ce document, aux chapitres 4.8.1 et 4.8.2, ci-après. Des problématiques communes de *mesurage* spécifiques aux techniques d'isolement des MCE sont présentées au chapitre 4.8.3. Des détails techniques sur une méthode semblable figurent dans ASHRAE (2002).

4.8.1 Option A, Isolement des MCE : *mesure des paramètres clés*

Dans le cadre de l'Option A, les quantités d'*énergie* à intégrer à l'équation 1) peuvent être dérivées d'un calcul utilisant une combinaison de *mesures* et d'estimations des paramètres.

On ne pourra avoir recours à des estimations que si la combinaison de leurs incertitudes individuelles n'affecte pas, de manière significative, les *économies* rapportées. Un premier travail consiste à décider des paramètres à mesurer et de ceux à estimer en prenant en compte la contribution de chacun d'eux à l'incertitude globale des *économies* à réaliser. Les valeurs estimées et l'analyse de leur impact doivent être transcrites dans le *Plan de M&V* (chapitre 5). Les estimations peuvent être basées sur des données historiques (exemple : heures de fonctionnement enregistrées, provenant de la *situation de référence*), sur les estimations publiées par les fabricants des équipements concernés, sur des tests de laboratoires ou sur des données climatiques types.

Si un paramètre, tel que les heures d'utilisation du *site*, est connu constant et qu'il ne devrait pas être affecté par la MCE mise en place, sa *mesure*, pendant la *période de suivi*, sera suffisante. Les *mesures* effectuées pendant la *période de suivi* d'un paramètre constant peuvent être considérées comme *mesure* de sa valeur dans la *période de référence*.

Lorsqu'un paramètre, connu pour varier de manière autonome indépendamment d'autres variables, n'est pas mesuré sur le *site* pendant les périodes de référence et de suivi, il doit être considéré comme une estimation.

Les calculs d'ingénierie et la modélisation mathématique peuvent servir à déterminer l'impact des erreurs d'estimation de tous les paramètres intervenant dans les *économies* rapportées.

Par exemple, si le temps de fonctionnement d'un équipement d'une installation doit être estimé, en sachant qu'il peut varier entre 2 100 à 2 300 heures par an, les *économies* par rapport à ces deux valeurs extrêmes de la plage possible du temps de fonctionnement doivent être calculées, et la différence doit être mise en évidence du point de vue de son impact dans l'expression des *économies* prévues. L'impact combiné de l'ensemble de ces estimations doit être examiné avant de décider que le nombre de points de *mesure* est suffisant (voir annexe B-5.1).

Le choix des paramètres à mesurer doit être examiné également sous l'angle des objectifs servis par le projet ou des obligations incombant à l'entrepreneur assumant des risques de performance par rapport aux MCE.

Si le calcul des *économies* implique de soustraire la valeur d'un paramètre mesuré de celle d'un paramètre estimé, le résultat est considéré comme une estimation.

Que mesurer ?

Si, dans un projet d'éclairage, la puissance consommée durant la *période de suivi* est mesurée, mais pas celle de la *période de référence*, la puissance consommée devrait être traitée comme une estimation, dans le contexte de l'option A.

Les heures de fonctionnement seront mesurées, si la procédure utilisée doit être considérée comme conforme à l'option A de l'IPMVP.

Par exemple, si un paramètre est mesuré pendant la *période de suivi* et que sa valeur est soustraite de celle du même paramètre, non mesuré, en *période de référence*, la différence qui en résulte est une estimation.

Une MCE comportant l'installation d'un équipement d'éclairage à haute efficacité, sans modification des *périodes d'éclairage*, *représente un exemple* d'application de l'Option A. Les *économies* seront alors déterminées par la *mesure* de la puissance consommée par les circuits d'éclairage, avant et après les travaux d'installation, tout en « estimant » la période de

fonctionnement.

D'autres variations de ce type de MCE, présentées dans le tableau 2 ci-dessous, précisent les circonstances dans lesquelles les estimations se conforment aux spécifications de l'Option A.

Tableau 2
Exemple
d'éclairage

Situation	Stratégie : <i>Mesure</i> ou <i>Estimation</i> ?		Conforme à l'Option A?
	Heures de service	Puissance consommée	
La MCE réduit le temps de fonctionnement.	<i>Mesure</i>	Estimation	Oui
	Estimation	<i>Mesure</i>	Non
La MCE réduit la puissance appelée	Estimation	<i>Mesure</i>	Oui
	<i>Mesure</i>	Estimation	Non
La MCE réduit la puissance appelée et le temps de fonctionnement :			
Puissance incertaine dans la <i>période de référence</i> , mais heures de fonctionnement connues.	Estimation	<i>Mesure</i>	Oui
	<i>Mesure</i>	Estimation	Non
Puissance connue, mais heures de fonctionnement incertaines.	<i>Mesure</i>	Estimation	Oui
	Estimation	<i>Mesure</i>	Non
Puissance et heures de fonctionnement peu connues.	<i>Mesure</i>	Estimation	Non, utiliser l'Option B
	Evaluation	<i>Mesure</i>	

En décidant d'une procédure selon l'Option A et avant d'établir la liste des paramètres mesurés, analysez le taux de variation de la consommation d'énergie de la *période de référence* ainsi que l'impact de la MCE sur la consommation d'énergie.

Trois exemples illustrent les scénarios qui peuvent se produire :

- La MCE réduit une charge constante, sans en modifier le temps de fonctionnement. Exemple : Les appareils d'éclairage d'un bâtiment industriel sont remplacés par d'autres plus efficaces, mais leur temps de fonctionnement demeure inchangé. Pour évaluer raisonnablement l'apport de la MCE, les niveaux de puissance des appareils devraient être mesurés dans les périodes de référence et de suivi, alors que le temps de fonctionnement peut être estimé dans les calculs d'énergie.
- La MCE réduit le temps de fonctionnement alors que la puissance reste inchangée. Par exemple, les dispositifs de contrôle/commande automatiques stoppent des compresseurs d'air pendant les périodes d'inoccupation. Pour évaluer raisonnablement l'apport de la MCE, les temps de fonctionnement des compresseurs devraient être mesurés pendant les périodes de référence et de suivi, alors que leur puissance peut être estimée dans les calculs d'énergie.
- La MCE réduit la puissance de l'équipement et son temps de fonctionnement. Par exemple, le réajustement de la consigne de température d'un radiateur à eau chaude réduit la surchauffe et amène les occupants du local à fermer les fenêtres, réduisant ainsi la charge de la chaudière et les périodes de fonctionnement. Quand, à la fois, la puissance de l'équipement et ses heures d'utilisation sont variables ou incertaines, l'Option A ne peut être appliquée.

De manière générale des charges ou des temps de fonctionnement variables impliquent des mesures et des calculs plus rigoureux.

4.8.1.1 Option A : Calculs

L'équation générale 1), du chapitre 4.1, est appliquée dans tous les calculs recommandés par l'IPMVP. Avec l'Option A, les *ajustements périodiques* et non périodiques ne sont pas toujours nécessaires selon le *périmètre de mesure*, la nature des valeurs estimées, la durée de la *période de suivi*, ou l'intervalle de temps entre les *mesures* effectuées durant la *période de référence*, et celles de la *période de suivi*.

Ainsi, dans une Option A à deux paramètres, lorsque des *mesures* prises durant la *période de référence* et durant la *période de suivi* se limitent aux *mesures* d'un seul paramètre et d'une estimation de l'autre, alors l'équation 1) peut être simplifiée comme suit :

Économies de l'Option A = Valeur estimée X (paramètre mesuré pendant la période de référence – paramètre mesuré pendant la période de suivi.

1d)

4.8.1.2 Option A : Vérification d'installation

Le fait que des valeurs puissent être estimées dans le cadre de l'utilisation de l'Option A, rend essentiel de porter une attention particulière aux étapes de conception et d'installation des MCE afin de s'assurer que les estimations sont réalistes et fondées sur un équipement qui devrait pouvoir réellement atteindre les objectifs d'économie prévus.

Aux intervalles définis de la *période de suivi*, l'installation devrait être inspectée à nouveau pour vérifier le maintien de la fonctionnalité de l'équipement dans son process, son fonctionnement adéquat, ainsi que le niveau d'exploitation approprié. De telles inspections assureront la pérennité du potentiel à produire les *économies* prévues et à valider les paramètres estimés. La fréquence de ces inspections est déterminée par la probabilité des altérations de la performance. Cette probabilité peut être établie par l'intermédiaire d'inspections initiales fréquentes afin d'établir la stabilité de l'existence et de la performance de l'équipement.

La rénovation d'un système d'éclairage est un exemple de situation requérant une inspection périodique. Les *économies* peuvent être déterminées en échantillonnant la puissance installée des appareils et en dénombant ceux qui sont fonctionnels. Dans ce cas, l'existence des équipements et le fonctionnement de ceux-ci sont critiques pour la détermination des *économies*. De même, dans les cas où les grandeurs des valeurs de consigne ou de

programmation horaire des automatismes sont assumées, mais sujettes à des manipulations possibles, l'enregistrement régulier de ces grandeurs de programmation des automatismes ou du fonctionnement effectif des équipements permet de limiter l'incertitude des valeurs estimées.

4.8.1.3 Option A : Coût

La détermination des *économies* avec l'Option A peut être moins coûteuse qu'avec d'autres options, puisque le coût de l'*évaluation* d'un paramètre est souvent moins important que ce qu'il coûte pour en faire le *mesurage*. Cependant, pour les quelques situations où l'*évaluation* est la seule possibilité, une bonne *évaluation* s'avérerait plus coûteuse si le *mesurage* direct était possible. La planification du coût pour l'Option A devrait considérer tous les éléments : l'analyse, l'*évaluation*, l'installation des compteurs, et le coût actuel pour lire et enregistrer les données.

4.8.1.4 Option A : Les meilleures applications

Outre les meilleures applications d'isolement des MCE dans le chapitre 4.8, ci-dessus, l'Option A est mieux appliquée là où :

- L'*évaluation* des paramètres principaux peut probablement éviter les ajustements difficiles non périodiques lorsque les changements futurs se produisent dans le *périmètre de mesure*
- L'incertitude créée par les estimations est acceptable;
- L'efficacité continue des MCE peut être estimée par la simple inspection des paramètres évalués;
- L'*évaluation* de quelques paramètres est moins coûteuse que leur *mesure* dans l'Option B ou simulation dans l'Option D;
- Un paramètre clé utilisé dans le calcul des *économies* est facilement identifiable. Les paramètres principaux sont ceux employés pour juger la performance d'un projet ou d'un entrepreneur.

4.8.2 Option B : Isolement des MCE : *mesure* de tous les paramètres

L'Option B, Isolement des MCE : *mesure* de tous les paramètres, exige la *mesure* des quantités d'*énergie* de l'équation 1) ou tous les paramètres nécessaires au calcul de la consommation d'*énergie*.

Les *économies* créées par la plupart des types de MCE peuvent être déterminées avec l'Option B. Cependant, les degrés de difficulté et de coût augmentent en fonction de la complexité de la *mesure*. Les méthodes de l'Option B seront généralement plus difficiles et coûteuses que celles de l'Option A. Toutefois, l'Option B produira des résultats plus précis là où les charges ou types d'*économies* sont variables. Ces coûts additionnels peuvent être justifiables si un entrepreneur est responsable de tous les facteurs qui influencent les *économies d'énergie*.

4.8.2.1 Option B : Calculs

L'équation générale 1 au chapitre 4.1 est employée dans tous les calculs de l'IPMVP. Cependant, avec l'Option B, il peut ne pas y avoir un besoin d'ajustement, que ce soit périodique ou non périodique, selon l'emplacement du *périmètre de mesure*, la durée de la *période de suivi*, ou encore de la période entre les *mesures* de la *période de référence* et la *période de suivi*. Par conséquent, pour l'Option B, l'équation 1 peut être simplifiée comme suit :
Économies de l'Option B = *Énergie de la période de référence* - *Énergie de période de suivi* 1e)

4.8.2.2 Option B : Les meilleures applications

Outre les méthodes d'isolement des MCE au chapitre 4.8, ci-dessus, l'Option B est la mieux appliquée là où :

- Les compteurs supplémentaires pour *la mesure* isolée seront employés pour d'autres objectifs tels que la gestion de l'*énergie* ou la sous-facturation à un locataire;
- La *mesure* de tous les paramètres est moins coûteuse que la simulation dans l'Option D;
- Les *économies* ou opérations dans le *périmètre de mesure* sont variables.

4.8.3 Aspects des mesures d'isolement des MCE

L'isolement des MCE exige habituellement l'addition de compteurs spéciaux, que ce soit sur une base à court terme ou permanente. Ces compteurs peuvent être installés pendant l'analyse énergétique pour aider à caractériser la consommation d'*énergie* avant la conception de la MCE. Les compteurs peuvent aussi être installés pour des mesures de performances de la *base de référence d'un Plan de M&V*.

La température, l'humidité, le débit, la pression, le temps de fonctionnement de l'équipement, l'*énergie* électrique ou thermique consommée, peuvent être mesurés par exemple, au *périmètre de mesure*. Il faut suivre les règles de l'art du *mesurage* afin de calculer l'économie d'*énergie* avec exactitude et répétabilité. Les pratiques de *mesure* sont en perpétuelle évolution et les équipements spécialisés ne cessent de s'améliorer. Par conséquent, utilisez les dernières pratiques de *mesure* pour faire l'*évaluation* de vos *économies* (voir chapitre 8.11).

Les sections suivantes définissent quelques aspects clés du *mesurage* à considérer en utilisant des techniques d'isolement des MCE.

4.8.3.1 Mesures d'électricité

Pour mesurer la consommation d'électricité avec exactitude, le voltage, l'ampérage et le facteur de puissance, ou la vraie puissance rms¹⁰ sont mesurés avec un seul instrument. Cependant, seule la *mesure* de l'ampérage et du voltage peut définir de façon adéquate la puissance dans les charges résistives, telles que les lampes incandescentes et les chauffages à résistance sans moteur de ventilateur. En mesurant la puissance, il faut s'assurer que la forme d'onde électrique de la charge résistive n'est pas altérée par d'autres dispositifs sur *le site*.

La pointe d'appel de puissance d'électricité doit être mesurée au même moment que celle mesurée par le compteur de facturation. Cette *mesure* exige habituellement l'enregistrement continu de l'appel de puissance au sous-compteur. À partir de cet enregistrement, la pointe d'appel aux sous-compteurs pourra être lue au moment où la compagnie d'électricité rapporte que la pointe d'appel s'est produite sur son compteur. La compagnie d'électricité peut indiquer la période de pointe d'appel de puissance sur ses factures ou dans un rapport spécial.

Les méthodes de *mesure* d'*énergie* varient d'un fournisseur d'*énergie* à un autre. La méthode de *mesure* de l'appel de puissance électrique sur un sous-compteur devrait répliquer la méthode que la compagnie d'électricité emploie pour la facturation du compteur en question. Par exemple, si la compagnie d'électricité calcule l'appel de pointe avec des fenêtres de 15 minutes, le compteur devrait être installé pour enregistrer des données pour les mêmes 15 minutes d'intervalle. Cependant, si la compagnie d'électricité emploie un intervalle mobile pour enregistrer les données de demande électrique, l'appareil d'enregistrement devrait avoir des capacités semblables. Cette capacité d'intervalle mobile peut être émulée en enregistrant des données sur des intervalles d'une minute, puis en recréant les intervalles utilisés par les compagnies d'électricité en utilisant un logiciel de traitement des données. Il faut néanmoins s'assurer que *le site* ne contient pas de combinaisons d'équipement peu communes qui produisent des charges maximales toutes les minutes et qui peuvent apparaître différemment dans un intervalle mobile que dans un intervalle fixe. Après avoir traité les données sur la base des intervalles de la compagnie d'électricité, il faut les convertir en données horaires pour archivage et pour analyse supplémentaire.

¹⁰ rms (la valeur efficace) les valeurs peuvent être rapportées avec des instruments numériques pour exprimer correctement la puissance nette en compensant, le cas échéant, les distorsions d'ondes (harmoniques) des circuits en courant alternatif.

4.8.3.2 Calibration

Les compteurs devraient être calibrés en suivant les directives des fabricants de l'équipement, et en suivant les procédures des autorités reconnues. Dans la *mesure* du possible, on utilisera des appareils de *mesure* ayant subi un étalonnage selon les procédures d'un organisme officiel reconnu (laboratoires de calibration accrédités). Chaque fois que possible, on effectuera une calibration basée sur des étalons primaires (c.-à-d. de qualité métrologique supérieure) et dans tous les cas au minimum du troisième ordre (exigence minimale). Les détecteurs et les appareils de *mesure* devraient être sélectionnés, entre autres, sur la base de la facilité et du maintien de leur calibration. La solution la plus avantageuse est la sélection d'un équipement qui se calibre par lui-même.

Des références sélectionnées pour la calibration sont indiquées au chapitre 10.3.

4.9 Option C : Le site entier

Option C : L'option *du site entier* implique l'utilisation des compteurs du fournisseur d'énergie ou de sous-compteurs pour évaluer la performance énergétique de tout *le site*. Le *périmètre de mesure* entoure tout *le site* ou une majeure partie de celui-ci. Cette option détermine les *économies* collectives de toutes les *MCE* appliquées à la partie *du site* contrôlée par le compteur d'énergie. En outre, puisque les compteurs *du site* entier sont utilisés, les *économies* rapportées avec l'Option C incluent également les effets positifs ou négatifs de toute modification effectuée sur *le site* en dehors des *MCE*.

L'Option C est prévue pour les projets où les *économies* projetées sont grandes par rapport aux variations énergétiques aléatoires ou inexpliquées qui arrivent au niveau *du site*. Si les *économies* sont grandes par rapport aux variations inexpliquées¹¹ dans les données de la *situation de référence*, l'identification des *économies* sera facile. Aussi, plus la période d'analyse des *économies* après l'installation des *MCE* est longue, moins l'impact des variations inexpliquées de court terme est important. Les *économies* typiques devraient dépasser 10 % de la consommation d'énergie des données de la *situation de référence* si la *période de suivi* est inférieure à deux années.

L'identification des changements *du site* qui vont exiger des *ajustements non périodiques* est le défi principal associé à l'Option C, et plus particulièrement quand les *économies* sont contrôlées pour de longues périodes. (Voir aussi le chapitre 8.2 pour les *ajustements non périodiques* de la *base de référence*). Par conséquent, des inspections périodiques sur tous les équipements et les opérations *du site* devront être effectuées pendant la *période de suivi*. Ces inspections identifient les changements dans les *facteurs statiques* des conditions de la *situation de référence*. De telles inspections peuvent faire partie d'un contrôle régulier pour s'assurer que les méthodes de fonctionnement prévues sont encore suivies.

ASHRAE (2002) fournit une spécification plus complète d'une méthode semblable.

4.9.1 Option C : Questions relatives aux données d'énergie

Dans le cas où l'approvisionnement du fournisseur d'énergie est mesuré uniquement en un point central dans un groupe *de sites*, les sous-compteurs sont nécessaires à *chaque site* ou *groupe de sites* pour lesquels la performance individuelle est évaluée.

Plusieurs compteurs peuvent être utilisés pour mesurer la consommation d'un type d'énergie dans *un site*. Si un compteur fournit de l'énergie à un système qui interagit directement ou indirectement, avec d'autres systèmes énergétiques, les données de ce compteur devraient être incluses dans la détermination des *économies* de tout *le site*.

Les compteurs utilisés pour des consommations d'énergie sans interaction, pour lesquels les *économies* ne sont pas à déterminer, peuvent être ignorés. Les circuits d'éclairage extérieur mesurés séparément en sont un exemple.

¹¹ Voir l'annexe B-5. ASHRAE (2002) fournit des méthodes quantitatives pour calculer l'impact des variations dans les données de *base de référence* si la *période de suivi* s'allonge.

Les *économies* doivent être déterminées séparément pour chaque compteur ou sous-compteur servant *un site* afin que les changements de performance puissent être évalués pour les parties *du site* mesurées séparément. Cependant, quand un compteur mesure uniquement une petite fraction de l'utilisation totale d'un type d'*énergie*, sa *mesure* peut être totalisée avec les compteurs principaux afin de réduire les tâches liées à la gestion des données. Quand les compteurs électriques sont combinés de la sorte, il convient de noter que les compteurs de faible consommation n'offrent généralement pas de donnée d'appel de puissance, ce qui fait que les données de consommation agrégées n'offrent aucune d'information significative sur l'appel de puissance global.

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 être combinées après analyse de chaque compteur individuel, si les dates de lecture sont répertoriées.

Si une des données d'*énergie* de la *période de suivi* est manquante, un modèle mathématique de la *période de suivi* peut être créé pour combler ces données. Toutefois, les *économies* rapportées pour la période manquante devraient identifier ces *économies* en tant que « données manquantes ».

4.9.2 Option C : Points sur les factures d'*énergie*

Les données d'*énergie* pour l'Option C proviennent souvent de lectures faites directement aux compteurs du fournisseur d'*énergie*, ou des factures du fournisseur d'*énergie*. Quand ces dernières sont la source de données, il convient de noter que le besoin du fournisseur d'*énergie* d'une lecture régulière des compteurs n'est généralement pas celui qui est requis pour le M&V. Les factures du fournisseur d'électricité contiennent parfois des données estimées, particulièrement pour les petits comptes. Il est quelquefois impossible de savoir si ces données sont estimées ou si elles ont réellement été relevées sur un compteur. Les lectures de compteurs estimées non rapportées créent des erreurs inconnues pour le(s) mois estimé(s) et également pour le mois suivant la lecture réelle du compteur. Cependant, la première facture avec une lecture réelle, après une ou plusieurs *évaluations*, corrigera les précédentes erreurs de quantités d'*énergie*. Les rapports de suivi des *économies* d'*énergie* devraient indiquer si les estimations font partie des données *du site*.

Quand un fournisseur d'*énergie* estime une lecture de compteur, il n'existe aucune donnée valide pour l'appel de puissance électrique sur cette période.

L'*énergie* pourrait être fournie indirectement à un *site*, par les équipements de stockage sur place, comme pour le pétrole, le propane ou le charbon. Dans ces situations, les factures de chargement des fournisseurs d'*énergie* ne représentent pas la consommation réelle *du site* pendant les périodes entre les chargements. Dans le meilleur des cas, un compteur en aval du service de stockage mesure la consommation d'*énergie*. Quand il n'y a pas de compteur en aval, des ajustements d'inventaire pour chaque facture de période devraient compléter les factures.

4.9.3 Option C : Variables indépendantes

Les paramètres qui changent régulièrement et affectent la consommation d'*énergie* d'un *site*, sont appelés « *variable indépendante* » (voir encadré au chapitre 4.6.1). Les *variables indépendantes* communes sont le climat, le volume de production et l'occupation. Le climat a plusieurs dimensions, mais pour l'analyse *du site entier*, le climat se limite souvent uniquement à la température sèche extérieure. La production a beaucoup de dimensions qui dépendent de la nature du procédé industriel. La production est typiquement exprimée en unités de masse ou unités volumétriques de chaque produit. L'occupation est définie de plusieurs manières, telles que l'occupation des chambres d'hôtels, les heures d'occupation pour les édifices à bureaux ou les jours occupés (jours de la semaine/fin de semaine).

La modélisation mathématique peut évaluer les *variables indépendantes* si elles sont cycliques. L'*analyse de régression* et d'autres formes de modélisation mathématique peuvent déterminer le nombre de *variables indépendantes* à considérer dans les données de la *situation de*

référence (voir l'Annexe B-2). Les paramètres qui ont un important effet sur l'utilisation d'énergie de la base de référence, devraient être inclus dans les ajustements périodiques pendant la détermination des économies¹² au moyen de l'équation 1a, 1b, ou 1c.

Les variables indépendantes devraient être mesurées et enregistrées en même temps que les données d'énergie. Par exemple, les données du climat devraient être enregistrées quotidiennement pour qu'elles puissent être totalisées pour correspondre exactement à la période de suivi d'énergie mensuelle qui peut être différente du mois calendaire. L'utilisation de données mensuelles moyennes pour la température d'une période de suivi d'énergie hors-calendrier introduit des erreurs inutiles dans l'analyse.

4.9.4 Option C : Calculs et modèles mathématiques

Pour l'Option C, les termes d'ajustements périodiques de l'équation 1a) sont calculés en développant un modèle mathématique valide de chaque compteur de consommation d'énergie. Le modèle peut être aussi simple qu'une liste de douze quantités d'énergie mensuelles mesurées sans aucun ajustement. Cependant un modèle inclut souvent des facteurs dérivés de l'analyse de régression, qui corrélient l'énergie en utilisant une ou plusieurs variables indépendantes comme la température extérieure, les degrés-jours, la longueur de la période de suivi, la production, l'occupation ou un mode de fonctionnement. Les modèles peuvent également inclure différents ensembles de paramètres de régression pour chaque gamme des conditions, tels que l'été ou l'hiver dans les bâtiments à variations de consommation d'énergie saisonnières. Par exemple, si dans les écoles où la consommation d'énergie du bâtiment diffère entre l'année scolaire et la période de vacances, des modèles de régression séparés pour les différentes périodes d'utilisation peuvent être nécessaires (Landman et Haberl 1996a; 1996b).

L'Option C devrait utiliser des données continues d'années complètes (12, 24, ou 36 mois), pour constituer la base de référence, et des données continues pendant la période de suivi (Fels 1986). Les modèles qui emploient d'autres nombres de mois, (9, 10, 13, ou 18 mois, par exemple) peuvent créer une erreur statistique en sous ou surreprésentant le mode de fonctionnement normal.

Les données des compteurs peuvent être des données du site entier horaires, quotidiennes ou mensuelles. Les données horaires devraient être combinées avec les données quotidiennes pour limiter le nombre de variables indépendantes requises pour produire un modèle de base de référence raisonnable, sans augmenter de manière significative l'incertitude dans les économies calculées (Katipamula 1996, Kissok et autres. 1992). La variation des données quotidiennes résulte souvent du cycle hebdomadaire de la plupart des sites.

Beaucoup de modèles mathématiques sont appropriés pour l'Option C. Pour choisir celui qui convient le plus à l'application, il faut considérer les index d'évaluation statistique, tels que R^2 et t (voir l'Annexe B-2.2)¹³. L'annexe B-2.2 ou la littérature statistique publiée peuvent vous aider à démontrer la validité statistique du modèle choisi.

4.9.5 Option C : Mesure

La mesure d'énergie du site entier peut être faite par les compteurs du fournisseur d'énergie. Les données des compteurs des fournisseurs d'énergie sont précises à 100 % pour la détermination des économies, parce que ces données définissent le paiement pour l'énergie. Il est nécessaire d'avoir un compteur d'un fournisseur d'énergie pour satisfaire les normes de précision pour la vente des produits énergétiques.

¹² Tous les autres paramètres affectant la consommation d'énergie (tels que : « les facteurs statiques » voir BOX dans le chapitre 4.6) doivent être mesurés et enregistrés dans la période de référence et de la période de suivi pour que les ajustements non périodique puissent être effectués en cas de besoin (voir chapitre 8.8)

¹³ Les informations additionnelles concernant ces procédures de sélection peuvent être trouvées dans Reynolds et Fels (1998), Kissok (1992,1994) et dans le manuel des principes fondamentaux d'ASHRAE (2005) dans le chapitre 32. ASHRAE (2002) présente également plusieurs tests statistiques pour valider l'utilité des modèles de régression.

Les compteurs d’approvisionnement d’énergie peuvent être équipés ou modifiés pour fournir une impulsion électrique qui pourrait être enregistrée par les équipements de contrôle *du site*. La *constante d’énergie* par impulsion de l’émetteur devrait être calibrée avec une référence connue, qui pourrait être les données enregistrées par le compteur du fournisseur d’énergie.

Les compteurs individuels installés par les propriétaires *du site* peuvent mesurer l’énergie *du site entier*. La *précision* de ces compteurs devrait être considérée dans le *Plan de M&V*, ainsi qu’une façon de comparer ses lectures aux lectures du compteur du fournisseur d’électricité.

4.9.6 Option C : Coût

Le coût de l’Option C dépend de la source des données d’énergie et de la difficulté du cheminement des *facteurs statiques* dans le *périmètre de mesure* pour permettre d’effectuer les *ajustements non périodiques* pendant la *période de suivi*. Le compteur du fournisseur d’énergie ou un sous-compteur existant fonctionne bien si les données du compteur sont correctement enregistrées. Ce choix n’exige aucun coût supplémentaire.

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

4.9.7 Option C : Les meilleures applications

L’Option C est mieux appliquée dans les cas pour lesquels :

- En plus *des MCE*, la performance énergétique *du site entier* sera également évaluée.
- Il y a beaucoup de types de *MCE* dans le *site*.
- *Les MCE* incluent des activités dont la consommation d’énergie individuelle est difficile à mesurer séparément (par exemple, la formation de l’opérateur et l’amélioration des mur ou des fenêtres).
- Pendant la *période de suivi*, les *économies* sont importantes comparées aux variations dans les données de la *situation de référence* (voir Annexe B-1.2).
- Quand les techniques d’isolement des *MCE* (option A ou B) sont excessivement complexes. Par exemple, quand *les effets interactifs* ou les interactions entre *les MCE* sont substantielles.
- Des changements majeurs futurs *au site* ne sont pas prévus pendant la *période de suivi*.
- Un système de suivi *des facteurs statiques* peut être établi pour permettre d’effectuer les ajustements futurs non périodiques possibles.
- Des corrélations raisonnables peuvent s’établir entre la consommation d’énergie et *d’autres variables indépendantes*.

4.10 Option D : Simulation calibrée

L’Option D nécessite l’utilisation d’un logiciel de simulation, dans le but de prévoir l’énergie *du site* pour l’une ou l’autre limite de l’équation 1.

Un *modèle de simulation* doit être « calibré », de sorte qu’il prévoie un modèle d’énergie convenant approximativement aux données mesurées.

A l’instar de l’Option C, l’Option D peut être utilisée pour évaluer la performance de *toutes les MCE d’un site*. Toutefois, l’outil de simulation de l’Option D permet d’évaluer également les *économies attribuables à chaque MCE*, dans un projet de *MCE multiples*.

En outre, l’Option D peut servir à évaluer la performance *des systèmes individuels d’un site*, comme le font les options A et B. Dans ce cas, la *consommation d’énergie* des systèmes doit être isolée de *celle du reste du site* par des compteurs appropriés, comme discuté dans les chapitres 4.4 et 4.8.

L'Option D est utile lorsque :

- Les données d'*énergie* de la *période de référence* n'existent pas ou ne sont pas disponibles. Une telle situation peut se présenter dans deux cas :
 - Un nouveau *site* dont les mesures d'efficacité énergétique nécessitent d'être évaluées séparément du reste du *site*,
 - Un groupement de *sites* mesuré, où il n'existe aucun compteur individuel de *site* pour la *période de référence*, mais où les compteurs seront disponibles après l'installation des MCE.
- Les données d'*énergie* de la *période de suivi* ne sont pas disponibles, ou cachées par des facteurs qu'il n'est pas aisé de mesurer. Il est parfois trop difficile de prévoir comment les changements futurs d'un *site* pourront affecter la consommation d'*énergie*. Des modifications intervenant dans le procédé industriel ou de nouveaux équipements rendent souvent inexact le calcul des *ajustements non périodiques*, ce qui, dans le cadre des options A, B ou C, créerait une erreur excessive dans la détermination des *économies*.
- L'on veut déterminer les *économies* liées aux MCE individuelles, mais les *mesures* imposées par les options A ou B sont trop difficiles ou coûteuses.

Lorsque la consommation d'*énergie* de la *période de suivi* est prédite par le logiciel de simulation, les *économies* déterminées ne persistent que si les modes de fonctionnement simulés demeurent inchangés. Les inspections périodiques identifieront les modifications affectant les conditions de la *période de référence* et la performance des équipements modélisés (voir le chapitre 4.8.1.2). La simulation devrait être ajustée en conséquence.

L'Option D est l'approche principale de M&V pour évaluer les additions de MCE dans la conception de nouveaux *sites*. En partie I du volume III de l'IPMVP, la section intitulée « Concepts et options pour la détermination des *économies* dans la nouvelle construction » fournit des conseils détaillés sur une variété de techniques de M&V pour les nouveaux bâtiments. Cette même Partie I présente, en particulier, des défis quant à l'établissement de la *base de référence* de bâtiments qui se révèlent moins efficaces que prévus lors de leur conception.

La *précision* de la modélisation informatique et de son calibrage à partir de données d'*énergie* mesurées, constitue le défi majeur de l'Option D. Pour contrôler les coûts de cette méthode, tout en maintenant une *précision* raisonnable, il est nécessaire de considérer les points suivants :

- L'analyse de simulation doit être effectuée par du personnel qualifié, ayant l'expérience du logiciel choisi et des techniques de calibrage.
- Les données d'entrée doivent correspondre aux informations disponibles les plus fiables, incluant, si possible, les données réelles de performance concernant les éléments principaux du *site*.
- Les données de simulation doivent être ajustées, afin que ses résultats coïncident avec les données d'appel de puissance et de consommation des factures mensuelles du fournisseur d'*énergie*, à l'intérieur d'une marge de tolérance acceptable, c'est-à-dire « calibrée ». Une différence faible entre les consommations d'*énergie* annuelles cumulées, prévue et réelle, reste toujours une preuve insuffisante que la simulation prévoit le comportement énergétique réel du *site* (voir chapitre 4.10.2).
- L'Option D exige une documentation de qualité : une copie imprimée et une version électronique des résultats de la simulation, les sondages de données et les données de *mesure* ou de contrôle utilisés pour définir les valeurs d'entrée et calibrer le *modèle de simulation*, doivent être conservés. Le numéro de la version du logiciel doit être déclaré, de sorte que d'autres personnes puissent revoir les calculs.

ASHRAE 2002 fournit des détails techniques sur une méthode semblable et sur les modèles de simulation de calibrage des factures du fournisseur d'*énergie*.

Les types de bâtiments qui ne sont pas aisément simulables, incluent :

- de grands atriums;
- une part importante du volume en sous-sol;
- des formes extérieures peu communes;
- des configurations d'ombres complexes;
- un grand nombre de zones de contrôle de températures distinctes.

Certaines MCE de bâtiments ne peuvent être simulées facilement dont :

- l'addition de barrières radiantes dans des attiques;
- des modifications complexes affectant les systèmes de CVC.

4.10.1 Option D : Types de programmes de simulation des bâtiments

Les informations relatives aux *différents types de modèles de simulation de bâtiments* peuvent être trouvées dans le chapitre 6.3 d'ASHRAE (2002), ainsi que dans l'Annexe C spécifique au pays utilisateur du présent document.

Les programmes de simulation des bâtiments se basent généralement sur les techniques de calculs horaires. Toutefois, une procédure simplifiée d'analyse de la consommation d'énergie telle que les méthodes « modified bin » et les modèles de simulation CVC sur tableurs, peut également être utilisée si les pertes ou les gains thermiques du bâtiment, les charges internes, et les systèmes de CVC sont simples.

D'autres types de programmes spécialisés sont utilisés pour simuler la consommation d'énergie et le fonctionnement de dispositifs ou de procédés industriels.

Tout logiciel utilisé doit être bien documenté et bien compris par l'utilisateur.

4.10.2 Option D : Calibrage

Les *économies* déterminées dans le cadre de l'Option D sont basées sur une ou plusieurs *évaluations* complexes de l'utilisation. La *précision* des *économies* dépend de la qualité des modèles de simulation concernant les équipements et de la façon dont ils sont calibrés par rapport à la performance énergétique mesurée.

Le calibrage est réalisé par la vérification de l'adéquation de la prévision du *modèle de simulation*, en ce qu'il prévoit raisonnablement les formes de consommation d'énergie du *site*, en comparant les résultats du modèle à un ensemble de données de calibrage. Ces données de calibrage incluent des données de consommation d'énergie mesurées, les variables indépendantes et les *facteurs statiques*.

Le calibrage des simulations des bâtiments est fait habituellement à partir de 12 factures mensuelles relatives au *site*. Ces factures devraient être celles d'une période de fonctionnement stable. Pour un nouveau bâtiment, cela peut prendre un certain nombre de mois avant l'occupation complète et avant que le personnel développe les meilleures façons pour faire fonctionner le *site*. Les données de calibrage devraient être documentées dans le *Plan de M&V* avec une description de ses sources.

Les données détaillées du fonctionnement du *site* aident à développer les données de calibrage. Ces données peuvent inclure des caractéristiques de fonctionnement, les modalités d'occupation, les données climatiques, les charges thermiques et l'efficacité des équipements. Certaines variables peuvent être mesurées sur de courts intervalles (jour, semaine ou mois) ou être extraites de consignes de fonctionnement existantes. La *précision* des compteurs devrait être vérifiée pour les activités critiques de *mesurage*. Si les ressources le permettent, les systèmes de ventilation et les pertes par infiltration des bâtiments devraient être mesurés, ces données diffèrent souvent des prévisions. Des *mesures* ponctuelles peuvent améliorer la *précision* de la simulation sans coût additionnel important. Les tests de *cycle* de marche/arrêt peuvent permettre la *mesure* des systèmes d'éclairage, des charges des circuits de prises de courant et des moteurs. Ces essais peuvent être effectués une fin de semaine en utilisant un enregistreur de données ou le système de gestion technique du bâtiment qui enregistre la

consommation d'*énergie* du *site* entier, généralement par intervalles d'une minute. Dans certains cas, pour des *mesures* à court terme, il est également efficace d'employer des enregistreurs portables peu coûteux, synchronisés avec une horloge-mère commune. (Benton et al. 1996, Houcek et al. 1993, Soebarto 1996).

Après la collecte du maximum possible de données de calibrage, les étapes du calibrage de la simulation sont les suivantes :

1. Estimer les autres paramètres d'entrée nécessaires, et les documenter.
2. Pour la période de calibrage, collecter, autant que possible, les données relatives au climat, surtout si celui-ci a beaucoup changé par rapport à l'année de référence dans les simulations de base. Cependant, obtenir et préparer les données climatiques pour utiliser dans une simulation pourrait être une perte de temps et d'argent. Si le développement des données climatiques est trop difficile, il faudra donc ajuster un fichier type de données climatiques aussi proche que possible des conditions réelles en utilisant des méthodes statistiques valides. Voir, dans l'Annexe C spécifique au pays utilisateur, les règles à appliquer.
3. Effectuer les simulations et vérifier qu'elles prévoient des paramètres d'exploitation, tels que la température et l'humidité.
4. Pour la période de calibrage, comparer les résultats de consommation d'*énergie* simulés avec les données d'*énergie* mesurées sur une base horaire ou mensuelle.
5. Évaluer la régularité des différences entre les résultats des simulations et les données de calibrage. Les diagrammes à barres, les graphiques de temps mensuels et les diagrammes x-y aident à identifier les erreurs. Le chapitre 6.3 d'ASHRAE (2002) fournit des informations sur la *précision* du calibrage qui devrait être établie dans le *Plan de M&V* en fonction du budget.
6. Réviser les données d'entrée de l'étape 1. Itérer les étapes 3 et 4. Lors de chaque passe, effectuer l'étape 5 sur les données de simulation obtenues. Recueillir, si nécessaire, un plus grand nombre de données d'exploitation du *site*, pour s'approcher des contraintes du calibrage.

La création et le calibrage d'une simulation peuvent exiger beaucoup de temps. Utiliser des données de consommation d'*énergie* mensuelles plutôt qu'horaires permet d'en limiter les conséquences.

4.10.3 Option D : Calculs

Suivant le *modèle de simulation* calibrée, l'équation 1) peut être appliquée en utilisant deux versions du modèle calibré : l'une avec les MCE, l'autre sans les MCE. Les deux versions emploieraient le même ensemble de conditions de fonctionnement. L'équation 1) devient alors :

Économies = *énergie de période de référence* du modèle calibré sans MCE

– *énergie de période de suivi* du modèle calibré avec MCE

1f)

Cette version de l'équation 1), dans le cadre de l'Option D, présume que l'erreur de calibrage affecte les deux modèles.

Si les données réelles de consommation d'*énergie* sont disponibles pour la *période de référence* ou de la *période de suivi*, les termes du modèle calibré associé dans l'équation 1f) peuvent être remplacés par la consommation d'*énergie* mesurée. Toutefois, il est nécessaire d'ajuster le calcul d'erreur de calibrage pour chaque pas d'un mois de la période de calibrage.

Dans le cas où les données de la période de calibrage sont utilisées à partir de la *période de suivi*, l'équation 1f) devient alors :

Économies = énergie de période de référence du modèle calibré sans MCE – énergie de période de calibrage (avec MCE) +/- erreur de calibrage dans la lecture du calibrage correspondant

1g)

4.10.4 Option D : Suivi en continu des économies

Si l'évaluation de performances sur plusieurs années est requise, l'Option D peut être employée pour la première année après l'installation des MCE. Par la suite, l'Option C peut être moins coûteuse que l'Option D si les données du compteur de la première année de fonctionnement régulier après l'installation sont employées en tant que *base de référence*. L'Option C est employée pour déterminer si la consommation d'énergie change après la première année de fonctionnement suite à l'installation des MCE. Dans cette situation, la consommation d'énergie durant la première année de fonctionnement régulier serait employée; a) pour calibrer un *modèle de simulation* de l'Option D; b) pour établir une *base de référence* de l'Option C pour mesurer les économies (ou les pertes) additionnelles pour la deuxième année et les suivantes.

4.10.5 Option D : Les meilleures applications

L'Option D est habituellement employée là où aucune autre option n'est faisable.

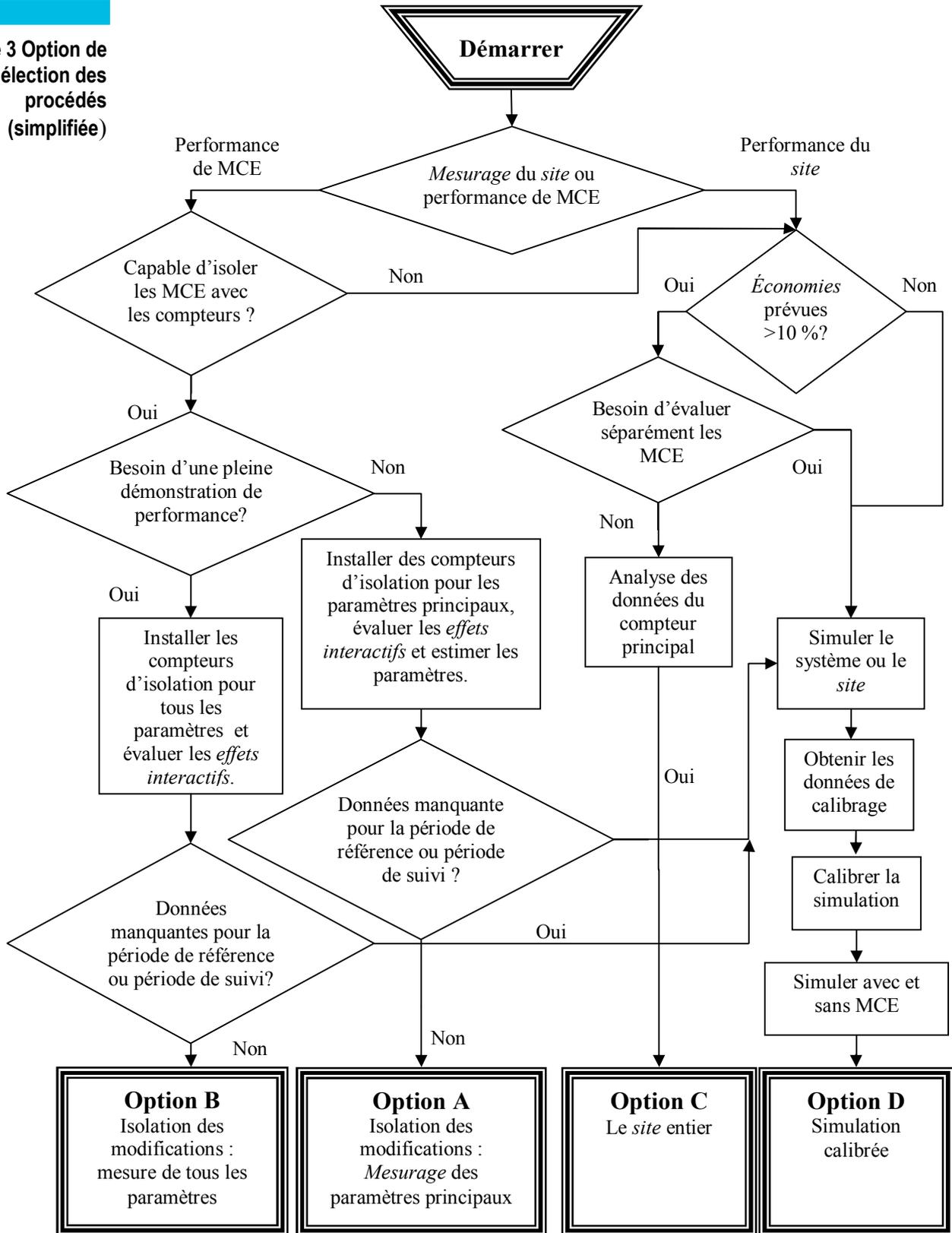
L'Option D est la mieux appliquée là où :

- Soit les données de consommation d'énergie de la *période de référence* ou les données de consommation d'énergie de la *période de suivi*, mais pas toutes les deux, est indisponible ou peu fiable.
- Il y a un grand nombre de MCE à évaluer en utilisant les options A ou B.
- Les MCE impliquent des activités diffuses, qui ne peuvent pas être facilement isolées du reste du *site*, telles que la formation de l'opérateur et l'amélioration énergétique des murs et des fenêtres.
- La performance de chaque MCE sera évaluée individuellement dans un projet de MCE multiples, mais les coûts des options A et B sont excessifs.
- Les interactions entre les MCE et les *effets interactifs* des MCE sont complexes, et ne rendent pas les techniques d'isolement des MCE des options A et B pratiques.
- Des changements futurs majeurs au *site* sont prévus pendant la *période de suivi*, et il n'y a aucun moyen de suivre les changements et évaluer leurs effets sur la consommation d'énergie.
- Un professionnel expérimenté de la simulation d'énergie est capable de recueillir des données d'entrée pour calibrer le *modèle de simulation*.
- Le *site* et les MCE peuvent être modélisés par des logiciels de simulation bien documentés.
- Le logiciel de simulation prévoit les données mesurées de calibrage avec une *précision* acceptable.
- La performance d'une seule année est mesurée immédiatement après l'installation et la mise en service du programme de gestion de l'énergie.

4.11 Guide de sélection des options

Le choix d'une des options proposées par l'IPMVP, dans le cadre de tout projet, relève d'une décision prise par le concepteur du *Plan de M&V*, laquelle se fonde sur un ensemble de conditions, d'analyses, de budgets, de conditions, et de jugement professionnel. La figure 3, donne un aperçu de la logique commune appliquée dans le processus de sélection de la meilleure option applicable.

Figure 3 Option de sélection des procédés (simplifiée)



Il est impossible de généraliser, en matière d'options proposées par l'IPMVP : il n'en existe pas « une meilleure » qui réponde à toutes les situations, même si certaines caractéristiques clés des projets engagent à des options préférables comme le montre le Tableau 3.

Caractéristiques MCE du projet	Options suggérées			
	A	B	C	D
Besoin d'évaluer individuellement <i>les MCE</i> .	X	X		X
Besoin d'évaluer seulement la performance <i>du site entier</i> .			X	X
Les économies prévues sont inférieures à 10 % du compteur du fournisseur <i>d'énergie</i> .	X	X		X
<i>MCE</i> multiples.	X		X	X
La signification de quelques variables de consommation <i>d'énergie</i> n'est pas claire.		X	X	X
<i>Les effets interactifs</i> des <i>MCE</i> sont importants ou non mesurables.			X	X
Changements prévus dans <i>le périmètre de mesure</i> .	X			X
Une <i>évaluation</i> de la performance à long terme est nécessaire.	X		X	
Les données de <i>la période de référence</i> ne sont pas disponibles.				X
Le personnel de formation non technique doit comprendre les rapports.	X	X	X	
Les compétences en <i>mesurage</i> sont disponibles.	X	X		
Les compétences de simulation par ordinateur sont disponibles.				X
Expérience en lecture de factures du fournisseur <i>d'énergie</i> et réalisation d'analyse de régression disponible.			X	

Tableau 3

Les options suggérées (pas toutes) sont marquées du signe X

CHAPITRE 5 CONTENU DU PLAN DE M&V

La préparation d'un *Plan de M&V* est une étape recommandée pour déterminer les économies. La planification anticipée garantit la disponibilité de toutes les données nécessaires à cette opération après la mise en place d'une ou de plusieurs *MCE*, et ce, à l'intérieur d'un budget acceptable.

Les données relatives à *la base de référence* et celles, détaillées *des MCE*, courent le risque d'être perdues ou oubliées, après un certain temps. Il faut donc les enregistrer pour consultation ultérieure au cas où les conditions changeraient ou *les MCE* échoueraient. Cette documentation doit être facile à retrouver, et aisée à comprendre par les vérificateurs et autres intervenants, car plusieurs années pourraient passer avant que ces données ne soient nécessaires.

Un *Plan de M&V* complet devrait comporter les 13 points suivants :

1. **But des MCE** Décrire *les MCE*, le résultat attendu, et les procédures de mise en service qui seront employées pour vérifier le succès de la mise en oeuvre de chacune d'elles. Signaler tous les changements prévus affectant les conditions de *la situation de référence*, comme le réglage de la température des bâtiments inoccupés.
2. **Options de l'IPMVP sélectionnées et périmètre de mesure** : Sélectionner une option de l'IPMVP, parmi celles définies aux chapitres 4.8, 4.9 et 4.10, qui sera employée pour déterminer les *économies*. L'identifier, en précisant la date de publication ou le numéro de la version, ainsi que le numéro du volume de l'édition retenue de l'IPMVP (par exemple : volume 1 de l'IPMVP, EVO 10000-1 : 2010 Fr)). Établir le *périmètre de mesure* pour la détermination des *économies*. La limite peut être aussi étroite que le flux d'énergie au travers d'un tuyau ou d'un câble, ou aussi étendue que la consommation totale d'énergie d'un ou de plusieurs bâtiments. Décrire la nature de tout effet interactif au-delà du *périmètre de mesure* et leurs conséquences possibles (voir le chapitre 4.4).
3. **Situation de référence : période, énergie et conditions** Documenter les conditions et les données de consommation d'énergie *durant la période de référence du site* à l'intérieur du *périmètre de mesure*. (Dans les contrats de performance écoénergétique, la consommation d'énergie et les conditions spécifiques de *la situation de référence* peuvent être définies soit par le propriétaire, soit par *l'entreprise de services écoénergétiques* (ESE). Pour autant que l'autre partie bénéficie de l'opportunité de les vérifier).

Un audit énergétique mené pour établir les objectifs d'un programme d'économie ou les termes d'un *contrat de performance écoénergétique* fournit généralement la plupart sinon toute la documentation de *la situation de référence* nécessaire au *Plan de M&V*. Cette documentation spécifique à *la situation de référence* doit présenter :

- a) L'identification de la *période de référence* (chapitre 4.5.1)
- b) Toutes les données de demande et de consommation d'énergie de la *période de référence*.
- c) Toutes les données des *variables indépendantes* coïncidant avec les données de la consommation d'énergie (par exemple, le taux de production et la température ambiante).
- d) Tous les *facteurs statiques* correspondant aux données de consommation d'énergie :
 - Type, densité et périodes d'occupation.
 - Les conditions de fonctionnement pour chaque *situation de référence* et chaque saison, autres que *les variables indépendantes*. Par exemples, dans un procédé industriel, les conditions de fonctionnement de *la situation de référence* peuvent inclure les types de produits et de matières premières traités et le nombre d'équipes de travail par jour. Dans un bâtiment, les conditions de fonctionnement

durant la *période de référence* peuvent inclure le niveau d'éclairage, le niveau d'humidité de la température ambiante et les niveaux de ventilation. Une *évaluation* du confort thermique ou de la qualité de l'environnement intérieur (QEI) peut également s'avérer utile, dans les cas où le nouveau système a une performance différente de l'ancien qui est inefficace (voir le volume II de l'IPMVP).

- Description de toutes les conditions de *la situation de référence* qui font défaut aux conditions requises. Par exemple, un espace sous-chauffé dont les MCE vont restaurer la température désirée. On détaillera tous les ajustements nécessaires aux données de la consommation d'énergie de la *période de référence*, afin que soient reflétées les améliorations attendues dans le cadre du programme de gestion de l'énergie.
- Taille, type, et isolement de tous les éléments constitutifs de l'enveloppe du bâtiment, comme les murs, les toits, les portes et les fenêtres.
- Inventaire d'équipement : données des plaques d'identification, emplacement et condition. Les photographies ou enregistrements vidéo sont des manières efficaces d'historiser l'état de l'équipement.
- Les pratiques en matière de fonctionnement de l'équipement (les programmes et les points de consigne, températures et pressions).
- Pannes ou problèmes importants concernant cet équipement pendant la *période de référence*.

La documentation de *la situation de référence* exige généralement des audits bien documentés, des enquêtes sérieuses, des inspections approfondies ou des activités de *mesure* de court terme. L'ampleur de cette information dépend du *périmètre de mesure* choisi, ou de la portée souhaitée des *économies*.

Lorsque les méthodes de M&V du site entier sont employées (chapitre 4.9 ou 4.10), tous les équipements et les conditions du site doivent être documentés.

4. **Période de suivi** Identifier la *période de suivi*. Elle peut être aussi brève que le temps d'une *mesure* instantanée pendant la mise en service de la MCE, ou aussi longue que le temps nécessaire à recouvrir le coût de l'investissement du programme de MCE (voir le chapitre 4.5.2).
5. **Base pour l'ajustement** Définir l'ensemble des conditions auxquelles toutes les *mesures* de consommation d'énergie seront ajustées. Elles peuvent être celles de la *période de suivi* ou d'un autre ensemble de conditions. Ce choix détermine, comme le signale le chapitre 4.6 de ce document, si les *économies* sont rapportées comme *énergie* évitée (chapitre 4.6.1) ou *économies* normalisées (chapitre 4.6.2).
6. **Procédure d'analyse** Spécifier la procédure exacte d'analyse des données et les algorithmes et hypothèses à employer pour chaque rapport de suivi des *économies*. Pour chaque modèle mathématique utilisé, il est nécessaire de formuler tous ses termes ainsi que la gamme de variables indépendantes pour laquelle il est valide.
7. **Prix de l'énergie** Indiquer les prix de l'énergie pris en compte pour évaluer les *économies* et, le cas échéant, montrer comment les *économies* seront ajustées aux futures modifications de prix (voir chapitre 8.1).
8. **Caractéristiques des compteurs** Lister les points de *mesure* et la(les) période(s), si la *mesure* n'est pas continue. Pour les compteurs autres que ceux mis à disposition par les fournisseurs d'énergie, énumérer : les caractéristiques de la *mesure*, le relevé des compteurs et le protocole de présence lors de la *mesure*, la procédure de mise en service des compteurs, les procédés de calibration périodique et la méthode de traitement des données perdues (voir le chapitre 8.11.1).
9. **Responsabilités de suivi** Assigner les responsabilités du suivi et de l'enregistrement des données énergétiques, les variables indépendantes et les *facteurs statiques* à l'intérieur du *périmètre de mesure*, pendant la *période de suivi*.

10. **Précision attendue** Évaluer la *précision* attendue liée à la *mesure*, à la saisie des données, à leur prélèvement et leur analyse. Cette *évaluation* devrait inclure des *mesures* qualitatives et toutes les *mesures* quantitatives possibles du niveau des incertitudes de la *mesure* et des ajustements nécessaires dans le rapport de suivi des *économies* planifié (voir le chapitre 8.3 et l'Annexe B).
11. **Budget** Définir le budget et les ressources requises pour déterminer les coûts initiaux établis ainsi que les coûts continus de la *période de suivi*.
12. **Format des rapports** Expliquer comment les résultats seront documentés et rapportés (voir le chapitre 6). Un modèle de chaque rapport devra être joint.
13. **Assurance qualité** Indiquer les procédures d'assurance qualité qui serviront aux rapports de suivi des *économies* et toute activité intérimaire dans la préparation des rapports.

En fonction des circonstances particulières dans lesquelles se déroule chaque projet, d'autres sujets spécifiques devraient également être discutés dans *un Plan de M&V* complet:

Pour l'Option A :

- **Justification des évaluations** Présenter les valeurs à employer pour toutes les valeurs estimées. Expliquer la source de ces valeurs estimées. Montrer l'importance globale de ces *hypothèses* en fonction du total des *économies* prévues en présentant la gamme d'*économies* possibles liées aux valeurs probables des paramètres *estimés*.
- **Inspections périodiques** Décider des inspections périodiques à effectuer pendant *la période de suivi* afin de vérifier que l'équipement est toujours en place et qu'il opère selon les valeurs estimées établies.

Pour l'Option D :

- **Identification du logiciel** Indiquer le nom et le numéro de la version du logiciel de simulation choisi.
- **Données d'entrée/de sortie** Fournir une copie papier et une copie électronique des fichiers de données d'entrée, de sortie, et climatiques utilisés pour la simulation.
- **Données mesurées** Noter les paramètres qui ont été mesurés et ceux estimés. Décrire le procédé d'obtention des données mesurées.
- **Calibrage** Présenter les données énergétiques et fonctionnelles utilisées pour le calibrage ainsi que *la précision* avec laquelle les résultats de la simulation correspondent aux données énergétiques de calibrage.

Dans le cas où la situation permet d'anticiper la nature des changements futurs, il faudra définir la méthode par laquelle on procédera aux *ajustements non périodiques* appropriés.

Le temps requis et les budgets annoncés (point 11, ci-dessus) se révèlent souvent sous-estimés, amenant, de ce fait, à une collecte incomplète des données. Il est préférable d'élaborer *un Plan de M&V* moins précis et moins coûteux plutôt qu'un document incomplet ou mal fait, théoriquement plus précis, mais non fondé. Le chapitre 8.5 traite des compromis entre les coûts et avantages.

Certains problèmes rencontrés au cours de la phase de conception de *Plans de M&V* sont abordés dans les exemples montrés à l'Annexe A. Par ailleurs, le site Web d'EVO (www.evo-world.org) offre un grand choix de modèles de *Plans de M&V* à consulter.

CHAPITRE 6 SUIVI DU PLAN DE M&V

Les rapports de M&V doivent être préparés et présentés comme décrits dans le *Plan de M&V* (voir chapitre 5 : Contenu du *Plan de M&V*).

Ils doivent comporter au moins :

- Les données observées pendant la *période de suivi* : début et fin de la période de *mesurage*, données de consommation d'*énergie* et valeurs des variables indépendantes.
- La description et la justification de toutes les corrections apportées aux données observées.
- Pour l'Option A, les valeurs estimées convenues.
- Le tableau des tarifs de l'*énergie* utilisé.
- Les détails de tous les *ajustements non périodiques* effectués par rapport à la *situation de référence* : explication du changement des conditions depuis la *période de référence*, faits et hypothèses observés et calculs d'ingénierie menant aux ajustements.
- Les *économies* calculées en unités énergétiques et monétaires.

Les rapports de M&V doivent être rédigés de façon à être facilement compréhensibles de leurs lecteurs.

Les gestionnaires d'*énergie* doivent réexaminer ces rapports de avec le personnel *du site*. De telles « révisions » peuvent révéler des informations utiles concernant la consommation d'*énergie* du *site* et ses spécificités, et la façon avec laquelle le personnel pourra bénéficier des informations supplémentaires sur les caractéristiques de consommation d'*énergie* de *leur site* .

CHAPITRE 7 ADHÉSION À L'IPMVP

L'IPMVP propose un cadre de définitions et de méthodes pour évaluer correctement *les économies* relatives à la consommation ou à la demande *d'énergie* et de l'eau. L'IPMVP guide les spécialistes dans le développement de *Plans de M&V* pour des projets spécifiques. Il est rédigé pour leur permettre un maximum de flexibilité dans la création des *Plans de M&V*, tout en étant précis, complet, conservateur, cohérent, pertinent et transparent (voir le chapitre 3).

Les utilisateurs adhérant à l'IPMVP doivent :

1. Identifier la personne chargée d'approuver le *Plan* spécifique de *M&V* du *site*, et de s'assurer que celui-ci soit appliqué tout au long de *la période de suivi*.
2. Développer un *Plan de M&V* complet qui :
 - précise clairement la date de la publication ou le numéro de la version de l'édition, et le volume de l'IPMVP utilisé;
 - respecte la terminologie préconisée par la version citée de l'IPMVP;
 - inclut toutes les informations mentionnées dans le chapitre du *Plan de M&V* (chapitre 5 de l'édition actuelle);
 - soit approuvé par toutes les parties intéressées à l'adhésion à l'IPMVP;
 - se conforme aux principes *des M&V* mentionnés au chapitre 3.
3. Suivre le *Plan de M&V* approuvé.
4. Préparer des rapports de suivi des *M&V* contenant les informations indiquées au chapitre 6 : Suivi du *Plan de M&V*.

Les professionnels souhaitant spécifier l'adhésion à l'IPMVP dans un *contrat de performance écoénergétique* ou dans un échange de certificats de réduction d'émissions de gaz à effet de serre, peuvent utiliser la formule suivante : « La détermination *des économies* énergétiques et monétaires suivra les meilleures pratiques en vigueur, comme défini dans le volume I de l'IPMVP, EVO 10000 - 1:2010 (Fr) ».

La spécification peut aller jusqu'à inclure : « Le *Plan de M&V* devra se conformer au volume I de l'IPMVP, EVO 10000 - 1:2010 (Fr), et être approuvé par... », et ajouter, dans le cas où elle est connue au moment de l'approbation : « suivant l'option l'IPMVP... ».

CHAPITRE 8 M&V - QUESTIONS COURANTES

Au-delà du cadre de travail de base décrit au chapitre 4, le concepteur *du Plan de M&V* se heurte, en général, à un certain nombre de questions courantes, indépendamment de l'option choisie. Ces questions font l'objet de ce chapitre.

8.1 Application des prix de l'énergie

Les *économies*¹⁴ monétaires résultent de l'application du tarif approprié dans l'équation suivante :

Les *économies* du coût = $C_b - C_r$

2)

où :

C_b = coût de l'énergie en période de référence + ajustements¹⁵

C_r = coût de l'énergie en période de suivi + ajustements

Les *économies* monétaires doivent être déterminées par l'application du même tarif dans le calcul de C_b et C_r .

Quand les conditions de *la période de suivi* sont employées comme base pour rapporter les *économies d'énergie* (c'est-à-dire la consommation évitée de l'énergie chapitre 4.6.1), le tarif applicable durant *la période de suivi* est normalement employé pour calculer « le coût évité ».

Des exemples de l'application des tarifs de l'énergie se trouvent dans les exemples de l'Annexe A.

8.1.1 Tarifs

La structure des prix devrait être obtenue du fournisseur *d'énergie*. Cette structure devrait inclure tous les éléments qui sont affectés par les structures tarifaires, tels que les frais de consommation, les frais liés aux pointes d'appel de puissance, les crédits de transformateur, les facteurs de puissance, la fluctuation de la demande, les ajustements du prix des carburants, les escomptes de paiement, et les taxes.

Ces tarifs peuvent changer dans le temps, en fonction des dates de lecture du compteur. Par conséquent, C_b et C_r dans l'équation 2 devraient être calculés pour des périodes exactement alignées avec les dates de changement des prix des fournisseurs *d'énergie*. Cet alignement peut exiger une attribution estimée des quantités aux périodes avant et après la date de changement des prix. La méthodologie d'attribution devrait être identique à celle employée par le fournisseur *d'énergie*.

Le tarif sélectionné peut être fixé à la date de l'installation *des MCE*, ou changé selon le changement des prix. (Les prix en hausse raccourciront la période de remboursement des *MCE*. Les prix en baisse rallongeront la période de remboursement bien que le coût total de l'énergie chute quand les prix chutent.) Quand un tiers investit sur *le site* d'un propriétaire, le tarif applicable pour le suivi des *économies* ne doit normalement pas descendre sous le prix qui prévaut au moment de l'engagement à l'investissement.

¹⁴ Voir chapitre 9 pour la définition du terme : *économies*, et le chapitre 4.6 pour la différence entre *économies d'énergie* et *énergie évitée ou économies normalisées*. La même explication s'applique à la différence entre *économies sur les coûts* et *coûts évités ou économies normalisées des coûts*.

¹⁵ Les ajustements sont ceux décrits au chapitre 4.

8.1.2 Coûts marginaux

Une procédure alternative pour évaluer les *économies* implique la multiplication des unités *d'énergie* économisées par le coût marginal de *l'énergie*. Il faut s'assurer que le coût marginal soit valide pour le niveau de la consommation et de l'appel de puissance lors des périodes *de référence* et *de suivi*.

La *moyenne*, ou les prix combinés, déterminés en divisant le coût affiché par la consommation affichée, sont souvent différents des coûts marginaux. Dans ce cas, les prix *moyens* créent des rapports imprécis des *économies* générées et ne doivent pas être employés.

8.1.3 Commutation de combustible et changements tarifaires

La stratégie générale du chapitre 8.1 d'appliquer le même barème de prix pour *l'énergie* durant les périodes *de référence* et *de suivi*, présente quelques considérations spéciales quand *les MCE* créent un changement du type de carburant ou un changement du barème de prix entre les périodes *de référence* et *de suivi*. De telles situations surgissent, par exemple, quand la *MCE* inclut une conversion à un combustible de coût inférieur, ou lors d'un changement du profil de consommation *d'énergie* de sorte que *le site* se qualifie pour une structure tarifaire différente.

Dans de telles situations, le tarif de *la période de référence* doit être utilisé pour déterminer C_b dans l'équation 2. Pour C_r , il doit être déterminé en utilisant le tarif de *la période de suivi*. Cependant, les deux tarifs seraient souvent les mêmes pour la même période de temps, soit *la période de suivi*.

Par exemple, si la source de production de chaleur passe de l'électricité au gaz naturel, et qu'il est proposé d'employer les prix de *la période de suivi*, alors le tarif de l'électricité de *la période de suivi* pour toute l'électricité serait employé pour C_b . Le tarif de gaz naturel de *la période de suivi* pour la nouvelle consommation de gaz, et le tarif de l'électricité de *la période de suivi* pour le reste de la consommation d'électricité, seraient utilisés par C_r .

Toutefois ce changement intentionnel de tarif ne s'applique pas si le changement ne fait pas partie *des MCE* évaluées. Par exemple, si le fournisseur *d'énergie* changeait les structures de ses prix pour aucune raison liée à *une MCE* évaluée, le principe général d'employer le même tarif pour C_b et C_r , du chapitre 8.1 s'applique toujours.

8.2 Ajustements (non périodiques) de la base de référence

Les conditions qui changent de façon prévisible et qui sont significatives pour la consommation *d'énergie* dans *le périmètre de mesure*, sont normalement incluses dans le modèle mathématique employé pour les *ajustements périodiques*, décrit au chapitre 4.6. Dans le cas ou des modifications inattendues ou uniques des conditions, usuellement statiques, se produisent à l'intérieur du *périmètre de mesure*, des *ajustements non périodiques*, également appelés ajustements de la *base de référence*, doivent être effectués (voir également chapitre 4.6).

Les *ajustements non périodiques* sont nécessaires quand un changement se produit au niveau de l'équipement ou de l'exploitation dans *le périmètre de mesure* après *la période de référence*. Ce genre de changement s'applique à *un facteur statique* et non à *des variables indépendantes*. Par exemple, *une MCE* a amélioré l'efficacité d'un grand nombre d'appareils d'éclairage. Quand d'autres appareils ont été placés postérieurement à la mise en oeuvre d'une *MCE*, un ajustement non périodique a été effectué. La consommation *d'énergie* évaluée des appareils d'éclairage supplémentaires a été ajoutée à la consommation *d'énergie de la base de référence* de sorte que les vraies *économies des MCE* soient rapportées.

Les valeurs estimées pour l'usage de l'Option A de l'IPMVP sont habituellement choisies pour éliminer le besoin des ajustements en cas de changements à l'intérieur du *périmètre de mesure* (voir le chapitre 4.8.1). Par conséquent, les *ajustements non périodiques* peuvent être évités en utilisant l'Option A. Par exemple, la charge frigorifique d'une centrale thermique de refroidissement a été évaluée plutôt que mesurée afin de déterminer les *économies* créées par une *MCE* pour l'efficacité d'un refroidisseur, en utilisant l'Option A. Après la rénovation,

l'addition de superficie au *site* a augmenté la charge frigorifique à l'intérieur du *périmètre de mesure*. Cependant, puisque l'Option A a été choisie en utilisant une charge frigorifique fixe, les *économies* rapportées sont inchangées. L'utilisation de l'Option A a évité le besoin d'un ajustement non périodique.

Les conditions de *la situation de référence* doivent être entièrement documentées dans les *Plans de M&V* pour que les changements *des facteurs statiques* puissent être identifiés et que les *ajustements non périodiques* puissent être faits. Il est important d'avoir une méthode pour suivre et rapporter les changements de ces *facteurs statiques*. Le suivi des conditions peut être effectué par un (ou plusieurs) propriétaire(s) *du site*, agents de création des *économies*, ou un tiers vérificateur. Dans le *Plan de M&V*, il faudra préciser qui suivra et rapportera chaque *facteur statique*.

Quand la nature des futurs changements peut être anticipée, la méthode pour effectuer les *ajustements non périodiques* appropriés devrait être incluse dans le *Plan de M&V*.

Les *ajustements non périodiques* sont déterminés à partir de changements réels ou de changements physiques assumés dans l'équipement ou le fonctionnement (*facteurs statiques*). Parfois, il est difficile de mesurer l'impact des changements. Par exemple, s'ils sont nombreux ou ne sont pas bien documentés. Si l'enregistrement de la consommation *d'énergie* du *site* est utilisé pour mesurer l'impact de ces changements, l'impact *des MCE* sur la consommation *d'énergie* du *site* devra être éliminé en utilisant les techniques de l'Option B. L'Option C ne peut pas être employée pour déterminer les *économies* quand le compteur *d'énergie* du *site* est également employé pour mesurer l'impact des changements sur les *facteurs statiques*.

8.3 Rôle de l'incertitude (*Précision*)

La *mesure* de toute quantité physique inclut des erreurs parce qu'aucun instrument de *mesure* n'est précis à 100 %. Les erreurs sont les différences entre la consommation *d'énergie* observée et la vraie consommation. Dans un procédé de détermination *d'économies*, les erreurs empêchent la détermination exacte des *économies*. L'équation 1 implique habituellement au moins deux erreurs de *mesure* (*énergie* pour les périodes *de référence* et *de suivi*) et toute erreur existante dans les ajustements calculés. Pour s'assurer que l'erreur résultante (incertitude) soit acceptable par les utilisateurs des rapports de suivi, il faut s'assurer de contrôler les erreurs inhérentes à la *mesure* et à l'analyse en développant et en mettant en oeuvre le *Plan de M&V*.

Les caractéristiques du procédé de détermination *des économies* qui devraient être soigneusement revues pour gérer *la précision* ou l'incertitude sont :

- Instrumentation - 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.
- Modélisation - l'incapacité de trouver des modèles mathématiques qui expliquent entièrement toutes les variations dans la consommation d'énergie. Les erreurs de modélisation peuvent être dues à une forme inadéquate de fonctionnement, à l'inclusion de variables non pertinentes ou à l'exclusion de variables appropriées.
- Échantillonnage - utilisation d'un échantillon sur la totalité des équipements ou des événements pour représenter la population entière, menant à l'erreur et ayant pour résultat la variation des valeurs obtenues ou l'échantillonnage biaisé. L'échantillonnage¹⁶ peut être fait dans un sens physique (c'est-à-dire seulement 2 % des appareils d'éclairage sont mesurés) ou un sens temporel (*mesure* instantanée seulement une fois par heure).
- *Effets interactifs* (au-delà du *périmètre de mesure*) qui ne sont pas entièrement inclus dans la méthodologie de calcul des *économies*.

¹⁶ Dans ce protocole, l'échantillonnage utilisé ne réfère pas à des procédures statistiques rigoureuses, mais aux règles de l'art comme traitées dans l'annexe B-3.

- *Évaluation* (plutôt que la *mesure*) des paramètres utilisant l'Option A. La variation entre la valeur estimée du paramètre et sa vraie valeur peut être réduite par une révision soigneuse de la conception *des MCE*, l'*évaluation* détaillée du paramètre et l'inspection minutieuse *des MCE* après l'installation.

Les méthodes de quantification, d'*évaluation* et de réduction de certaines de ces incertitudes sont discutées dans l'Annexe B de ce document et dans ASHRAE (2002), section 5.2.11.¹⁷ Voir également Reddy & Claridge (2000) qui applique la méthode standard d'analyse des erreurs pour déterminer les *économies* typiques.

La *précision* acceptable des *économies* d'utilisateurs doit être établie pendant la conception *du Plan de M&V*. Le chapitre 8.5 présente des enjeux pour établir le niveau acceptable d'incertitude pour toute *MCE* ou projet. L'Annexe B-1.2 définit l'ampleur des *économies*, relativement aux variations statistiques des données de *la situation de référence*, pour que les rapports de *M&V* soient valides.

La *précision* de toute valeur mesurée est correctement exprimée comme l'intervalle de valeurs à l'intérieur duquel se trouvera, avec un certain *niveau de confiance*, la vraie valeur. Par exemple, un compteur peut mesurer une consommation de 5 000 unités avec *une précision* de ± 100 unités, avec un *niveau de confiance* de 95 %. Un tel rapport signifie qu'on s'attend à ce que 95 % des relevés de la même valeur seront entre 4 900 et 5 100 unités.

Dans la détermination des *économies*, il est possible de mesurer plusieurs facteurs d'incertitude, mais pas toujours tous les facteurs. Par conséquent, en planifiant le procédé *M&V*, les facteurs d'incertitude quantifiables, tout comme les éléments qualitatifs d'incertitude, seront rapportés. L'objectif est d'identifier et de rapporter tous les facteurs d'incertitude, que ce soit qualitativement ou quantitativement.

Quand la *précision* est décrite dans un rapport de suivi des *économies*, il faut en rapporter les *économies* en utilisant un nombre de *chiffres significatifs* égal au plus petit nombre de *chiffres significatifs* obtenu dans les quantités mesurées, estimées ou *constantes* utilisées lors du procédé de quantification. Voir l'Annexe A-2 pour un exemple de calcul exprimé avec le nombre approprié de *chiffres significatifs*.

8.4 Coût

Le coût de l'*évaluation* des *économies* dépend de plusieurs facteurs comme :

- le choix de l'option de l'IPMVP;
- le nombre de MCE, leur complexité et le nombre d'interactions entre elles;
- le nombre de flux d'*énergie* au travers du *périmètre de mesure* dans les options A, B ou D lorsqu'appliquées à un seul système;
- le niveau du détail et de l'effort associé à l'établissement des conditions de la *situation de référence* nécessaires pour l'option choisie;
- la quantité et complexité de l'équipement de *mesure* (conception, installation, entretien, calibrage, lecture, des investissements);
- la taille des échantillons utilisés;
- la quantité de calculs d'ingénierie requise pour réaliser et soutenir les *évaluations* utilisées dans les options A ou D;
- le nombre et la complexité des variables indépendantes qui sont utilisées dans les modélisations mathématiques;
- la durée de *la période de suivi*;
- le niveau de *précision* requis;
- les conditions du suivi des *économies*;

¹⁷ À noter que, contrairement à la directive 14 d'ASHRAE, l'IPMVP n'exige pas l'inclusion d'incertitude dans les rapports d'*économies*.

- le processus de révision et de vérification des *économies* rapportées;
- l'expérience et la qualification des experts chargés d'effectuer la détermination des *économies*.

Les coûts de *M&V* devraient être appropriés à la dimension des *économies* prévues, à la durée de la période de remboursement des *MCE* et à la *précision* demandée par les utilisateurs des rapports, à la fréquence et la durée du procédé de *suivi*. Souvent, ces coûts peuvent être mutualisés avec d'autres objectifs comme le contrôle en temps réel, la gestion de l'*énergie*, ou la sous-facturation des locataires ou des départements. Les projets prototypes ou de recherches peuvent supporter un coût de *M&V* plus grand que la normale, pour établir, de façon précise, les *économies* générées par les *MCE* qui se répèteront. Cependant l'IPMVP est rédigé pour fournir plusieurs façons possibles de documenter les résultats des *MCE*, de sorte que les utilisateurs puissent développer des procédures de *M&V* peu coûteuses qui donnent des informations adéquates.

Puisque chaque projet aura son propre budget, il est difficile de généraliser au sujet des coûts pour les différentes options de l'IPMVP. Cependant, le *Plan de M&V* ne doit pas engager plus de coût que nécessaire pour fournir la certitude et la *vérification* appropriées dans les *économies* rapportées, cohérentes avec le investissements effectués pour les *MCE*.

Option A	Nombre de points de <i>mesure</i> ; complexité d' <i>évaluation</i> ; fréquence d'inspections des <i>périodes de suivi</i> .
Option B	Nombre de points de <i>mesure</i> ; durée de la <i>période de suivi</i> .
Option C	Nombre de <i>facteurs statiques</i> à surveiller pendant la <i>période de suivi</i> ; nombre de <i>variables indépendantes</i> utilisées pour les <i>ajustements périodiques</i> .
Option D	Le nombre et la complexité des systèmes simulés; le nombre de <i>mesures</i> nécessaires, sur le terrain, à l'obtention des données d'entrée pour la simulation calibrée; la compétence du professionnel réalisant le calibrage de la simulation.

Tableau 4
Éléments
uniques des
coûts de
M&V

Le Tableau 4 met l'accent sur les facteurs clés des coûts, uniques pour chaque option.

De façon générale, l'Option A implique des *évaluations*, ce qui impliquera moins de points de *mesure* et donc un coût inférieur, pourvu que les estimations et les coûts d'inspection ne soient pas exceptionnellement élevés. Les méthodes de l'Option A ont habituellement un coût inférieur et un niveau d'incertitude plus élevé que les méthodes de l'Option B.

Puisqu'un nouvel équipement de *mesure* est souvent associé à l'option A ou B, le coût de maintenance de cet équipement peut faire que l'Option C soit moins coûteuse pour les longues *périodes de suivi*. Cependant, les coûts des compteurs supplémentaires pour l'option A ou B peuvent être partagés avec ceux d'autres objectifs de monitoring ou d'allocation de coût, ce qui en réduirait le coût direct.

Quand plusieurs *MCE* sont installées sur un *site*, il pourrait être moins coûteux d'employer l'option C ou D plutôt que d'isoler ou de mesurer de multiples *MCE* avec l'option A ou B.

Un *modèle de simulation* de l'Option D est souvent long et coûteux. Toutefois, le modèle peut avoir d'autres utilisations comme la conception des *MCE* ou celle d'un nouveau *site*.

Il faut s'attendre à ce que les coûts de *M&V* soient plus élevés au début de la *période de suivi*. À ce stade du projet, les procédés de *mesure* sont affinés, et la surveillance précise de la performance aide à optimiser le fonctionnement des *MCE*. Le coût pour chaque *évaluation* d'*économies* doit être en proportion avec les *économies* prévues et les variations des *économies* (voir le chapitre 8.5).

Souvent un entrepreneur est responsable seulement de certains *indicateurs* de performance. D'autres *indicateurs* peuvent ne pas devoir être mesurés pour des raisons contractuelles, bien que le propriétaire du *site* puisse encore vouloir mesurer tous les *indicateurs*. Dans ce cas, le propriétaire et l'entrepreneur partagent les coûts de l'activité de *mesurage*.

8.5 Équilibrer l'incertitude et le coût

Dans un rapport de suivi des *économies*, le niveau acceptable d'incertitude est fonction du coût associé à la réduction de cette dernière pour un niveau d'*économies* prévues. Les coûts *moyens* typiques annuels des *M&V* sont inférieurs à 10 % des *économies* annuelles *moyennes* évaluées. La quantité d'*économies* en jeu limite le budget des *M&V*, qui, en retour, détermine la marge d'incertitude acceptable.

Un exemple d'équilibrage entre l'incertitude et le coût peut être présenté par un projet générant des *économies* prévues de 100 000 \$/an et un coût de 5 000 \$/an pour une approche de *M&V* de base avec une *précision* qui ne dépasse pas les $\pm 25\ 000$ \$/an à un *niveau de confiance* de 90 %. Pour augmenter la *précision* à $\pm 7\ 000$ \$, il semblerait raisonnable d'augmenter les dépenses *M&V* à 10 000 \$/an (10 % des *économies*), mais pas à 20 000 \$/an (20 %).

Le niveau d'incertitude acceptable dans le procédé de suivi des *économies* est propre à chaque intervenant au projet, dépendant du niveau de rigueur requis par le lecteur du rapport. Cependant, réduire l'incertitude nécessite une plus grande quantité ou de meilleures données opérationnelles. L'augmentation du nombre et de la qualité des données opérationnelles permettent non seulement d'augmenter le niveau de *précision* de l'*évaluation des économies*, mais également l'amélioration de la qualité de l'information d'autres variables opérationnelles. Ces informations opérationnelles additionnelles peuvent également aider à mieux évaluer les équipements en place pour leur utilisation dans le cadre d'un agrandissement d'usine ou pour justifier le remplacement d'un équipement obsolète.

Une meilleure information suite à la mise en oeuvre d'un *Plan de M&V* peut également contribuer à une meilleure rémunération sous un *contrat de performance écoénergétique* basé sur des données mesurées plutôt que sur des valeurs d'*économies* estimées, qui se doivent d'être conservatrices.

Les investissements additionnels requis pour réduire le niveau d'incertitude ne devraient pas dépasser l'augmentation de la valeur attendue. Cette question est discutée en détail par Goldberg (1996b).

Naturellement, les incertitudes ne peuvent pas toutes être quantifiées (voir le chapitre chapitre 8.3). Par conséquent, des rapports d'incertitude quantitatifs et qualitatifs devraient être considérés selon les options des coûts de *M&V* pour chaque projet.

Il y a un *Plan de M&V* optimal pour chaque projet, *site* ou propriétaire d'équipement. Ce *Plan de M&V* doit inclure une considération itérative à la sensibilité de l'incertitude et au coût de *M&V* pour chaque paramètre de conception de *M&V*. L'Annexe A présente les méthodes de *mesure* de l'incertitude. Les annexes B-5.1 et B-5.2 présentent les méthodes pour combiner plusieurs composantes d'incertitude et établir des critères ou des objectifs reliés au niveau d'incertitude.

Il ne faut pas s'attendre à ce que le même niveau d'incertitude dans les activités de *M&V* soit atteint dans toutes les *MCE*, puisque l'incertitude est proportionnelle à la complexité des *MCE* et les variations de fonctionnement pendant les périodes *de référence* et *de suivi*. Par exemple, les méthodes de l'Option A peuvent permettre de déterminer les *économies* d'une simple rénovation d'un système d'éclairage d'usine industrielle avec moins d'incertitude que les *économies* provenant de la rénovation d'un groupe froid, puisque les paramètres estimés d'un système d'éclairage peuvent avoir moins d'incertitude que les paramètres estimés du groupe froid.

En déterminant le niveau de *mesure* et les coûts associés, le *Plan de M&V* devrait considérer le taux de variation de la consommation d'énergie dans le *périmètre de mesure*. Par exemple, l'usage d'électricité pour un système d'éclairage intérieur peut être assez uniforme annuellement; ceci facilite la détermination des *économies*. Les charges de chauffage et de

climatisation changent quant à elles, saisonnièrement; ce qui rend l'identification des *économies* plus difficile. Il faut considérer les directives générales suivantes pour effectuer un équilibrage entre le coût et l'incertitude dans un procédé de M&V.¹⁸

1. **MCE de gain faible et à faible variation de consommation d'énergie.** Les MCE de gain faible ne peuvent pas normalement bénéficier d'activités M&V conséquentes selon la règle des 10 % de la valeur des *économies* annuelles, surtout si la variation dans les données énergétiques mesurées est petite. Ces situations combinées favoriseraient l'utilisation de l'Option A, et de courtes périodes de suivi. Un exemple d'une telle situation peut être le cas d'un moteur de ventilateur d'évacuation à vitesse constante qui fonctionne sous une charge constante selon un horaire bien défini.
2. **MCE de gain faible avec grande variation de la consommation d'énergie.** Les MCE de gain faible ne peuvent pas bénéficier d'activités M&V conséquentes, comme dans l'énoncé 1 ci-dessus. Cependant, avec un grand taux de variation des données énergétiques, les techniques de *mesure* avec tous les paramètres de l'Option B pourraient être nécessaires pour obtenir le niveau d'incertitude visé. Les techniques d'échantillonnage peuvent réduire les coûts de l'Option B. En se basant sur les directives générales du chapitre 4.9 qui propose que les *économies* devraient dépasser les 10 % de la consommation mesurée du *site* pour être mesurables, l'Option C peut ne pas être appropriée.
3. **MCE de gain élevé et à faible variation de consommation d'énergie.** Avec une faible variation de la consommation d'énergie, le niveau d'incertitude est souvent bas, ce qui fait que les techniques de l'Option A sont plus pertinentes. Toutefois, puisque de grandes *économies* sont prévues, les petites améliorations sur le niveau de *précision* peuvent avoir un retour économique suffisant pour justifier une *mesure* et une analyse de données plus précises, si un coût de M&V relatif aux *économies* est conservé. Par exemple, si les *économies* annuelles de MCE sont de 1 000 000 \$, les 5 000 \$ du coût annuel de M&V pourraient être augmentés à 20 000 \$ si cela augmente le niveau de *précision* et fournit des données plus fonctionnelles. Autrement, une MCE de grande valeur peut être clairement mesurable avec l'Option C. L'Option C peut conserver les coûts de M&V au plus bas si des moyens simples pour contrôler les *facteurs statiques* pour détecter le besoin d'*ajustements non périodiques* sont utilisés.
4. **MCE de gain élevé avec grande variation de la consommation d'énergie.** Cette situation permet la réduction du niveau d'incertitude par la collecte et l'analyse de données extensive avec les options A, B ou D. Cependant, les *économies* sont également susceptibles d'être évaluables à partir des factures ou d'information disponibles du fournisseur d'énergie pour que les techniques de l'Option C puissent être utilisées avec un contrôle prudent des *facteurs statiques* pour détecter le besoin d'*ajustements non périodiques*. La *période de suivi* peut devoir couvrir plusieurs cycles d'opération du *site*.

8.6 Révision par un vérificateur indépendant

Dans le cas où un entrepreneur est sous contrat avec le propriétaire d'un *site* pour générer et évaluer des *économies d'énergie*, le propriétaire peut avoir besoin d'un vérificateur indépendant pour revoir les rapports de suivi des *économies*. Ce vérificateur indépendant devrait commencer par revoir les *Plans de M&V* pendant sa préparation, pour s'assurer que les rapports de suivi des *économies* comblent les attentes du propriétaire en ce qui concerne l'incertitude.

Les *ajustements non périodiques* peuvent également être examinés lors d'une révision indépendante. Par contre, la révision totale de tous les *ajustements non périodiques* nécessite une très bonne compréhension du *site*, de son fonctionnement et des techniques de calcul des technologies énergétiques. Le propriétaire du *site* doit fournir les résumés des changements de

¹⁸ Voir aussi FEMP (2002)

facteurs statiques pour que le vérificateur puisse se concentrer sur les calculs d'ingénierie nécessaires par les *ajustements non périodiques*.

Un *contrat de performance écoénergétique* nécessite que les deux parties aient la conviction que les paiements de performance sont basés sur des informations valides. Un vérificateur indépendant peut aider à assurer la validité des *mesures* et à éviter les conflits. S'il y a des conflits pendant la *période de suivi*, ce vérificateur indépendant peut aider à les résoudre.

Les vérificateurs indépendants sont des consultants en ingénierie typiques avec une expérience et une connaissance *des MCE, du Plan de M&V* et des contrats de performance écoénergétique. Plusieurs sont des membres de sociétés professionnelles, ou sont des professionnels de la *mesure* et de *vérification* certifiés. (CMVP).¹⁹

8.7 Données pour l'échange de certificats de réduction d'émissions

L'adhésion à l'IPMVP peut fournir une confiance accrue dans les rapports de suivi *des économies d'énergie*, ce qui augmente aussi la confiance dans les rapports associés en termes de réduction d'émissions de gaz dans l'atmosphère.

Associé au *Plan de M&V* spécifique à chaque projet, l'IPMVP augmente l'uniformité du suivi et permet la validation et la *vérification* des projets d'économie d'énergie. Cependant pour vérifier une réduction d'émissions de gaz dans l'atmosphère, l'IPMVP et le *Plan de M&V* du projet doivent être employés en conjonction avec les spécifications d'un programme de réduction d'émissions pour convertir les *économies d'énergie* en réductions d'émissions équivalentes.

Le commerce de crédit d'émission sera facilité si les méthodes de suivi de consommation d'énergie suivantes sont considérées au moment de la conception *du Plan de M&V*.

- Les *économies* d'électricité devraient être partagées entre la période de pointe et la période creuse, et entre les saisons d'ozone et de non ozone quand il y a échange de NOx ou de VOC. Ces périodes sont définies par le programme d'échange de crédit d'émission approprié.
- Les réductions d'achats d'électricité sur un réseau devraient être divisées entre celles causées par la réduction de la consommation d'énergie et celles causées par une production autonome accrue du *site*.
- La *base de référence* ajustée, employée pour calculer les *économies d'énergie*, peut devoir être changée pour s'adapter aux besoins spécifiques d'un programme d'échange des droits d'émission. Dans un tel contexte, les bases de référence ajustées doivent considérer si *les MCE* sont un surplus ou sont additionnelles (additionnalité) à la situation normale. *Les MCE* peuvent ne pas être autorisées dans l'échange des droits d'émission si elles sont « dans l'état habituel des choses » ou simplement en conformité avec les règlements et obligations en vigueur. Le mécanisme de développement de la *base de référence* est défini par le programme d'échange des droits d'émission approprié. Par exemple, là où les normes d'efficacité minimale des équipements règnent dans un marché donné, ces normes établissent *la base de référence* pour déterminer les quantités de crédits d'émissions négociables.
- Séparer les *économies d'énergie* par *site*, si un projet dépasse les limites territoriales d'un groupe de fournisseurs d'électricité, ou si des quantités d'émissions peuvent survenir à l'extérieur du bassin atmosphérique concerné.
- Séparer les *économies* de carburant par combustible ou type de chaudières, si différents taux d'émission s'appliquent à chaque dispositif de combustion.

Chaque système d'échange des droits d'émission a généralement ses propres règles permettant aux facteurs d'émission de s'appliquer aux *économies d'énergie*. Pour les *économies* de carburant, les taux d'émission par défaut peuvent être présentés quand il n'y a

¹⁹ Le programme de « Certified Monitoring and Verification Professionnal » (CMVP) est une activité conjointe d'EVO et de l'AEE (Association of Energy Engineers), accessible sur le site web d'EVO www.evo-world.org.

aucun équipement de *mesure* en place. Pour les *économies* d'électricité, des valeurs par défaut peuvent aussi être fournies pour le taux d'émission du réseau d'électricité. Alternativement, les utilisateurs peuvent aussi établir leur propre taux d'émission pour les *économies*, en se basant sur des principes reconnus comme ceux publiés dans le « Guidelines for Grid-Connected Electricity projects (WRI 2007) ».

8.8 Conditions d'exploitation minimales

Un programme d'efficacité énergétique ne devrait pas affecter l'exploitation du *site* auquel il est appliqué, sans le consentement des occupants du bâtiment ou du directeur des opérations d'une usine. Les paramètres clés du consommateur peuvent être : le niveau d'éclairage, le niveau de température intérieure, le taux de ventilation, la pression d'air comprimé, la pression et la température de la vapeur, le débit d'eau, le taux de production, etc.

Le *Plan de M&V* devrait enregistrer les conditions de fonctionnement minimales convenues qui devront être maintenues (voir chapitre 5).

Le volume II de l'IPMVP, Concepts et pratiques pour une meilleure qualité de l'environnement intérieur, suggère des méthodes de contrôle des conditions intérieures à travers un programme d'efficacité énergétique.

8.9 Données climatiques

Dans le cas où des *mesures* mensuelles d'*énergie* sont employées, des données climatiques devraient être enregistrées quotidiennement pour qu'elles puissent coïncider avec les dates de lecture de la *mesure* de consommation d'*énergie*.

Pour une analyse mensuelle ou quotidienne, les données climatiques publiées par le gouvernement sont toujours les plus précises et les plus vérifiables. Toutefois, les données climatiques des sources gouvernementales peuvent ne pas être disponibles aussi rapidement que les données climatiques contrôlées sur le *site*. S'il y a utilisation d'équipement de surveillance météorologique en ligne, il faut s'assurer d'une calibration exacte et régulière.

Lors d'une analyse de la consommation d'*énergie* par rapport aux données climatiques dans un modèle mathématique, les données de température extérieure quotidiennes ou les *degrés-jours* peuvent être employés.

8.10 Normes minimales de consommation d'énergie

Quand un certain niveau d'efficacité est exigé par une loi ou par des pratiques standards des propriétaires de *sites*, les *économies* peuvent être basées sur la différence entre la consommation d'*énergie* de la *période de suivi* et celle de cette norme minimum. Dans ces cas, l'*énergie de la base de référence* peut être égale ou inférieure aux normes minimales de consommation d'*énergie* appliquées.

8.11 Éléments à propos de la mesure

L'utilisation correcte des compteurs pour des applications spécifiques est une science en elle-même. De nombreuses références sont disponibles dans ce sens (voir chapitre 10.2). Le site Web d'EVO indique des références courantes sur les techniques de *mesure*.

Le Tableau 5 ci-après récapitule quelques types de compteurs et présente des commentaires sur des problèmes de *M&V* pour certains d'entre eux. Ce tableau n'est ni complet, ni définitif.

8.11.1 Erreurs de collecte de données et données perdues

Aucun procédé de collecte de données n'est sans erreur. Les méthodologies pour la collecte des données de la *période de suivi* diffèrent par leur degré de difficulté, et par conséquent, par le nombre de données incorrectes ou manquantes pouvant surgir. Le *Plan de M&V* devrait établir un taux maximum acceptable de perte de données et comment ce taux sera mesuré. Ce niveau devrait faire partie de la considération globale relative au niveau de *précision*. Le niveau de perte de données peut considérablement en affecter le coût. Le *Plan de M&V* devrait

également établir une méthodologie par laquelle les données perdues ou incorrectes seront recréées par interpolation pour l'analyse finale. Dans ces cas, les modèles de *périodes de suivi* sont nécessaires pour interpoler entre les points de données mesurées pour que les *économies* puissent être calculées pour chaque période.

Il faut noter que les données de la *situation de référence* sont des faits réels relatifs à la consommation de l'*énergie* et des *variables indépendantes* telles qu'elles étaient pendant la *période de référence*. En conclusion, les problèmes des données de la *période de référence* ne devraient pas être remplacés par des données modelisées, sauf si l'Option D est utilisée. Là où les données de la *période de référence* sont manquantes ou insuffisantes, il faut rechercher d'autres données réelles pour remplacer ou changer la *période de référence* afin qu'elle ne contienne que des données réelles. Le *Plan de M&V* devrait documenter la source de toutes les données de la *situation de référence*.

Application	Catégorie de compteur	Type de compteur	Précision typique	Coût relatif	Meilleures utilisations	Cas spéciaux de M&V
Courant alternatif (ampères)	Transformateur de courant (CT)	Transformateur toroïdal ou à noyau coupé	< 1 %			Ne pas utiliser quand le facteur de puissance est inférieur à 100 % ou quand il y a une distorsion de l'onde sinusoïdale
Tension courant alternatif (Volts)	Fils de tension ou transformateur potentiel (PT)	Transformateur toroïdal ou à noyau coupé				
Puissance électrique AC (watts) ou énergie AC (wattheure)	Compteur de puissance RMS ou un compteur de puissance	Mesurer les watts et les wattheures. Employer le prélèvement numérique (IEEE 519-1992) pour mesurer correctement les formes d'onde déformées				Nécessaire pour les charges inductives ou les circuits avec des composants harmoniques comme les variateurs de vitesse
Temps d'exécution (heures)	Mesurer et enregistrer les périodes de fonctionnement de l'équipement	Alimentation par piles		Un prix inférieur à l'enregistrement wattheure	Enregistrement des périodes d'éclairage	Pour l'équipement ayant un taux de consommation de puissance constant, en marche
Température (degrés)	Détecteur de température de résistance (RTD)		Raisonnable	Coût réduit	Air et eau	Très utilisé. Attention de compenser pour différentes longueurs
	Thermocouple		Élevé	Élevé		Faible portée. Convient à la mesure d'énergie thermique. Amplificateurs de signaux requis

Tableau 5
Principaux types de compteurs
– Partie 1

Tableau 5
Principaux
types de
compteurs –
Partie 2

Application	Catégorie de compteur	Type de compteur	Précision typique	Coût relatif	Meilleures utilisations	Cas spéciaux de M&V
Humidité (%)						Calibration régulière requise
Débits de liquides (unités/sec)	Intrusif	Pression différentielle	1-5 % du maximum			
		Déplacement positif	< 1 %			
		Capteur de débit à turbine	< 1 %		Liquide propre, conduits droits	
		Tube pour vortex	Haute			
	Non intrusif	Ultrasonique	< 1 %		Conduits droits	Mesure de débit spécifique
		Magnétique			Élevé	
Seau & montre				Bas	Condensation de vapeur, montage de tuyauterie	Mesure de débit spécifique
Pression						
Énergie thermique	Ensemble d'équipement d'enregistrement des débits et températures et système de calcul	Sonde de débit et de température. Pour la vapeur, utiliser une sonde de pression et température	< 1 %	Élevé		Utiliser des sondes similaires pour mesurer la différence de température. Gérer attentivement toutes les sources possibles d'erreurs

8.11.2 Utilisation des systèmes de contrôle/commande pour la collecte de données

Un système de contrôle/commande automatisé peut fournir une grande partie du monitoring nécessaire à la collecte de données. Cependant, le matériel informatique et les logiciels doivent être en mesure de contrôler et collecter des données simultanément, sans ralentir le traitement par ordinateur, excéder la bande passante de transmission, ou surcharger les capacités d'enregistrement.

Certains paramètres mesurés peuvent ne pas être utiles pour le contrôle : la *mesure* de la puissance électrique, par exemple. Le suivi de petite puissance de consommation de système d'éclairage et l'alimentation principale de puissance peuvent être très utiles à la détermination des *économies* de haute qualité et la réaction opérationnelle, mais inutiles pour le contrôle en temps réel.

Les logiciels d'automatismes et de gestion peuvent souvent exécuter d'autres fonctions pour aider à suivre les changements dans les *facteurs statiques* pendant la *période de suivi*, tel que l'enregistrement automatique des consignes.

Le personnel du *site* devrait recevoir une formation appropriée pour l'utilisation de ces systèmes pour qu'ils puissent développer leurs propres outils de traitement afin de diagnostiquer les problèmes du système, en assumant que le système utilisé permet d'ajouter des traitements d'information personnalisés. Cependant, là où un entrepreneur est responsable

de certaines opérations contrôlées par le système, la configuration devrait assurer que l'accès aux fonctions soit restreint aux personnes compétentes et autorisées.

L'équipe de conception et de supervision du système de contrôle, peut avoir une connexion directe avec le système par un modem (mode lecture seulement) pour qu'elle puisse facilement inspecter les données à partir de leur bureau. Cependant, les possibilités d'attaques de virus et la sécurité de l'ordinateur devraient être analysées dans cette situation.

Les systèmes de gestion et d'automatismes peuvent enregistrer la consommation d'énergie au moyen de fonctions d'historisation et de tendances. Cependant, certains systèmes peuvent historiser les grandeurs mesurées uniquement sur « changements de valeurs », sans enregistrer ces valeurs entre ces variations (Claridge and al. 1993, Heinemeier and Akbari 1993). Il est possible de réduire les limites de changements de valeurs pour forcer l'historisation à des intervalles plus réguliers, mais cela peut surcharger les systèmes qui ne sont pas conçus pour de telles densités de données.

Une grande vigilance est recommandée pour :

- Contrôler l'accès ou les changements du système d'enregistrement dont sont extraites les données de consommation d'énergie.
- Développer les routines de post-traitement pour changer toutes les données des changements de valeurs de contrôle des systèmes en données de séries de temps pour faire une analyse.
- Obtenir du fournisseur de système de contrôle :
 - la calibration standard traçable de tous les détecteurs fournis;
 - la preuve que les algorithmes servant à comptabiliser ou à totaliser des impulsions et des unités, sont précis (actuellement, il n'y a aucune norme industrielle pour exécuter cette analyse (Sparks and al. 1992));
 - l'engagement que le traitement informatique est adéquat et qu'il y a capacité d'historisation et de mise en tendance des données mesurées, sans détérioration des caractéristiques fonctionnelles des automatismes.

8.12 Chiffres significatifs

Lorsque l'on effectue des opérations arithmétiques, il convient de considérer la *précision* propre à chaque opérande, de manière à ce que le résultat ne suggère une *précision* plus grande que démontrable.

Les professionnels ont adopté un standard d'arrondissement qui limite la résolution d'un résultat en accord avec celle des opérandes. Ainsi, l'IPMVP a repris les règles décrites ci-après afin d'assurer que les calculs effectués lors de sa mise en oeuvre, respectent strictement ce standard d'arrondissement des résultats.

Les règles d'établissement des *chiffres significatifs* dérivent des concepts de calcul différentiel. Exprimée comme fonction de deux variables, la différentielle d'ordre 1 en un point (ou dérivée en un point) est,

$$f(x, y) = \frac{\partial f}{\partial x} \cdot dx + \frac{\partial f}{\partial y} \cdot dy \quad 3.1)$$

en remplaçant les accroissements, dx & dy , par l'expression des erreurs absolues, Δx & Δy , on obtient,

$$f(x, y) = \frac{\partial f}{\partial x} \cdot \Delta x + \frac{\partial f}{\partial y} \cdot \Delta y \quad 3.2)$$

On tire de l'équation 8.2 la valeur limite de l'erreur absolue f . Les règles applicables aux *chiffres significatifs* respectent l'équation 8.2 lorsque l'erreur absolue est supérieure ou égale à ± 1 unité du plus petit des *chiffres significatifs*.

Pour déterminer les *chiffres significatifs* d'un nombre, il suffit de compter le nombre de chiffres, si le nombre est entier en ignorant les chiffres nuls le décompte s'arrêtant à l'unité. Si le nombre est réel, les chiffres nuls de part et d'autre de la virgule sont significatifs.

Operation Arithmétique ²⁰	RÈGLE D'ARRONDISSEMENT
Addition/soustraction ²¹ $X + Y$	Arrondir (vers le haut ou vers le bas, selon les cas) le résultat au chiffre décimal de poids le plus faible pour lequel tous les opérandes ont une position commune. Le nombre de <i>chiffres significatifs</i> correspond au compte des chiffres du résultat.
Multiplication/division $X \times Y$	Le nombre de <i>chiffres significatifs</i> du résultat est égal au plus petit nombre de <i>chiffres significatifs</i> d'un opérande quelconque.
Puissance X^a	Le nombre de <i>chiffres significatifs</i> est égal au nombre de <i>chiffres significatifs</i> de l'opérande.

8.12.1 EXEMPLES

Nombres :

00123 \rightarrow 3 *chiffres significatifs*.

12300 \rightarrow 3 *chiffres significatifs* (exprimables comme $1,23 \times 10^4$).

12300, \rightarrow 5 *chiffres significatifs* (peuvent être exprimés comme $1,2300 \times 10^4$).

12300,000 \rightarrow 8 *chiffres significatifs*.

12300,012 \rightarrow 8 *chiffres significatifs*.

Addition :

$$\begin{array}{r} 0,2056 \\ 2,572 \\ 144,25 \\ + 876,1 \\ \hline 1\ 023,1 \end{array} \quad 5 \text{ chiffres significatifs}$$

Multiplication :

$12,345 \times 0,0369 = 0,456$

$56,000 \times 0,00785212 = 0,43972$

Puissance :

$3,00^\pi = 31,5$ (3 *chiffres significatifs* du nombre opérande produisent 3 dans le résultat)

²⁰ Il existe des règles additionnelles pour les fonctions logarithmiques et exponentielles qui ne sont pas incluses dans ce tableau.

²¹ Mark's Standard Handbook for Mechanical Engineers, 8th Ed., pp. 2.2-2.3

De manière à garantir cohérence et répétabilité, tous les calculs arithmétiques doivent être effectués avant d'appliquer ces règles. Par exemple, le coût total annuel de l'énergie d'un moteur, opérant avec une puissance constante de 32,1 kW pendant 4564 heures par an auquel on applique un tarif d'énergie électrique de 0,0712 \$ par kWh n'est **PAS...**

$$32,1kW \times 4564h = 146504 \cdot kWh \rightarrow 147000 \cdot kWh$$

$$147000 \cdot kWh \times \frac{0,0712\$}{kWh} = 10466\$ \rightarrow 10500\$$$

Mais plutôt, celui-ci, effectué en appliquant la règle d'arrondissement en fin de calcul de l'ensemble des produits.

$$32,1kW \times 4564h \times \frac{0,0712\$}{kWh} = 10431\$ \rightarrow 10400\$$$

Veuillez noter, par ailleurs, que les règles d'arrondissement ne se mélangent pas, effectuez les opérations par "type d'opération arithmétique" avant d'effectuer celles du type suivant.

8.12.2 CAS PARTICULIERS

Certains nombres sont représentés avec un nombre fini de *chiffres significatifs* même s'ils pourraient être traités comme exacts. Des nombres exacts sont considérés avoir un nombre infini de *chiffres significatifs*. Un exemple de nombre exact est un tarif de fournisseur d'énergie. Si le tarif du distributeur local est de 0,06 \$ par kWh, et que son client X a consommé 725 691,0 kWh, la facture serait de 43 541,46 \$ et non de 40 000 \$ comme le voudrait l'application de la règle d'arrondissement. Ceci, parce que le tarif est considéré comme un nombre exact... qui pourrait bien être exprimé par 0,06000000 \$ par kWh. Autrement dit, il n'y a pas d'erreur de *mesure* associée aux tarifs.

Un autre exemple serait celui de variables exprimant une durée. Si la société X garantit une économie de 1,15 million \$ par an pendant 3 ans, l'économie totale serait de 3,45 millions \$, et non 3 millions \$. Même si la période couvrait une année bissextile, le nombre "3" ne serait pas considéré dans le décompte des *chiffres significatifs*, car il est considéré exact.

Une attention toute particulière doit être portée afin d'identifier de tels nombres afin de ne pas compromettre la *précision* du résultat.

CHAPITRE 9 DÉFINITIONS

Les termes écrits en italique dans le document ont une signification spécifique :

Action d'amélioration de la performance énergétique (APE) : Une APE est une MCE particulière (voir ce terme) qui porte sur une amélioration de la Performance énergétique.

Ajustements de la Base de référence : *Ajustements non périodiques* (chapitres 4.6 et 8.2) pendant la *période de suivi* des changements de toute caractéristique du *site* à l'intérieur du *périmètre de mesure*, sauf pour les variables indépendantes employées pour les *ajustements non périodiques*.

Ajustements non périodiques : Calculs effectués individuellement au moyen de l'équation 1a) du chapitre 4 de ce document pour expliquer les modifications aux *facteurs statiques*, à l'intérieur du *périmètre de mesure*, depuis la *période de référence*. Lorsque les *ajustements non périodiques* sont appliqués à l'*énergie* de la base *période de référence*, ils sont parfois appelés « ajustements de la base de référence » (voir également le chapitre 8.2).

Ajustements périodiques : Calculs effectués au moyen de l'équation 1a) du chapitre 4 de ce document, faisant intervenir une formule démontrée dans le *Plan de M&V*, pour expliquer les modifications des variables indépendantes sélectionnées à l'intérieur du *périmètre de mesure*, depuis la *période de référence*.

Analyse de régression : Technique mathématique qui extrait des paramètres d'un ensemble de données pour décrire la corrélation entre des variables indépendantes mesurées et des variables dépendantes (généralement des données de consommation d'*énergie*). Voir Annexe B-2.

Base de référence : Données de consommation énergétique retenues pour modéliser la consommation de l'objet des MCE, durant la *période de référence*. La *base de référence* est un sous ensemble de la *situation de référence*.

Chiffres significatifs : Chiffres autres que zéro, et les zéros ayant des chiffres différents de zéro à leur gauche. Il est à noter que les nombres entiers (ne comportant aucune virgule, puisque sans décimale) ont un nombre illimité de *chiffres significatifs*. Les nombres entiers finissant par zéro ont un nombre de *chiffres significatifs* indéterminé (voir chapitre 8.12). Il est à noter également qu'en additionnant des nombres, la règle des *chiffres significatifs* est remplacée par une règle sur le nombre de chiffres après la virgule décimale. Le nombre de ces chiffres dans toute somme devrait être cohérent avec le nombre qui a le moins de chiffres.

Coefficient de variance (CV) : Voir Annexe B-3.1

« **Commissioning** » : Procédé pour réaliser, vérifier et documenter la performance de l'équipement d'un *site* afin de satisfaire les besoins fonctionnels de celui-ci dans les limites de la conception, et pour être conforme à la documentation de la conception et aux critères fonctionnels du propriétaire, y compris la formation du personnel d'opération.

Consommation d'énergie évitée : Réduction de la consommation d'*énergie*, enregistrée pendant la *période de suivi*, par rapport à ce qu'elle aurait été si le *site* était resté équipé et fonctionnait comme durant la *période de référence*, mais sous les conditions de fonctionnement de la *période de suivi* (voir le chapitre 4.6.1). « Le coût évité » est l'expression équivalente en terme monétaire de « *Consommation d'énergie évitée* ». Les deux sont regroupés sous l'appellation « *économies* ». Les *économies* normalisées sont un autre type d'*économies*.

Constante : Paramètre physique qui ne varie pas pendant une période d'observation. Des variations mineures sont observées dans le paramètre tout en le décrivant toujours en tant que *constante*. Celles-ci, considérées comme « mineures », doivent néanmoins être rapportées dans le *Plan de M&V*.

Contrat de performance éconergétique : Contrat entre deux (ou plusieurs) parties rétribué sur la réalisation de résultats spécifiés, tels que la réduction des coûts d'*énergie*, ou celle du retour sur l'investissement pendant une période déterminée.

CVC : Chauffage, ventilation et climatisation

CV (RMSE) : Voir Annexe B-2.2.2

Cycle : Intervalle de temps entre le début des modes de fonctionnement similaires et successifs d'un *site* ou d'un équipement, dont la consommation d'*énergie* varie en réponse aux procédés de fonctionnement ou aux variables indépendantes. Par exemple, Le *cycle* de la plupart des bâtiments est de 12 mois, leur consommation d'*énergie* répondant aux conditions climatiques variant sur une base annuelle. Un autre exemple est le *cycle* hebdomadaire d'un procédé industriel fonctionnant différemment les dimanches par rapport au reste de la semaine.

Degré-jour : *Mesure*, dans une installation, de la charge de chauffage ou de refroidissement produite par la température extérieure. Lorsque la température moyenne extérieure quotidienne est d'un degré au-dessous de la température de référence indiquée, par exemple 18° C, pour une journée, il y a un *degré-jour* de chauffage. Si cette différence de température était enregistrée pendant dix jours, on comptabiliserait dix degrés-jours en chauffage pour cette période. Une différence de température de 12 degrés pendant 10 jours consécutifs porterait le total de degrés-jours à 120. Il est à noter que lorsque la température ambiante se situe au-dessous de la température de référence, les degrés-jours en chauffage sont pris en compte. Lorsque la température ambiante se situe au-dessus de la température de référence, ce sont des degrés-jours de refroidissement qui sont pris en compte. Bien que la température de référence serve avant tout à indiquer la température à laquelle un bâtiment en particulier ne nécessite ni chauffage, ni refroidissement, elle peut être employée pour enregistrer les degrés-jours.

Demande estimée : Méthode employée par les fournisseurs d'*énergie* pour établir la demande à facturer lorsque celle-ci diffère de la demande mesurée. Les fournisseurs d'*énergie* peuvent considérer des maximums ou des minimums saisonniers, les facteurs de puissance, ou les montants des contrats pour établir la demande sur des factures (appelée « demande de facturation »).

Écart type : Voir Annexe B-1.3

Économies : Réduction de la consommation ou du coût d'*énergie*. Les *économies* physiques peuvent être exprimées en « *Consommation d'énergie évitée* » ou en « *économies normalisées* » (voir les chapitres 4.6.1 et 4.6.2). Les *économies* monétaires peuvent être exprimées de manière analogue en « coût évité » ou « *économies normalisées de coût* » (voir le chapitre 8.1). Les *économies* employées dans l'IPMVP ne sont pas la simple différence entre les factures établies par un fournisseur d'*énergie* et les quantités mesurées (voir le chapitre 4.1).

Économies normalisées: Réduction de la consommation ou du coût d'*énergie* enregistrée pendant la *période de suivi*, par rapport à ce qu'elle aurait été si le *site* était resté équipé et fonctionnait comme en *période de référence*, mais selon un ensemble de conditions normales. Ces conditions normales peuvent être une moyenne à long terme, ou celles de n'importe quelle période de temps sélectionnée, différente de la *période de suivi*. Elles peuvent également être établies comme étant des conditions de base pendant la *période de référence*, surtout si elles ont servi de référence pour les *économies* prévues (voir le chapitre 4.6.2). Si les conditions sont celles de la *période de suivi*, le terme « *Consommation d'énergie évitée* » (voir chapitre 4.6.1) ou simplement « *économies* » est employé au lieu de « *économies normalisées* ».

Effets interactifs : Effets énergétiques provoqués par une MCE, non mesurables à l'intérieur du *périmètre de mesure*, et agissant au travers de ce dernier.

Énergie : Consommation ou demande d'*énergie* ou d'eau.

Énergie de la base de référence : Consommation d'*énergie* enregistrée pendant la *période de référence*, sans ajustements.

Énergie de la base de référence ajustée : Consommation d'*énergie* enregistrée pendant la *période de référence*, ajustée à un ensemble de conditions de fonctionnement.

Entreprise de services éconergétiques (ESE) : Société qui fournit des services de conception et de mise en œuvre des MCE dans le cadre d'un *contrat de performance éconergétique*.

Erreur de biais moyenne (EBM) : Voir Annexe B-2.2.2.

Erreur probable : Voir Annexe B-5.

Erreur type : Voir Annexe B-1.3.

Erreur type de coefficient : Voir Annexe B-2.2.3.

Erreur type d'*évaluation* : Voir Annexe B-2.2.2.

Évaluation : Méthode, autre que la *mesure*, servant à déterminer un paramètre employé dans le calcul des *économies*, pendant les périodes de suivi ou de référence. Elle consiste aussi bien en hypothèses arbitraires qu'en estimations techniques provenant de la classification de performance de l'équipement du fabricant. Les essais de performance des équipements qui ne sont pas réalisés sur les lieux de leur utilisation finale – celle couverte par la *période de suivi* –, sont considérés, en accord avec l'IPMVP, comme des *évaluations*.

Facteurs statiques : Caractéristiques d'un *site* affectant la consommation d'*énergie*, dans le *périmètre de mesure* sélectionné, mais qui ne servent pas comme base aux *ajustements périodiques*. Ils se composent de caractéristiques fixes, environnementales, de fonctionnement, et de maintenance. Ils peuvent être constants ou variables (voir en particulier les chapitres 4.6 et 8.2).

Indicateur : Paramètre mesuré qui remplace la *mesure* directe d'un paramètre d'*énergie*, lorsqu'il a été prouvé qu'il existe une relation entre les deux sur le *site*. Par exemple, s'il existe une relation entre le signal de sortie du contrôleur d'un entraînement à vitesse variable et le besoin en puissance du ventilateur contrôlé, ce signal de sortie est un *indicateur* de la puissance du ventilateur.

Mesurage : Processus consistant à obtenir expérimentalement une ou plusieurs valeurs que l'on peut raisonnablement attribuer à une grandeur.

Mesure : Collection de données de *mesurage* de la consommation d'*énergie* d'un *site*, ou de conditions physiques affectant la consommation d'*énergie*, résultant de l'utilisation de dispositifs de *mesure*, sur une période de temps donnée.

Mesure de conservation d'énergie (MCE) : Activité ou ensemble d'activités conçues pour augmenter l'efficacité énergétique d'un *site*, d'un système, ou d'un équipement. Les MCE peuvent également conserver l'*énergie* sans modifier l'efficacité. Une MCE peut consister par exemple en une ou plusieurs modifications des systèmes physiques du *site*, en révisions des procédures de fonctionnement et d'entretien, en remplacements de logiciels, ou la mise en place de nouveaux moyens de formation ou de gestion des utilisateurs, du personnel d'entretien et de celui d'exploitation. Elle peut être appliquée comme amélioration d'un *site* ou d'un système déjà existant, ou comme modification apportée à la conception, avant la construction, d'un nouveau *site* ou d'un nouveau système. Plusieurs MCE, de portée différente, peuvent être implantées simultanément sur un *site*.

Mesure et vérification (M&V) : Procédé d'utilisation des *mesures* pour déterminer correctement les *économies* enregistrées sur un *site* individualisé, résultant d'un programme de gestion de l'*énergie*. Puisqu'elles représentent l'absence de consommation d'*énergie*, les *économies* réalisées ne peuvent être mesurées directement. Elles sont plutôt définies par la comparaison de la consommation, mesurée avant et après l'implantation du projet, faisant les ajustements nécessaires pour les changements de conditions (voir le chapitre 2).

Modèle de simulation : Ensemble d'algorithmes calculant la consommation d'*énergie* d'un *site*, basé sur des équations d'ingénierie et des paramètres définis par l'utilisateur.

Moyenne : Voir Annexe B-1.3.

Niveau de confiance : Probabilité que toute valeur mesurée s'inscrive dans une marge de *précision* indiquée. Voir Annexe B-1.1.

Périmètre de mesure : Limite tracée autour d'un équipement ou de systèmes, afin de séparer les facteurs qui sont appropriés à la détermination des *économies* de ceux qui ne le sont pas. Toutes les consommations d'*énergie* de l'équipement ou des systèmes à l'intérieur du *périmètre de mesure*, doivent être mesurées ou estimées, que l'utilisation de l'*énergie* se fasse à l'intérieur du *périmètre de mesure* ou pas (voir le chapitre 4.4).

Période de référence : Période choisie pour représenter le fonctionnement du *site* ou du système avant la mise en oeuvre d'une MCE. Cette période peut être aussi courte que le temps nécessaire à une *mesure* instantanée d'une quantité constante, ou assez longue pour refléter le *cycle* de fonctionnement d'un système ou d'un *site* avec conditions d'exploitation ou de production variables. Il s'agit de la période reflétant les données de la *situation de référence*.

Période de suivi : Intervalle de temps qui suit la mise en oeuvre d'une MCE, pendant lequel des rapports de suivi des *économies*, conformes à l'IPMVP, sont produits. Cette période peut être aussi courte que le temps nécessaire à la *mesure* instantanée d'une quantité constante, suffisamment longue pour refléter tous les modes de fonctionnement normaux d'un système ou d'un *site* avec des opérations variables; représenter la durée de la période de remboursement pour un investissement; correspondre à la durée de la *période de suivi* des *économies* dans un *contrat de performance éconergétique*; ou sa durée peut être indéfinie.

Plan de M&V : Document défini au chapitre 5.

Précision : Quantité par laquelle on s'attend à ce qu'une valeur mesurée dévie de la vraie valeur. Elle est exprimée comme une tolérance de « ± ». Tout rapport de *précision* à propos d'une valeur mesurée doit comprendre l'expression d'un *niveau de confiance*. Par exemple, la *précision* d'un compteur peut être fixée par son constructeur à ±10 %, avec un *niveau de confiance* de 95 %. Voir les annexes B-1.1 et B-1.2 pour les définitions de « *Précision absolue* » et « *Précision relative* ».

Prix marginal : Coût d'une unité additionnelle d'un produit facturé selon une structure tarifaire complexe.

R au carré (R²) : Voir Annexe B-2.2.1.

Site : Bâtiment ou *site* industriel qui comprend plusieurs systèmes utilisant de l'*énergie*. Une partie (aile de bâtiment, par exemple) ou une section d'un *site* plus grand peuvent être considérées comme un *site* en soi si elles sont pourvues de compteurs mesurant séparément l'*énergie*.

Situation de référence : Ensemble des éléments documentaires de référence caractérisant l'objet sur lequel vont porter les MCE. La *situation de référence* englobe notamment l'intégralité des données de la *base de référence*. La date de validité de ces données est comprise dans la période choisie pour représenter le fonctionnement du *site* ou du système avant la mise en oeuvre des MCE, *soit la période de référence*. Voir également Base de référence et *Période de référence*.

Statistique-T : Voir Annexe B-2.2.3.

Variable indépendante : Paramètre indépendant (des variations d'un autre paramètre) censé varier régulièrement et qui a un impact mesurable sur la consommation d'*énergie* d'un système ou d'un *site*.

Variance : Voir Annexe B-1.3.

Vérification : Processus d'examen d'un rapport préparé par un (ou plusieurs) professionnel(s) afin d'en juger la pertinence pour l'objectif annoncé.

CHAPITRE 10 RÉFÉRENCES

REMARQUE :

Les références suivantes fournissent au lecteur des sources additionnelles d'information : publications, manuels et rapports provenant d'agences gouvernementales, d'universités, d'organisations professionnelles et autres autorités reconnues. La plupart d'entre elles citent la publication, l'éditeur, ou la source où le document peut être obtenu.

1. Akbari, H., Heinemeier, K.E., LeConiac, P. and Flora, D.L. 1988. "An Algorithm to Disaggregate Commercial Whole-Facility Hourly Electrical Load Into End Uses", Proceedings of the ACEEE 1988 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, Vol. 10, pp. 10.14-10.26.
2. ASHRAE Guideline 1-1996. The HVAC *Commissioning* Process. American Society of Heating, Ventilating, and Air Conditioning Engineers, Atlanta, Georgia.
3. ASHRAE Guideline 14-2002. Measurement of Energy and Demand Savings. American Society of Heating, Ventilating, and Air Conditioning Engineers, Atlanta, Georgia.
4. ASHRAE 1989. An Annotated Guide to Models and Algorithms for Energy Calculations Relating to HVAC Equipment, American Society of Heating, Ventilating, and Air Conditioning Engineers, Atlanta, Georgia.
5. ASHRAE 2005. Handbook: Fundamentals, Chapter 32 - "Energy Estimating and Modeling Methods", Atlanta, Georgia.
6. ASTM 1992. Standard Test Method for Determining Air Leakage Rate by Fan Pressurization, American Society for Testing Materials, Philadelphia, Pennsylvania.
7. Baker, D. and Hurley, W. 1984. "On-Site Calibration of Flow Metering Systems Installed in Buildings", NBS Building Science Series Report No. 159, January.
8. Benedict, R. 1984. Fundamentals of Temperature, Pressure and Flow Measurement. John Wiley and Sons, New York, New York.
9. Benton, C., Chace, J., Huizenga, C., Hyderman, M. and Marcial, R. 1996. "Taking A Building's Vital Signs : A Lending Library of Handheld Instruments", Proceedings of the ACEEE 1996 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, Vol. 4, pp. 4.11-4.21.
10. Bourdouxhe, J.P., Grodent, M., LeBrun, J. 1995. "HVAC01 Toolkit : A Toolkit for 20 Primary HVAC System Energy System Energy Calculations", Final report submitted to ASHRAE.
11. Bourdouxhe, J.P., Grodent, M., LeBrun, J. 1994a. "Toolkit for Primary HVAC System Energy Calculation - Part 1 : Boiler Model", ASHRAE Transactions, Vol. 100, Pt. 2.
12. Bourdouxhe, J.P., Grodent, M., LeBrun, J. 1994b. "Toolkit for Primary HVAC System Energy Calculation - Part 2 : Reciprocating Chiller Models", ASHRAE Transactions, Vol. 100, Pt. 2.
13. Bou Saada, T.E. and Haberl, J.S. 1995a. "A Weather-Daytyping Procedure for Disaggregating Hourly End-Use Loads in an Electrically Heated and Cooled Building from Whole-facility Hourly Data", 30th Intersociety Energy Conversion Energy Conference, July 30-August 4.
14. Bou Saada, T.E. and Haberl, J.S. 1995b. "An Improved Procedure for Developing Calibrated Hourly Simulated Models", Proceedings of Building Simulation, 1995: pp. 475-484.
15. Bou Saada, T.E., Haberl, J., Vajda, J. and Harris, L. 1996. "Total Utility Savings From the 37,000 Fixture Lighting Retrofit to the USDOE Forrestal Building", Proceedings of the 1996 ACEEE Summer Study, August.
16. Brandemuehl, M. 1993. HVAC02 : Toolkit : Algorithms and Subroutines for Secondary HVAC Systems Energy Calculations, American Society of Heating, Ventilating, and Air Conditioning Engineers, Atlanta, Georgia.

17. Bryant, J. and O'Neal, D. 1992. "Calibration of Relative Humidity Transducers for use in the Texas LoanSTAR Program", Proceedings of the 1992 Hot and Humid Conference, Texas A&M University, Energy Systems Laboratory Report No. ESL-PA-92/02-15.
18. Claridge, D., Haberl, J., Bryant, J., Poyner, B. and McBride, J. 1993. "Use of Energy Management and Control Systems for Performance Monitoring of Retrofit Projects", Final Summary Report, USDOE Grant #DE-FG01- 90CE21003, Submitted to the USDOE Office of Conservation and Energy, Energy Systems Laboratory Report ESL-TR-91/09/02, Texas A&M University, March.
19. Claridge, D., Haberl, J., Liu, M., Houcek, J. and Aather, A. 1994. "Can You Achieve 150% of Predicted Retrofit Savings? Is it Time for Recommissioning?", Proceedings of the 1994 ACEEE Summer Study, pp. 5.73- 5.88, August.
20. Claridge, D., Haberl, J., Liu, M. and Athar, A. 1996. "Implementation of Continuous *Commissioning* in the Texas LoanSTAR Program : Can you Achieve 150% of Estimated Retrofit Savings: Revisited", Proceedings of the 1996 ACEEE Summer Study, August.
21. Cortina, V. (ed.) 1988. "Precision Humidity Analysis", EG&G Environmental Equipment, 151 Bear Hill Road, Waltham, Massachusetts, (IR sensors).
22. Doebelin, E. 1990. Measurement Systems. McGraw-Hill, New York, New York, ISBN 0-07-017338-9.
23. EEI 1981. Handbook for Electricity Metering, Edison Electric Institute, Washington, D.C., ISBN-0-931032-11-3.
24. EPRI 1993. "Fundamental Equations for Residential and Commercial End-Uses" (Rep. #EPRI TR-100984 V2). Palo Alto, California: Electric Power Research Institute.
25. Fels, M. (ed.)1986. "Special Issue Devoted to Measuring Energy Savings, The Princeton Scorekeeping Method (PRISM)", Energy and Buildings, Vol. 9, Nos. 1 and 2.
26. Fels, M., Kissock, K., Marean, M.A. and Reynolds, C. 1995. "Advanced PRISM User's Guide", Center for Energy and Environmental Studies Report, Princeton University, Princeton, New Jersey, January.
27. FEMP – Federal Energy Management Program of the U.S. Department of Energy, 2000. "M&V Guidelines : Measurement and Verification for Federal Energy Projects Version 2.2"
28. FEMP – Federal Energy Management Program of the U.S. Department of Energy, 2002. "Detailed Guidelines for FEMP M&V Option A"
29. Goldberg, M.L. 1996a. "The Value of Improved Measurements: Facing the Monsters That Won't Annihilate Each Other", Energy Services Journal, 2(1) : 43- 56.
30. Goldberg, M.L. 1996b. "Reasonable Doubts: Monitoring and Verification for Performance Contracting", Proceedings of the ACEEE 1996 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, 4.133-4.143 Washington, D.C.: American Council for an Energy-Efficient Economy.
31. Haberl, J., Bronson, D. and O'Neal, D. 1995. "Impact of Using Measured Weather Data vs. TMY Weather Data in a DOE-2 Simulation", ASHRAE Transactions, V. 105, Pt. 2, June.
32. Haberl, J., Reddy, A., Claridge, D., Turner, D., O'Neal, D. and Heffington, W. 1996. "Measuring Energy-Savings Retrofits: Experiences from the Texas LoanSTAR Program", Oak Ridge National Laboratory Report No. ORNL/Sub/93-SP090/1, February.
33. Haberl, J., Turner, W.D., Finstad, C., Scott, F. and Bryant, J. 1992. "Calibration of Flowmeters for use in HVAC Systems Monitoring", Proceedings of the 1992 ASME/JSES/KSES International Solar Energy Conference.

34. Hadley, D.L. and Tomich, S.D. 1986. "Multivariate Statistical Assessment of Meteorological Influences in Residence Space Heating", Proceedings of the ACEEE 1986 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, Vol. 9, pp. 9.132-9.145.
35. Harding, J. (ed). 1982. "Recent Advances in Chilled Mirror Hygrometry", General Eastern Corporation Technical Bulletin, 50 Hunt Street, Watertown, Massachusetts.
36. Heinemeier, K. and Akbari, H. 1993. "Energy Management and Control Systems and Their Use for Performance Monitoring in the LoanSTAR Program", Lawrence Berkeley National Laboratory Report No. LBL-33114- UC-350, June, (prepared for the Texas State Energy Conservation Office).
37. Houcek, J., Liu, M., Claridge, D., Haberl, J., Katipamula, S. and Abbas, M. 1993. "Potential Operation and Maintenance (O&M) Savings at the State Capitol Complex", Energy Systems Lab Technical Report No. ESL-TR-93/01- 07, Texas A&M University, College Station, Texas.
38. Huang, P. 1991. "Humidity Measurements and Calibration Standards", ASHRAE Transactions, Vol. 97, p.3521.
39. Hurley, C.W. and Schooley, J.F. 1984. "Calibration of Temperature Measurement Systems Installed in Buildings", N.B.S. Building Science Series Report No. 153, January.
40. Hurley, W. 1985. "Measurement of Temperature, Humidity, and Fluid Flow", Field Data Acquisition for Building and Equipment Energy Use Monitoring, ORNL Publication No. CONF-8510218, March.
41. Hyland, R.W. and Hurley, C.W. 1983. "General Guidelines for the On-Site Calibration of Humidity and Moisture Control Systems in Buildings", N.B.S. Building Science Series 157, September.
42. IPCC 1995. Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change : Scientific-Technical Analyses. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland. pp 64.
43. Katipamula, S. 1996. "The Great Energy Predictor Shootout II: Modeling Energy Use in Large Commercial Buildings", ASHRAE Transactions, Vol. 102, Pt 2.
44. Katipamula, S. and Haberl, J. 1991. "A Methodology to Identify Diurnal Load Shapes for Non-Weather-Dependent Electric End-Uses", Proceedings of the 1991 ASME-JSES International Solar Energy Conference, ASME, New York, New York, pp. 457-467, March.
45. Kats, G., Kumar, S., and Rosenfeld, A. 1999. "The Role for an International Measurement & Verification Standard in Reducing Pollution", Proceedings of the ECEEE 1999 Summer Study, Vol. 1, Panel 1.
46. Kats, G., Rosenfeld, A., and McGaraghan, S. 1997. "Energy Efficiency as A Commodity: The Emergence of an Efficiency Secondary Market for Savings in Commercial Buildings", Proceedings of the ECEEE 1997 Summer Study, Vol. I, Panel 2.
47. Kissock, K., Claridge, D., Haberl, J. and Reddy, A. 1992. "Measuring Retrofit Savings For the Texas LoanSTAR Program : Preliminary Methodology and Results", Solar Engineering, 1992 : Proceedings of the ASME-JSES-SSME International Solar Energy Conference, Maui, Hawaii, April.
48. Kissock, K., Wu, X., Sparks, R., Claridge, D., Mahoney, J. and Haberl, J. 1994. "EModel Version, 1.4d", Energy Systems Laboratory ESL-SW-94/12-01, Texas Engineering Experiment Station, Texas A&M University System, December.
49. Knebel, D.E. 1983. "Simplified Energy Analysis Using the Modified Bin Method", ASHRAE, Atlanta, Georgia, ISBN 0-910110-39-5.

50. Kulwicki, B. 1991. "Humidity Sensors", Journal of the American Ceramic Society, Vol. 74, pp. 697-707.
51. Landman, D. and Haberl, J. 1996a. "Monthly Variable-Based Degree Day Template: A Spreadsheet Procedure for Calculating 3-parameter Change-point Model for Residential or Commercial Buildings", Energy Systems Laboratory Report No. ESL-TR-96/09-02.
52. Landman, D. and Haberl, J. 1996b. "A Study of Diagnostic Pre-Screening Methods for Analyzing Energy Use of K-12 Public Schools", Energy Systems Laboratory Report No. ESL-TR-96/11-01, November.
53. Leider, M. 1990. A Solid State Amperometric Humidity Sensor, Journal of Applied Electrochemistry, Chapman and Hill : Vol. 20, pp. 964-8.
54. Liptak, B. 1995. Instrument Engineers' Handbook, 3rd Edition : Process Measurement and Analysis. Chilton Book Company, Radnor, Pennsylvania, ISBN 0-8019-8197-2.
55. Miller, R. 1989. Flow Measurement Handbook, McGraw Hill Publishing Company, New York, New York, ISBN 0-07-042046-7.
56. Morrissey, C.J. 1990. "Acoustic Humidity Sensor", NASA Tech Brief. Vol. 14, No. 19, April, (acoustic).
- 56a. ORNL (1999) "A Practical Guide for *Commissioning* Existing Buildings" Prepared by Portland Energy Coservation Inc., for Oak Ridge National Laboratory (ORNL/TM-1999/34) Available through <http://eber.ed.oml.gov/commercialproducts/retrocx.htm>.
57. Rabl, A. 1988. "Parameter Estimation in Buildings : Methods for Dynamic Analysis of Measured Energy Use", Journal of Solar Energy Engineering, Vol. 110, pp. 52-66.
58. Rabl, A. and Riahle, A. 1992. "Energy Signature Model for Commercial Buildings : Test With Measured Data and Interpretation", Energy and Buildings, Vol. 19, pp.143-154.
59. Ramboz, J.D. and McAuliff, R.C. 1983. "A Calibration Service for Wattmeters and Watt-Hour Meters", N.B.S. Technical Note 1179.
60. Reddy, T. and Claridge, D. 2000. "Uncertainty of "Measured" Energy Savings From Statistical Baseline Models," ASHRAE HVAC&R Research, Vol 6, No 1, January 2000.
61. Reynolds, C. and Fels, M. 1988. "Reliability Criteria for Weather Adjustment of Energy Billing Data", Proceedings of ACEEE 1988 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, Vol. 10, pp.10.237-10.241.
62. Robinson, J., Bryant, J., Haberl, J. and Turner, D. 1992. "Calibration of Tangential Paddlewheel Insertion Flowmeters", Proceedings of the 1992 Hot and Humid Conference, Texas A&M University, Energy Systems Laboratory Report No. ESL-PA-92/02-09.
63. Ross, I.J. and White, G.M. 1990. "Humidity", Instrumentation and Measurement for Environmental Sciences : Transactions of the ASAE, 2nd ed., p. 8-01.
64. Ruch, D. and Claridge, D. 1991. "A Four Parameter Change-Point Model for Predicting Energy Consumption in Commercial Buildings", Proceedings of the ASME-JSES-JSME.
65. SEL 1996. TRNSYS Version 14.2, and Engineering Equation Solver (EES). Solar Energy Laboratory, Mechanical Engineering Department, University of Wisconsin, Madison, Wisconsin.
66. Soebarto, V. 1996. "Development of a Calibration Methodology for Hourly Building Energy Simulation Models Using Disaggregated Energy Use Data From Existing Buildings", Ph.D. Dissertation, Department of Architecture, Texas A&M University, August.
67. Sparks, R., Haberl, J., Bhattacharyya, S., Rayaprolu, M., Wang, J. and Vadlamani, S. 1992. "Testing of Data Acquisition Systems for Use in Monitoring Building Energy

Conservation Systems", Proceedings of the Eighth Symposium on Improving Building Systems in Hot and Humid Climates, Dallas, Texas, pp.197-204, May.

68. Vine, E. and Sathaye, J. 1999. "Guidelines for the Monitoring, Evaluation, Reporting, Verification, and Certification of Energy-Efficiency Projects for Climate-Change Mitigation", LBNL Report # 41543.
69. Violette, D., Brakken, R., Schon, A. and Greef, J. 1993. "Statistically-Adjusted Engineering Estimate : What Can The Evaluation Analyst Do About The Engineering Side Of The Analysis?" Proceedings of the 1993 Energy Program Evaluation Conference, Chicago, Illinois.
70. Wiesman, S. (ed.) 1989. Measuring Humidity in Test Chambers, General Eastern Corporation, 50 Hunt Street, Watertown, Massachusetts.
71. Wise, J.A. 1976. "Liquid-In-Glass Thermometry", N.B.S. Monograph 150, January.
72. Wise, J.A. and Soulen, R.J. 1986. "Thermometer Calibration : A Model for State Calibration Laboratories", N.B.S. Monograph 174, January.
73. WRI (2007) Guidelines for Grid-Connected Electricity Projects of the GHG Protocol for Project Accounting, planned for 2007 publication by the World Resources Institute (WRI) and the World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), available at www.ghgprotocol.org.

10.1 Autres sources d'information aux États-Unis

Les organisations américaines suivantes fournissent d'autres sources d'informations utiles et pertinentes. Pour cette raison, EVO s'applique à maintenir sur son site Internet (www.evo-world.org), une liste à jour de ressources suivantes et de tous les liens Internet de ce document.

1. Air Conditioning and Refrigeration Center, Mechanical Engineering, University of Illinois. TEL.: 217-333-3115, <http://acrc.me.uiuc.edu>.
2. American Council for an Energy Efficient Economy (ACEEE), Washington, D.C. TEL.: 202-429-8873, <http://www.aceee.org>.
3. American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers (ASHRAE), Atlanta, Georgia. TEL.: 404-636-8400, <http://www.ashrae.org>.
4. American Society of Mechanical Engineers (ASME), New Jersey. TEL.: 800-843-2763, <http://www.asme.org>.
5. Association of Energy Engineers (AEE), Lilburn, GA. TEL.: 404-925-9558, <http://www.aeecenter.org>.
6. Boiler Efficiency Institute, Department of Mechanical Engineering, Auburn University, Alabama. TEL.: 334/821-3095, <http://www.boilerinstitute.com>.
7. Center for Energy and Environmental Studies (CEES), Princeton University, New Jersey. TEL.: 609-452-5445, <http://www.princeton.edu/~cees>.
8. Edison Electric Institute (EEI). Washington, DC. TEL.: 202-508-5000, <http://www.eei.org/resources/pubcat>.
9. Energy Systems Laboratory, College Station, Texas. TEL.: 979-845-9213, <http://www-esl.tamu.edu>.
10. Florida Solar Energy Center, Cape Canaveral, Florida. TEL.: (407) 638-1000, <http://www.fsec.ucf.edu>.
11. IESNA Publications, New York, New York. TEL.: 212-248-5000, <http://www.iesna.org>.
12. Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL), Berkeley CA. TEL.: 510-486-6156, E-mail : EETDinfo@lbl.gov, <http://eetd.lbl.gov>.
13. National Association of Energy Service Companies (NAESCO), Washington, D.C. TEL.: 202-822-0950, <http://www.naesco.org>.

14. Energy Information Administration (EIA), Department of Energy, Washington, D.C.,
TEL.: 202-586-8800, <http://www.eia.doe.gov>.
15. National Renewable Energy Laboratory (NREL), Boulder, Colorado,
TEL.: (303) 275-3000, <http://www.nrel.gov>.
16. National Technical Information Service (NTIS), U.S. Department of Commerce (This is repository for all publications by the Federal labs and contractors), Springfield Virginia.
TEL.: 703-605-6000, <http://www.ntis.gov>.
17. Oak Ridge National Laboratory (ORNL), Oak Ridge, Tennessee,
TEL.: (865) 574-5206, <http://www.ornl.gov/ORNL/BTC>.
18. Pacific Northwest National Laboratory (PNNL), Richland, Washington,
TEL.: (509) 372-4217, <http://www.pnl.gov/buildings/>.

10.2 Références en *mesurage*

L'Appendice A de l'ASHRAE (2002) contient des informations utiles sur les senseurs, techniques de calibration, normes de laboratoire pour *mesurage*, et méthodes d'essai pour les refroidisseurs, ventilateurs, pompes, moteurs, chaudières, fournaies à l'air chaud, accumulateurs thermiques et systèmes de circulation d'air. Il contient également les facteurs utiles d'erreur et coût, cependant l'information relativement au coût est dépassée puisque les dernières données proviennent d'une recherche faite en 1994.

Les normes selon la Directive européenne 2004/22/CE sur les instruments de *mesure* sont :

EN 1359:1998 Compteurs de gaz – Compteurs de volumes de gaz à parois déformables
EN 1359:1998/A1:2006
EN 1434-1:2007 Compteurs d'énergie thermique - Partie 1 : Prescriptions générales
EN 1434-2:2007 Compteurs d'énergie thermique - Partie 2 : Prescriptions de construction
EN 1434-4:2007 Compteurs d'énergie thermique - Partie 4 : Essais en vue de l'approbation de modèle
EN 1434-5:2007 Compteurs d'énergie thermique - Partie 5 : Essais de vérification primitive
EN 12261:2002 Compteurs de gaz - Compteurs de gaz à turbine
EN 12261:2002/A1:2006
EN 12405-1:2005 Compteurs de gaz – Dispositif de conversion - Partie 1 : Conversion du volume
EN 12405-1:2005/A1:2006
EN 12480:2002 Compteurs de gaz – Compteurs de gaz à déplacements rotatifs
EN 12480:2002/A1:2006
EN 14154-1:2005+A1:2007 Compteurs d'eau - Partie 1 : Exigences générales
EN 14154-2:2005+A1:2007 Compteurs d'eau - Partie 2 : Installation et conditions d'utilisation
EN 14154-3:2005+A1:2007 Compteurs d'eau - Partie 3 : Méthodes et équipement d'essai
EN 14236:2007 Compteurs de gaz domestique à ultrasons

EN 50470-1:2006 Équipement de comptage d'électricité (c.a.) - Partie 1 : Prescriptions générales, essais et conditions d'essai. Équipement de comptage (classes de <i>précision</i> A, B et C)
EN 50470-2:2006 Équipement de comptage d'électricité (c.a.) - Partie 2 : Prescriptions particulières – Compteurs électromécaniques d' <i>énergie</i> active (classes de <i>précision</i> A et B)
EN 50470-3:2006 Équipement de comptage d'électricité (c.a.) - Partie 3 : Prescriptions particulières. Compteurs statiques d' <i>énergie</i> active (classes de <i>précision</i> A, B et C)

Les autres normes européennes et internationales sur l'interprétation et les *mesures* de données sont :

EN ISO 4259 Produits pétroliers – Détermination et application des valeurs de fidélité relatives aux méthodes d'essai
EN 24185 <i>Mesure</i> de débit de liquides dans les conduites fermées – Méthode par pesé (ISO 4185:1980)
EN 29104 <i>Mesure</i> de débit de liquides dans les conduites fermées – Méthodes d' <i>évaluation</i> de la performance des débitmètres utilisés pour les liquides
EN ISO 5167 <i>Mesure</i> de débit des fluides au moyen d'appareils déprimogènes insérés dans des conduites en charge de section circulaire – Partie 1 : Principes généraux et exigences générales
EN ISO 6817 <i>Mesure</i> de débit d'un fluide conducteur dans les conduites fermées – Méthode par débitmètres électromagnétiques (ISO 6817:1992)
EN ISO 9300 <i>Mesure</i> de débit de gaz au moyen de Venturi-tuyères en régime critique
EURACHEM Quantifier l'incertitude dans les <i>mesures</i> analytiques
EUROLAB Rapport technique "Incertaince de <i>mesure</i> – collection pour débutants"
ISO 11453 Interprétation statistique des données - Tests et intervalles de confiance portant sur les proportions (1996)
ISO 16269-7 Interprétation statistique des données - Partie 7 : Médiane - Estimation et intervalles de confiance (2001)
ISO 3534 Statistique – Vocabulaire et symboles
ISO 5479 Interprétation statistique des données - Tests pour les écarts à la distribution normale (1997)
ISO 5725 Exactitude (justesse et fidélité) des résultats et méthodes de <i>mesure</i>
ISO/TR 5168 <i>Mesure</i> de débit des fluides – Calcul de l'incertitude
ISO/TR 7066-1 <i>Évaluation</i> de l'incertitude dans l'étalonnage et l'utilisation des appareils de <i>mesure</i> du débit - Partie 1: Relations d'étalonnage linéaires

[Voir l'Appendice C pour les normes spécifiques aux différentes régions du monde.](#)

10.3 Références sur l'étalonnage

Les références sur l'étalonnage dans la liste des publications USA du Chapitre 10 mentionnée ci-dessus incluent : ASTM (1992), Baker and Hurley (1984), Benedict (1984), Bryant and O'Neal (1992), Cortina (1988), Doebelin (1990), EEI (1981), Haberl et al. (1992), Harding

(1982), Huang (1991), Hurley and Schooley (1984), Hurley (1985), Hyland and Hurley (1983), Kulwicki (1991), Leider (1990), Liptak (1995), Miller (1989), Morrissey (1990), Ramboz and McAuliff (1983), Robinson et al. (1992), Ross and White (1990), Sparks (1992), Wiesman (1989), Wise (1976), Wise and Soulen (1986).

10.4 Normes européennes et internationales en appui à l'efficacité énergétique dans les bâtiments

Évaluation de la performance énergétique des bâtiments basée sur l'utilisation énergétique mesurée :

EN15603

EN 15251

CEN CR 1752

ISO/DIS 16814

ISO 7730

Définitions et conditions liées aux services énergétiques :

EN 15900

Performance économique :

ISO 15686-5, Partie 5

EN 15459

Bâtiment global :

PrEN15203 (*Évaluation de l'énergie consommée dans les bâtiments*)

PrEN15603 (*Utilisation de l'énergie globale, énergie primaire et émissions de CO₂*)

PrEN15232 (*Méthodes de calcul pour les améliorations de l'efficacité énergétique des bâtiments par l'application de systèmes immotiques intégrés*)

Série EN15316 (*Méthode de calcul des besoins énergétiques et des rendements des systèmes de chauffage et d'eau chaude domestique*)

ISO 13790 (*Performance énergétique des bâtiments – calcul des besoins d'énergie pour le chauffage des locaux*)

Calcul du chauffage et du refroidissement et méthodes d'inspection :

EPBD WI 014

EN14335 series

EN14243

ISO 13790

ISO 16814

EN13465

EN13779

EN15240

EN15242

Calcul des conditions intérieures et extérieures - présentation des données climatiques :

ISO 15927-1

ISO 15927-2

ISO 15927-4

ISO 15927-5

ISO15927-6.

A-1 Introduction

Cette annexe présente plusieurs types de projets où les questions clés, inhérentes à la conception de plans M&V résultant des situations décrites, sont exposées. Chacun d'eux illustre une seule conception de M&V adhérent à l'IPMVP, bien que, pour chaque cas, il y en ait plusieurs possibles.

Les exemples couvrent 12 scénarios différents :

- Amélioration de l'efficacité d'une pompe/d'un moteur (A-2)
- Décalage de la demande d'une pompe/d'un moteur (A-2-1)
- Efficacité d'appareils d'éclairage (A-3)
- Contrôle opérationnel d'appareils d'éclairage (A-3-1)
- Contrôle et efficacité de systèmes d'éclairage public (A-3-2)
- Gestion des fuites dans un système d'air comprimé (A-4)
- Amélioration d'un groupe électrogène à turbine à vapeur (A-5)
- Amélioration de l'efficacité d'une chaudière (A-6)
- Mesures d'efficacité énergétique multiples, avec des données de la *base* de référence mesurées (A-7)
- Gestion comptable et budgétaire de la consommation d'énergie, du *site* entier (A-7-1)
- Mesures d'efficacité énergétique multiples dans un bâtiment sans compteur de consommation d'énergie pendant la période d'évaluation de la *base* de référence (A-8)
- Bâtiment neuf, de conception plus exigeante que les prescriptions locales en vigueur (A-9)

Ces exemples sont traités à des niveaux variables, afin de montrer les différentes approches usuelles de M&V. Aucun n'est complet. Pour obtenir des informations plus complètes sur les Plans de M&V et des exemples de rapport de suivi des *économies*, les lecteurs sont priés de se référer au site Web des souscripteurs d'EVO (www.evo-world.org). Par ailleurs, le volume III de l'IPMVP propose des exemples d'application de M&V pour les nouveaux bâtiments et des projets d'énergie renouvelable.

Ces exemples internationaux utilisent une variété d'unités techniques et de devises locales. La table suivante présente quelques équivalences d'unités techniques exprimées en unités complémentaires.

Multiplier :		Par :	Pour obtenir :
Gaz naturel	m ³	35	pi ³
	Mpc	1 000	pi ³
Vapeur	livre	0,45	kg de vapeur
Huile	litre	0,26	gallon (US)

EVO encourage tout membre de l'organisation à soumettre ses propres exemples pour diffusion possible dans la bibliothèque du site Web (courriel : ipmvprev@evo-world.org).

A-2 Amélioration de l'efficacité d'une pompe/moteur – Option A

Situation Dix groupes de pompes d'irrigation sont distribués autour d'une propriété agricole dans le but de pomper l'eau des puits souterrains. L'opération de pompage est habituellement continue tout au long de la saison sèche annuelle de six mois, renforcée, le cas échéant, par des pompes mises en marche manuellement. Le fournisseur local d'électricité se déclare prêt à

subventionner partiellement le renouvellement des pompes et l'installation de moteurs à haute efficacité. Pour effectuer le versement final de la subvention, le fournisseur d'électricité exige la démonstration à court terme d'une *consommation d'énergie évitée* conforme à l'IPMVP. Le propriétaire intéressé par l'offre de remplacement des pompes et la réduction des coûts énergétiques paye le montant résiduel des coûts d'installation et accepte de fournir des données au fournisseur d'électricité après les modifications.

Facteurs affectant la conception du M&V La *mesure* de la consommation d'électricité des pompes se fait au moyen de cinq compteurs de consommation, propriété du fournisseur d'électricité. Ces compteurs mesurent seulement les dix pompes. Avant l'exécution du projet, il fut considéré que les nouvelles pompes augmenteraient le taux de pompage de certains puits, de sorte que les heures affectées à cette opération pourraient être réduites.

Le propriétaire et le fournisseur d'électricité reconnaissent que le temps d'exploitation et ainsi les *économies*, dépendent des conditions météorologiques et des précipitations évoluant d'une année à l'autre. Aucun d'eux n'a le contrôle de ces variables qui influencent la consommation d'énergie.

Le propriétaire a recherché le coût le plus bas pour recueillir et rapporter l'information au fournisseur d'électricité. Il a engagé un entrepreneur pour l'assister dans le choix et l'installation des pompes selon ses propres critères et ceux du fournisseur d'électricité.

Le débit des pompes est constant parce qu'il n'y a aucune valve limitatrice et la profondeur des puits est, non affectée par les activités de pompage.

Plan de M&V Le *Plan de M&V* a été développé conjointement par le propriétaire et le fournisseur d'électricité, d'après un modèle fourni par celui-ci. Le choix de l'Option A du volume I de l'IPMVP – EVO 10000 - 1 : 2010 (Fr) s'est imposé afin de réduire au minimum les coûts de M&V. La méthode convenue de l'Option A consiste à négocier une estimation du temps d'exploitation des pompes pendant une année « normale », et à multiplier cette valeur par les réductions mesurées de la puissance. Il a été convenu que l'équipement de *mesure* de l'entrepreneur aurait une *précision* adéquate à la *mesure* des conditions de puissance, en watts, des moteurs. Avant le remplacement de ces derniers, l'entrepreneur a mesuré la puissance consommée de chaque moteur pendant une période de fonctionnement minimale de trois heures. Le fournisseur d'électricité a demandé à assister à ces *mesures*. Puisque les pompes sont à débit constant, la moyenne annuelle de temps d'exploitation résulte de la consommation, en kWh, de la facture d'électricité de la dernière année, divisée par la puissance consommée mesurée en kilowatts des anciens moteurs des pompes. Ce calcul établit que les pompes ont fonctionné en moyenne 4 321 heures par an avant modifications. Le fournisseur d'électricité dispose de données indiquant que la quantité totale des précipitations pendant la saison sèche était inférieure de 9,0 % à la normale. Avec le propriétaire, ils conviennent donc que l'opération de pompage pour cette même année a été plus longue que la normale de 9,0 %. Il a été convenu que les heures normales représenteraient 91 % de 4 321, soit 3 932²² heures par an.

Résultats Les *économies d'énergie* ont été déterminées en utilisant l'Option A de l'IPMVP, équation 1d), comme suit :

Charge totale de toutes les pompes, avant modifications : 132 kilowatts

Charge totale de toutes les pompes, après modifications : 98,2 kilowatts

Réduction nette de la charge : 33,8 kilowatts²³

Économies d'énergie = 34 kilowatts X 3 932 heures/année = 130 000 kWh/année²⁴

²² À noter que le nombre 3 932 devrait être exprimé avec seulement 2 *chiffres significatifs*, puisque 91 % a seulement 2 *chiffres significatifs*. Il devrait, par conséquent, être exprimé plus correctement par $3,9 \times 10^3$. Toutefois, on utilisera la forme commune.

²³ Le nombre réel calculé de 33,8 devrait être traité en tant qu'ayant 2 *chiffres significatifs*. Le résultat de la soustraction (33,8) ne devrait pas montrer plus de chiffres décimaux que l'opérande ayant le moins de décimales (132 n'en a aucune, donc 34 n'en a aucune).

Le montant du paiement final de la subvention, par le fournisseur d'électricité, est basé sur des *économies d'énergie* de 130 000 kWh.

En utilisant les mêmes périodes d'opération estimées, l'économie estimée du propriétaire dans des conditions normales de précipitations et aux prix des services courants est : 132 902 kWh/année²⁵ X 0,048 \$/kWh = 6 400 \$/année.²⁶ Les services et les frais de réseau restent inchangés.

A-2.1 Décalage de la demande d'une pompe/d'un moteur - Option B

Situation Le système d'irrigation décrit dans l'annexe A-2 ci-dessus, était également éligible à un appui financier substantiel de la part du fournisseur d'électricité si les pompes étaient mises hors tension pendant les périodes de pointe de 7 h à 10 h et de 18 h à 20 h, tous les jours de la semaine qui ne sont pas des jours fériés. Le propriétaire a fait mettre en place un système de commande à signal radio pour mettre en application cette stratégie de décalage de charge des pompes à distance et à commande automatique. La commande des pompes sera remise à zéro annuellement par le propriétaire en fonction du calendrier pour les jours fériés.

Facteurs affectant la conception des M&V Le propriétaire a cru que le raccourcissement de la période de pompage pour un maximum de 25 heures par semaine (15 %) ne serait pas critique à son opération en saison sèche. (Il s'est attendu à peu de pannes des nouvelles pompes, ainsi, il n'y aurait aucun impact net sur sa croissance en saison sèche).

Le fournisseur d'électricité reconnaît que le propriétaire décide s'il arrête les pompes selon ses propres besoins. Par conséquent, le fournisseur d'électricité requiert l'adhésion à l'**Option B** du **volume I** de l'IPMVP, EVO 10000 - 1 : 2010 (Fr) pour justifier, tous les ans, l'économie générée avant d'effectuer le paiement de l'appui financier.

Le propriétaire a estimé que sa période de remboursement pour l'équipement de commande et de surveillance était déjà longue. Par conséquent, il ne veut pas dépenser une partie significative de l'appui financier pour fournir les preuves demandées par le fournisseur d'électricité.

Plan de M&V Le fournisseur d'électricité et le propriétaire ont convenu que l'enregistrement continu d'une variable d'indication donnerait la preuve continue que les pompes étaient hors tension pendant chaque période de pointe durant l'année. La variable d'indication est la présence d'un flux électrique (au-dessus du 500 mA requis par l'équipement de commande), par les 5 alimentations électriques aux 10 pompes. De petites sondes de courants non calibrées et des enregistreurs de données ont été installés sur chaque fils d'alimentation près des 5 compteurs. Les sondes et les enregistreurs ont un système d'alimentation de secours à batterie rechargeable.

Le propriétaire a engagé le fournisseur des dispositifs de commande et de surveillance pour lire les données annuellement, vérifier les paramètres de l'horloge, et présenter un rapport au fournisseur d'électricité sur les dates et les périodes de n'importe quelle opération au cours de toutes les périodes de pointe des jours de semaine.

Résultats Pendant la première année, après l'implantation du système de commande et de surveillance, l'agent de surveillance a rapporté au fournisseur d'électricité que de la puissance a été employée entre 18 h et 20 h pour 5 jours spécifiques de semaine. Le fournisseur d'électricité a vérifié que ces jours étaient tous des jours fériés publics, pour s'assurer qu'aucune opération n'ait eu lieu pendant les périodes de pointe définies. Le décalage de demande a été déterminé à 98.2 kilowatts, à partir de la *mesure* des nouvelles pompes (voir l'annexe A-2). L'appui financier annuel du fournisseur d'électricité a été calculé et payé selon cette Option B qui a enregistré un décalage de demande de 98.2 kilowatts.

²⁴ Puisque 33,8 (correctement 34) et 3 932 (correctement $3,9 \times 10^3$) ont seulement 2 *chiffres significatifs*, leur produit devrait seulement être exprimé avec 2 *chiffres significatifs*. Cependant, la quantité calculée pour le produit de 33,8 et de 3 932 est 132 902, l'expression appropriée de leur produit est $1,3 \times 10^5$, ou 130 000.

²⁵ 132 902 est la valeur réelle calculée avant l'arrondissement au chiffre significatif.

²⁶ Cette quantité peut être exprimée avec pas plus de 2 *chiffres significatifs*, comme l'explique les observations ci-dessus au sujet du nombre minimum de *chiffres significatifs*. La valeur calculée réelle est 6 379 \$ et devrait mieux être exprimée comme $6,4 \times 10^3$ R, bien que 6 400 soit le format normal de devise.

A-3 Efficacité des appareils d'éclairage – Option A

Situation Des équipements d'éclairage (lampes) plus efficaces remplacent des appareils existants dans une école, tout en maintenant les mêmes niveaux d'éclairage. Ce projet fait partie d'un vaste programme de la commission scolaire devant engager un entrepreneur qui concevrait, installerait et financerait plusieurs changements dans un certain nombre d'écoles. Dans le cadre de ce contrat, les paiements sont basés sur l'économie mesurée au prix du fournisseur d'électricité lors de la signature du contrat. L'économie doit être démontrée, selon un *Plan de M&V* adhérent à l'IPMVP, immédiatement après la mise en service des modifications. Puisque le propriétaire contrôle l'opération des appareils, il était indiqué dans le contrat que le *Plan de M&V* devait suivre l'Option A du volume I de l'IPMVP, EVO 10000 – 1:2010 (Fr), en utilisant un temps d'exploitation estimé. Le *Plan de M&V* devait être détaillé après signature du contrat.

Les facteurs affectant la conception du *Plan de M&V* En développant le *Plan de M&V*, les points suivants ont été considérés :

- tous les appareils d'éclairage sont actionnés par un circuit d'alimentation commun de 347 volts consacré aux systèmes d'éclairage. Cette situation simplifie la *mesure* de la puissance;
- l'opération des appareils affecte de manière significative la consommation d'*énergie* calorifique, ainsi l'effet interactif a besoin d'être estimé;
- l'opération des appareils affecte de manière significative les conditions de climatisation. Cependant, puisque très peu d'écoles sont climatisées car cet espace est habituellement non occupé durant les périodes plus chaudes, les *effets interactifs* de climatisation ont été ignorés;
- les fonctionnaires de la commission scolaire ont eu de la difficulté à accepter une estimation arbitraire des périodes d'éclairage. Ils ont donné leur accord pour payer un enregistrement précis des habitudes d'éclairage pendant une période de deux mois dans une école. Cet essai justifierait le temps d'exploitation estimé qui serait convenu pour toutes les écoles.

Plan de M&V Le *périmètre de mesure* de cette MCE a été décidé pour inclure les appareils d'éclairage reliés au circuit d'alimentation de 347 volts :

- l'effet interactif de chauffage a été déterminé par des calculs d'ingénierie, obtenant une augmentation de 6,0 % des besoins en *énergie* calorifique provenant de chaudières pour la période allant de novembre à mars. L'efficacité des chaudières en hiver a été estimée à 79 % dans des conditions typiquement hivernales;
- les *facteurs statiques* enregistrés pour l'année de référence incluaient une enquête sur l'utilisation de l'éclairage donnant une description, un endroit, un niveau d'éclairage, et un compte du nombre de ballasts et de luminaires opérationnels et non opérationnels;
- pendant deux mois, 30 enregistreurs de données ont été placés de façon aléatoire dans les salles de classe sélectionnées, couloirs, salles de casiers, bureaux et également dans le gymnase et l'auditorium. Cette période incluait la semaine de relâche scolaire et deux vacances légales. Le Tableau A-3-1 résume les données obtenues.

Endroit	Fraction de la charge d'éclairage	Heures d'opération - moyenne hebdomadaire	
		Durant l'école	Durant les vacances
Casiers	5 %	106	22
Bureaux	5 %	83	21
Classes	61 %	48	5
Auditorium	10 %	31	11
Gymnase	10 %	82	25
Couloirs	9 %	168	168

Tableau A-3-1

Sondage sur la période d'utilisation de l'éclairage

Puisque les salles de classe représentent la plus grande charge énergétique du projet, la *précision* relative de la *mesure* pour les périodes de fonctionnement des classes a été évaluée avant que les fonctionnaires de la commission scolaire se soient entendus sur des valeurs estimées. Pour les 19 enregistreurs des classes, l'*écart type* parmi les lectures enregistrées pour 6 semaines d'école s'est avéré être de 15 heures par semaine. Avec $19 \times 6 = 114$ lectures, l'*erreur type* en valeurs moyennes a été calculée comme étant de 1,4 heure par semaine (équation B-4). Avec un interval de confiance de 95 %, la valeur de t pour un grand nombre d'observations est de 1,96 (Tableau B-1). Par conséquent, en utilisant l'équation B-7, on a établi avec une confiance de 95 % que la *précision* relative dans le temps d'exploitation des classes enregistrées est :

$$= \frac{1,96 \times 1,4}{48} = 5,7\%$$

La commission scolaire a considéré cette *précision* de *mesure* comme étant adéquate.

Avant d'estimer des valeurs pour toutes les écoles, il a été décidé d'ajouter 6 heures par semaine aux heures de classe en raison des plans d'augmentation des classes de soirée. Étant donné qu'il y a 39 semaines d'école et 13,2 semaines de vacances en moyenne par année (avec les années bissextiles), le temps d'exploitation annuel estimé a été accepté comme étant :

Tableau A-3-2 Temps de fonctionnement estimé	Endroit	Fraction de la charge d'éclairage	Heures d'opération - moyenne hebdomadaire		Temps d'opération annuel estimé
			39 semaines d'école	13.2 semaines de vacances	
	Casiers	5 %	106	22	4 424
	Bureaux	5 %	83	21	3 514
	Classes	61 %	54	5	2 172
	Auditorium	10 %	31	11	1 354
	Gymnase	10 %	82	25	3 528
	Couloirs	9 %	168	168	8 770

Puisque les modifications aux équipements d'éclairage ont été appliquées uniformément, la moyenne annuelle des heures d'exploitation estimée pour cette école, a été déterminée à 2 999, ou 3 000, arrondie à 2 *chiffres significatifs*.

- les *mesures* de puissance de la *période de référence* ont été prises avec un wattmètre rms récemment calibré pour la consommation de puissance triphasée sur les circuits d'éclairage de 347 volts. En effectuant une *mesure* de 30 secondes à l'entrée des deux transformateurs des systèmes d'éclairage, il a été constaté qu'avec tous les appareils en fonction, la puissance totale était de 288 kilowatts. Soixante-dix lampes (= 3 kilowatts ou 1 %) étaient hors d'usage au moment de l'essai. Il a été déterminé que la fraction hors d'usage à l'heure de cette *mesure* était normale;
- puisque les charges d'éclairage permettant d'établir la demande électrique maximale du bâtiment sont prises à un moment où tous les appareils d'éclairage sont en fonction, les *économies* sur la demande électrique seront estimées comme étant identiques à la réduction de la charge mesurée sur le circuit d'éclairage. Les factures du fournisseur d'électricité ont démontré une demande inférieure pendant les vacances d'été, et il y avait une utilisation minimale du bâtiment pendant ces mois. En outre, considérant quel autre équipement a été employé pendant l'été, la demande du circuit d'éclairage de juillet et d'août a été estimée à seulement 50 % de la charge maximale mesurée du circuit;
- les prix du fournisseur d'électricité au moment de la signature du contrat étaient de 0,063 \$/kWh, 10,85 \$/kW-mois, et de 0,255 \$/m³ pour le gaz.

Résultats Après installation de la mesure d'efficacité énergétique, la puissance du circuit d'éclairage a été remesurée comme lors des *mesures* pour la *base de référence*. La puissance maximum était de 162 kilowatts avec tous les appareils d'éclairage en fonction. Avec le même taux d'appareils hors service de 1 % que pour la *base de référence*, la puissance maximale périodique post-modification serait de 160 kilowatts (=162 X 0,99). Par conséquent, la réduction de puissance est de 288 - 160 = 128 kilowatts.

Les *économies d'énergie* (employant l'équation 1d) sans ajustement) sont de 128 kilowatts X 3 000 heures/année = 384 000 kWh/année.

L'économie sur la demande est de 128 kilowatts pendant 10 mois et de 64 kilowatts pendant 2 mois, pour un total de 1 408 kilowatt-mois.

La valeur de l'économie électrique estimée sous l'Option A de l'IPMVP est de :

$$(384,000 \text{ kWh} \times 0,063 \$) + (1\,408 \times 10,85 \$) = 39\,469 \$$$

En supposant que l'économie sur les systèmes d'éclairage soit réalisée uniformément sur une période de 10 mois, l'économie sur la facture électrique mensuelle typique d'hiver est de 384 000/10 = 38 400 kWh/mois. L'augmentation de consommation associée à la charge pour la chaudière est de 6,0 % de ces *économies* électriques pour novembre à mars; à savoir :

$$= 6,0 \% \times 38\,400 \text{ kWh/mois} \times 5 \text{ mois} = 11\,520 \text{ kWh}$$

La consommation d'*énergie* supplémentaire à l'entrée de la chaudière est de :

$$= 11\,520 \text{ kWh} / 79 \% = 14\,582 \text{ kWh unités équivalentes du carburant}$$

Le gaz employé dans la chaudière a une teneur en *énergie* de 10 499 kWh/m³, ainsi la quantité de gaz supplémentaire est de :

$$= 14\,582 / 10\,499 = 1\,389 \text{ m}^3 \text{ gaz}$$

La valeur du gaz supplémentaire employé en hiver est de 1 389 x 0,255 \$ = 354 \$. Par conséquent, l'économie nette totale est de 39 469 \$ - 354 \$ = 39 115 \$. Cette somme est arrondie à 39 000 \$, démontrant le plus bas nombre de *chiffres significatifs* des valeurs utilisées ci-dessus.

A-3-1 Contrôle opérationnel d'appareils d'éclairage – Option A

Situation Une usine de confection de vêtements fonctionne typiquement deux périodes par jour. Un ordre permanent pour que les surveillants mettent hors service tous les systèmes d'éclairage dans chaque zone à la fin de la deuxième période, est en vigueur. Il y a 70 commutateurs de système d'éclairage. Avec le changement régulier de surveillants entre la première et la deuxième période, l'obligation de mettre hors service tous les systèmes d'éclairage était souvent oubliée.

Le directeur de l'usine a entrepris un projet pour modifier les systèmes d'éclairage de sorte que des détecteurs d'occupation ouvrent/ferment les lumières. Il a documenté les résultats pour montrer aux surveillants la mauvaise utilisations des commutateurs.

Les facteurs affectant la conception des M&V Tous les secteurs de production étaient sans fenêtre ou lucarne. Ils ne sont ni chauffés ni refroidis. Des circuits d'éclairage sont intégrés avec d'autres charges électriques de sorte que l'utilisation des systèmes d'éclairage n'a pu être facilement isolée des autres utilisations de l'*énergie* électrique.

Le directeur de l'usine a peu dépensé pour évaluer les *économies*, mais a besoin d'un rapport crédible sur le tout.

Le prix de l'électricité des utilisateurs commerciaux de taille moyenne est de 0,063 \$/kWh.

Plan de M&V Pour réduire au minimum les coûts de M&V, il a été décidé d'effectuer des *mesures* d'économie seulement durant une courte période représentative, et d'utiliser l'Option A du volume I de l'IPMVP - 2010. Puisque le but principal de la modification était de contrôler les heures d'opération du système d'éclairage du secteur de production, une méthode basée sur l'échantillonnage a été développée pour mesurer le changement des heures d'exploitation. La puissance des systèmes d'éclairage (pour utiliser dans l'équation 1d)) a été estimée à partir des données du fabricant comme étant 223 kilowatts.

Des enregistreurs ont été placés aléatoirement autour du secteur de production pour mesurer et enregistrer le temps d'utilisation des systèmes d'éclairage dans des zones sélectionnées au hasard. Le nombre d'enregistreurs a été choisi afin d'obtenir une *précision* globale des *évaluations* des périodes de fonctionnement de $\pm 10\%$, avec un intervalle de confiance de 90 %. Il a été estimé que le temps d'exploitation moyen avant l'installation des détecteurs d'occupation était de 125 heures par semaine, et que l'*écart type* dans les lectures serait de 25. Par conséquent, le CV estimé au commencement est de 0,2 et le nombre nécessaire d'échantillons (avec z de 1,96) est de 15 (équation B-11). Puisqu'il y a seulement 70 zones, l'ajustement sur l'échantillonnage abaisse le nombre estimé d'enregistreurs exigé à 12 (équation B-12). Il a été supposé qu'après l'installation des détecteurs d'occupation, le CV sera significativement inférieur; ainsi les 12 enregistreurs seront adéquats.

Il n'y a aucun effet interactif de cette modification sur d'autres charges du bâtiment parce que l'usine n'est ni chauffée, ni climatisée. On s'attend à ce que la réduction de l'éclairage de nuit rende le bâtiment thermiquement plus confortable au début de la période de travail matinale.

Résultats Après une période d'un mois, les données des enregistreurs ont été recueillies et le temps d'exploitation hebdomadaire moyen calculé pour les 12 zones. La valeur moyenne était de 115 et l'*écart type* était de 29. Par conséquent, le CV était de 0,24 ($= 29/115$), plus haut que la valeur prévue et pire que ce qui était nécessaire pour répondre à l'exigence de *précision*. Par conséquent, un autre mois d'enregistrement a été entrepris. La moyenne des huit semaines de valeurs moyennes hebdomadaires était de 118, et l'*écart type* était de 24 (CV = 0,20). Ceci a été considéré comme étant une *mesure* adéquate du temps d'exploitation dans la *base de référence*, sans détecteur d'occupation.

Les contrôles de détecteurs d'occupation ont été installés après le test de la *base de référence* ci-dessus. Le temps d'exploitation a été de nouveau enregistré aux mêmes endroits pendant un mois. La moyenne s'est avérée être de 82 heures par semaine, et l'*écart type* était de 3 heures. Dans cette situation, le CV est de 0,04 et tout à fait en conformité avec le 0,2 exigé. Ainsi, les lectures d'un mois ont été acceptées. Aucun changement n'a eu lieu quant à la façon dont l'usine a été occupée ou utilisée, alors il n'y a aucun besoin de faire un ajustement non périodique aux données de la *base de référence*.

La réduction en temps d'exploitation était de $118 - 82 = 36$ heures par semaine. L'économie a été calculée en utilisant l'équation 1d) :

$$223 \text{ kilowatts} \times 36 \text{ heures/semaine} = 8\,028 \text{ kWh/semaine}$$

Avec 48 semaines d'opération chaque année, la valeur annuelle des *économies* de consommation d'*énergie* est :

$$= 8\,028 \times 48 \times 0,063/100 = 24\,000 \text{ \$}$$

Il n'y aucune économie de demande puisque les modifications affectent seulement l'utilisation creuse de puissance.

Par conséquent, sur la base de l'utilisation de l'Option A de l'IPMVP, on peut énoncer avec une confiance de 90 % que l'économie, pendant le mois après installation des détecteurs d'occupation, était de 24k \$ $\pm 10\%$, étant donné l'*évaluation* de la charge d'éclairage installée.

A-3-2 Contrôle et efficacité du système d'éclairage public – Option B

Situation Le système d'éclairage public d'une ville avait besoin de réparations et de mises à jour importantes. Un nouveau système d'éclairage a été installé sur le même câblage, y compris des appareils à haute efficacité et un système de contrôle de l'intensité qui réduit la puissance requise pour le système d'éclairage jusqu'à 50 % en période creuse. L'éclairage est distribué à travers la ville, avec 23 points de *mesure*. La modification incluait l'addition d'un contrôle d'intensité centralisé. La ville a maintenu l'entrepreneur actuel des systèmes d'éclairage et d'entretien pour la conception, l'installation, et l'entretien du système. La ville a obtenu une garantie de performance des *économies* de l'entrepreneur. La ville a exigé de l'entrepreneur de démontrer continuellement la réalisation de l'économie garantie.

Les facteurs affectant la conception des M&V Les niveaux d'éclairage de la *base de référence* étaient inconsistants parce que 20 % des équipements étaient hors service. La ville a

souhaité maintenir un niveau d'éclairage plus uniforme. Elle a alors augmenté son contrat d'entretien d'éclairage public pour spécifier que les équipements hors service ne représentent pas plus de 3 % à tout moment.

Puisque le contrôle d'intensité est critique à l'économie, l'enregistrement continu de la consommation d'énergie est exigé. La mesure de la consommation d'énergie des 23 compteurs du fournisseur d'électricité servent en continu. Cependant, ces compteurs ne peuvent pas fournir la réaction d'opération rapide nécessaire pour éviter le gaspillage significatif d'énergie si un gradateur échoue ou est accidentellement changé. Conséquemment, des possibilités d'enregistrement de la consommation d'énergie ont été ajoutées au système de contrôle d'intensité central pour enregistrer à distance la consommation d'énergie dans la station de contrôle centrale de la ville. Au delà du simple rapport énergétique, le système compare la consommation horaire réelle d'énergie sur chaque circuit à un profil horaire prévu. Des variances de cette cible sont employées pour repérer des équipements hors service et des échecs du gradateur.

Plan de M&V L'électricité de la base de référence sur chacun des 23 compteurs de service pendant la dernière année est montée à 1 753 000 kWh, provenant des factures des fournisseurs d'énergie envoyées au service public. Le nombre et l'endroit de tous les équipements d'éclairage dans la base de référence ont été enregistrés en tant qu'élément du Plan de M&V, avec les niveaux de fonctionnement du système de contrôle d'éclairage.

La consommation d'énergie annuelle enregistrée sur les factures pour les mêmes comptes sera additionnée pour déterminer l'économie en utilisant l'Option B du volume I de l'IPMVP, EVO 10000 -1 : 2010 (Fr), équation 1c). Les seuls ajustements qui seront faits à la base de référence ou à la consommation d'énergie de la période de suivi seront pour des additions ou des suppressions au système, et pour des quantités d'équipements hors service qui se sont avérés plus de 3 % à tout moment.

Un ajustement non périodiques a été fait immédiatement pour tenir compte du taux d'équipements hors service de 20 % pour la période de référence, à la valeur cible de 3 % pour la période de suivi. L'énergie de la base de référence a donc été ajustée à 2 126 000 kWh (= 1 753 000 x 0,97 / 0,80).

Le personnel de ville surveillera mensuellement les niveaux d'équipement hors service. Si le taux d'équipement hors service est supérieur à 3 %, un ajustement non périodiques sera fait pour ramener les données mesurées pour la période de suivi jusqu'au taux maximum contracté d'équipement hors service de 3 %. L'économie sera évaluée pour la durée de la période de garantie de dix ans en utilisant un prix simple de 0,063 \$/kWh.

Résultats L'économie a été évaluée sans ajustement pendant les trois premières années après modification parce que les taux d'équipement hors service sont demeurés au-dessus de 3 %.

Pendant la quatrième année, le taux d'équipement hors service était de 5 % pendant 7 mois. L'économie générée lors de la quatrième année a été calculée comme suit :

Consommation d'énergie de référence = 2 126 000 kWh

Énergie mesurée la quatrième année = 1 243 000 kWh

Ajustement pour les appareils hors service est =

$$\left(\frac{0,97}{0,95} - 1 \right) \times \frac{7}{12} \times 1243000 = 15000 \text{ kWh}$$

Consommation d'énergie ajustée pour la quatrième année

$$= 1\,243\,000 + 15\,000 = 1\,258\,000 \text{ kWh}$$

Économies (énergie évitée) = 2 126 000 – 1 258 000 = 868 000 kWh

Coût évité = 868 000 kWh x 0,063 = 55 000 \$

A-4 Gestion des fuites d'un système d'air comprimé – Option B

Situation Le bureau d'études de l'usine de production d'un constructeur d'automobiles brésilien a estimé une perte annuelle de 200 000 \$R due à des fuites du système d'air comprimé, causées par une maintenance lacunaire. Le responsable de l'exploitation de l'usine a convaincu le directeur général de faire en sorte que le service d'entretien assigne une personne à la réparation des fuites, pour une durée estimée de deux mois. Le bureau d'études accepte, pour sa part, d'assurer une surveillance continue des taux de fuites et des pertes financières, de manière à motiver le personnel de maintenance à effectuer des contrôles systématiques des fuites d'air.

Facteurs affectant la conception des M&V Le budget disponible pour une quelconque activité de M&V est très réduit. De plus, le bureau d'études s'était donné pour objectif, en matière de méthodologie de M&V, de ne pas dépasser un taux d'erreur de $\pm 5\%$ pour tout gain reporté, avec un *niveau de confiance* de 95 %.

L'usine est exploitée à raison de 2 périodes de travail par jour, 10 par semaine, 442 par année. Durant l'exploitation, le système d'air comprimé est constamment opérationnel. Les rejets thermiques des compresseurs sont évacués à l'extérieur du local technique sans impact sur les autres consommateurs d'énergie de l'usine.

Le tarif local applicable, connu sous le nom de « tarif vert », destiné aux entreprises dont la puissance installée est supérieure à 0,5 MW, est indiqué dans le Tableau A-4-1 :

	Mois secs (mai à septembre)	Mois humides (octobre à avril)
Période de pointe (17 h 30 - 20 h 30 du lundi au vendredi)	0,957 \$R/kWh	0,934 \$R/kWh
Période morte	0,143 \$R/kWh	0,129 \$R/kWh

Des taxes totalisant 42,9 % sont ajoutées à ces taux.

L'incidence sur l'appel de puissance en électricité de l'usine sera minime puisqu'il est probable qu'aucun changement ne surviendra dans le nombre maximal de compresseurs opérationnels, pendant l'exploitation de l'usine.

Plan de M&V Un plan de *mesure et vérification* complet est accessible sur le site Web du réseau d'EVO (www.evo-world.org). Le plan se réfère au volume I de l'IPMVP, EVO 10000 – 1 :2010, Option B, pour mesurer les *économies* de manière continue, dans le but d'indiquer les changements survenus dans les taux de fuites d'air comprimé. L'équation 1b) de l'IPMVP a été utilisée afin d'ajuster la consommation d'énergie aux conditions de la *période de suivi*. Le *plan de M&V* vise à minimiser les coûts supplémentaires liés à la *mesure*. Raison pour laquelle l'instrumentation a été réduite à l'usage d'un wattmètre triphasé RMS, mesurant la puissance du tableau électrique qui alimente tout l'équipement du local technique des compresseurs. Ce périmètre comprend ainsi 6 compresseurs, 3 séchoirs à air comprimé, et tous les autres systèmes auxiliaires mineurs. La dissipation thermique des équipements du local ne constitue pas une interaction notable, puisqu'elle n'influe sur aucun autre consommateur d'énergie. Le personnel de maintenance a été chargé de relever le compteur à la fin de chaque période de travail, que la production soit opérationnelle ou non. Le compteur a été installé trois mois avant que les activités correctrices ne débutent.

Les *facteurs statiques* relatifs à la conception et à l'exploitation de l'usine ont été identifiés et collectés. Ils constituent la référence destinée à tout ajustement éventuel, non routinier, dans le futur. Ils comprennent les spécifications liées à la quantité, à la capacité et à l'utilisation de tout équipement consommant de l'air comprimé, le taux de production des chaînes de l'usine et les gammes de véhicules produits.

La forme de l'utilisation de l'électricité, au cours de la *période de référence*, que ce soit pendant les périodes de travail en production ou non, était passablement variable. Elle faisait apparaître également de faibles variations, selon les périodes de travail. Aucune *variable indépendante* spécifique n'a pu être déterminée pour expliquer ces variations. Pour

déterminer les *économies*, il a été décidé d'utiliser la *moyenne* de consommation d'*énergie* pour chaque période de travail, pendant la *période de référence*. Un critère a été établi pour déterminer le nombre de lectures d'*énergie* par période de travail, pendant la *période de référence*, afin d'atteindre la cible 95/5 d'incertitude pour tout rapport de gain de la *période de suivi*.

Résultats Un jeu complet de résultats d'*économies* réalisées est disponible sur le site Web du réseau d'EVO. Il est apparu que, pour atteindre le critère d'incertitude de 95/5, la variation d'*énergie* découlant des périodes de travail nécessitait des lectures pendant sept semaines de la *période de référence*. Les données de la *période de référence* reflètent ainsi l'utilisation *moyenne* d'électricité sur sept semaines, couvrant des périodes de travail, productives ou non.

Il a été reporté qu'une fois les activités de réparation des fuites effectuées, il y avait beaucoup moins de variations par période de travail, dans l'utilisation de l'*énergie*, qu'en *période de référence*. Ainsi, la cible d'incertitude a pu être atteinte dans les rapports mensuels d'*économies*.

Les *économies d'énergie* ont été calculées en fonction de la différence entre l'utilisation d'*énergie* mensuelle mesurée pendant la *période de suivi* et l'utilisation ajustée d'*énergie* lors de la *période de référence*. Cette « utilisation ajustée » a été déterminée en multipliant le nombre de périodes de travail, par mois, en *période de suivi* par l'utilisation *moyenne* d'*énergie* en *période de référence* pour chaque type de période de travail.

Le tarif d'électricité approprié a été appliqué aux *économies* de la consommation, en supposant que les taux d'utilisation de la période de pointe s'appliquaient uniquement aux trois heures comprises dans la deuxième période de travail. Aucune économie sur l'appel de puissance n'a été calculée.

Ces *mesures* restent des opérations courantes d'exploitation de l'usine. Son bureau d'études a ajusté périodiquement l'*énergie* de la *base de référence*, au fur et à mesure des modifications des *facteurs statiques*. Le personnel de maintenance a continué de relever la consommation d'*énergie* découlant des périodes de travail, et le bureau d'études a établi le rapport mensuel des *économies d'énergie*. Les variations constatées par rapport aux *économies* antérieures sont devenues le critère d'*évaluation* des pratiques de maintenance du système d'air comprimé.

A-5 Amélioration d'un groupe électrogène à turbine à vapeur – Option B

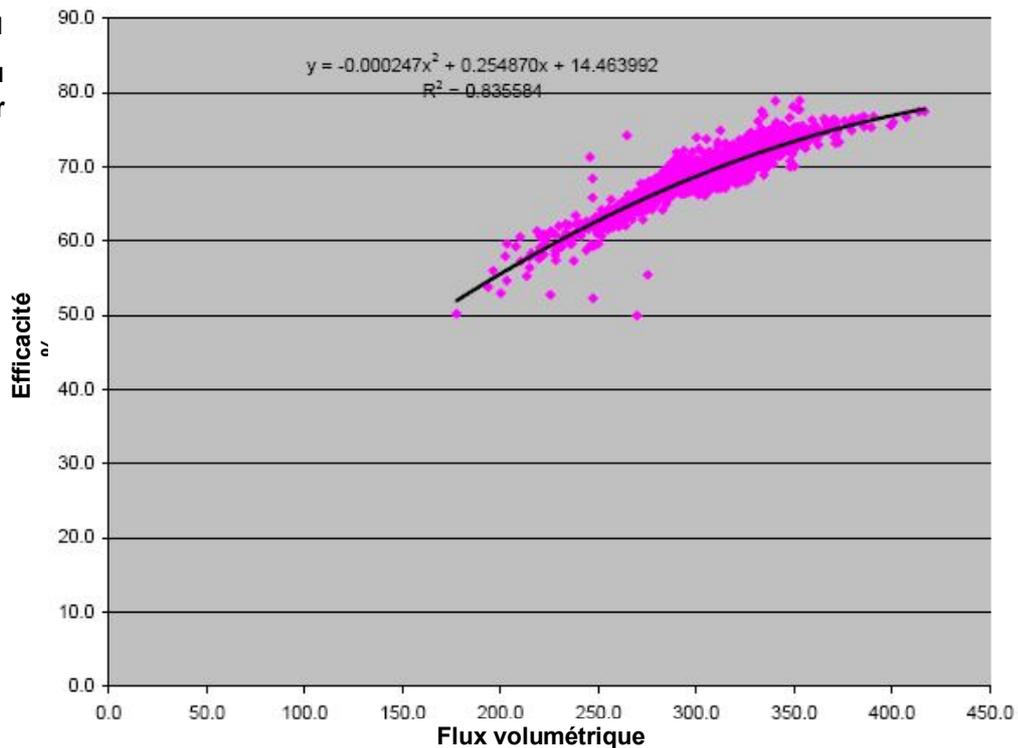
Situation Une usine de pâte à papier utilise une turbine à vapeur pour produire de façon importante sa propre électricité. Les changements récents de processus avaient réduit la quantité de vapeur disponible pour l'unité de turbine-générateur (TG) de son niveau original de conception. Par conséquent, l'électricité générée et l'efficacité thermique de l'unité du TG ont été réduites. L'usine a installé un nouveau rotor plus efficace conçu pour le nouveau débit de vapeur plus petit. Un procédé de *mesure* a été mis en place pour évaluer le rendement électrique accru afin de pouvoir se qualifier pour une subvention du fournisseur d'électricité.

Les facteurs affectant la conception des M&V Le but du M&V était de faire le suivi des *économies* électriques. Les responsables de l'usine ont identifié que l'extraction de plus d'*énergie* par la turbine laisse moins de vapeur pour le processus ou exige plus d'*énergie* provenant de la chaudière pour livrer la même vapeur au processus. Ces *effets interactifs* n'étaient pas inclus dans cette analyse pour le fournisseur d'électricité. La subvention du fournisseur d'électricité est basée purement sur la production accrue d'électricité.

Plan de M&V Les responsables de l'usine et le fournisseur d'électricité ont accepté d'utiliser l'Option B du volume I de l'IPMVP - 2010, pour déterminer l'augmentation de la production d'électricité produite sur une période d'un an. L'instrumentation existante de l'usine a été employée pour déterminer l'efficacité du vieux rotor selon les indications de la figure A-5.1.

Effacité thermique à basse pression avant modification

Figure A-5.1
Performance du
vieux rotor



Le modèle mathématique décrivant l'efficacité de l'unité pour la *période de référence* a été calculé, par *analyse de régression*, comme étant :

$$\text{Efficacité (\%)} = (-0,000247 \times \text{débit}^2) + (0,255 \times \text{débit}) + 14,5$$

Ce modèle d'efficacité sera employé avec les conditions de vapeur de la *période de suivi* d'une année pour déterminer ce qu'aurait été la production d'électricité avec le vieux rotor. La production accrue de l'électricité sera rapportée sous les conditions de la *période de suivi*, en utilisant l'équation 1b) de l'IPMVP.

Des compteurs existants dans l'usine sont régulièrement calibrés en tant que partie intégrante de l'entretien de l'usine. Ils ont été considérés convenables pour l'objectif du fournisseur d'électricité.

Résultats Pendant une année après les modifications, les conditions de production de vapeur ont été appliquées à chaque minute au modèle mathématique de l'efficacité de vieux rotor pour calculer l'énergie de la *base de référence* ajustée, utilisée dans l'équation 1b) de l'IPMVP. Cette valeur a été comparée à la génération réelle mesurée la même période, pour déterminer l'augmentation du rendement électrique.

Aucun changement ne fut effectué sur l'unité de TG pendant cette année, ainsi les *ajustements non périodiques* furent inutiles.

A-6 Amélioration d'efficacité de la chaudière – Option A

Situation Un entrepreneur spécialisé dans l'installation de chaudières a remplacé une chaudière existante d'un édifice à bureaux par une chaudière plus efficace. L'entrepreneur a garanti une économie annuelle d'huile d'au moins 75 000 \$, en supposant que les charges sur la chaudière étaient identiques à celles mesurées pendant la *période de référence*. Le bon de commande du propriétaire a indiqué que les retenues de garantie seraient payées seulement après que l'entrepreneur ait présenté un rapport sur l'économie, adhérent au volume I de l'IPMVP, EVO 10000 -1:2010 (Fr). Il a été mentionnée que le propriétaire et l'entrepreneur

seraient d'accord sur le *Plan de M&V* comme étant partie intégrante des plans finaux pour la modification.

Les facteurs affectant la conception des M&V De nombreux changements au bâtiment étaient en cours lors du remplacement de la chaudière de l'usine. Ainsi, on s'est attendu à ce que les charges de la chaudière changent. L'entrepreneur est seulement responsable des améliorations d'efficacité de chaudière, pas des changements dans les charges de la chaudière. La chaudière est le seul équipement dans le bâtiment utilisant de l'huile. Le prix de l'huile employé pour prouver l'atteinte de la garantie de performance était de 1,95 \$/gallon américain.

Plan de M&V L'Option A du volume I de l'IPMVP, EVO 10000 -1:2010 (Fr), a été choisie pour isoler la chaudière des changements en cours dans le reste du bâtiment. La limite d'évaluation a été choisie pour inclure seulement la chaudière, mesurer l'utilisation de carburant et la consommation d'énergie thermique nette fournie au bâtiment. Cette limite exclut l'utilisation d'électricité pour le brûleur et le ventilateur de la chaudière. Les changements à ces *effets interactifs* électriques ont été considérés comme négligeables, et il est inutile de les inclure dans le *périmètre de mesure* ou même dans une estimation séparée.

La garantie de l'entrepreneur a été déclarée relative à l'économie générée sur la base de l'année d'utilisation avant la soumission de sa proposition. Pendant cette période, le service a acheté 241 300 gallons américains d'huile numéro 2 pour la chaudière. Il y avait une augmentation de 2 100 gallons d'inventaire d'huile entre le début et la fin de cette année. Donc, la consommation d'énergie réelle était de 239 200 gallons. La charge d'énergie sur la chaudière sera déterminée à partir des données d'utilisation d'huile, une fois l'efficacité de la vieille chaudière établie. L'équation 1d) de l'IPMVP sera employée avec 239 200 gallons comme estimation. Cette estimation n'a aucune erreur puisque qu'elle vient en majorité²⁷ des données d'expédition d'huile, qui sont considérées comme une source de référence sans erreur.

L'efficacité de la chaudière sera le paramètre mesuré dans l'équation 1d). Des essais d'efficacité ont été projetés pendant une période de conditions hivernales typiques avant d'enlever la vieille chaudière. Des conditions d'hiver ont été choisies de sorte qu'il y ait une charge suffisante pour évaluer l'efficacité sous la gamme complète des charges de la chaudière. Un compteur de consommation d'énergie thermique récemment calibré a été installé par l'entrepreneur sur l'approvisionnement de la chaudière et sur les tubes de renvoi d'eau et un compteur calibré d'huile installé sur l'alimentation de carburant à la chaudière. Le compteur d'huile et le compteur de données d'énergie thermique ont des *précisions* évaluées par le fabricant de $\pm 2\%$ pour les variations de valeurs impliquées dans ce projet.

Des essais sur l'efficacité durant la *période de référence* ont été effectués pour plus de trois périodes séparées d'une semaine où quotidiennement, les températures ambiantes moyennes se sont étendues de 20 °F à 40 °F. Des essais identiques ont été projetés pour la première période après la mise en service de la nouvelle chaudière quand les températures ambiantes varient de nouveau entre 20 °F à 40 °F, à l'aide du même combustible et compteur thermique d'énergie laissé en place depuis les essais pendant la *période de référence*. Puisqu'on s'attend à ce que les trois différents essais d'une semaine incluent des périodes représentant une variation de charges de chaudière, de basse à haute, il a été convenu que les résultats d'essai représenteront en juste proportion l'amélioration annuelle dont le propriétaire pourrait s'attendre.

Les lectures de consommation des compteurs d'huile et d'énergie thermique seront faites quotidiennement par le personnel d'entretien durant les mois d'hiver jusqu'à ce que trois semaines valides d'essai aient été obtenues pour la vieille chaudière. Le même processus sera suivi pour la nouvelle chaudière. Les lectures seront prises dans la salle de chaudière et

²⁷ Les niveaux d'inventaire d'huile sont lus d'un compteur de réservoir non-calibré et d'exactitude inconnue. Puisque l'importance d'ajustements d'inventaire sont petites relativement aux livraisons relevées au compteur pendant l'année, n'importe quelle erreur dans cette condition d'inventaire ont été considérées négligeables.

ouverte à l'inspection en tout moment. Le système d'automatisation du bâtiment mesurera et enregistrera la température ambiante pour les semaines valides.

Des frais supplémentaires de 9 100 \$ au contrat ont été acceptés par le propriétaire pour l'approvisionnement, l'installation et la mise en service des compteurs de consommation d'huile et d'énergie thermique et pour calculer l'économie. Une requête a été faite exigeant la démonstration de la performance durant toute une année. Cependant l'entrepreneur a précisé que les surcoûts de calibrage de compteur et d'analyse de données ajouteraient 4 000 \$ aux honoraires. Le propriétaire a décidé qu'une période courte d'essai de 3 semaines représentatives serait adéquate. Le propriétaire a également décidé de maintenir et calibrer les compteurs de consommation d'huile et d'énergie thermique lui-même après le contrat, et d'effectuer annuellement ses propres calculs d'efficacité de la chaudière.

Résultats Les données de consommation d'huile et d'énergie thermique de la *période de référence* ont été rassemblées sans interruption sur une période de cinq semaines, jusqu'à ce que trois aient été trouvées où les températures ambiantes moyennes quotidiennes sont restées dans les valeurs indiquées de 20 °F à 40 °F. Divisant la consommation d'énergie thermique nette fournie par l'huile consommée, les lectures moyennes d'efficacité pour la vieille chaudière pendant les trois périodes d'une semaine ont donné 65,2 %.

Après l'installation et la mise en service de la chaudière, la période d'enquête de trois semaines a de nouveau révélé une température ambiante moyenne entre 20 °F et 40 °F.

Les résultats d'essai d'efficacité de chaudière ont établi une moyenne de 80,6 %.

Il n'y avait aucun autre changement à la chaudière de l'usine entre le moment des essais de la *période de référence* et des essais de la *période de suivi*. Par conséquent, les *ajustements non périodiques* n'étaient pas nécessaires.

En utilisant l'équation 1d) de l'IPMVP, l'économie annuelle avec une consommation annuelle estimée de référence de 239 200 gallons d'huile est :

$$\begin{aligned}\text{Économies d'huile} &= 239\,200 \text{ gallons} \times (1 - 0,652 / 0,806) \\ &= 45\,700 \text{ gallons}\end{aligned}$$

La valeur des *économies* est de 1,95 \$ x 45 700 = 89 100 \$.²⁸

Cette économie annuelle, estimée pendant un essai à court terme, a validé que l'entrepreneur avait rencontré la performance garantie.

A-7 Mesures d'efficacité énergétique multiples avec des données de la base de référence relevées au compteur – Option C

Situation Un projet d'efficacité énergétique a été mis en application dans un lycée. Le projet a impliqué dix mesures d'efficacité énergétique touchant les systèmes d'éclairage, les systèmes de CVC, le chauffage de la piscine, la formation d'opérateur et les campagnes de conscientisation des occupants. Les objectifs du projet étaient de réduire les coûts énergétiques.

Les facteurs affectant la conception du M&V Le propriétaire souhaitait enregistrer le coût annuel évité relatif aux conditions et au taux d'utilisation de l'énergie avec 2005 comme *base de référence*. L'école contenait une piscine et une cafétéria. L'école est en service à l'année longue, bien qu'elle ferme pour un total de cinq semaines par an entre les sessions. La communauté emploie le bâtiment la plupart des soirées.

Le besoin en *énergie* du bâtiment est significativement affecté par la température ambiante. Des données de température peuvent être facilement obtenues à partir d'une station météorologique voisine. Aucune autre variable significative de contrôle de la consommation d'énergie n'a pu être mesurée.

²⁸ L'économie annuelle d'huile et des coûts est exprimée avec trois *chiffres significatifs*, le plus bas nombre de chiffres utilisés dans les calculs tel que dans les essais d'efficacité.

Seulement les bureaux de l'administration ont un équipement mécanique de climatisation, qui fonctionne pendant trois mois de l'année.

L'économie annuelle prévue sur le compteur de gaz est de 2 800 milliers de pi³, et 380 000 kWh sur le compteur principal d'électricité.

Le Plan de M&V Un *Plan de M&V* a été développé démontrant que l'Option C, du volume I de l'IPMVP, EVO 10000 -1 :2010 (Fr), devait être employée pour évaluer l'économie parce que le coût énergétique du *site* entier était l'objectif principal. L'Option C a été également choisie parce que beaucoup de mesures d'efficacité énergétique étaient impliquées, certaines qui ne pouvaient pas être directement mesurées.

Puisque l'économie doit être rapportée en tant que « coût évité » c'est-à-dire sous les conditions de la *période de suivi*, l'équation 1b) sera employée.

Un résumé des éléments principaux dans le *Plan de M&V* est démontré ci-dessous. Les détails, les données et l'analyse sont disponibles sur le site Web d'EVO (www.evo-world.org).

- Le *périmètre de mesure* de cette *évaluation* de l'économie a été défini comme :

Un compte d'électricité, y compris une demande, pour le bâtiment principal,

Un compte d'électricité auxiliaire, sans demande, pour les systèmes d'éclairage dans le vestiaire,

Un compte de gaz naturel pour le bâtiment principal.

- Les conditions de la *base de référence* pour 2005 ont été enregistrées, et une stratégie a été mise en place pour que le département des technologies du lycée puisse saisir facilement des informations pour de futurs changements.
- Les données de consommation d'*énergie* de la *base de référence* et les données météorologiques ont été enregistrées et analysées par régression linéaire simple de la consommation d'*énergie* mensuelle utilisée et demandée en fonction des degrés-jours. Les données de *degré-jour* ont été calculées avec la température de base qui avait le meilleur R² pour un certain nombre d'analyses de régression exécutées sur une gamme de températures de base plausibles.
- L'analyse préliminaire a trouvé des corrélations claires avec la température pour la consommation hivernale de gaz et la consommation hivernale d'électricité sur le compteur principal. L'analyse a également prouvé qu'il n'y a aucune corrélation significative de température avec la demande ou l'utilisation d'électricité ou de gaz d'été. Il fut décidé que la régression serait seulement exécutée sur des périodes de facturation avec plus de 50 degrés-jours de chauffage (DJC). Il a également été décidé que pendant des périodes de suivi avec 50 ou moins DJC, les valeurs de la *base de référence* ajustées seraient dérivées directement du mois de référence correspondant, ajusté seulement au nombre de jours dans la période.

Les relations *énergie*/DJC ont été dérivées pour la saison de chauffage, sur chacun des trois comptes suivant les indications du tableau A-7-1, avec les statistiques et coefficients clés de régression où des rapports significatifs ont été trouvés.

Tableau A-7-1
Analyse de régression

	Gaz	Électricité		
		Bâtiment principal		Vestiaire
		Consommation	Demande	Consommation
Unités	Mpc	kWh	kW	kWh
Nombre de mois avec plus de 50 DJC	8	8	8	9
Base des DJC	60 °F	62 °F	62 °F	68 °F
Statistiques de régression :				
R^2	0,93	0,81	0,51	0,29
Erreur type de l'estimation	91	15 933		
Statistique T du coefficient des DJC	8,7	5,0	2,5	1,7
Évaluation de l'analyse de régression	Bon	OK	Médiocre	Inacceptable
Coefficients de régression (où acceptable) :				
Ordonnée à l'origine	446,73	102 425		
Coefficient des DJC	1,9788	179,3916		

Les statistiques de régression pour la consommation de gaz et la consommation principale d'électricité démontrent une corrélation acceptable avec les DJC comme indiqué par le R^2 élevé et les statistiques T pour les DJC étant bien au-dessus de la valeur critique du tableau B-1 de l'IPMVP de 1,89 pour 8 points de repères et une confiance de 90 %. Ces observations sont logiques puisque l'utilisation principale du gaz est pour le chauffage du bâtiment. Il y a également une quantité significative de chaleur électrique dans le bâtiment principal.

Le cas du vestiaire a démontré une statistique T et un R^2 médiocre. Le bâtiment n'a aucun chauffage installé, mais doit être en fonction plus longtemps pour les mois plus sombres, qui sont également les mois les plus froids. La consommation mensuelle de l'électricité a pu être prévue pour suivre un modèle annuel raisonnablement régulier lié aux heures et à l'occupation de jour, non conditionnée par la température ambiante. Par conséquent, la corrélation minimale de ce compteur avec les DJC est ignorée, et il n'y aura aucun ajustement de température fait avec lui. Au lieu de cela, le rapport de suivi des *économies* de chaque mois prendra son *énergie* de la *base de référence* de la consommation du mois de référence correspondant, s'ajustant au nombre de jours dans la *période de suivi*.

Les principaux compteurs électriques ont démontré une corrélation médiocre avec la température du jour le plus froid. Par conséquent le rapport de suivi des *économies* de chaque mois prendra sa demande de référence à partir de la demande réelle du mois de la *base de référence* correspondant, sans ajustement.

- L'impact à long terme sur les rapports de suivi des *économies* de ces statistiques de régression a été analysé. La *précision* relative dans les rapports de suivi des *économies* d'hiver sera moins de $\pm 10\%$ pour le gaz et moins de $\pm 20\%$ pour le compteur principal d'électricité. L'économie prévue sera statistiquement significative pendant les mois d'hiver puisqu'elles seront plus de deux fois l'*erreur type* des formules de référence (voir le critère dans l'Annexe B-1.2). La direction du lycée s'est sentie confortable avec la *précision* mesurée prévue, et avec la possibilité de la présence d'erreurs non quantifiables reliées simplement à l'ajustement pour les durées des périodes de *mesure* durant les mois avec 50 DJC ou moins.
- Le taux du fournisseur d'électricité à utiliser pour évaluer l'économie sera le plein prix du programme courant au moment approprié pour chaque compte.

Résultats Les données de la période d'enquête pendant la première année ont été prises directement des factures du fournisseur d'électricité sans ajustement et des rapports météorologiques gouvernementaux. Ces données et les calculs pour l'économie en unités d'énergie et de demande, en utilisant l'équation 1b), sont sur le site Web d'EVO.

Les taux courants du fournisseur d'énergie pour chaque mois ont été appliqués à la consommation d'énergie de la *base de référence* ajustés de chaque compte et à la consommation d'énergie de la *période de suivi* pour calculer l'économie. Puisque le taux de gaz a changé au mois 9 et que le taux de l'électricité a changé au mois 7, deux calendriers de prix différents ont été employés pour chaque type d'énergie pendant le rapport des économies de douze mois. Ces calculs sont également détaillés sur le site Web d'EVO.

A-7.1 Gestion comptable et budgétaire de la consommation d'énergie pour un site entier

Situation Le gestionnaire de l'énergie d'une chaîne d'hôtels s'est vu demander de préparer annuellement un budget énergétique et d'expliquer continuellement les variations sur le budget.

Les facteurs affectant la conception des M&V L'occupation de la salle d'invités de l'hôtel, l'utilisation du secteur des conventions et la température affectent de manière significative la consommation d'énergie. Afin d'expliquer la consommation d'énergie, le gestionnaire de l'énergie a réalisé qu'il doit employer des techniques de M&V pour ajuster la consommation de base avec ces facteurs significatifs.

Le Plan de M&V Le gestionnaire de l'énergie a suivi l'Option C du volume I de l'IPMVP, EVO 10000 – 1:2010 (Fr), puisqu'il a dû expliquer des variations de budget dans des rapports de gestion. Il a toujours énoncé ses budgets de consommation d'énergie pour des conditions atmosphériques moyennes à long terme et l'occupation des années précédentes.

Résultats Afin d'expliquer les variations de budget, dès qu'une année était complète, le gestionnaire de l'énergie a préparé un modèle de régression de l'utilisation pour chaque compte du fournisseur d'énergie, en utilisant des facteurs réels de température et d'occupation pendant cette année-là. Il a alors pris trois *mesures* pour déterminer séparément les effets principaux de la température, de l'occupation et des taux des fournisseurs d'énergie :

- Température il a inséré les statistiques normales de températures dans les modèles de l'année la plus récente. En utilisant les taux réels des fournisseurs d'énergie pendant l'année, il a déterminé ce que la consommation d'énergie et le coût auraient été si la température avait été normale. (Il a également noté combien les degrés-jours réels de chauffage et de refroidissement ont changé par rapport à la normale, et à l'année précédente, pour chaque endroit) .
- Occupation il a inséré les facteurs d'occupation de l'année précédente dans les modèles de l'année la plus récente. En utilisant les taux réels des fournisseurs d'énergie pendant la dernière année, il a déterminé ce que la consommation d'énergie et le coût auraient été si l'occupation avait été identique à l'année précédente. (Il a également noté combien l'occupation avait changé d'année en année à chaque endroit.)
- Taux de l'utilité il a appliquée le taux des fournisseurs d'énergie pour l'année précédente à la consommation de l'année la plus récente (et à la demande) pour déterminer quelle variation de budget a été lié aux changements des taux pour chaque fournisseurs à chaque endroit.

Avec l'impact de ces trois variables connues, le gestionnaire d'énergie devait toujours expliquer les variations restantes. Ainsi il a inséré les facteurs de températures et de l'occupation de l'année la plus récente dans les modèles mathématiques de l'année précédente, et en employant les taux actuels des fournisseurs d'énergie, a rapporté le coût évité par rapport au modèle de l'année précédente. Ce coût évité a alors été analysé par rapport aux changements des *facteurs statiques* enregistrés pour chaque emplacement relativement à l'enregistrement de l'année précédente. Toutes les variations restantes ont été rapportées en tant que phénomènes véritablement aléatoires ou inconnus.

Ce processus d'analyse a non seulement permis au gestionnaire d'énergie d'expliquer les variations de budget, il l'a également informé où focaliser ses efforts pour contrôler les variations injustifiées. En outre, il lui a permis de faire des budgets plus à jour pour les années suivantes.

A-8 Mesures d'efficacité énergétique multiples dans un bâtiment sans compteur de consommation d'énergie pendant la période d'évaluation de la base de référence – Option D

Situation Un projet impliquant sept mesures d'efficacité énergétique a été mis en application dans la bibliothèque d'une université; comprenant les systèmes d'éclairage, les systèmes de CVC, la formation d'opérateur et une campagne de conscientisation des occupants. Le bâtiment fait partie d'un campus avec de multiples bâtiments sans compteur individuel pour chaque bâtiment. Les objectifs du projet étaient de réduire les coûts énergétiques dans la bibliothèque.

Les facteurs affectant la conception des M&V Puisque le projet à la bibliothèque était très petit relativement au campus entier, son effet ne pouvait être mesuré en utilisant les compteurs des fournisseurs d'énergie du campus principal.

L'université a souhaité atteindre des économies aussi rapidement que possible, en dépit du manque d'enregistrement sur la consommation d'énergie de la base référence.

L'économie doit être évaluée sans interruption, aussitôt après modification, en utilisant les prix actuels du contrat d'énergie.

Plan de M&V Il a été décidé de ne pas attendre pour obtenir une année entière de données de consommation d'énergie avec de nouveaux compteurs avant de mettre en place les mesures. Au lieu de cela l'équation 1f) de l'Option D du volume I de l'IPMVP – EVO 10000 – 1 :2010, a été employée, simulant la performance avant les modifications. Par conséquent, en tant qu'élément de gestion du programme d'efficacité énergétique, les compteurs de consommation de vapeur, de consommation d'électricité et de demande électrique ont été installés sur les canalisations d'alimentation principales de la bibliothèque.

Le *périmètre de mesure* pour ce projet a été définie comme étant tous les systèmes utilisateurs d'énergie dans la bibliothèque. Cependant l'effet principal sur la consommation d'énergie apparaît aux compteurs principaux du campus. Pour transformer la consommation d'énergie mesurée à la bibliothèque à son impact réel sur les factures des fournisseurs d'énergie, les hypothèses suivantes ont été faites :

- une livre de vapeur à la bibliothèque exige 0,042 m³ de gaz naturel au compteur de gaz de l'usine de chauffage du campus. Il y a une partie fixe pour l'utilisation de gaz à l'usine centrale, résultant des pertes inévitables du système de vapeur. Le facteur de 0,042 m³, une moyenne annuelle d'utilisation de gaz par livre de vapeur produite, assume une part basée sur la charge de cette partie fixe à la bibliothèque;
- l'utilisation de l'électricité à la bibliothèque exige 3 % plus d'électricité au compteur du campus en raison des pertes estimées de transformation et de distribution du campus;
- il est assumé que la demande électrique maximale à la bibliothèque coïncide avec la période de demande maximale au compteur du campus.

L'économie prévue des mesures d'efficacité énergétique a été simulée sur ordinateur avec le logiciel DOE 2.1. Un sondage complet des systèmes et de l'occupation du bâtiment était nécessaire pour recueillir toutes les données d'entrée. L'alimentation électrique des cinq systèmes de ventilation à volume d'air variable a été enregistrée pendant une semaine pour définir certaines des données d'entrée pour cette simulation. La simulation a employé les conditions normales atmosphériques et d'occupation à long terme ainsi que des caractéristiques d'autres bâtiments présentés durant l'étape d'évaluation. Il a été décidé d'évaluer l'économie réelle sous des conditions identiques.

Le contrat d'alimentation en gaz de l'université a un prix unitaire marginal de 0.22 €/m³. Il a également un niveau de consommation minimum, qui est de seulement 150'000 m³ sous

l'utilisation réelle en gaz pendant la *base de référence*. Si la consommation chute de plus de 150 000 m³, l'université payera la quantité minimale du contrat. Le contrat sera renégocié en fonction des résultats déterminés à partir de ce projet pour la bibliothèque. Le *prix marginal* de l'électricité au compteur du campus est de 0,18 \$/kWh dans les périodes de pointe, 0,05 \$/kWh dans les périodes creuses et la demande coûte 10,25 \$/kW-mois.

Après la première année, les données du compteur pour cette année seront employées comme *base de référence* pour une nouvelle *évaluation* utilisant l'Option C pour ce bâtiment.

Résultats Les étapes suivantes ont été employées pour évaluer les *économies* :

1. Les nouveaux compteurs ont été calibrés et installés. Le personnel d'exécution a enregistré la consommation d'*énergie* et la demande mensuelle pendant 12 mois, tout au long de la première année après la mise en service des mesures d'efficacité énergétique.
2. Puis le *modèle de simulation* original de planification a été raffiné pour concorder avec les mesures installées, les données de température extérieure, l'occupation, et les profils de fonctionnement de la *période de suivi*. La simulation résultant des températures et des humidités de l'espace a été examinée pour s'assurer qu'elle a raisonnablement couvert l'ensemble des conditions intérieures pendant les jours occupés et inoccupés. Au début du processus, le résultat de la simulation et l'utilisation réelle de la consommation d'*énergie* ne concordaient pas très bien. Ainsi, l'équipe de M&V a étudié l'emplacement plus en détails. Pendant ces investigations additionnelles, l'équipe a constaté que durant les périodes inoccupées de nuit, un faible changement de température intérieure était enregistré. Par conséquent, ils ont changé les caractéristiques de masse thermique du modèle simulé. Après cette correction, les résultats mensuels modelés ont été comparés aux données mensuelles de calibration. Le plus haut CV (erreur quadratique moyenne) des différences était de 12 %, sur le compteur électrique de demande. L'université a estimé que parce que ces valeurs de CV (erreur quadratique moyenne) ont répondu aux caractéristiques de l'ASHRAE (2002), elle pouvait avoir le *niveau de confiance* raisonnable pour les résultats relatifs sur deux exécutions du modèle. Par conséquent, ce « modèle calibré conforme à l'exécution » a été archivé avec la copie imprimée et électronique des données d'entrée, des rapports diagnostiques et des données résultantes.
3. Le modèle calibré conforme à l'exécution a alors été exécuté de nouveau avec un dossier de données météorologiques correspondant à l'année normale. Des statistiques d'occupation et les *facteurs statiques* ont également été remis à ce qui avait été observé pendant la *base de référence*. « Le modèle des conditions normales de post-modification » a été archivé avec la copie imprimée et électronique des données d'entrée, des rapports diagnostiques et des données résultantes.
4. Le modèle des conditions normales de post-modification a alors été ajusté pour enlever les mesures d'efficacité énergétique. Ce « modèle des conditions normales de référence » a été archivé avec la copie imprimée et électronique des données d'entrée, des rapports diagnostiques et des données résultantes.
5. La consommation énergétique des deux modèles normaux ont alors été comparées en utilisant l'équation 1f) pour évaluer les *économies d'énergie* comme démontrées dans le tableau A-8-1.

A-8-1
Économies simulées de la bibliothèque sous des conditions normales

	Modèle des conditions normales de référence	Modèle des conditions normales de post-modification	Économies
Consommation d'électricité - période de pointe (kWh)	1 003 000	656 000	347 000
Consommation d'électricité - période creuse (kWh)	2 250 000	1 610 000	640 000
Demande électrique (kW-mois)	7 241	6 224	1 017
Vapeur (milliers de livres)	12 222	5 942	6 280

6. La valeur de l'économie au compteur du campus a été calculée suivant les indications du tableau A-8-2, tenant compte de la transformation, des pertes du réseau et des quantités minimales de gaz du contrat.

A-8-2
Campus Savings

	Économies énergie de la bibliothèque	Économies énergie du campus	Économies énergie facturées	Économies coûts \$
Consommation d'électricité - période de pointe (kWh)	347 000	357 400	357 400	64 332
Consommation d'électricité - période creuse (kWh)	640 000	659 200	659 200	32 960
Demande électrique (kW-mois)	1 017	1 048	1 048	10 742
Vapeur ou gaz	2 850 tonnes de vapeur	266 745 m ³ de gaz	150 000 m ³ de gaz	33 125
Total				141 000 ²⁹

Les *économies* totales sont démontrées pour l'année avant la révision du minimum du contrat de gaz.

²⁹ L'économie finale est exprimée avec trois *chiffres significatifs* car le plus petit nombre de chiffres utilisés dans le calcul est trois (656 000 kWh – étape 5).

A-9 Bâtiment neuf, de conception plus exigeante que les prescriptions locales en vigueur – Option D

Situation Un bâtiment neuf a été conçu dans le but d'utiliser moins d'énergie que ne le prévoient les prescriptions locales. Pour prétendre à une subvention gouvernementale liée à la performance énergétique, le propriétaire a dû démontrer qu'après le début d'exploitation et une première année de fonctionnement au taux d'occupation maximal, le bâtiment consommerait 60 % moins d'énergie que s'il avait été construit selon les prescriptions.

Facteurs affectant la conception des M&V Des simulations par ordinateur ont largement inspiré les procédés liés à la conception du bâtiment afin de réduire la consommation d'énergie à 50 % de celle prévue.

La construction, destinée à devenir le nouveau siège social d'une grande entreprise, est occupée à sa capacité maximale, dès son ouverture.

Pour évaluer les économies réalisées dans le cadre de l'investissement supplémentaire pour un bâtiment de haute qualité énergétique, le propriétaire espérait recourir aux mêmes calculs d'économie d'énergie que ceux qu'il avait présentés au gouvernement. Il souhaitait également vérifier, à partir de la performance énergétique atteinte initialement, selon la simulation, les variations annuelles.

Plan de M&V L'Option D, décrite dans le volume I de l'IPMVP EVO 10000 – 1:2010, est choisie pour déterminer les économies générées par cette construction neuve, par rapport à un bâtiment identique, construit selon les prescriptions locales. Dans ce cas, il est possible d'appliquer soit l'équation 1f) qui compare deux simulations, soit l'équation 1g) qui compare l'énergie en situation de référence simulée et celle mesurée lors de l'exploitation, après avoir corrigé les erreurs dues à l'instrumentation. Le programme de la politique gouvernementale d'encouragement ne spécifie pas la méthode à utiliser, et la personne qui a effectué la modélisation estime que l'équation 1f) serait la plus appropriée. Cependant, le propriétaire désirent exploiter les données actuelles du bâtiment dans son rapport final sur les économies, demande que soit utilisée l'équation 1g).³⁰

Les données opérationnelles et celles sur l'énergie de la première année de fonctionnement complet (An 1) du bâtiment, constituent la situation de référence servant à l'Option C de l'IPMVP EVO 1000 – 1:2010, pour l'établissement du rapport relatif à la performance en cours.

Résultats Une année après sa mise en exploitation, avec un taux d'occupation à 100 %, le jeu de données d'entrée de la simulation, selon la conception originale, a été mis à jour afin de représenter les équipements du bâtiment tel que construit et le taux d'occupation effectif.

Un tableau de données météorologiques a été sélectionné parmi ceux disponibles pour la localisation géographique du bâtiment, en se basant sur les similarités des totaux en degrés-jours de chauffage et de refroidissement avec ceux mesurés lors de la première année. Il a été ajusté, de manière appropriée, pour correspondre aux relevés mensuels, en degrés-jour de chauffage et de refroidissement, de la première année. Les données d'entrée révisées ont été introduites pour une nouvelle passe de la simulation.

Les données relatives à la consommation du bâtiment, lors de la première année, ont été comparées à ce modèle de simulation. Après avoir effectué quelques rectifications des données d'entrée de la simulation, il a estimé que la simulation était assez représentative du bâtiment existant. Cette simulation étalonnée a été appelée : « Modèle tel que construit ».

Les erreurs dues aux instruments, dans le « Modèle tel que construit », concernant les données actuelles du bâtiment, sont indiquées ci-dessous, dans le Tableau A-9-1 :

³⁰ Cette démarche est la même que la Méthode 2 de l'IPMVP, volume III (2003), Option D.

Tableau A-9-1 Erreurs mensuelles, dues aux instruments

	Gaz	Consommation d'électricité (kWh)		Appel de puissance (kW)
		En pointe	Bande morte	
Janvier	+ 1 %	- 2 %	+ 1 %	+ 6 %
Février	- 3 %	+ 1 %	0 %	- 2 %
Mars	0 %	- 2 %	- 1 %	- 5 %
Avril	+ 2 %	+ 3 %	+ 1 %	- 3 %
Mai	- 2 %	+ 5 %	+ 2 %	+ 6 %
Juin	+ 7 %	- 6 %	- 2 %	- 9 %
Juillet	- 6 %	+ 2 %	0 %	+ 8 %
Août	+ 1 %	- 8 %	- 1 %	+ 5 %
Septembre	- 3 %	+ 7 %	+ 1 %	- 6 %
Octobre	- 1 %	- 2 %	- 1 %	+ 5 %
Novembre	+ 3 %	- 2 %	- 1 %	- 9 %
Décembre	+ 1 %	+ 4 %	+ 1 %	+ 4 %

Les données d'entrée du « Modèle tel que construit » ont alors été modifiées afin de représenter un bâtiment de même situation géographique et comportant le même taux d'occupation, conçu dans le respect des prescriptions locales. Ce modèle a été appelé : « Modèle normal ».

L'utilisation d'*énergie* mensuelle prévue pour ce « Modèle normal » a été ajustée au moyen des erreurs mensuelles dues aux instruments, indiquées dans le Tableau A-9-1, menant au « Modèle normal corrigé ».

De ce « Modèle normal corrigé », on soustrait les données mesurées pendant la première année afin d'obtenir le montant des *économies* mensuelles.

Enfin, le pourcentage des *économies* a été calculé pour permettre au propriétaire d'accéder à la subvention gouvernementale.

Les *économies* monétaires ont été déterminées en appliquant la structure tarifaire complète du fournisseur d'*énergie* aux montants mensuels prévus par le « Modèle normal corrigé ». Cette somme globale a été comparée à la facturation du fournisseur d'*énergie* pour une année.

Les données relatives à l'*énergie* de cette première année de fonctionnement du bâtiment constituent la base d'une approche au moyen de l'Option C, pour les années suivantes.

B-1 Introduction

L'objectif des M&V est la détermination d'*économies d'énergie* fiables. Afin que les rapports de suivi des *économies* puissent être fiables, ils doivent avoir un niveau raisonnable d'incertitude. L'incertitude d'un rapport de suivi des *économies* peut être contrôlée en gérant les erreurs aléatoires et les écarts de données. Les erreurs aléatoires sont affectées par la qualité de l'équipement de *mesure*, des techniques de *mesure* et de la conception du procédé d'échantillonnage. Les écarts de données sont affectés par la qualité des données de mesure, des hypothèses et de l'analyse. La réduction des erreurs augmente habituellement les coûts de M&V. Ainsi, le besoin d'incertitude améliorée devrait être justifié par la valeur améliorée de l'information (voir le chapitre 8.5).

Les calculs d'*économies d'énergie* impliquent une comparaison des données mesurées de consommation d'*énergie* et un calcul des « ajustements » pour convertir les deux mesures au même ensemble de conditions d'opération (voir chapitre 4.1, l'équation 1). Les mesures et les ajustements introduisent l'erreur. Par exemple, les erreurs peuvent surgir en raison de l'inexactitude du compteur, des procédures d'échantillonnage ou des procédures de réglage. Ces processus produisent des « estimations » statistiques avec des valeurs rapportées ou prévues, et un certain niveau de variation. En d'autres termes, les valeurs réelles ne sont pas connues, seulement des estimations avec un certain niveau d'incertitude. Toutes les mesures physiques et l'analyse statistique sont basées sur l'estimation de tendances centrales, telles que des valeurs moyennes et la quantification de variations comme les écarts, l'*écart type*, l'*erreur type* et la *variance*.

Les statistiques sont l'ensemble des méthodes mathématiques pouvant être appliquées aux données pour aider lors d'une prise de décisions face à l'incertitude. Par exemple, les statistiques fournissent des façons de vérifier des résultats pour voir si les *économies* rapportées sont « significatives », c'est-à-dire la probabilité d'être un véritable effet de la mesure d'efficacité énergétique plutôt qu'un comportement aléatoire.

Les erreurs se produisent dans le cadre de la modélisation, de l'échantillonnage et de la mesure :

- **Modélisation** Les erreurs de modélisation mathématique sont dues à la forme fonctionnelle inadéquate, à l'inclusion de variables non pertinentes, à l'exclusion des variables appropriées, etc. (Voir Annexe B-2).
- **Échantillonnage** L'erreur d'échantillonnage surgit quand seulement une partie de la population des valeurs réelles est mesurée ou une approche biaisée d'échantillonnage est employée. La représentation d'une partie seulement de la population peut se produire dans un sens physique, c'est-à-dire que seulement 20 des 1 000 appareils d'éclairage sont mesurés ou dans un sens temporel, c'est-à-dire que la *mesure* est prise chaque heure pendant dix minutes (voir Annexe B-3).
- **Mesure** Les erreurs de *mesure* résultent de la *précision* des sondes, des erreurs de suivi des données, du décalage depuis le calibrage, des *mesures* imprécises, etc. L'importance de telles erreurs est en grande partie indiquée par les spécifications du fabricant et contrôlée par recalibrage périodique (voir Annexe B-4, et les chapitres 4.8.3 et 8.11).

Cette annexe donne des conseils sur la quantification des incertitudes créées par ces trois formes d'erreur. L'Annexe B-5 discute des méthodes pour combiner les éléments de l'incertitude mesurée.

Quelques sources d'erreur sont inconnues et non quantifiables. De telles sources seraient par exemple, un mauvais choix pour le placement de compteur, des estimations imprécises dans l'Option A, ou la mauvaise estimation des *effets interactifs* dans l'option A ou B. Les

incertitudes inconnues ou non quantifiables peuvent seulement être contrôlées en suivant les meilleures pratiques de l'industrie.

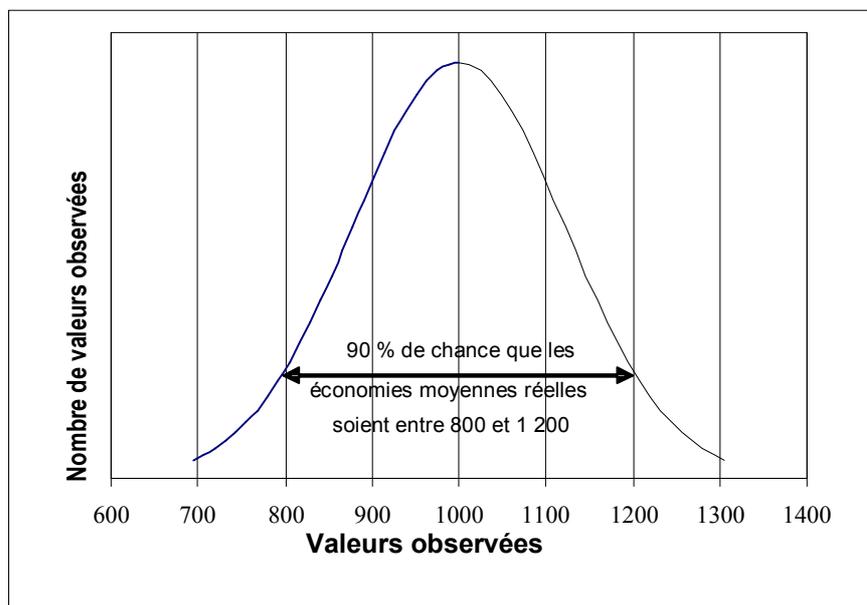
Un exemple de l'utilisation de l'analyse d'incertitude est donné dans l'Annexe B-6. Par ailleurs, certains exemples de l'Annexe A contiennent des calculs d'incertitude : A-3; A-3-2; A-7.

Le site Web d'EVO (www.evo-world.org) contient les détails des calculs d'incertitude de A-4 et A-7.

B-1.1 Exprimer l'incertitude

Afin d'évaluer l'économie d'une façon statistiquement valide, celle-ci doit être exprimée avec ses niveaux associés de confiance et de *précision*. La confiance se rapporte à la probabilité que l'économie estimée fera partie de la marge de *précision*³¹. Par exemple, le procédé d'évaluation de l'économie peut mener à un rapport comme : « la meilleure évaluation de l'économie est de 1 000 kWh annuellement (pointe estimée) avec une probabilité de 90 % (confiance) que la valeur moyenne véritable de l'économie fait partie de $\pm 20\%$ de 1 000 ». Une présentation graphique de cette relation est montrée dans la Figure B.1.

Figure B.1
Distribution normale
de la population



Un relevé de *précision* statistique (la portion $\pm 20\%$) sans intervalle de confiance (la partie de 90 %) est inutile. Le processus de M&V peut rapporter une *précision* extrêmement élevée avec une basse confiance. Par exemple, l'économie peut être énoncée avec une *précision* de $\pm 1\%$, mais le niveau associé de confiance peut chuter de 95 à 35 %.

B-1.2 Incertitude acceptable

Les *économies* sont considérées statistiquement valides si elles sont grandes relativement aux variations statistiques. Spécifiquement, les *économies* doivent être plus grandes que deux fois l'*erreur type* (voir la définition dans l'Annexe B-1.3) de la valeur de la *base de référence*. Si la *variance* des données de la *base de référence* est excessive, le comportement aléatoire non expliqué dans la consommation d'énergie du *site* ou du système est élevé et n'importe quelle détermination simple des *économies* est incertaine.

Là où vous ne pouvez pas être conforme à ce critère, considérez employer :

- un équipement de *mesure* plus précis;
- plus de variables indépendantes dans tout modèle mathématique;
- une plus grande taille d'échantillon;
- une option de l'IPMVP moins affectée par les variables inconnues.

³¹ Les termes de cette annexe écrits en italiques sont définis dans l'Annexe B-1.3

B-1.3 Définitions des termes statistiques

Moyenne (\bar{Y}) : La *mesure* la plus couramment utilisée pour la tendance centrale d'une série d'observations. La moyenne est déterminée en additionnant différents points de données (Y_i) et en divisant par le nombre de points de données (n), comme suit :

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y_i}{n} \quad \text{B-1}$$

Variance (S^2) : La *variance* mesure le point auquel les valeurs observées diffèrent entre elles, c'est-à-dire la variabilité ou la dispersion. Plus la variabilité est grande, plus l'incertitude dans la moyenne est grande. La *variance*, la *mesure* de variabilité la plus importante, est trouvée en faisant la moyenne carrée des déviations individuelles par rapport à la moyenne. Ces déviations de moyenne sont simplement mises au carré afin d'éliminer les valeurs négatives (quand une valeur est sous la moyenne). Ainsi, elles n'annulent pas les valeurs positives (quand une valeur est au-dessus du moyen). La *variance* est calculée comme suit :

$$S^2 = \frac{\sum (Y_i - \bar{Y})^2}{n - 1} \quad \text{B-2}$$

Écart type : C'est la racine carrée de la *variance*. Ceci apporte la *mesure* de variabilité de nouveau aux unités de base. Par exemple, lorsque les unités de *variance* sont en kWh^2 , les unités d'*écart type* sont en kWh.

$$s = \sqrt{S^2} \quad \text{B-3}$$

Erreur type (ET) : C'est l'*écart type* divisé par \sqrt{n} . Cette *mesure* est employée en estimant la *précision*.

$$ET = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad \text{B-4}$$

Précision : La *précision* est la *mesure* de l'étendue absolue ou relative dans laquelle on s'attend à ce que la valeur véritable se produise avec un certain intervalle de confiance spécifique. L'intervalle de confiance se rapporte à la probabilité que l'étendue citée contienne le paramètre estimé.

Précision absolue : Elle est calculée avec l'*erreur type* en utilisant une valeur de « t » du tableau B-1 de « distribution t » :

$$t \times ET \quad \text{B-5}$$

Tableau B-1
table-t

Nombre de lectures (taille de l'échantillon)	Intervalle de confiance				Nombre de lectures (taille de l'échantillon)	Intervalle de confiance			
	95 %	90 %	80 %	50 %		95 %	90 %	80 %	50 %
2	12,71	6,31	3,08	1,00	17	2,12	1,75	1,34	0,69
3	4,30	2,92	1,89	0,82	18	2,11	1,74	1,33	0,69
4	3,18	2,35	1,64	0,76	19	2,10	1,73	1,33	0,69
5	2,78	2,13	1,53	0,74	20	2,09	1,73	1,33	0,69
6	2,57	2,02	1,48	0,73	21	2,09	1,72	1,33	0,69
7	2,45	1,94	1,44	0,72	22	2,08	1,72	1,32	0,69
8	2,36	1,89	1,41	0,71	23	2,07	1,72	1,32	0,69
9	2,31	1,86	1,40	0,71	24	2,07	1,71	1,32	0,69
10	2,26	1,83	1,38	0,70	25	2,06	1,71	1,32	0,68
11	2,23	1,81	1,37	0,70	26	2,06	1,71	1,32	0,68
12	2,20	1,80	1,36	0,70	27	2,06	1,71	1,31	0,68
13	2,18	1,78	1,36	0,70	28	2,05	1,70	1,31	0,68
14	2,16	1,77	1,35	0,69	29	2,05	1,70	1,31	0,68
15	2,14	1,76	1,35	0,69	30	2,05	1,70	1,31	0,68
16	2,13	1,75	1,34	0,69	∞	1,96	1,64	1,28	0,67

En général on s'attend à ce que la vraie valeur de n'importe quelle *évaluation* statistique, avec un niveau indiqué de confiance, tombe avec l'étendue définie par :

$$\text{tendue} = \text{estimation} \pm \text{précision absolue}$$

B-6

où le terme « estimation » est la valeur dérivée empiriquement d'un paramètre d'intérêt (par exemple, la consommation totale ou la quantité moyenne d'unités produites).

Précision relative : est la *précision* absolue divisée par l'estimation :

$$\frac{t * ET}{\text{Estimation}}$$

B-7

Voir l'exemple d'utilisation de la *précision* relative dans l'annexe A-3. Comme exemple d'utilisation de ces limites, considérez les données dans le tableau B-2 de 12 lectures mensuelles d'un compteur et l'analyse relative de la différence entre chaque lecture et la moyenne des lectures (1 000) :

Tableau B-2 Exemple de données et d'analyse

	Lecture réelle	Différences calculées à partir de la moyenne	
		brutes	au carré
1	950	-50	2 500
2	1 090	90	8 100
3	850	-150	22 500
4	920	-80	6 400
5	1 120	120	14 400
6	820	-180	32 400
7	760	-240	57 600
8	1 210	210	44 100
9	1 040	40	1 600
10	930	-70	4 900
11	1 110	110	12 100
12	1 200	200	40 000
Total	12 000		246 600

La valeur moyenne est : $\bar{Y} = \frac{\sum Y_i}{n} = \frac{12,000}{12} = 1,000$

La variance (S^2) est : $S^2 = \frac{\sum (Y_i - \bar{Y})^2}{n - 1} = \frac{246,600}{12 - 1} = 22,418$

L'écart type (s) est : $s = \sqrt{S^2} = \sqrt{22,418} = 150$

L'erreur type est : $ET = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{150}{\sqrt{12}} = 43$

Le Tableau B-1 démontre que "t" est 1,80 pour 12 données de lecture et un intervalle de confiance de 90 %. Ainsi :

La précision absolue est : $t \times ET = 1.80 \times 43 = 77$ et

La précision relative est : $\frac{t \times ET}{estimation} = \frac{77}{1,000} = 7.7\%$

Alors, il y a un intervalle de confiance de 90 % que la véritable consommation mensuelle moyenne se situe entre 923 et 1 077 kWh. On peut dire avec une confiance de 90 % que la valeur moyenne des 12 observations est de 1 000 $\pm 7,7$ %. De même il pourrait être dit :

- avec une confiance de 95 %, que la valeur moyenne des 12 observations est de 1 000 $\pm 9,5$ %, ou
- avec une confiance de 80 %, que la valeur moyenne des 12 observations est de 1 000 $\pm 5,8$ %, ou
- avec une confiance de 50 %, que la valeur moyenne des 12 observations est de 1 000 $\pm 3,0$ %.

B-2 Modélisation

La modélisation mathématique est employée dans les M&V pour préparer le terme des *ajustements périodiques* dans les diverses versions de l'équation 1 du chapitre 4. La modélisation implique de trouver un rapport mathématique entre les variables dépendantes et indépendantes. La variable dépendante, habituellement la consommation d'énergie, est modélisée comme étant régie par une ou plusieurs variable(s) indépendante(s) X_i , (également connues sous le nom de variables « explicatives »). Ce genre de modélisation s'appelle l'*analyse de régression*.

Dans l'*analyse de régression*, les modèles tentent d'« expliquer » la variation de la consommation d'énergie résultant des variations des variables indépendantes individuelles (X_i). Par exemple, si un des X s est le niveau de production, le modèle évaluerait si l'écart d'énergie de la moyenne est provoqué par des changements du niveau de production. Le modèle *mesure* la causalité. Par exemple, quand la production augmente par une unité, la consommation d'énergie augmente par unités de « b », où « b » s'appelle le coefficient de régression.

Les modèles les plus communs sont des régressions linéaires de la forme :

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_pX_p + e$$

où :

- Y est la variable dépendante, habituellement sous la forme d'une consommation d'énergie pendant une période temporelle spécifique (par exemple, 30 jours, 1 semaine, 1 jour, ou 1 heure);
- X_{it} ($i = 1, 2, 3, \dots, p$) représente les 'p' variables indépendantes telles que le temps, la production, l'occupation, et la longueur de la période d'enregistrement;

- b_i ($i = 0, 1, 2, \dots, p$) représente les coefficients dérivés pour chaque *variable indépendante*, et le coefficient fixe (b_0) non relié aux variables indépendantes;
- e représente les erreurs résiduelles qui demeurent non expliquées après la justification de l'impact des diverses variables indépendantes. L'*analyse de régression* trouve l'ensemble des valeurs de b_i qui font la somme des termes d'erreur résiduelle au carré aussi près que possible de zéro (ainsi les modèles de régression s'appellent également les modèles des moindres carrés)³².

Un exemple du modèle ci-dessus pour l'utilisation énergétique d'un bâtiment est :

$$\text{consommation énergétique mensuelle} = 342\,000 + (63 \times \text{D-J Chauff.}) + (103 \times \text{D-J Clim.}) + (222 \times \text{Occupation})$$

D-J Chauff. et D-J Clim. sont les degrés-jours de chauffage et de climatisation, respectivement. L'occupation est une *mesure* du pourcentage d'affluence dans le bâtiment. Dans ce modèle 342 000 est une estimation de la charge de base en kWh, 63 mesure le changement dans la consommation pour chaque D-J Chauff. additionnel, 103 mesure le changement dans la consommation pour chaque D-J Clim. additionnel et 222 mesure le changement dans la consommation par variation de 1 % d'occupation.

L'Annexe B-6 présente un exemple du rapport d'*analyse de régression* pour une *variable indépendante* unique d'un même chiffrer.

B-2.1 Erreurs de modélisation

Lorsqu'un modèle de régression comme celui décrit ci-dessus est utilisé, plusieurs types d'erreurs peuvent être présentées parmi les suivantes :

1. Le modèle est établi sur les valeurs qui sont en dehors de l'étendue probable des variables à utiliser. Un modèle mathématique devrait seulement être construit en utilisant des valeurs raisonnables de variables dépendantes et indépendantes.
2. Le modèle mathématique peut ne pas inclure de variables indépendantes appropriées, présentant la possibilité de relations biaisées (variable biaisée omise).
3. Le modèle peut inclure quelques variables qui ne sont pas pertinentes.
4. Le modèle peut employer une forme fonctionnelle inadéquate.
5. Le modèle peut être basé sur des données insuffisantes ou peu représentatives.

Chacun de ces types d'erreurs de modélisation est discuté ci-dessous.

B-2.1.1 Utilisation en dehors de l'étendue de données

Si le modèle est établi sur les données qui ne sont pas représentatives du comportement énergétique normal du *site*, alors on ne peut compter sur des prévisions. Ceci peut contenir l'inclusion des observations aberrantes ou les valeurs qui sont bonnes en dehors de l'étendue du caractère raisonnable. Des données devraient être examinées avant l'utilisation pour établir le modèle.

B-2.1.2 Omission des variables appropriées

Dans le M&V, l'*analyse de régression* est employée pour expliquer des changements de consommation d'énergie. La plupart des systèmes utilisateurs d'énergie complexes sont affectés par des variables indépendantes innombrables. Les modèles de régression ne peuvent pas espérer inclure toutes les variables indépendantes. Même si c'était possible, le modèle serait trop complexe pour être utile et exigerait des activités excessives pour la collecte des

³² ASHRAE (2002) suggère que l'*analyse de régression* devrait être en mesure de produire des valeurs de e qui sont inférieures à 0,005 %.

données. L'approche pratique est d'inclure seulement une ou plusieurs variables indépendantes considérées comme ayant un impact significatif sur la consommation d'énergie.

L'omission d'une *variable indépendante* appropriée peut être une erreur importante. L'exemple de l'Annexe B-2 essaie d'expliquer les variations mensuelles de la consommation d'énergie en utilisant plusieurs variables X. Si une *variable indépendante* appropriée est absente (par exemple, D-J Chauff.), alors le modèle n'expliquera pas une partie significative de la variation énergétique. Le modèle déficient attribuera également une partie de la variation qui est due à la variable absente à la ou aux variables incluses dans le modèle. Comme tel, le modèle ne fournira pas d'estimations précises de l'impact des variables X incluses sur Y.

Il n'y a aucune indication évidente de ce problème dans les essais statistiques standards (excepté peut-être un R^2 bas, voir B-2.2.1 ci-dessous). L'expérience et la connaissance de la technologie du système dont la performance est mesurée sont des plus importants.

Il peut y avoir des cas où une relation existe avec une variable enregistrée pendant la *base de référence*. Cependant, la variable n'est pas incluse dans le modèle dû au manque de budget pour continuer à recueillir les données dans la *période de suivi*. Une telle omission d'une variable appropriée devrait être notée et justifiée dans le *Plan de M&V*.

B-2.1.3 Introduction de variables non pertinentes

Parfois les modèles incluent une ou des variables indépendantes non pertinentes. Si la variable non pertinente n'a aucun rapport (corrélation) avec les variables appropriées incluses, elle aura un impact minimal sur le modèle. Si la variable non pertinente est corrélée avec d'autres variables appropriées dans le modèle, elle peut causer un impact biaisé des variables appropriées.

Faites attention en ajoutant plus de variables indépendantes dans une *analyse de régression* juste parce qu'elles sont disponibles. Juger de la pertinence des variables indépendantes exige de l'expérience et de l'intuition. La statistique t associée (voir B-2.2.3 ci-dessous) est une manière de confirmer la pertinence des variables indépendantes particulières incluses dans un modèle. De l'expérience en analyse énergétique pour le type d'installation impliqué dans tout programme de M&V est nécessaire pour déterminer la pertinence des variables indépendantes.

B-2.1.4 Forme fonctionnelle

Il est possible de modéliser un rapport en utilisant une forme fonctionnelle incorrecte. Un rapport linéaire pourrait être inexactement employé en modélisant un rapport physique fondamental qui est non linéaire. Par exemple, la consommation de l'électricité et la température ambiante tendent à avoir un rapport non linéaire (souvent en forme de « U ») avec la température extérieure, sur une période d'une année dans les bâtiments qui sont chauffés et refroidis électriquement (l'utilisation de l'électricité est haute pour les températures ambiantes à la fois basses et élevées, tandis qu'elle est relativement basses en milieu de saison). Modéliser ce rapport non linéaire avec un modèle linéaire simple présenterait une erreur inutile. Au lieu de cela, des modèles linéaires séparés devraient être dérivés pour chaque saison.

Il peut également être approprié d'essayer les rapports évolués, par exemple, $Y = f(X, X^2, X^3)$.

Le modélisateur doit évaluer différentes formes fonctionnelles et choisir la plus appropriée parmi elles, employant les mesures d'évaluation présentées dans l'annexe B-2.2, ci-dessous.

B-2.1.5 Manque de données

Les erreurs peuvent également provenir de données insuffisantes en termes de quantité (trop peu de points de repères) ou temps (par exemple, en utilisant des mois d'été dans le modèle et essayant d'extrapoler aux mois d'hiver). Les données utilisées en modélisation devraient être représentatives de l'étendue des opérations de l'installation ou du *site*. La période de temps couverte par le modèle doit inclure diverses saisons possibles, divers types d'utilisation, etc. Ceci peut réclamer la prolongation des périodes de temps utilisées ou une plus grande taille d'échantillon.

B-2.2 Évaluation des modèles de régression

Pour évaluer à quel point un modèle particulier de régression explique le rapport entre la consommation d'énergie et les variables indépendantes, trois essais peuvent être réalisés comme décrits ci-dessous. L'annexe B-6 fournit l'évaluation d'un exemple de modèle de régression.

B-2.2.1 Coefficient de détermination (R²)

Pour évaluer l'exactitude d'un modèle, la première étape est d'examiner le coefficient de détermination, R²; une mesure du point auquel les variations de la variable dépendante Y et de sa valeur moyenne sont expliquées par le modèle de régression. Mathématiquement, R² est :

$$R^2 = \frac{\text{Variation justifiée par } Y}{\text{Variation totale en } Y}$$

et plus explicitement :

$$R^2 = \frac{\sum (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{\sum (Y_i - \bar{Y})^2}$$

où :

- \hat{Y}_i = la valeur de la consommation d'énergie prévue par le modèle pour un point de repère particulier en utilisant la valeur mesurée de la variable indépendante (c.-à-d., obtenu en insérant les valeurs de X au modèle de la régression)
- \bar{Y} = moyenne des valeurs n d'énergie mesurées trouvée en utilisant l'équation B-1
- Y_i = valeur d'énergie mesurée (par exemple, à l'aide d'un compteur)

Tous les progiciels statistiques et outils de chiffriers d'analyse de régression calculent la valeur de R².

L'étendue de valeurs possibles pour R² est de 0,0 à 1,0. Un R² de 0,0 signifie qu'aucune variation n'est expliquée par le modèle. Ainsi le modèle ne fournit aucune recommandation dans la compréhension des variations de Y (c.-à-d., les variables indépendantes choisies ne donnent aucune explication des causes des variations observées de Y). D'une part, un R² de 1,0 veut dire que le modèle explique 100 % des variations de Y, (c.-à-d., le modèle prévoit Y avec une certitude totale, pour toutes valeurs données des variables indépendantes). Aucune de ces valeurs limites de R² n'est probable avec de vraies données.

Généralement plus le coefficient de détermination est grand, plus le modèle décrit mieux le rapport des variables indépendantes et de la variable dépendante. Bien qu'il n'y ait aucune norme universelle pour une valeur R² acceptable minimum, 0,75 est souvent considéré comme un indicateur raisonnable d'un bon rapport causal parmi la consommation d'énergie et les variables indépendantes.

L'essai R² devrait seulement être employé comme un premier contrôle. Des modèles ne devraient pas être rejetés ou acceptés seulement sur la base de R². En conclusion, un R² bas est une indication que quelques variables appropriées ne sont pas incluses ou que la forme fonctionnelle du modèle (par exemple, linéaire) n'est pas appropriée. Dans cette situation, il serait logique de considérer des variables indépendantes additionnelles ou une forme fonctionnelle différente.

B-2.2.2 Erreur type de l'estimation

Quand un modèle est employé pour prévoir une valeur d'énergie (Y) pour la ou les variables indépendantes données, l'exactitude de la prévision est mesurée par l'erreur type de l'évaluation (ET \hat{Y}). Cette mesure d'exactitude est fournie par tous les progiciels et outils de chiffriers d'analyse de régression.

Une fois que la ou les valeurs de la ou des *variable indépendante* sont branchées au modèle de régression pour estimer une valeur d'énergie (\hat{Y}), une approximation de l'étendue des valeurs possibles pour \hat{Y} peut être calculée en utilisant l'équation B-6 comme suit :

$$\hat{Y} \pm t \times ET_Y$$

où :

\hat{Y} est la valeur prévue de la consommation d'énergie (Y) du modèle de régression

- t est la valeur obtenue à partir des tables t (voir le tableau B-1 ci-dessus)
- ET_Y est l'*erreur type* de l'estimation (prévision). Elle est calculée comme suit :

$$ET_Y = \sqrt{\frac{\sum(\hat{Y}_i - Y_i)^2}{n - p - 1}} \quad \text{B-8}$$

où p est le nombre de variables indépendantes dans l'équation de régression. Cette statistique est souvent mentionnée comme la racine carrée de l'erreur quadratique moyenne (RMSE).

En divisant le RMSE par la consommation d'énergie moyenne employée, on obtient le coefficient de variation du RMSE, ou le CV (RMSE).

$$CV(RMSE) = \frac{ET_Y}{\bar{Y}} \quad \text{B-9}$$

Une mesure semblable est l'erreur systématique moyenne (MBE), définie comme suit :

$$MBE = \frac{\sum(\hat{Y}_i - Y_i)}{n} \quad \text{B-10}$$

Le MBE est un bon *indicateur* de polarisation globale dans l'estimation de régression. Un MBE positif indique que les *évaluations* de régression tendent à surévaluer les valeurs réelles. La polarisation positive globale tend à annuler la polarisation négative. Le RMSE ne souffre pas de ce problème d'annulation.

Chacune des trois mesures peut être employée en évaluant le calibrage des modèles de simulation dans l'Option D.

B-2.2.3 Statistique t

Puisque les coefficients de modèle de régression (b_k) sont des *évaluations* statistiques de la véritable interaction entre une variable individuelle de X et un Y, ils sont sujets à la variation. L'exactitude de l'*évaluation* est mesurée par l'*erreur type* du coefficient et de la valeur associée de la statistique t. Une statistique t est un test statistique pour déterminer si une *évaluation* a de la signification statistique. Une fois qu'une valeur est estimée en utilisant le test, elle peut être comparée contre des valeurs t critiques d'une table t (tableau B-1 ci-dessus).

L'*erreur type* de chaque coefficient est calculée par le logiciel de régression. L'équation suivante s'applique pour le cas d'une *variable indépendante*.

$$ET_b = \sqrt{\frac{\sum(Y_i - \hat{Y})^2 / (n - 2)}{\sum(X_i - \bar{X})^2}}$$

Pour des cas avec plus qu'une *variable indépendante*, l'équation fournit une approximation raisonnable lorsque les variables indépendantes sont vraiment indépendantes (c.-à-d., non corrélées). Autrement, l'équation devient très complexe et l'analyste de M&V a avantage à employer un logiciel pour calculer les erreurs types des coefficients.

L'étendue contenant la vraie valeur du coefficient b est trouvée en employant l'équation B-6 comme suit :

$$b \pm t \times ET_b$$

L'*erreur type* du coefficient b mène également au calcul de la statistique t . Cet essai détermine si le coefficient calculé est statistiquement significatif ou simplement un calcul aléatoire. La statistique t est calculée par tout logiciel statistique en utilisant l'équation suivante :

$$\text{statistique } t = \frac{b}{ET_b}$$

Une fois que la statistique t est estimée, elle peut être comparée avec des valeurs critiques de t du tableau B-1. Si la valeur absolue de la statistique t excède le nombre approprié du tableau B-1, alors il faut conclure que l'*évaluation* est statistiquement valide.

Un principe de base déclare que la valeur absolue d'un résultat de statistique t de 2 ou plus implique que le coefficient estimé est significatif relativement à son *erreur type*, et donc qu'un rapport existe entre Y et le X particulier lié au coefficient. On peut alors conclure que le b estimé n'est pas zéro. Cependant, avec une statistique t d'environ 2, la *précision* sur la valeur du coefficient est d'environ $\pm 100\%$: pas vraiment de vote de confiance en la valeur de b . Pour obtenir une meilleure *précision*, disons $\pm 10\%$, les valeurs de la statistique t doivent être autour de 10, ou l'*erreur type* de b ne doit pas être plus de 0,1 ou b lui-même.

Pour améliorer le résultat de la statistique t :

- choisir la ou les variables indépendantes avec la plus forte corrélation avec la consommation d'énergie;
- choisir la ou les variables indépendantes dont les valeurs enjambent la plus grande étendue possible (si X ne change pas du tout dans le modèle de régression, b ne peut pas être estimé et la statistique t sera médiocre);
- recueillir et employer plus de points de repères pour développer le modèle;
- choisir une forme fonctionnelle différente pour le modèle; par exemple, une qui détermine séparément les coefficients pour chaque saison dans un bâtiment sensiblement affecté par les changements de température saisonniers.

B-3 Échantillonnage

L'échantillonnage crée des erreurs parce que les éléments étudiés ne sont pas tous mesurés. La situation d'échantillonnage la plus simple est celle de choisir aléatoirement n éléments à partir d'une population totale de N éléments. Dans un échantillon aléatoire, chaque élément a la même probabilité $\left(\frac{n}{N}\right)$ d'être inclus dans l'échantillon.

Généralement l'*erreur type* est inversement proportionnelle à \sqrt{n} . C'est-à-dire, l'augmentation de la dimension de l'échantillon par un facteur « f » réduira l'*erreur type* (améliorer la *précision* de l'*évaluation*) par un facteur de \sqrt{f} .

B-3.1 Détermination de la taille de l'échantillon

Vous pouvez réduire au minimum l'erreur d'échantillonnage en augmentant la fraction de la population prélevée $\left(\frac{n}{N}\right)$, augmentant ainsi le coût pour la taille de l'échantillon.

Plusieurs questions sont critiques dans l'optimisation des tailles d'échantillon. Les étapes suivantes devraient être suivies pour décider de la taille de l'échantillon :

1. **Choisir une population homogène.** Pour que l'échantillonnage soit rentable, les éléments mesurés devraient être prévus comme étant identiques à la population entière. S'il y a deux types différents d'éléments dans la population, ils devraient être groupés et prélevés séparément. Par exemple, en concevant un programme d'échantillonnage pour mesurer les périodes de fonctionnement d'une pièce où l'allumage est commandé par des détecteurs d'occupation, les salles qui sont occupées plus ou moins sans

interruption (par exemple, les bureaux à plusieurs personnes) devraient être prélevées séparément de celles qui sont seulement occupées de temps à autre (par exemple, la salle de réunion).

2. **Déterminer les niveaux désirés de *précision* et de *confiance*** pour l'estimation (par exemple, les heures d'utilisation) à rapporter. La *précision* se réfère à la limite d'erreur autour de la véritable estimation (c.-à-d., étendue de $\pm x$ % autour de l'estimation). Une *précision* plus élevée exige un plus grand échantillon. La *confiance* se réfère à la probabilité que l'estimation tombera dans l'étendue de *précision* (c.-à-d., la probabilité que l'estimation tombera en effet dans l'étendue de $\pm x$ % définie par l'énoncé de *précision*). Une probabilité plus élevée exige également de plus grands échantillons. Par exemple, si vous voulez un intervalle de confiance de 90 % et une *précision* de ± 10 %, vous voulez dire que l'étendue définie pour l'estimation (± 10 %) contiendra la valeur véritable pour le groupe entier (qui n'est pas observé) avec une probabilité de 90 %. Comme exemple, en estimant les heures d'éclairage à un service, on a décidé d'employer l'échantillonnage parce qu'il était trop cher de mesurer le temps d'exploitation de tous les circuits d'éclairage. Mesurer un échantillon de circuits a fourni une estimation du vrai temps d'exploitation. Pour répondre à un critère d'incertitude de 90/10 (confiance et *précision*) la taille de l'échantillon est déterminée de façon à ce qu'une fois que le temps d'exploitation est estimé par l'échantillonnage, l'étendue de l'estimation de l'échantillon ($\pm 10\%$) doit avoir une chance de 90 % pour capturer les véritables heures d'utilisation.

L'approche conventionnelle est de concevoir l'échantillonnage pour réaliser un intervalle de confiance de 90 % et une *précision* de ± 10 %. Cependant, le *Plan de M&V* doit considérer les limites créées par le budget (voir le chapitre 8.5). L'amélioration de la *précision* de disons ± 20 % à ± 10 % augmentera la taille de l'échantillon par 4, alors que son amélioration à ± 2 % augmentera la taille de l'échantillon par 100. (C'est un résultat de l'erreur d'échantillon inversement proportionnelle à \sqrt{n} .) Le choix des critères appropriés d'échantillonnage exige un compromis des conditions d'exactitude avec les coûts de M&V.

3. **Décider du niveau de désagrégation.** Établir si les critères d'intervalle de confiance et de *précision* devraient être appliqués à la *mesure* de toutes les composantes ou à divers sous-groupes de composantes. Voir l'Annexe B-5.2. Passez en revue les critères de *précision* et de confiance choisis dans 2.
4. **Calculer la taille de l'échantillon initiale.** Basé sur l'information ci-dessus, une première *évaluation* de la taille de l'échantillon global peut être déterminée par cette équation :

$$n_0 = \frac{z^2 * CV^2}{e^2}$$

où :

- n_0 est l'estimation initiale de la taille de l'échantillon exigée, avant que l'échantillonnage ne commence.
- CV est le *coefficient de variance*, défini comme l'*écart type* des lectures divisées par la moyenne. Jusqu'à ce que la moyenne actuelle et l'*écart type* de la population puissent être estimés à partir des échantillons actuels, 0,5 peut être employé comme première *évaluation* pour CV.
- e est le niveau désiré de *précision*.
- z est la valeur standard de distribution normale du tableau B-1 ci-dessus, avec un nombre infini de lectures, et pour l'intervalle désiré de confiance. Par exemple, z est 1,96 pour un intervalle de confiance de 95 % (1,64 pour 90 %, 1,28 pour 80 %, et 0,67 pour une confiance de 50 %).

B-11

Par exemple, pour un intervalle de confiance de 90 %, avec une *précision* de 10 %, et CV de 0,5, l'*évaluation* initiale de la taille de l'échantillon exigée (n_o) est

$$n_o = \frac{1.64^2 \times 0.5^2}{0.1^2} = 67$$

Dans certains cas (par exemple, mesurer les heures d'utilisation de l'éclairage), il peut être souhaitable de débiter par un petit échantillon dans le seul but d'estimer une valeur de CV pour aider à projeter le programme d'échantillonnage. En outre, des valeurs du travail précédent de M&V peuvent être employées en tant qu'*évaluations* initiales appropriées de CV.

5. Ajuster l'estimation initiale de la taille de l'échantillon pour de petites populations.

La taille de l'échantillon nécessaire peut être réduite si la population entière prélevée n'est pas plus de 20 fois la taille de l'échantillon. Pour l'exemple de taille initial de l'échantillon ci-dessus, ($n_o = 67$), si la population (N) dont il est prélevé est de seulement 200, la population est seulement 3 fois la taille de l'échantillon. Par conséquent, « l'ajustement fini de population » peut être appliqué. Cet ajustement réduit la taille de l'échantillon (n) comme suit :

$$n = \frac{n_o N}{n_o + N}$$

B-12

L'application de cet ajustement fini de population à l'exemple ci-dessus, réduit la taille de l'échantillon (n) exigée pour répondre au critère de 90 %/± 10 % à 50. Voir un exemple de l'utilisation de cet ajustement dans l'annexe A-3-1. 2.

6. Finalisation de la taille de l'échantillon. Puisque la taille initiale de l'échantillon (n_o) est déterminée à l'aide d'un CV assumé, il est critique de se rappeler que le CV réel de la population étant prélevée peut être différent. Ainsi, une taille d'échantillon actuelle différente peut être nécessaire pour répondre au critère de *précision*. Si le CV actuel s'avère être moins que la prétention initiale à l'étape 4, la taille de l'échantillon exigée sera inutilement grande pour rencontrer les buts de *précision*. Si le CV réel s'avère être plus grand qu'assumé, alors l'objectif de *précision* ne sera pas rencontré à moins que la taille de l'échantillon n'augmente au delà de la valeur calculée par les équations B-11 et B-12.

Pendant que l'échantillonnage continu, l'*écart type* moyen et les lectures devraient être calculés. Le CV actuel et la taille de l'échantillon requis (équations B-11 et B-12) devraient être recalculés. Ce recalcul peut permettre une terminaison hâtive du procédé d'échantillonnage. Il peut également mener à une obligation d'effectuer plus d'échantillonnage que prévu à l'origine. Pour maintenir les coûts de M&V dans le budget, il peut être approprié d'établir une taille d'échantillon maximale. Si ce maximum est atteint réellement après les recalculs ci-dessus, le ou les rapports des *économies* devraient noter la *précision* réelle réalisée par l'échantillonnage.

B-4 Mesure

Des quantités d'*énergie* et des variables indépendantes sont souvent mesurées, en tant qu'élément d'un programme de M&V, à l'aide des compteurs. Aucun compteur n'est précis à 100 %, bien que des compteurs plus sophistiqués puissent augmenter l'exactitude vers 100 %. L'exactitude des compteurs choisis est spécifiée par le fabricant du compteur à partir d'essais en laboratoire. Le choix de la taille appropriée des compteurs pour l'étendue des quantités possibles à mesurer assure que les données rassemblées font partie des limites connues et acceptables d'erreur (ou de la *précision*).

Les fabricants évaluent typiquement la *précision* comme fraction de la lecture courante ou comme fraction de la lecture maximale à l'échelle du compteur. Dans ce dernier cas, il est important de considérer où les lectures typiques tombent sur l'échelle du compteur avant de calculer la *précision* des lectures typiques. La surévaluation de la taille des compteurs dont la

précision est énoncée relativement à la lecture maximale, réduira de manière significative la *précision* actuelle de la *mesure*.

Les lectures de beaucoup de systèmes de *mesure* "décaleront" avec le temps, dû à l'usure mécanique. Le recalibrage périodique à l'aide d'une norme connue est exigé pour s'ajuster à ce décalage. Il est important de maintenir sur place, par entretien courant, la *précision* des compteurs, et le calibrage, avec des normes connues.

En plus de l'exactitude propre à l'élément de compteur, d'autres effets probablement inconnus peuvent réduire la *précision* du système de *mesure* :

- un choix médiocre de l'emplacement du compteur ne donnera pas une "vision" représentative de la quantité censée être mesurée (par exemple, les lectures d'un compteur de débit d'un fluide sont affectées par la proximité d'un coude dans le tube);
- les erreurs de télémétrie des données qui coupent aléatoirement ou systématiquement les données du compteur.

En raison de telles erreurs de *mesure* inquantifiables, il est important de se rendre compte que la *précision* citée par le fabricant exagère probablement la *précision* des lectures réelles sur place. Toutefois, il n'y a aucune manière de mesurer ces autres effets.

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 %.

Quand une *mesure* simple est employée dans un calcul de l'économie, plutôt que la moyenne de plusieurs *mesures*, les méthodes de l'annexe B-5 sont employées pour combiner les incertitudes de plusieurs composants. L'*erreur type* de la valeur mesurée est :

$$ET = \frac{\text{précision relative du compteur} \times \text{valeur mesurée}}{t}$$

B-13

où t est basé sur le grand échantillonnage fait par le fabricant du compteur en développant son énoncé relatif de *précision*. Par conséquent, la valeur du tableau B-1 de t devrait être pour des tailles d'échantillon infinies.

En faisant des lectures multiples avec un compteur, les valeurs observées contiennent l'erreur et les variations du compteur dans le phénomène étant mesuré. La moyenne des lectures contient aussi les deux effets. L'*erreur type* de la valeur moyenne estimée des *mesures* est trouvée en employant l'équation B-4.

Les chapitres 4.8.3 et 8.11 discutent davantage de la *mesure* et fournissent des références à d'autres lectures utiles sur ce sujet.

B-5 Combinaison des composantes de l'incertitude

Les composantes de *mesure* et d'ajustement dans l'équation 1 du chapitre 4 peuvent introduire de l'incertitude dans le rapport des *économies*. Les incertitudes dans les différentes composantes peuvent être combinées pour permettre des énoncés globaux sur l'incertitude des *économies*. Cette combinaison peut être effectuée en exprimant l'incertitude de chaque composante en termes de son *erreur type*.

Les composantes doivent être indépendantes pour employer les méthodes suivantes combinant les incertitudes. L'indépendance signifie que n'importe quelle erreur aléatoire affectant une des composantes est indépendante des erreurs affectant d'autres composantes.

Si l'économie rapportée est la somme ou la différence de plusieurs composantes déterminées indépendamment (C) (c.-à-d., $\dot{E}conomies = C_1 \pm C_2 \pm \dots \pm C_p$), alors l'*erreur type* de l'économie rapportée peut être estimée par :

$$ET(\dot{E}conomies) = \sqrt{ET(C_1)^2 + ET(C_2)^2 + \dots + ET(C_p)^2}$$

B-14

Par exemple, si l'économie est calculée en utilisant l'équation 1b du chapitre 4 comme différence entre la consommation d'énergie de la base de référence ajustée et la consommation d'énergie mesurée pour la période de suivi, l'erreur type de la différence (économies) est calculée comme suit :

$$ET(\acute{E}conomies) = \sqrt{ET(\text{référence ajustée})^2 + ET(\text{énergie période suivi})^2}$$

Le ET (référence ajustée) vient de l'erreur type de l'estimation dérivée de l'équation B-8. Le ET (énergie de période de suivi) vient de l'exactitude de compteur en utilisant l'équation B-13.

Si l'évaluation rapportée de l'économie est un produit de plusieurs composantes déterminées indépendamment (C_i) (c.-à-d., $\acute{E}conomies = C_1 * C_2 * \dots * C_p$), alors l'erreur type relative des économies est donnée approximativement par :

$$\frac{ET(\acute{E}conomies)}{\acute{E}conomies} \approx \sqrt{\left(\frac{ET(C_1)}{C_1}\right)^2 + \left(\frac{ET(C_2)}{C_2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{ET(C_p)}{C_p}\right)^2} \quad \text{B-15}$$

Un bon exemple de cette situation est la détermination de l'économie d'éclairage comme suit :

$$\acute{E}conomies = \Delta \text{ watts} \times \text{heures}$$

Si le Plan de M&V exige la mesure des heures d'utilisation, alors les « heures » seront une valeur avec une erreur type. Si le Plan de M&V inclut également la mesure du changement de la puissance en watts, alors Δ Watts sera également une valeur avec une erreur type. L'erreur type relative de l'économie sera calculée en utilisant la formule ci-dessus comme suit :

$$\frac{ET(\acute{E}conomies)}{\acute{E}conomies} = \sqrt{\left(\frac{ET(\Delta \text{Watts})}{\Delta \text{Watts}}\right)^2 + \left(\frac{ET(\text{Heures})}{\text{Heures}}\right)^2}$$

Quand un certain nombre de résultats de l'économie sont calculés et qu'ils ont tous la même erreur type, toute l'économie rapportée aura une erreur type calculée en utilisant l'équation B-14 :

ET Total ($\acute{E}conomies$)

$$\begin{aligned} &= \sqrt{ET(\acute{E}conomies_1)^2 + ET(\acute{E}conomies_2)^2 + \dots + ET(\acute{E}conomies_N)^2} \\ &= \sqrt{N} \times ET(\acute{E}conomies) \end{aligned} \quad \text{B-16}$$

où N est le nombre de résultats d'économies avec la même erreur type, additionnés l'un avec l'autre.

Une fois l'erreur type de l'économie déterminée à partir des procédures ci-dessus, il est possible de faire des conclusions appropriées au sujet de la quantité relative d'incertitude inhérente aux économies, en utilisant les mathématiques de la courbe standard de distribution normale, la figure B-1 ou les données dans le Tableau B-1 avec plus de 30 lectures. Par exemple, on peut calculer trois valeurs :

1. La précision absolue ou relative de toute l'économie, pour un niveau donné de la confiance (par exemple, 90 %), est calculée en utilisant respectivement la valeur appropriée de t du Tableau B-1 et de l'équation B-5 ou B-7.
2. Erreur probable (PE), définie comme un intervalle de confiance de 50 %. L'erreur probable représente la quantité d'erreur la plus probable. C'est-à-dire, il est également probable que l'erreur soit plus grande ou plus petite que le PE. (ASHRAE, 1997). Le Tableau B-1 prouve que l'intervalle de confiance de 50 % est réalisé à $t = 0,67$ pour des tailles d'échantillons plus grandes que 30, ou $0,67$ erreurs types de la valeur moyenne. Ainsi, l'étendue de l'erreur probable en économie rapportée employant l'équation B-6 est $\pm 0,67 \times ET$ (l'économie).
3. La limite de confiance de 90 % (CL), est définie comme intervalle où nous sommes 90 % certains que les effets aléatoires n'ont pas produit la différence observée. Du tableau B-1

en utilisant l'équation B-6, le CL est $\pm 1,64 \times ET$ (*économies*) pour les tailles d'échantillons plus grandes que 30.

B-5.1 L'évaluation des interactions des multiples composantes de l'incertitude

Les équations B-14 et B-15 pour combiner les composantes d'incertitude peuvent être employées pour estimer comment les erreurs dans une composante affecteront l'exactitude du rapport global de l'économie. Des ressources de M&V peuvent alors être conçues pour réduire de manière rentable l'erreur dans les *économies* rapportées. De telles considérations de design tiendraient compte des coûts et des effets sur la *précision* de l'économie des améliorations possibles de la *précision* de chaque composante.

Les applications logicielles écrites pour les outils de chiffriers communs tiennent compte de l'évaluation facile de l'erreur nette liée à la combinaison des composantes multiples de l'incertitude, en utilisant des techniques de Monte Carlo. L'analyse de Monte Carlo permet l'évaluation du multiple « et si » des scénarios indiquant une gamme des résultats possibles, leur probabilité d'occurrence et qu'elle composante a le plus d'effet sur le rendement final. Une telle analyse identifie où des ressources doivent être allouées pour contrôler l'erreur.

Une illustration simple de l'analyse « et si » est présentée ci-dessous pour une modification de système d'éclairage. Une lampe de 96 watts est remplacée par une lampe efficace de 64 watts. Si la lampe fonctionne pendant 10 heures par jour, l'économie annuelle serait calculée comme suit :

$$\text{Économies annuelles} = \frac{(96 - 64) \times 10 \times 365}{1,000} = 117 \text{ kWh}$$

De la nouvelle lampe de 64-watts, la puissance est consistante et facilement mesurable avec exactitude. Toutefois, il y a beaucoup de variations parmi la puissance de l'ancienne lampe et parmi les heures d'utilisation de différents endroits. La puissance de l'ancienne lampe et les heures d'utilisation ne sont pas facilement mesurables avec certitude. Par conséquent, les *économies* ne seront également pas connues avec certitude. Le défi de conception de M&V est de déterminer l'impact sur l'économie rapportée si la *mesure* de l'une ou l'autre de ces quantités incertaines est erronée par des montants plausibles.

La Figure B.2 montre une analyse de sensibilité de l'économie pour les deux paramètres, watts de l'ancienne lampe, et heures d'utilisation. Chacun est changé jusqu'à 30 % et l'impact sur l'économie est démontré. On peut voir que l'économie est significativement plus sensible à la variation de la puissance en watts de l'ancienne lampe, qu'aux heures d'utilisation. Une erreur de puissance en watts de 30 % produit une erreur d'économie de 90 %, alors qu'une erreur de 30 % en temps d'exploitation produit seulement une erreur d'économie de 30 %.

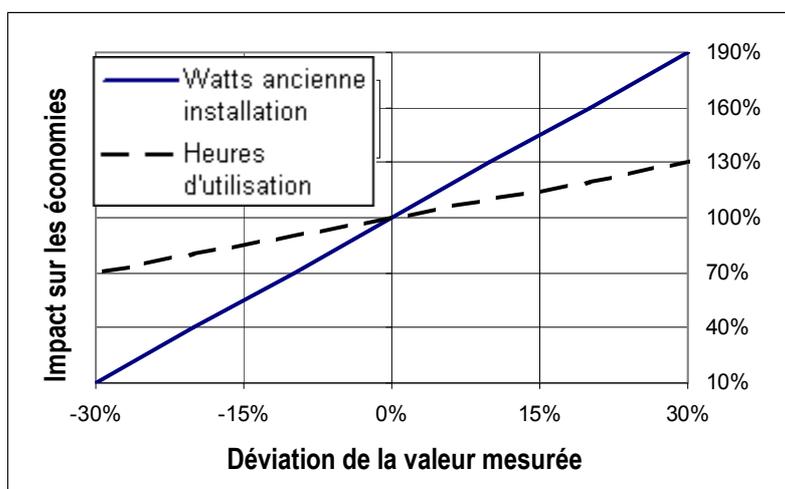


Figure B.2

Exemple Analyse de sensibilité
- Économies d'éclairage

Si la méthode proposée de M&V rapporte des lectures de puissance en watts d'ancienne lampe avec une étendue d'incertitude de $\pm 5\%$, l'étendue de l'incertitude de l'économie de l'électricité sera $\pm 15\%$. En d'autres termes, si la puissance en watts des anciennes lampes

pouvait être entre 91 et 101 watts, l'économie annuelle pourrait se trouver entre 99 et 135 kWh. L'étendue d'incertitude sur l'économie est de 36 kWh (135 - 99). Si le coût marginal de l'électricité est de 10 cents par kWh, l'étendue d'incertitude est environ 3,60 \$ annuellement. Si la puissance en watts de la vieille lampe pouvait être estimée avec une plus grande *précision* pour sensiblement moins de 3,60 \$, alors il pourrait valoir la peine d'augmenter les efforts de *mesure* selon le nombre d'années d'économie considérées.

La Figure B2 prouve que les heures d'utilisation ont moins d'impact sur l'économie finale dans cet exemple (la pente des heures d'utilisation est plus faible indiquant une sensibilité inférieure). Il est plausible que l'erreur dans la *mesure* du temps d'exploitation soit $\pm 20\%$, ainsi l'étendue d'incertitude des *économies d'énergie* est également $\pm 20\%$ ou ± 23 kWh (= 20% de 117 kWh). L'étendue en économie est environ de 46 kWh (= 2×23 kWh), d'une valeur de 4,60 \$ par an. Une fois de plus, elle peut être justifiée pour augmenter l'exactitude de la *mesure* et des heures d'utilisation si cela peut être fait pour un peu moins de 4,60 \$, dépendant du nombre d'années d'*économies* considérées.

La gamme d'erreurs possibles sur les *économies* provenant des erreurs de la *mesure* du temps d'exploitation (46 kWh) est plus grande que l'erreur obtenue en mesurant les puissances des anciennes installations (36 kWh). C'est l'effet opposé de ce qui pourrait être prévu, basé sur la sensibilité plus grande des *économies* reliées à la puissance comparée aux *économies* reliées aux heures d'utilisation, comme vu dans la Figure B2. Cette différence survient parce que l'erreur plausible pour la *mesure* du temps d'exploitation ($\pm 20\%$) est beaucoup plus grande que l'erreur plausible de *mesure* des puissances de l'ancienne installation ($\pm 5\%$).

L'analyse de sensibilité comme celle présenté ci-dessus peut prendre plusieurs formes. L'exemple précédent a été employé pour démontrer les principes. La simulation de Monte Carlo permet la considération complexe de plusieurs paramètres différents, permettant à la conception du M&V de focaliser ses dépenses où elles sont nécessaires à l'amélioration de l'exactitude globale des rapports de suivi des *économies*.

B-5.2 Établissement de cibles pour l'incertitude quantifiable des économies

Comme il a été discuté dans l'Annexe B-1, toutes les incertitudes ne peuvent être mesurées. Cependant, celles qui peuvent être mesurées fournissent des conseils dans la planification de M&V. En considérant le coût de M&V de diverses approches relatives à l'incertitude, le programme de M&V peut produire le type d'information qui semble acceptable à tous les lecteurs du rapport de suivi des *économies*, y compris ceux qui doivent payer le rapport de M&V. Finalement, n'importe quel *Plan de M&V* devrait rapporter le niveau prévu d'incertitude quantifiable (voir le chapitre 5).

La détermination des *économies d'énergie* exige d'estimer la différence entre des niveaux de consommation d'*énergie*, plutôt que mesurer simplement le niveau de la consommation d'*énergie* lui-même. Généralement, calculer une différence pour qu'elle convienne à la cible de prévision d'un critère exige une meilleure *précision* absolue dans la composante de la *mesure* que dans la *précision* absolue exigée de la différence. Par exemple, en supposant que la charge moyenne est d'environ 500 kilowatts, et l'économie prévue de 100 kilowatts, une erreur de $\pm 10\%$ avec critère de la confiance de 90 % (le « 90/10 ») peut être appliquée de deux manières :

- Si appliquée aux *mesures* de charge, la *précision* absolue doit être de 50 kilowatts (10 % de 500 kilowatts) avec une confiance de 90 %.
- Si appliquée aux *économies* rapportées, la *précision* absolue en économie doit être de 10 kilowatts (10 % de 100 kilowatts) au même intervalle de confiance de 90 %. Réaliser cette *précision* absolue de 10 kilowatts en *économies* rapportées, exige une *précision* absolue de 7 kilowatts (en employant l'équation B-14 si les deux composantes ont la même *précision*) pour la *mesure* des composantes.

Clairement, l'application critère de confiance/*précision* 90/10 au niveau de l'économie exige beaucoup plus de *précision* dans la *mesure* de la charge qu'une condition de 90/10 au niveau de la charge.

Le principe de *précision* peut être appliqué non seulement aux *économies d'énergie*, mais également aux paramètres qui déterminent l'économie. Par exemple, supposons que le montant des *économies* est le produit du nombre (N) d'unités, d'heures (H) d'opération et de changement (C) en watts : L'économie = N x H x C. Le principe de 90/10 a pu être appliqué séparément à chacun de ces paramètres. Cependant, la réalisation de 90/10 de *précision* pour chacun de ces paramètres séparément n'implique pas que 90/10 est réalisé pour l'économie, qui est le paramètre ultime d'intérêt. En fait, en utilisant l'équation B-15, la *précision* à 90 % d'intervalle de confiance serait seulement ± 17 %. D'une part, si on assume que le nombre d'unités et le changement en watts sont connus sans erreur, une *précision* 90/10 pour les heures implique une *précision* 90/10 pour l'économie.

Cette norme de *précision* peut être imposée à divers niveaux. Le choix du niveau de désagrégation affecte nettement la conception de la M&V et les coûts associés. Généralement les conditions de collecte de données augmentent si des conditions de *précision* sont imposées à chaque composante. Si le but principale est de contrôler la *précision* des *économies* pour un projet dans l'ensemble, il n'est pas nécessaire d'imposer la même condition de *précision* à chaque composante.

B-6 Exemple d'une analyse d'incertitude

Pour illustrer l'utilisation de divers outils statistiques pour analyser d'incertitude, le Tableau B-3 montre un exemple des résultats du chiffrier d'un modèle de régression. C'est une régression de 12 valeurs mensuelles d'un compteur de consommation du fournisseur d'électricité d'un bâtiment et des degrés-jours de climatisation (D-J Clim.) sur une période d'un an. C'est uniquement un résultat partiel du chiffrier. Des valeurs spécifiques d'intérêt sont accentuées en italique.

Sommaire des résultats					
Statistiques de régression					
R Multiple		0,97			
R Carrée		0,93			
R Carrée ajustée		0,92			
<i>Erreur type</i>		367,50			
Observations		12,00			
	Coefficients	<i>Erreur type</i>	Stat T	95 % inférieur	95 % supérieur
Ordonnée à l'origine	5 634,15	151,96	37,08	5 295,56	5 972,74
D-J Clim.	7,94	0,68	11,64	6,42	9,45

Tableau B-3
Exemple
Résultats du
chiffrier
d'analyse de
régression

Pour une *base de référence* de 12 points mensuels pour les kWh et les D-J Clim. le modèle de régression dérivé est :

$$\text{Consommation d'électricité mensuelle} = 5\,634,15 + (7,94 \times \text{D-J Clim.})$$

Le coefficient de détermination, R^2 , (dénommé "R Carrée" dans la table B-3) est plutôt haut à 0,93, indiquant que 93 % de la variation des 12 points de repère d'*énergie* est expliquée par le modèle utilisant des données de D-J Clim. Ce fait implique un rapport très fort et le modèle peut être employé pour estimer des limites d'ajustement sous la forme appropriée de l'équation 1 au chapitre 4.

Le coefficient estimé de 7,94 kWh par D-J Clim. a une *erreur type* de 0,68. Cette ET mène à une statistique t (montrée en tant que « Stat T » dans le Tableau B-3) de 11,64. Cette statistique t est alors comparée à la valeur critique appropriée de t dans le Tableau B-1 ($t = 2,2$

pour 12 points de repères et confiance de 95 %). Puisque 11,64 excède 2,2, D-J Clim. est une *variable indépendante* fortement significative. Le chiffrier montre aussi que l'étendue pour le coefficient au *niveau de confiance* de 95 % est de 6,42 à 9,45, et implique une *précision* relative de $\pm 19\%$ ($= (7,94 - 6,42)/7,94$). En d'autres termes, nous sommes 95 % confiants que chaque D-J Clim. additionnel augmente la consommation de kWh entre 6,42 et 9,45 kWh.

L'*erreur type* de l'évaluation employant la formule de régression est de 367,5. Les D-J Clim. moyens par mois sont de 162 (non montré dans les résultats). Par exemple, si on veut prévoir quelle consommation électrique serait observée à l'intérieur des conditions moyennes de climatisation, cette valeur de D-J Clim. est insérée dans le modèle de régression :

$$\begin{aligned}\text{Consommation prédite} &= 5\,634 + (7,94 \times 162) \\ &= 6\,920 \text{ kWh par D-J Clim. mensuel moyen}\end{aligned}$$

En utilisant une valeur t du Tableau B-1 de 2,2, pour 12 points de repère et un intervalle de confiance de 95 %, l'étendue des prévisions possibles est :

$$\text{Étendue des prévisions} = 6\,920 \pm (2,2 \times 367,5) = 6\,112 \text{ to } 7\,729 \text{ kWh.}$$

La *précision* absolue est ± 809 kWh ($= 2,2 \times 367,5$) et la *précision* relative est $\pm 12\%$ ($= 809/6\,920$). La valeur décrite du chiffrier pour l'*erreur type* de l'estimation a fourni les informations requises pour calculer la *précision* relative prévue lors de l'utilisation du modèle de régression pour n'importe quelle période d'un mois, dans ce cas-ci, 12 %.

Si la consommation de la *période de suivi* était de 4 300 kWh, l'économie calculée en utilisant le chapitre 4, l'équation 1b) sera :

$$\text{Économies} = 6\,920 - 4\,300 = 2\,620 \text{ kWh}$$

Puisque le compteur du fournisseur d'électricité a été utilisé pour obtenir la valeur de l'électricité pour la *période de suivi*, ces valeurs rapportées peuvent être traitées en tant que 100 % précises (ET = 0 %) parce que le compteur du fournisseur d'électricité définit les montants payés, indépendamment de l'erreur du compteur. Le ET du nombre de l'économie sera :

$$ET(\text{économies mensuelles}) = \sqrt{ET(\text{référence ajustée})^2 + ET(\text{consommation période suivi})^2}$$

En utilisant un t de 2,2, l'étendue des *économies* mensuelles possibles

$$\begin{aligned}\text{Étendue des économies} &= 2\,620 \pm (2,2 \times 367,5) \\ &= 2\,620 \pm 810 = 1\,810 \text{ à } 3\,430\end{aligned}$$

Pour déterminer la *précision* de l'économie mensuelle totale annuelle, on suppose que l'*erreur type* de l'économie de chaque mois sera identique. L'économie annuelle rapportée a alors une *erreur type* de :

$$ET(\text{économies annuelles}) = \sqrt{12 \times 367,5^2} = 1\,273 \text{ kWh}$$

Puisque t dérive du modèle de la *base de référence*, il demeure à la valeur 2,2 utilisée ci-dessus. Par conséquent, la *précision* absolue en économie annuelle est de $2,2 \times 1\,273 = 2\,801$ kWhs.

En assumant des *économies* mensuelles équivalant 2 620 kWh, les *économies* annuelles sont de 31 440 kWh, et la *précision* relative du rapport annuel d'économie est de 9 % ($= (2\,801/31\,440) \times 100$).

ANNEXE C SPÉCIFICITÉS RÉGIONALES

Cette annexe contient des informations fournies par les Comités Régionaux d'EVO, relatives aux procédures, produits, standards et règles **spécifiques au pays utilisateur et rédigées dans leur propre langue**. Chacune des parties qui la composent, mises à jour indépendamment du reste du volume I, porte sa date de publication.

C-1 United States of America - April 2007

Addition to Chapter 1.3

- M&V Guidelines: Measurement and Verification for Federal Energy Projects, Version 2.2 - 2000 (see Reference 27 in Chapter 10). The U.S. Department of Energy's Federal Energy Management Program (FEMP) was established, in part, to reduce energy costs of operating U.S. government federal facilities. The FEMP M&V Guideline was first published in 1996 with many of the same authors as IPMVP. It provides detailed guidance on specific *M&V* methods for a variety of *ECMs*. The FEMP Guide is generally consistent with the IPMVP framework, except that it does not require *site* measurement of energy use for two specific *ECMs*. The Lawrence Berkeley National Laboratory website (<http://ateam.lbl.gov/mv/>) contains the FEMP M&V Guideline, and a number of other M&V resource documents, including one on the estimations used in Option A, and an M&V checklist.
- The U.S. State Of California's Public Utilities Commission's California Energy Efficiency Evaluation Protocols: Technical, Methodological, and Reporting Requirements for Evaluation Professionals (April 2006). This document provides guidance for evaluating efficiency programs implemented by a utility. It shows the role IPMVP for individual *site M&V*. The Protocol can be found at the California Measurement Advisory Council (CALMAC) website <http://www.calmac.org>.

Addition to Chapters 1.2, 1.4.6 and 1.4.7

A widely referenced program for rating the sustainability of building designs or operations is the Leadership in Energy and Environmental Design (LEED™) of the U.S. Green Buildings Council.

Addition to Chapter 4.8

Specific applications of retrofit-isolation techniques to common *ECMs* chosen by the United States Department of Energy are shown in Section III of FEMP (2000). Note however that FEMP's applications LE-A-01, LC-A-01 and CH-A-01 are not consistent with IPMVP because they require no measurement.

Addition to Chapter 4.8.1

Chapter 2.2.1 of FEMP (2000) summarizes common duties borne by parties to an *energy-performance contract*. The United States Federal Energy Management Program has also published Detailed Guidelines For FEMP M&V Option A (2002) giving further guidance on *estimation* issues faced by U.S. federal agencies. (Note: the FEMP guidelines call *estimated values* "stipulations.")

Addition to Chapter 4.10.1

Information on different types of building simulation models can be found in Chapter 32 of the ASHRAE Handbook (2005). The United States Department of Energy (DOE) also maintains a current list of public-domain software and proprietary building-energy-simulation programs at www.eren.doe.gov/buildings/tools_directory.

ASHRAE's simplified energy-analysis procedure may also be used if the building's heat losses, heat gains, internal loads, and HVAC systems are simple.

Other types of special-purpose programs are used to simulate *energy* use of HVAC components. See ASHRAE's HVAC02 toolkit (Brandemuehl 1993), and for boiler/chiller equipment HVAC01 toolkit (Bourdouxhe 1994a, 1994b, 1995). Simplified component air-side HVAC models are also available in a report by Knebel (1983). Equations for numerous other models have been identified as well (ASHRAE 1989, SEL 1996).

Addition to Chapter 4.10.2. Item 2

The process of obtaining and preparing actual weather data is described in depth in the *User News* Vol. 20, No. 1, which is published by Lawrence Berkeley National Laboratory and can be found at <http://gundog.lbl.gov> under Newsletters. Free actual weather data are available from U.S. D.O.E. at

http://www.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weatherdata/weather_request.cfm.

Actual weather data can also be purchased. One source is the U.S. National Climatic Data Center at <http://lwf.ncdc.noaa.gov/oa/climate/climatedata.html>.

One valid method for adjusting an average weather file to resemble actual weather data is found in the WeatherMaker utility program, part of the U.S. National Renewable Energy Laboratory's software package Energy-10, available at

<http://www.nrel.gov/buildings/energy10/>.

Addition to Chapter 8.10

The U.S. Department of Energy's Building Energy Standards and Guidelines Program (BSGP), available at www.eren.doe.gov/buildings/codes_standards/buildings, provides information about U.S. residential, commercial and Federal building codes.

C-2 France - Juillet 2009

Dans tout *Plan de M&V*, l'identification de l'option choisie doit se faire au moyen de la date de publication ou du numéro de version, ainsi que de la référence du volume de l'IPMVP, dans l'édition nationale correspondante. Exemple : IPMVP volume I EVO 10000-1:2010 (Fr).

Chapitre 1.4

1.4 A1 : Benchmarks, certificats et tests régionaux

HQE : www.assohqe.org

Chapitre 4.10 OPTION D

4.10 A1 : Information relative aux différents types de modèles de simulation dans le Bâtiment

Liste des logiciels conseillés par l'ADEME (en cours d'établissement) :
<http://194.117.223.129>

4.10A2 : Modèles de composants applicables

Liste des logiciels conseillés par l'ADEME (en cours d'établissement) :
<http://194.117.223.129>

4.10A3 : Modèles et sources de données météorologiques applicables

Metéo-France : https://espacepro.meteofrance.com/espace_service/visite

COSTIC : <http://www.costic.com/dju/presentation.html>

4.10A4 : Méthodes de calibration applicables

Compléments méthodologiques : voir ASHRAE 2002, 1051RP

4.10A5 : Niveaux de *précision* minimaux recommandés

ASHRAE 2002

C-3 España - 2009

En el desarrollo del IPMVP en España, aunque no existe una normativa específica para la Medida y verificación de proyectos eficientes existen particularidades y utilidades propias de su legislación y normativa que conviene conocer.

Por ello, se anexa información específica de España:

Anexos al Capítulo 4.10.1

Para la obtención de la escala de calificación energética de edificios, en España, se ha realizado un estudio específico en el que se detalla el procedimiento utilizado para obtener los límites de dicha escala en función del tipo de edificio considerado y de la climatología de la localidad. Este procedimiento ha tomado en consideración las escalas que en la actualidad se sopesan en otros países y, en particular, la propuesta que figura en el documento del CEN prEN 15217 "Energy performance of buildings: Methods for expressing energy performance and for energy certification of buildings".

La determinación del nivel de eficiencia energética correspondiente a un edificio puede realizarse empleando dos opciones:

- La opción general, de carácter prestacional, a través de un programa informático; y la opción simplificada, de carácter prescriptivo, que desarrolla la metodología de cálculo de la calificación de eficiencia energética de una manera indirecta.
- La opción general se basa en la utilización de programas informáticos que cumplen los requisitos exigidos en la metodología de cálculo dada en el RD 47/2007. Se ha desarrollado un programa informático de referencia denominado Calener, promovido por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio a través del IDAE y la Dirección General de Arquitectura y Política de Vivienda del Ministerio de Vivienda.

Este programa cuenta con dos versiones:

- Calener_VYP, para edificios de Viviendas y del Pequeño y Mediano Terciario (Equipos autónomos).
- Calener_GT, para grandes edificios del sector terciario.

La utilización de programas informáticos distintos a los de referencia está sujeta a la aprobación de los mismos por parte de la Comisión Asesora para la Certificación Energética de Edificios. Esta aprobación se hará de acuerdo con los criterios que se establece en el Documento de Condiciones de Aceptación de Procedimientos Alternativos a Líder y Calener.

El Programa informático Calener es una herramienta promovida por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, a través del IDAE, y por el Ministerio de Vivienda, que permite determinar el nivel de eficiencia energética correspondiente a un edificio. El programa consta de dos herramientas informáticas para una utilización más fácil por el usuario NT.

Se puede encontrar en la web del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, en <http://www.mityc.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/ProgramaCalener/Paginas/DocumentosReconocidos.aspx>

El programa LIDER es una aplicación que permite verificar el cumplimiento de la exigencia "Limitación de la demanda energética" regulada en el DB-HE1 del nuevo Código Técnico de Edificación.

Dicho programa está incluido dentro el CALENER – VYP que se encuentra en la referencia anterior, aunque se puede obtener independientemente en la web <http://www.codigotecnico.org/index.php?id=33>

Anexos al Capítulo 4.10.2. Item 2

Los datos meteorológicos en tiempo real están disponibles en la web de la Agencia Estatal de Meteorología, dependiente del Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino en la web <http://www.aemet.es/es/eltiempo/observacion/ultimosdatos?k=mad>

Para la obtención de datos meteorológicos históricos igualmente en la Agencia Estatal de Meteorología, dependiente del Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino en la web <http://www.aemet.es/es/elclima/datosclimatologicos/resumenes>

Anexos al Capítulo 8.10

La normativa y legislación española referente al Código Técnico de la Edificación (CTE) se encuentra en la web del Ministerio de Vivienda en http://www.mviv.es/es/index.php?option=com_content&task=view&id=552&Itemid=226

Respecto al Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE) están disponibles en la web del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, en <http://www.mityc.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Paginas/InstalacionesTermicas.aspx>.

C-4 Romania - July 2010

Addition to Chapter 1.3, “IPMVP’s Relationship To Other M&V Guidelines”

Another useful document for the reader of IPMVP is the Romanian National Energy Balance Elaboration Guide. The National Guide describes the way to perform an energy balance, energy audit and how to accomplish the measurement.

Addition to Chapter 4.8.3.2, “Calibration”

Devices are calibrated according to the recognized authority, the National Institute of Metrology, that has as main mission the provision of scientific basis for uniformity and accuracy of measurement in Romania. Therefore calibration action must comply with its assessed laws.

Addition to Chapter 10.2, “Measurement References”

Measurements are made according to the Electric Energy Measurements Rules and Thermal Energy Measurements Rules, elaborated by ANRE (Romanian Energy Regulatory Authority) and using the Code for Electric Energy Measurement elaborated also by ANRE.

For the electric energy measurement, the rules are according to:

CEI 60044-1	Current transformers
CEI 60186	Voltage transformers
CEI 60044-2	Inductive voltage transformers
CEI 60687	Alternating current static watt-hour meters for active energy classes 0.2S and 0.5S
CEI 61036	Alternating current static watt-hour meters for active energy classes 1 and 2
CEI 61268	Alternating current static var-hour meters for reactive energy classes 2 and 3
CEI 60521	Class 0.5, 1 and 2 alternating current watt-hour meters
CEI 60870 - 2 - 1	Telecontrol equipment and systems. Part 2: Operating conditions. Section 1: Power supply and electromagnetic compatibility.
CEI 60870 - 4	Telecontrol equipment and systems. Part 4: Performance requirements.
CEI 60870 - 5	Telecontrol equipment and systems. Part 5: Transmission protocols.
CEI 61107	Data exchange for meter reading, tariff and load control. Direct local data exchange
CEI 61334-4	Distribution automation using distribution line carrier systems. Part 4: Data communication protocols
CEI 62056-61	Electricity metering – data exchange for meter reading, tariff and load control – Part 61: Object identification system (OBIS)
CEI 62056-62	Electricity metering – data exchange for meter reading, tariff and load control – Part 62: Interface classes
CEI 62056-46	Electricity metering – data exchange for meter reading, tariff and load control – Part 46: Data Link layer using HDLC protocol
CEI 62056-53	Electricity metering – data exchange for meter reading, tariff and load control – Part 53: COSEM Application Layer
CEI 62056-21	Electricity metering – data exchange for meter reading, tariff and load control – Part 21: Direct local data exchange
CEI 62056-42	Electricity metering – data exchange for meter reading, tariff and load control – Part 42: Physical layer services and procedures for connection oriented asynchronous data exchange

For the thermal energy measurement, the rules are according to:

SR EN 1434 –1	Thermal energy meters, Part 1: General View. (1998)
STAS 6696	Taking samples (measurements) (1986)
EN 1434–2,3,4,5,6	Heat meters (1997)
ISO/IEC 7480	Information technology – Telecommunications and information exchange between systems -- Start-stop transmission signal quality at DTE/DCE interfaces (1991)
ISO/IEC 7498-1	Information technology -- Open Systems Interconnection – Basic Reference Model: The Basic Model (1994)
PE 002	Regulation for the provision and use of thermal energy (1994)
PE 003	Nomenclature of inspections, testing and proof of installation, <i>commissioning</i> and start-up of power plants (1984)
PE 502-8	Norms for providing technological facilities with measuring devices and automation. Heat Points (1998)
SC 001	Framework solutions for metering installation to plumbing and heating installations in existing buildings (1996)
SC 002	Framework solutions for metering water consumption, natural gas and thermal energy associated with installations from apartment blocks (1998)
OIML R 75	(International Recommendation) Thermal energy meters (1988)
NTM-3-159-94	Metrological verification of thermal energy meters (1994)

Addition to Chapter 8.7, “Data for Emission Trading”

CO₂ emissions are measured, monitored and traded according to the National Allocation Plan Regarding Greenhouse Gas Emission Certificates, that can be found at the following website: http://www.anpm.ro/Files/TEXT%20Anexe%20HG_NAP_ro-%20FINAL_20098183817246.pdf

Certificate trading is made according to EU legislation.

C-5 Bulgaria - July 2010

EU Directives – applicable in Bulgaria as references for measurement, energy efficiency, and equipment standards:

<u>2004/22/EC</u>	Measuring instruments
2006/95/EC	Directive 2006/95/EC of the European Parliament and of the Council of 12 December 2006 on the harmonization of the laws of Member States relating to electrical equipment designed for use within certain voltage limits (codified version)
<u>2000/55/EC</u>	Energy efficiency requirements for ballasts for fluorescent lighting
<u>96/57/EC</u>	Energy efficiency requirements for household electric refrigerators, freezers and combinations thereof
<u>92/42/EEC</u>	Efficiency requirements for new hot-water boilers fired with liquid or gaseous fuels
BDS EN 12261:2003	Gas flow meters
BDS EN 12261:2003/A1:2006	
BDS EN 12261:2003/AC:2003	
BDS EN 12405-1:2006	
BDS EN 12405-1:2006/A1:2006	
BDS EN 12480:2003	
BDS EN 12480:2003/A1:2006	
BDS EN 1359:2000	
BDS EN 1359:2000/A1:2006	
BDS EN 14154-1:2006+A1:2007	Water meters
BDS EN 14236:2009	Ultrasonic domestic gas meters
BDS EN 1434:2007	Heat meters
BDS EN 50470-1:2006	AC Electrical energy measurement
<u>90/396/EC</u>	Appliances burning gaseous fuels
<u>87/404/EC</u>	Simple pressure vessels
<u>97/23/EC</u>	Pressure equipment
<u>92/75/EC</u>	Energy labeling of household appliances
BDS EN 50294:1998/A2:2004	Lighting measurement
BDS EN 50294:2003	
BDS EN 50294:2003/A1:2003	

C-6 Czech Republic - September 2010

Referenced standards, procedures and guidelines should be replaced by European or Czech standards wherever necessary, legally required or practical. However other references in IPMVP are nevertheless informative. The most important Czech technical standards are as follows:

In the field of measuring and control tools and instruments:

- ČSN 2500 In general
- ČSN 2501 Verification of measuring instruments and measuring devices in general
- ČSN 2502 Verification of certain measuring instruments and measuring devices
- ČSN 2509 Measuring instrument accessories and record papers
- ČSN 2570 Pressure gauges in general and accessories
- ČSN 2572 Pressure gauges
- ČSN 2574 Analyzing equipments
- ČSN 2575 Volume measuring
- ČSN 2576 Volumetric weight and density measuring
- ČSN 2577 Liquid and gas flows in hollow sections measuring
- ČSN 2578 Instruments for liquid and gas flows and quantities measuring
- ČSN 2580 Thermometers in general, components
- ČSN 2581 Glass liquid thermometers
- ČSN 2582 Pressure-type thermometers, with contacts and for transformers
- ČSN 2583 Thermocouple and resistance thermometers
- ČSN 2585 Calorimeter and indicators for heating cost distribution

In the field of metrology:

- ČSN 9921 Testing of ammeters, voltmeters, wattmeters
- ČSN 9931 Glass thermometers
- ČSN 9941 Weighing instruments
- ČSN 9947 Mean absolute pressure measuring instruments
- ČSN 9968 Gas flow-meters and gas volume-meters
- ČSN 9971 Photometric measuring instruments
- ČSN 9980 General provisions, nomenclature, symbols and units of measurement of physical-chemical properties of materials

Related to energy:

- ČSN 01 1300 Legal units of measurement
- ČSN 06 0210 Calculation of heat losses in buildings with central space heating
- ČSN 07 0021 Hot water boilers
- ČSN 07 0240 Hot water and low-pressure steam boilers
- ČSN 07 0305 Evaluation of boiler losses
- ČSN 07 0610 Heat exchangers water-water, steam-water
- ČSN 10 5004 Compressors
- ČSN 11 0010 Pumps
- ČSN 12 0000 HVAC systems
- ČSN 33 2000 Electrical regulations
- ČSN 38 0526 Heat supply - principles
- ČSN 38 5502 Gas fuels
- ČSN 65 7991 Oil products, fuel oils
- ČSN 73 0540 Thermal protection of buildings - parts 1, 2, 3, 4
- ČSN 73 0550 Thermal properties of building structures and buildings – calculation methods
- ČSN 73 0560 Thermal properties of building structures and buildings – industrial buildings

- ČSN EN 835 Heat cost allocators for the determination of the consumption of room heating radiators - appliances without an electrical energy supply, based on the liquid evaporation principle
- ČSN EN 834 Heat cost allocators for the determination of the consumption of room heating radiators. Appliances with electrical energy supply

Addition to Chapter 8.7, “Data for Emission Trading”

Verification of CO₂ under the EU Emission Trading Scheme must follow the relevant binding procedures set by the EU and national authorities (Act No 695/2004 Coll., as updated).

C-7 Croatia - September 2010

Addition to Chapter 4.8.3.2. “Calibration”

Replace the first sentence with: “Meters should be calibrated as recommended by the equipment manufacturer, in a laboratory approved by the Croatian agency for metering (Hrvatski zavod za mjeriteljstvo) and with a valid certificate.”

Addition to Chapter 9 “Definitions”

Baseline energy - at the end of definition add “Baseline energy consumption according to Croatian Law on efficient energy end-use” “Osnovna potrošnja energije prema Zakonu o učinkovitom korištenju energije u neposrednoj potrošnji”

Energy - at the end of definition add “See definition in Croatian Law on efficient energy end-use”

“vidi definiciju u Zakonu o učinkovitom korištenju energije u neposrednoj potrošnji”

C-8 Poland - September 2010

Requirements for measurements and measuring instruments:

- a. Ordinance of Minister of Economy on fundamental requirements for measuring instruments (Dz.U. 2007 nr 3 poz. 27; Law Gazette of 2007 No 3, item 27) and amendments (Dz.U. 2010 nr 163 poz. 1103; Law Gazette of 2010 No 163, item 1103).
- b. Law amending law of measures (Dz.U. 2010 nr 66 poz. 421; Law Gazette of 2010 No 66, item 421).
- c. Ordinance of Cabinet amending ordinance on legal units of measures (Dz.U. 2010 nr 9 poz. 61; Law Gazette of 2010 No 9, item 61)
- d. Ordinances of the Minister of Economy on meter requirements, calculation units, and testing during legal metrology inspection for:
 - gas meters: Dz.U. 2008 nr 18 poz. 115; Law Gazette of 2008 No 18, item 115
 - true energy AC electricity meters: Dz.U. 2008 nr 11 poz. 63; Law Gazette of 2008 No 11, item 63
 - liquid flow meters, other than water: Dz.U. 2008 nr 4 poz. 23; Law Gazette of 2008 No 4, item 23.

INDEX

A

adhérence, VIII, IX, 57, 76
ajustements, VII, 19, 20, 21, 22, 26, 31, 35, 46, 47, 50, 52, 66, 67, 79, 81, 92
 ajustements de la base de référence, 51, 64
 ajustements non périodiques, viii, 19, 20, 21, 22, 25, 28, 34, 37, 38, 47, 48, 51, 52, 57, 64, 83, 85
 ajustements périodiques, VIII, 17, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 30, 36, 51, 54, 64, 66, 97
analyse de régression, 25, 35, 36, 64, 83, 86, 97, 98, 99, 100, 101
ASHRAE, VII, 2, 16, 28, 34, 36, 39, 40, 53, 59, 68, 69, 70, 71, 72, 90, 97, 108

B

base de référence, VIII, 1, 5, 6, 7, 8, 9, 14, 15, 17, 18, 20, 21, 22, 24, 25, 28, 29, 30, 31, 32, 34, 35, 36, 37, 38, 41, 44, 45, 46, 48, 51, 52, 53, 58, 59, 60, 64, 66, 74, 78, 79, 80, 81, 83, 84, 85, 86, 87, 89, 90, 93, 99, 107, 111, 113
période de référence, VII, 15, 17, 18, 20, 21, 22, 25, 28, 30, 41, 50, 51, 52, 56, 60, 64, 66, 84, 88

C

calibration, 33, 46, 59, 62, 63, 68, 69, 70, 71, 72, 90
chiffres significatifs, 53, 64, 75, 76, 78, 79, 85
confiance, IV, 11, 53, 55, 57, 67, 78, 80, 86, 90, 93, 94, 95, 96, 97, 102, 103, 104, 106, 108, 110, 111, 112
coûts, 1, 2, 5, 6, 7, 12, 13, 15, 27, 32, 38, 42, 47, 50, 51, 54, 55, 56, 57, 59, 74, 75, 80, 85, 88, 104, 105, 108, 111
CV, 64, 80, 104, 105
CV (RMSE), 65, 90, 101
cycle, 17, 18, 27, 36, 64, 65

D

degré-jour, 36, 59, 65, 86, 88, 98, 111

E

échantillon, 9, 27, 47, 52, 54, 80, 94, 99, 103, 104, 105, 106, 108
 échantillonnage, 4, 52, 53, 56, 80, 104
économies normalisées, 21, 46, 50, 64, 65
effet interactif, 17, 26, 45, 77, 80
erreur probable, 66, 108
erreur type, 78, 87, 92, 93, 95, 96, 101, 102, 103, 106, 107, 108, 111, 112, 113

F

facteurs statiques, VIII, 5, 6, 25, 34, 36, 37, 39, 45, 47, 51, 52, 54, 57, 63, 64, 77, 88, 90

I

incertitude, VII, 1, 4, 7, 10, 28, 31, 36, 52, 53, 55, 56, 57, 92, 93, 94, 104, 106, 108, 109, 110, 111
indicateur, 16, 22, 55, 66, 100, 101

L

limite de mesure, VIII, 5, 6, 16, 17, 18, 19, 23, 25, 26, 27, 30, 31, 32, 34, 37, 44, 45, 47, 51, 52, 53, 56, 64, 66, 85, 89

M

MCE, VII, 1, 3, 5, 6, 7, 11, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 22, 23, 24, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 34, 37, 38, 39, 41, 42, 44, 45, 46, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 64, 66, 67
modèle, 21, 22, 27, 35, 36, 37, 38, 39, 41, 42, 46, 47, 51, 55, 59, 75, 83, 87, 88, 89, 90, 94, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 111, 112, 113
moyenne, 51, 65, 66, 75, 78, 79, 80, 84, 89, 90, 93, 94, 95, 96, 97, 100, 101, 104, 106, 108, 110

O

option A, VII, 3, 5, 6, 7, 8, 28, 29, 30, 31, 32, 37, 47, 48, 52, 53, 55, 56, 75, 77, 79, 80, 83, 93
option B, 5, 6, 7, 30, 31, 32, 52, 55, 56, 76, 81, 82
option C, 5, 6, 7, 8, 9, 16, 27, 28, 34, 35, 36, 37, 41, 52, 55, 56, 57, 85, 87, 89
option D, VII, 5, 8, 17, 20, 23, 28, 31, 32, 37, 38, 39, 41, 47, 55, 60, 89, 101

P

période de reportage, 34
période de suivi, VIII, 6, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 34, 35, 36, 37, 38, 41, 42, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 54, 55, 57, 59, 63, 64, 65, 66, 67, 81, 83, 85, 87, 89, 99, 107
précision, 1, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 13, 15, 23, 37, 38, 39, 40, 42, 47, 52, 53, 54, 55, 56, 59, 67, 75, 78, 80, 87, 92, 93, 94, 95, 96, 102, 103, 104, 105, 106, 108, 109, 110, 111, 112, 113
principes de *M&V*, VII, 13, 15, 49
prix, 5, 7, 46, 48, 50, 51, 61, 75, 77, 79, 81, 83, 87, 89
prix marginaux, 51, 67, 89

R

R^2 , 36, 67, 86, 87, 98, 100, 111
rapport de M&V, 110

S

statistique *t*, 99, 102, 103, 111

V

variable indépendante, 6, 7, 19, 21, 22, 25, 28, 35,
36, 37, 39, 45, 46, 47, 48, 51, 54, 60, 64, 65, 67,
94, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 105, 111

variance, 64, 92, 93, 94, 104

vérification, X, 11, 26, 31, 54, 57, 67



EVO remercie ses principaux souscripteurs :

BC Hydro

San Diego Gas & Electric Company

Southern California Edison

Gas Natural Fenosa