

**Guide Sommaire  
du Plan de Mesure et de Vérification  
des économies d'énergies**

*basé sur le Protocole International de Mesure et de Vérification  
de la Performance énergétique*

Version1 - Avril 2011

<b>I. INTRODUCTION</b>	<b>3</b>
<b>II. RAPPEL DES FONDAMENTAUX</b>	<b>5</b>
<b>II. BONNES PRATIQUES DE MISE EN ŒUVRE DES OPTIONS A ET B</b>	<b>14</b>
<b>III. BONNES PRATIQUES DE MISE EN ŒUVRE DE L’OPTION C</b>	<b>24</b>
<b>IV. BONNES PRATIQUES DE MISE EN ŒUVRE DE L’OPTION D</b>	<b>28</b>
<b>V. GLOSSAIRE</b>	<b>36</b>
<b>VI. ANNEXES</b>	<b>37</b>

# GUIDE SOMMAIRE

## du Plan de Mesure et de Vérification des économies d'énergies

*Obtenir, au moindre coût, la meilleure précision dans l'expression des économies.*

### I. Introduction

**éco21** est un programme initié par les Services industriels de Genève (SIG), qui vise à contribuer à la stabilisation de la consommation genevoise d'électricité, sans sacrifier ni confort, ni compétitivité. Son objectif, à l'horizon 2013, consiste à réduire cette consommation électrique de 150 GWh/an.

La Mesure et la Vérification, au travers de l'application de protocoles tels que l'IPMVP, vont constituer un pilier de ce programme, en particulier dans le cadre de la mise en place d'Actions d'amélioration de la Performance Energétique (APE) par de grands consommateurs d'énergie.

L'IPMVP, Protocole International de Mesure et de Vérification, repose sur 4 Options. Sa méthode est structurée suivant 13 points que décrit le Chapitre 5.

Pour la mise en œuvre du **Programme NégaWatt** et dans le cadre des APE, il est fondamental que les participants en possèdent une vision claire et homogène.

Ainsi, le présent Guide s'adresse prioritairement à un public averti qui dispose d'une bonne connaissance de l'IPMVP et souhaite bénéficier d'une aide pour la rédaction de Plans de M&V conformes à ce protocole, mais aussi d'un condensé de ses points essentiels, rappel pouvant être mis à profit dans toute communication avec des personnes appelées à lire un Plan de M&V, sans connaître l'IPMVP.

Pour simplifier la rédaction, l'interprétation et la vérification des Plans de M&V dans le cadre du **Programme NégaWatt**, il a été décidé d'imposer l'usage de formulaires de Plans-types de M&V, structurés selon les 13 points évoqués au Chapitre 5 de l'IPMVP F 2010.

Dans ce même souci de simplification, il a été adopté, concernant ces Formulaires types, une approche « graduée » des aspects complexes que constituent l'analyse des données énergétiques, d'une part ; le calcul de l'incertitude dans l'expression des résultats d'économies, d'autre part.

Cette « gradation » dans la difficulté correspond bien à l'esprit de l'IPMVP, lequel offre, au travers de ses différentes Options, des chemins qui permettent d'obtenir une garantie de l'effectivité d'une Action d'amélioration de la Performance Energétique, à des coûts et avec des ressources variables selon la complexité des mesures et le niveau de précision souhaité (de 1 à 2% des gains, jusqu'à 10% environ pour les plus complexes et les plus exigeantes, en termes de précision).

De cette manière, les APE entreprises dans le cadre du **Programme NégaWatt** pourront être analysées et traitées différemment les unes des autres, exprimant la mesure des gains avec une précision différenciée.

Toutefois, elles auront en commun, à de rares exceptions près (Celles dont le gain sera inférieur à un seuil minimal ne permettant pas la mise en œuvre de mesurages formels), un formalisme rigoureux dans le calcul et l'expression des économies réalisées, en termes d'énergie et d'émissions de GES.

Ainsi, ce Guide Sommaire

- **résume les points essentiels** de l'application du Protocole IPMVP et de ses quatre Options : A, B, C et D, pour les projets mis en œuvre au sein du **Programme NégaWatt**.
- **illustre des cas concrets d'utilisation** de ce même Protocole et de ses Options spécifiques de M&V :  **systèmes isolés (Options A et B, Industrie et Bâtiment) ; un bâtiment dans son ensemble (Option C) ; un système, dans son ensemble ou de manière isolée, par simulation calibrée (Option D, Industrie et Bâtiment).**

**Il a été préparé par un Groupe de Travail éco21**, à partir de

- la version française 2010 du Protocole IPMVP,
- travaux préliminaires publiés, en France, par le CS2E (Club des Services d'Efficacité Energétique), la FEDENE (Fédération des Services Energie Environnement),
- travaux du Groupe « Research Into Action », dans le cadre d'un projet de Guide : « Verification by Equipment or End-Use Metering Protocol », commandité par BONNEVILLE POWER ADMINISTRATION (USA).

**Il est structuré comme suit :**

- I. Rappel des fondamentaux  
du Plan de Mesure & Vérification, selon le Protocole IPMVP.
- II. Bonnes Pratiques de mise en œuvre des Options d'isolement A et B
  - Mise en œuvre guidée des M&V pour l'isolement des systèmes, groupes d'équipements ou équipements individuels, et la détermination des algorithmes appropriés à l'expression des résultats d'économies.
  - Indications de bonnes pratiques pour l'application des Options A et B.
- III. Bonnes Pratiques de mise en œuvre de l'Option C
  - Mise en œuvre simplifiée de l'Option C, avec analyse des données, guidée sous une forme polynomiale paramétrable.
  - Indications de bonnes pratiques pour l'application de l'Option C.
- IV. Bonnes Pratiques de mise en œuvre de l'Option D
  - Indications de bonnes pratiques pour l'application de l'Option D.
- V. Annexes
  - Méthode BPA simplifiée pour les Options A et B.
  - Méthode 3 variables pour l'Option C.
  - Comment remplir les Formulaires A, B, C & D.
  - Exemples concrets de réalisation d'un Plan de M&V.

Ce Guide, ainsi que les Formulaires concernés, peuvent être téléchargés à partir de l'adresse : [www.eco21.ch](http://www.eco21.ch)

Enfin, tout lecteur du présent document, qui ne connaîtrait pas le Protocole IPMVP, peut obtenir un résumé succinct téléchargeable à l'adresse : [www.evo-world.org](http://www.evo-world.org)

## II. Rappel des fondamentaux

- **Qu'est-ce que l'IPMVP ?**

L'IPMVP est le Protocole de Mesure et de Vérification (M&V) de l'efficacité énergétique le plus diffusé sur la planète. Il reprend les éléments importants de son alter ego : ASHRAE 14 2002, tout en en simplifiant la pratique.

- **Qui recommande l'IPMVP ?**

Cité dans l'annexe IV de la Directive Européenne 2006/32/CE sur l'utilisation finale des énergies et des services, l'IPMVP est recommandé comme cadre méthodologique par de nombreuses administrations, dans la plupart des pays industrialisés.

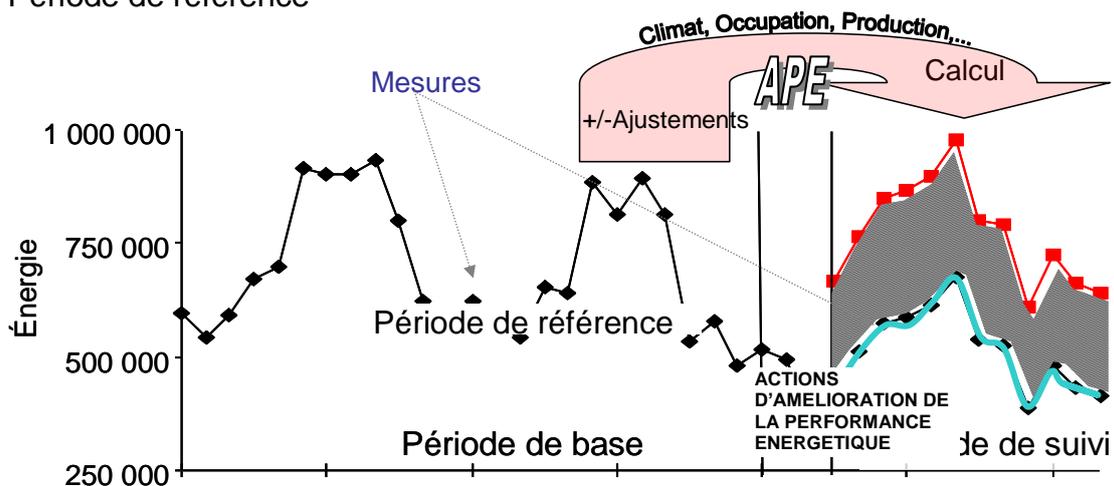
- **Que sont les Mesure & Vérification de l'efficacité énergétique ?**

Un moyen de garantir les gains réels que peuvent engendrer des Actions d'amélioration de la Performance Energétique (APE).

- **Quelle méthode ?**

- Mesure de l'énergie consommée pendant **une période de référence** (Base), puis analyse de cette consommation pour y découvrir les variables qui l'ont influencée et en déduire l'équation « d'ajustement ».
- Mesure de l'énergie consommée pendant une période contractuelle, après APE, appelée **période de suivi**.
- Calcul, au moyen de l'équation établie **en période de référence**, de ce qu'aurait été la consommation **en période de suivi**, si les APE n'avaient pas été effectuées.
- Soustraction de la consommation réelle **en période de suivi** de celle qu'elle aurait été sans les Actions d'amélioration de la Performance Energétique.

### Période de référence



## Comment ?

En déroulant un processus méthodologique décrit par un **Plan de Mesure et de Vérification : le PMV**, conforme aux spécifications de l'IPMVP.

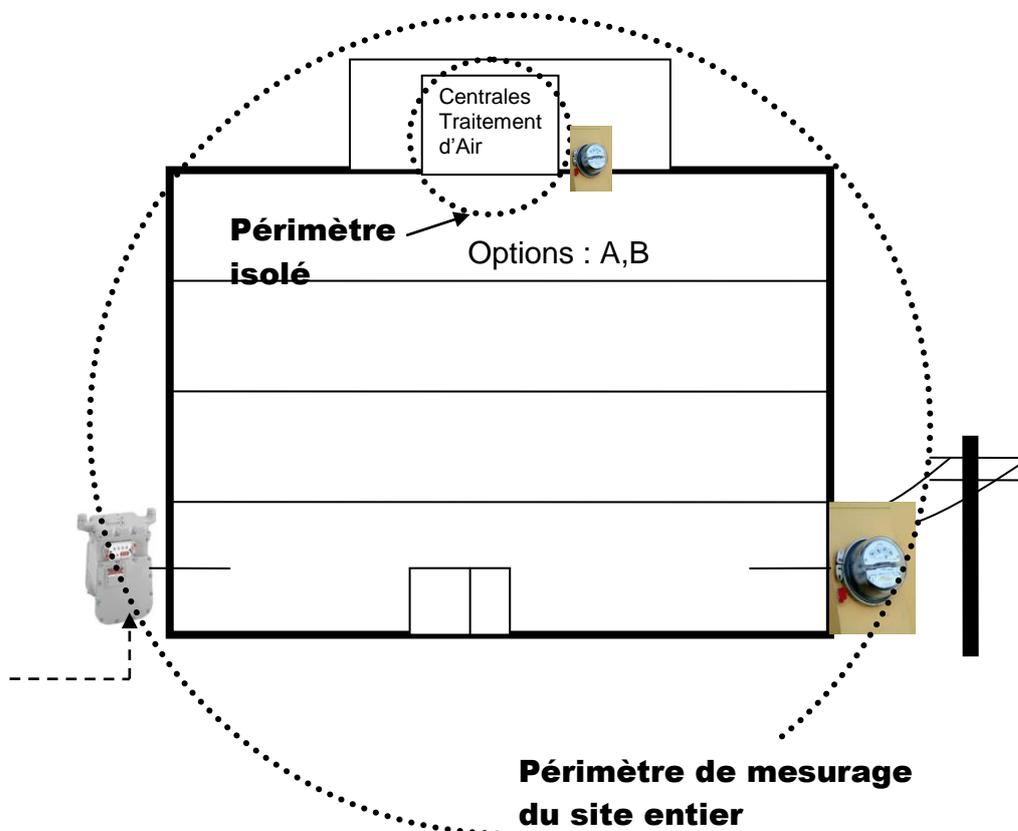
- ▶ Le PMV devient ainsi une annexe majeure de tout engagement d'amélioration de la Performance Energétique, puisqu'il spécifie, de manière formelle,
  - le mode de calcul du gain garanti,
  - le niveau de précision attendu dans l'expression du résultat.

## Comment l'IPMVP s'applique-t-il à mon projet ?

L'IPMVP s'adapte bien aux situations rencontrées sur le terrain.

4 Options de mise en œuvre répondent à la diversité des projets d'amélioration de la performance énergétique :

- Les Options A & B**, utilisées pour évaluer le gain d'une APE dont la mesure peut se faire localement, de manière *isolée* du reste du bâtiment.
  - **L'Option A** permet de ne mesurer que les variables clés – de performance –, les conditions d'usage étant estimées.
  - **L'Option B**, plus précise mais aussi plus coûteuse dans sa mise en œuvre, impose la mesure de l'ensemble des variables.
- L'Option C** représente la méthode qui englobe le bâtiment ou le complexe bâti, dans son ensemble.
- L'Option D** peut être choisie pour les mêmes périmètres que les trois options précédentes, lorsque des données de référence manquent ou qu'elles ne sont pas fiables.



## Comment choisir l'Option qui convient à mon projet ?

Les premières questions vont porter sur le périmètre touché par les Actions d'amélioration de la Performance Energétique :

- Le périmètre des APE, peut-il être isolé ?
- Est-il possible d'en mesurer, de manière isolée, la consommation énergétique et les variables pilotant cette consommation ?
- Peut-on négliger l'influence des améliorations du système ainsi isolé sur les consommations d'énergie, au-delà du périmètre de mesurage ?
  - **Si la réponse à ces questions est « OUI »**, il est possible de recourir à une option « d'isolation ». C'est l'approche recommandée dans le cadre du **Programme NégaWatt**, afin de démontrer l'effet individuel d'une APE.
  - **Dans le cas contraire**, on utilise une approche plus globale, telle que l'Option C, ou une approche par simulation calibrée : l'Option D.

Le plus souvent, le choix entre l'Option A et l'Option B est dicté par **la stabilité des conditions d'utilisation du système mesuré**, ainsi que par **des considérations d'équilibre entre précision attendue et coût des opérations de Mesure et de Vérification**. Ainsi, un coût minimal associé aux M&V serait possible :

- Si un système isolé est utilisé selon un schéma de fonctionnement prédictible (constant ou variable), dont les modalités peuvent être décrites, par avance, dans le Plan de Mesure et de Vérification. Il suffit alors de mesurer la performance du système sur le plan énergétique, en fonction d'une ou de plusieurs variables liées à la « production » de ce système. L'Option A pourra alors être appliquée.
- Si, par contre, ce même système isolé subit des variations d'usage non prédictibles (occupation, production aléatoires), il faut mesurer également ces variables d'usage. On utilise alors l'Option B.

Dans certains cas de rénovation et d'amélioration de la performance énergétique de bâtiments, le périmètre d'isolement, défini de manière aussi proche que possible des systèmes modifiés par l'Action de Performance, est tel que les effets « interactifs » ne sont pas négligeables. C'est-à-dire que, lorsque la mesure est effectuée sur un périmètre « isolé », **l'influence des systèmes améliorés sur le reste du bâtiment ou du processus doit être évaluée**, afin d'en rendre compte comme résultat corollaire (en faveur ou en défaveur) de l'APE.

Dans le cadre du **Programme NégaWatt**, il a été prévu deux approches de traitement, selon les cas :

- L'effet de ces interactions, exprimé par un calcul d'ingénierie rigoureux ou une simulation informatique (Précision supérieure à 50%, pour un niveau de confiance de 68%), ne dépasse pas 20% (en valeur absolue)\* de l'effet principal de l'APE visée, sur la durée de la période de suivi : on inclura alors, algébriquement et de manière individualisée, le résultat de ces effets interactifs dans l'expression du gain et de son incertitude.
- L'effet de ces interactions est impossible à déterminer de manière suffisamment précise, ou dépasse le seuil des 20% (en valeur absolue)\* de l'effet principal de l'APE visée, sur la durée de la période de suivi : on aura recours, dans ces deux cas, à une Option de type global : l'Option C, ou à une simulation calibrée du système étendu, de telle manière que les interactions soient raisonnablement incluses dans le périmètre (Option D).

*\* Exception faite des cas d'APE concernant une installation d'éclairage, pour lesquelles cette limite ne sera pas appliquée, bien que calculée dans le PMV, et recommandée.*

- **L'Option C** correspond à une approche « globale » de M&V, c'est-à-dire à une approche par laquelle tous les effets interactifs et leurs compensations mutuelles sont pris en compte dans l'expression du résultat :
  - La mesure est faite, par énergie, sur un compteur commun à l'ensemble des systèmes techniques du bâtiment.
  - Ce même point de mesure est utilisé avant et après les APE.
  - Parfois, la mesure de la situation de référence consiste à collecter les factures établies à partir de relevés périodiques de ce compteur unique par énergie.

Dans le cadre du **Programme NégaWatt**, concernant le cas d'une combinaison d'APE multiples dont le gain individuel ne dépasse pas 10 MWh / an (Gain d'énergie cumulé de n Actions = $n \times 10$  MWh / an) et effectuées sur un bâtiment pendant la période de suivi de même durée (c'est-à-dire dont la période de retour d'investissement sera considérée pour l'ensemble des investissements des actions individuelles), **il est envisagé que le Client applique l'Option C sur le groupe de l'ensemble de ces actions sous son contrôle, ou l'Option D, si les contraintes de durée de la période de suivi ou de lisibilité des économies ne permettent pas l'Option C, malgré le cumul des gains individuels.**

Il se peut également que des données relatives à la période de référence soient manquantes ou ne puissent être considérées comme fiables, ce qui apparaît lors de l'analyse des données et de l'établissement de l'équation caractéristique : deux indicateurs statistiques permettent, le plus souvent, de qualifier les données d'entrée.

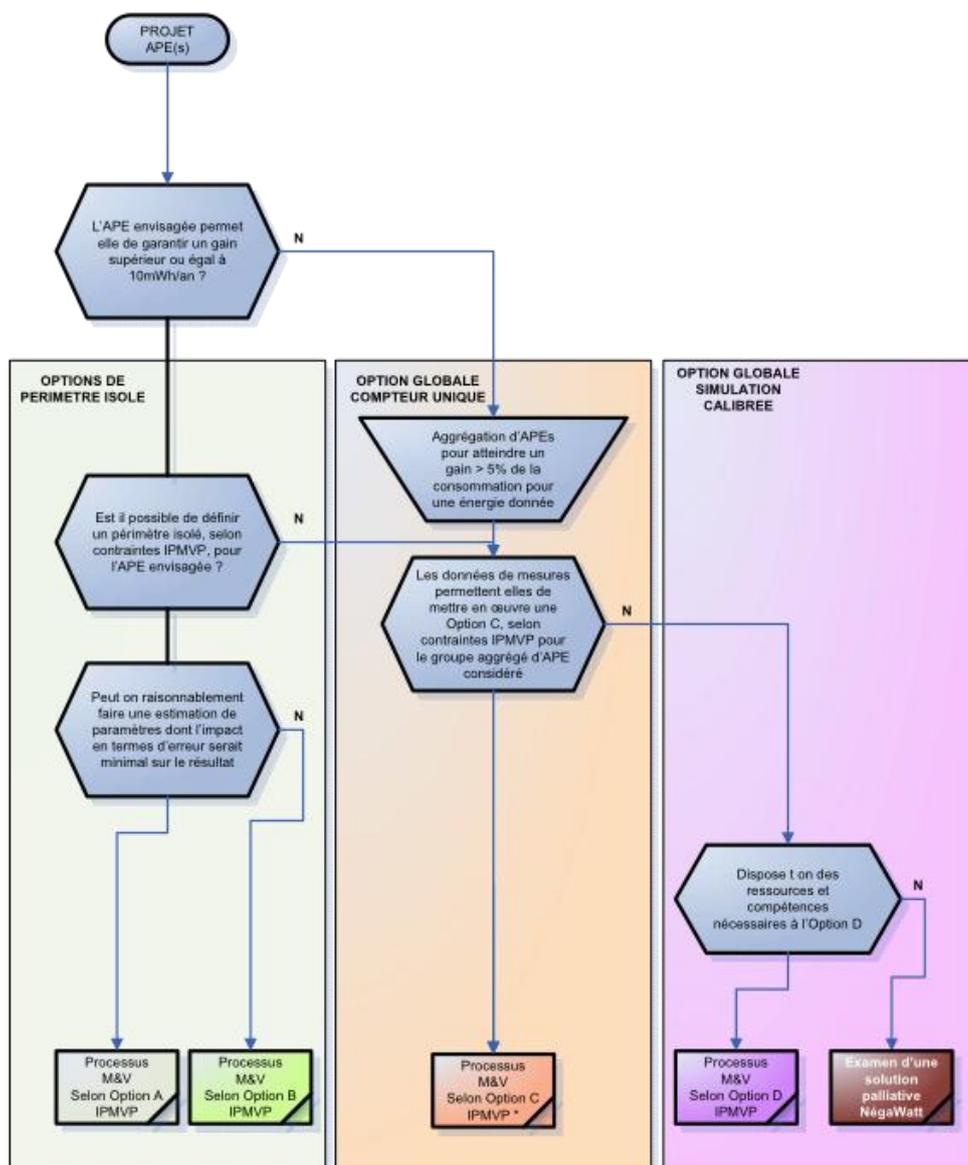
- ▶ Il pourra alors être intéressant d'utiliser **l'Option D seule ou en combinaison avec l'Option C** (laquelle sera utilisée après une période suffisante, afin de constituer une référence).

- **L'Option D** repose sur des logiciels capables de « simuler » le comportement énergétique d'un bâtiment ou d'un processus, donc de prédire une courbe de consommation, sur la base de données caractéristiques de la physique du bâtiment et des systèmes qui s'y rattachent, ainsi que de la dynamique de leur évolution dans le temps, en fonction des variations de grandeurs physiques, internes ou externes.

Outre le fait que cette Option exige une bonne connaissance d'un tel logiciel, la précision obtenue reste généralement limitée.

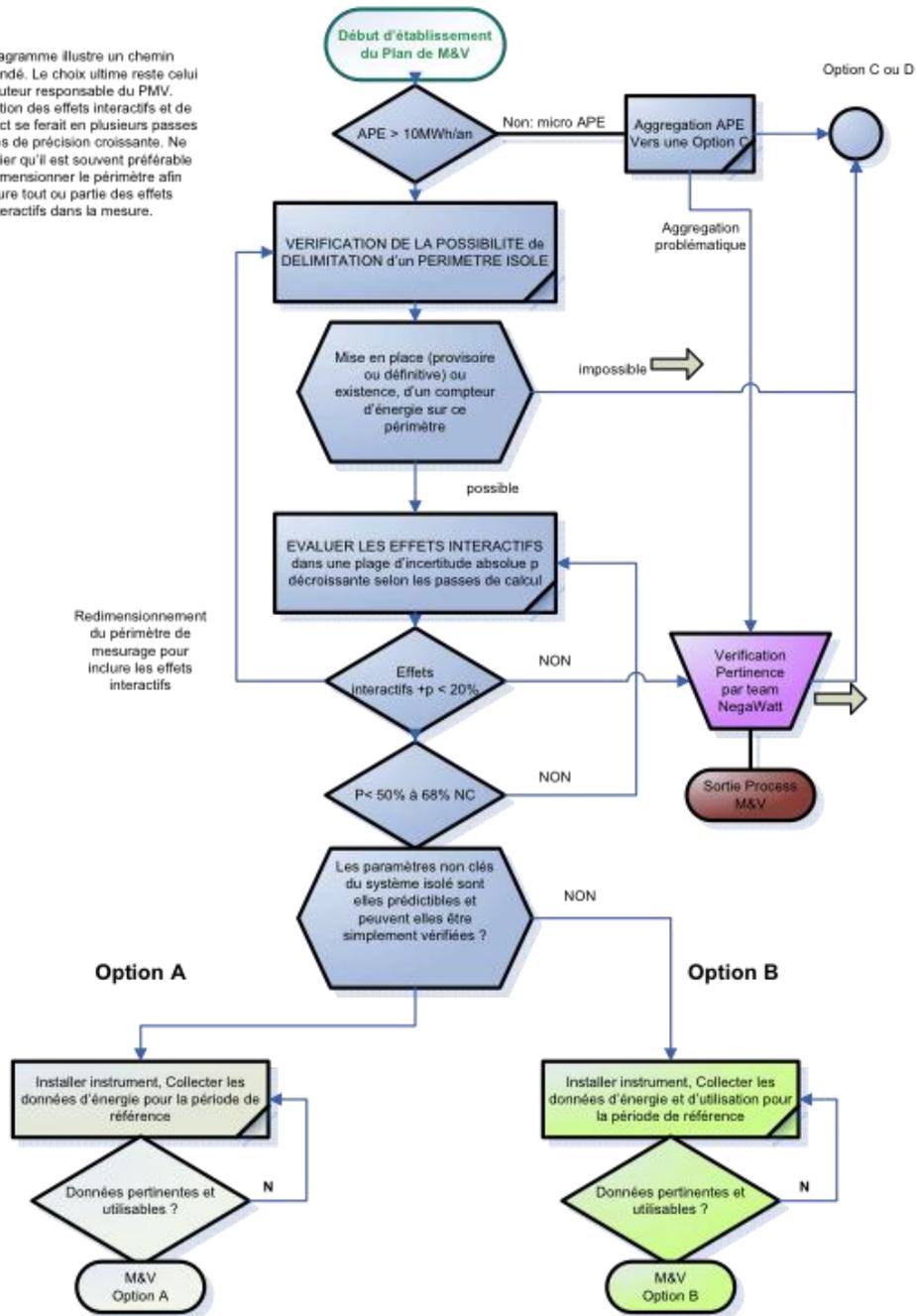
## SCHEMAS DE SELECTION D'UNE OPTION

Les schémas ci-après illustrent la démarche conseillée pour sélectionner une Option. Le schéma général indique l'articulation globale entre celles-ci selon les principes recommandés dans le cadre du programme Négawatt. Les schémas détaillés illustrent, pour les Options d'isolation, pour l'Option C et enfin, pour l'Option D, les conditions les plus favorables au choix d'une Option.

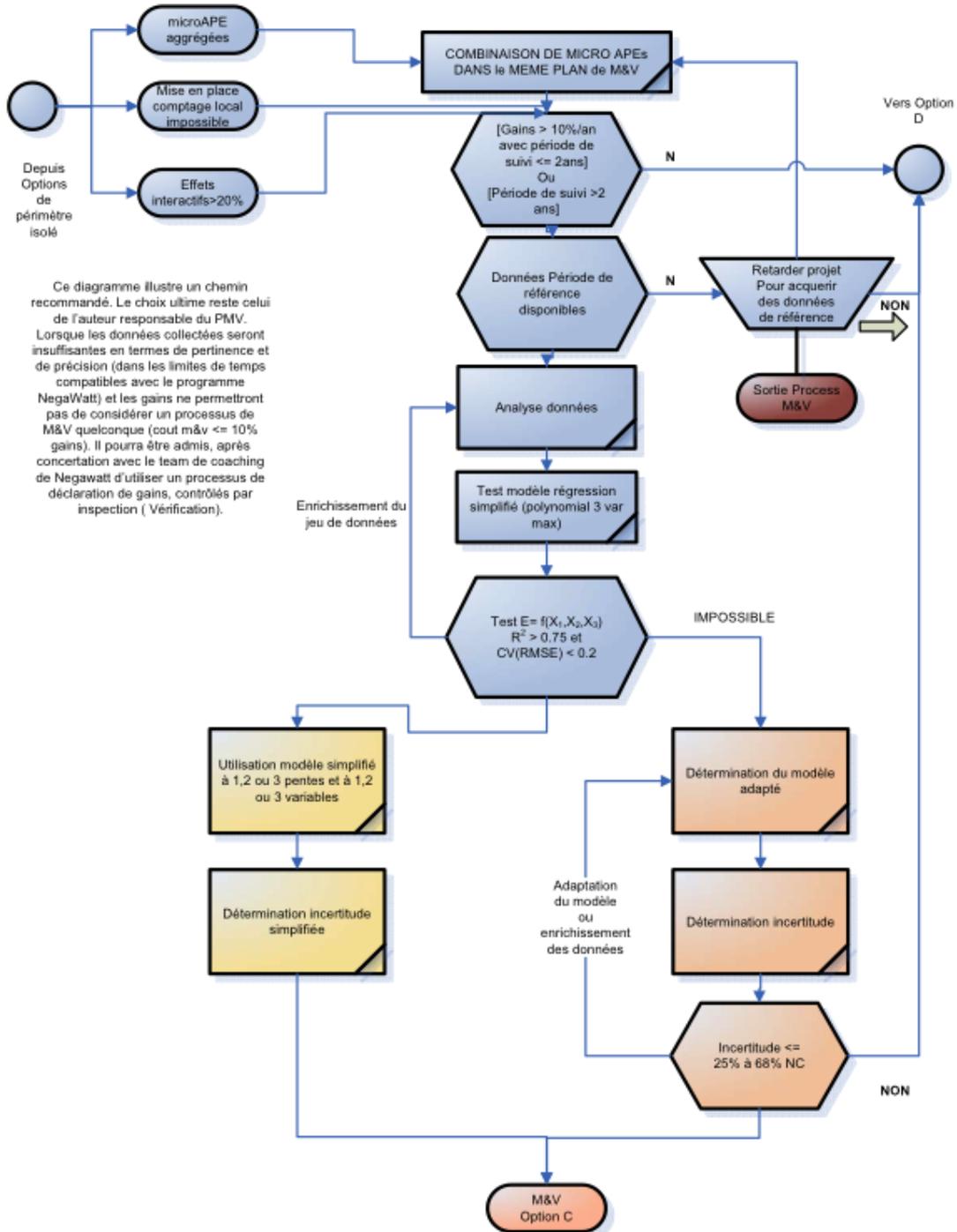


### OPTIONS PERIMETRE ISOLE (OPTIONS A & B IPMVP 2010 F)

Ce diagramme illustre un chemin recommandé. Le choix ultime reste celui de l'auteur responsable du PMV. L'évaluation des effets interactifs et de leur impact se ferait en plusieurs passes itératives de précision croissante. Ne pas oublier qu'il est souvent préférable de redimensionner le périmètre afin d'inclure tout ou partie des effets interactifs dans la mesure.

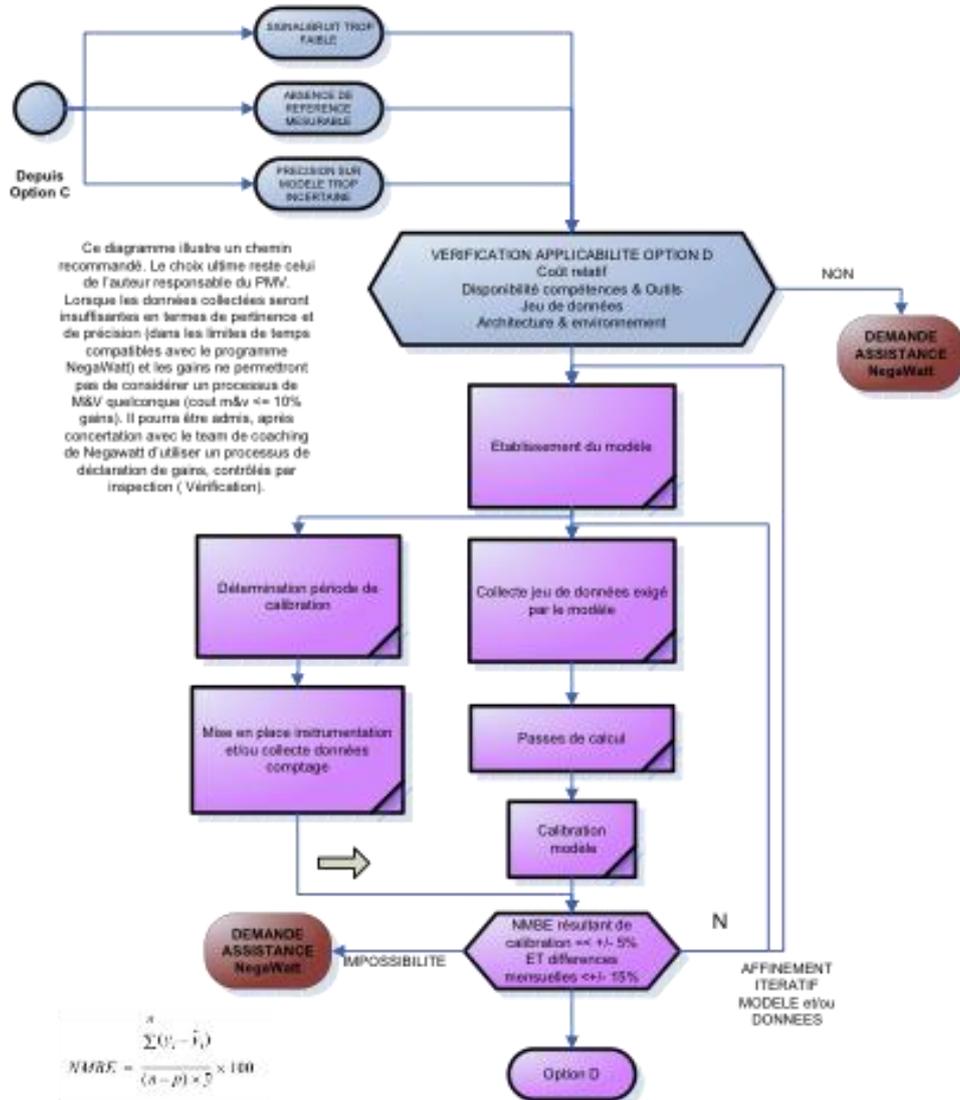


### OPTION PERIMETRE GLOBAL (OPTION C IPMVP 2010 F)



Ce diagramme illustre un chemin recommandé. Le choix ultime reste celui de l'auteur responsable du PMV. Lorsque les données collectées seront insuffisantes en termes de pertinence et de précision (dans les limites de temps compatibles avec le programme NegaWatt) et les gains ne permettront pas de considérer un processus de M&V quelconque (coût m&v <= 10% gains). Il pourra être admis, après concertation avec le team de coaching de Negawatt d'utiliser un processus de déclaration de gains, contrôlés par inspection ( Vérification).

### OPTION PERIMETRE GLOBAL PAR SIMULATION CALIBREE (OPTION D IPMVP 2010 F)



Ce diagramme illustre un chemin recommandé. Le choix ultime reste celui de l'auteur responsable du PMV. Lorsque les données collectées seront insuffisantes en termes de pertinence et de précision (dans les limites de temps compatibles avec le programme NegaWatt) et les gains ne permettront pas de considérer un processus de MSV quelconque (coût m&v <= 10% gains), il pourra être admis, après concertation avec le team de coaching de NegaWatt d'utiliser un processus de déclaration de gains, contrôlés par inspection (Vérification).

$$NMSE = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{(n-p) \times \bar{y}^2} \times 100$$

Considérer P = 1 (ASHRAE 14-2002 5.2.11.3)

$\hat{y}_i$  : Énergie prédite par la simulation calibrée pour la période i, avec  $y_i$  données de calibration pour la période i.

$\bar{y}$  : moyenne arithmétique des données de calibration sur la période de reporting

### **Que doit contenir un Plan de M&V ?**

Etabli selon les prescriptions de l'IPMVP, un Plan de M&V constitue, au moment de la signature de l'engagement de résultats, la garantie que les mesures de performance effectuées pendant la période de suivi pourront, à tout moment, faire l'objet d'un audit et d'une vérification par un tiers, et que l'ensemble des éléments documentaires établissant la matérialité des gains de performance y sera précisé.

L'IPMVP en spécifie le contenu en 13 points :

- **Décrire les Actions d'amélioration de la Performance Energétique.**
- **Identifier et justifier le choix d'une Option méthodologique (A, B, C, D) ; en évaluer et détailler les conséquences, en termes d'interactions.**
- **Documenter la situation de référence et collecter les données significatives.**
- **Identifier et qualifier la période de suivi.**
- **Définir les conditions d'ajustement selon l'équation caractéristique de la courbe de consommation ; démontrer sa pertinence en recalculant l'énergie de la période de référence.**
  - ▶ *La différence entre mesure et calcul doit être égale ou inférieure à 0,005%.*
- **Spécifier la méthode d'analyse des données.**
- **Spécifier la méthode de valorisation financière des économies.**
- **Spécifier l'instrumentation utilisée et sa maintenance.**
- **Assigner les responsabilités des opérations de M&V pour la période de suivi.**
- **Spécifier la précision attendue quant aux résultats.**
- **Définir le budget associé aux opérations de M&V ; identifier les ressources.**
- **Décrire les modèles et les structures des rapports de la période de suivi.**
- **Indiquer les procédures d'assurance Qualité suivies dans les opérations de M&V.**

## II. Bonnes pratiques de mise en œuvre des Options A et B

### Généralités

**Les Options A et B représentent les deux approches de l'IPMVP qui permettent la Mesure et la Vérification d'un système isolé (ou isolat).**

Un système est considéré comme **un isolat**, lorsque l'Action d'amélioration de la Performance Energétique (APE) dont il est la cible peut être vue comme ayant des interactions négligeables, ou correctement mesurables, avec les autres systèmes du bâtiment.

Exemple classique d'interactions : la modification d'un système d'éclairage, consistant à remplacer les sources existantes par d'autres, à basse consommation. Une APE de cette nature peut générer des influences (« interactions ») non négligeables sur la consommation de chauffage en hiver, de climatisation en été, qui peuvent rendre complexe l'application d'une telle Option, dans la mesure où les effets, à défaut de pouvoir être mesurés, doivent faire l'objet d'un calcul d'ingénierie et rester d'impact faible (< 20%) par rapport au gain produit par cette même APE.

L'usage premier de ces Options est celui d'une Action d'amélioration de la Performance Energétique ciblée et unitaire, parce que l'énergie consommée peut être en relation plus directe avec l'effet de l'APE sur le périmètre isolé que dans les Options globales (C, D).

Les Options A et B, choix prioritaires dans le cadre du **Programme NégaWatt**, sont recommandées dans les cas d'APE pour lesquelles on ne dispose que d'un temps limité pour établir les données de la période de référence. En effet, du simple fait du traitement ciblé, il est probable que le cycle significatif sera plus court que celui, dans le cas de l'Option C, du système constitué par le bâtiment, ses occupants et ses systèmes techniques.

- ❑ **L'Option A doit être plutôt vue, en première approche, comme une preuve de performance : on ne mesure pas, en règle générale, la durée d'utilisation (qui y est, le plus souvent, considérée comme un paramètre secondaire, donc estimé).**

Cette Option se révèle intéressante, parce que la moins coûteuse ; cependant, elle suppose une prédictibilité de l'utilisation, que celle-ci soit constante ou variable, mais forcément programmée. De cette manière, le résultat du gain, tel qu'il apparaîtra suivant cette Option, présentera au moins un terme non mesuré, son niveau de justesse (au sens donné à ce mot en métrologie) étant au mieux aussi bon que celui de l'estimation de l'utilisation (ou de tout paramètre estimé).

- ❑ **L'Option B, pour laquelle la totalité des éléments conditionnant l'expression des économies énergétiques sera mesurée, impose, le plus souvent, une instrumentation plus coûteuse que l'Option A. L'un de ses critères d'utilisation se trouve, ainsi, lié à la possibilité d'amortissement ou de mutualisation des coûts des équipements de mesurage additionnels.**

Cette Option s'accommode bien, en règle générale, des systèmes de contrôle / commande modernes de l'industrie ou du secteur du Bâtiment, lesquels, lorsqu'ils existent, sont correctement paramétrés, capables de collecter des informations de mesurages et d'états en temps réel, et d'en établir des historiques. De cette manière, il est possible, au travers d'un ensemble d'Options B, de faire évoluer un système MCR / GTB / SCADA vers un véritable système de Gestion de l'Energie. Cette évolution peut faire l'objet d'une mutualisation des coûts entre projets individuels d'APE et investissements de maintenance évolutive de ces systèmes.

Le mesurage en continu, souvent associé à cette Option B dans le cas d'une instrumentation « fixe », apporte une information plus claire sur les gains de l'APE et sur le fonctionnement de l'équipement, lequel, grâce à elle, peut être optimisé en temps réel, augmentant encore les gains attendus des APE.

L'intérêt des Options A et B réside également dans le fait qu'elles s'appliquent aux situations où de nombreux systèmes identiques, au fonctionnement identique, sont mis en œuvre à l'intérieur d'un même périmètre. Il est alors possible de « généraliser » les gains mesurés sur un système, puis de les propager sur des instances identiques, incluses dans le périmètre de mesurage.

Dans une telle approche, un échantillon – statistiquement valide – de sous-systèmes réputés identiques sera mesuré, avant et après APE, afin d'en évaluer l'impact, en termes de gain.

Par exemple, l'amélioration générale de la régulation des vannes de batteries sur des centrales de traitement d'air, avant et après APE, pour des valeurs de production mesurées (Température, enthalpie, débit d'air, etc.).

En règle générale, les opérations d'analyse et d'exploration des données de la période de référence sont relativement simples, pour des isolats. Elles n'exigent, dans de nombreux cas, que la mesure d'un seul paramètre et celle de l'énergie consommée.

## Modélisation & Approche

Dans le cadre du **Programme NégaWatt** et de la démarche « graduée » en difficulté et en coût, qui s'y rattache, on aura recours, en première instance, pour les Options A et B, à une méthode guidée. Celle-ci fut développée par une équipe d'ingénieurs, pour le compte d'une administration publique nord américaine<sup>1</sup>, à partir de la norme ASHRAE 14-2002 et de l'IPMVP.

Pour un grand nombre de cas de systèmes isolés, il est possible de catégoriser le comportement énergétique selon 4 « profils » de combinaison de charge (puissance appelée par le système consommateur) et d'utilisation :

1. **Puissance constante, utilisation constante.**
2. **Puissance constante, utilisation variable.**
3. **Puissance variable, utilisation constante.**
4. **Puissance variable, utilisation variable.**

Ainsi, la méthode consiste à **déterminer** :

- **Le profil type *ex ante* du système isolé avant les travaux d'amélioration.**
- **Puis le profil type *ex post* qui sera celui du système après les travaux d'amélioration.**
  - ▶ *Le passage d'un profil ante à un profil post va réduire la liste d'équations exprimant les économies. La sélection ultime dépendra des paramètres que l'on choisira de mesurer.*

---

<sup>1</sup> Verification by Equipment or End-Use Metering Protocol, 2011, prepared for Bonneville Power Administration by Research Into Action Inc., Left Fork Energy, Inc., Quantum Energy Services, Inc., Schiller Consulting Inc., Warren Energy Engineering, LLC.

## Légende des symboles employés dans les équations :

$kW_{anteAPE}$	puissance situation référence
$kW_{postAPE}$	puissance après travaux APE
$kWh_{eco}$	énergie économisée
$E_{ff\ anteAPE}$	rendement en kW/unité de Puissance situation de référence
$E_{ff\ postAPE}$	rendement en kW/unité de Puissance après travaux APE
$P$	Puissance « équivalente » équipement ( $_{anteAPE}$ et $_{postAPE}$ ) *
$H_{rs-postAPE}$	Utilisation en heures après travaux APE
$H_{rs-anteAPE}$	Utilisation en heures situation de référence

\* Le symbole  $P$  utilisé dans ces équations représente une charge appliquée au système, équivalente à une puissance appelée. En règle générale,  $P$  sera liée par une équation, issue de règles physiques, d'ingénierie ou d'une modélisation statistique, à une ou plusieurs variables pilotes dont les dimensions ne seront pas nécessairement celles d'une puissance au sens strict du terme (Energie par unité de temps)

## Profil 1 : Puissance constante, utilisation constante.

On considérera une puissance (énergie, par unité de temps, appelée par le système) et une utilisation comme constantes, **lorsque leur variation annuelle ne dépasse pas 5%** (ASHRAE 14-2002, 6.2.3.1.1), **respectivement avant et après APE.**

Exemples de systèmes isolés pouvant être catégorisés selon ce profil :

- 1) Circuit ou groupe de circuits Eclairage, avec programmeur.
- 2) Centrale de Traitement d'air à volume constant dont le ventilateur fonctionne sur programmeur horaire (Energie électrique du ventilateur uniquement).
- 3) Pompes de Traitement d'eau opérant en 24/7.

Dans ce profil, il sera possible de se limiter aux mesures ou relevés suivants :

Option IPMVP	Paramètre	Source
Option A	Puissance	Caractéristiques plaque constructeur équipement.
		Spécifications équipement.
	Utilisation	Journaux historiques.
		Estimations, après audits exploitant.
Option B	Puissance	Mesure ponctuelle.
		Moyenne de mesures ponctuelles.
	Utilisation	Enregistreur portatif de temps de fonctionnement et d'état.
		Historiques de fonctionnement et d'état, sur système GTB / GTC / SCADA.

**Lorsque l'APE maintient le système dans le même profil**, l'on appliquera l'une des équations globales suivantes :

- **L'APE modifie la puissance** (La valeur change, mais elle reste une constante).
  - a)  $KWh_{eco} = (kW_{anteAPE} - kW_{postAPE}) * Hrs_{postAPE}^2$ .
  - b)  $KWh_{eco} = (Eff_{anteAPE} - Eff_{postAPE}) * P_{anteAPE} * Hrs_{anteAPE}$
  - c)  $KWh_{eco} = (1 - Eff_{postAPE} / Eff_{anteAPE}) * kW_{anteAPE} * Hrs_{anteAPE}$
  - d)  $KWh_{eco} = (Eff_{anteAPE} - Eff_{postAPE}) * P_{postAPE} * Hrs_{postAPE}$
  - e)  $KWh_{eco} = (Eff_{anteAPE} / Eff_{postAPE} - 1) * kW_{postAPE} * Hrs_{postAPE}$
- **L'APE modifie l'utilisation** (La valeur change, mais elle reste une constante).
  - a)  $KWh_{eco} = kW_{anteAPE} * (Hrs_{anteAPE} - Hrs_{postAPE})$
  - b)  $KWh_{eco} = Eff_{anteAPE} * P_{anteAPE} * (Hrs_{anteAPE} - Hrs_{postAPE})$
  - c)  $KWh_{eco} = Eff_{postAPE} * P_{postAPE} * (Hrs_{anteAPE} - Hrs_{postAPE})$
- **L'APE modifie à la fois la puissance et l'utilisation**, les deux restant constantes.
  - a)  $KWh_{eco} = kW_{anteAPE} * Hrs_{anteAPE} - kW_{postAPE} * Hrs_{postAPE}$
  - b)  $KWh_{eco} = (Eff_{anteAPE} * Hrs_{anteAPE} - Eff_{postAPE} * Hrs_{postAPE}) * P_{postAPE}$

Lorsque l'APE change le profil à appliquer après travaux, on se référera à l'Annexe 1.

## Profil 2 : Puissance constante, utilisation variable.

<sup>2</sup> On trouvera la légende des symboles utilisés en ANNEXE 1

On considérera une puissance (énergie, par unité de temps, appelée par le système) comme constante, **lorsque sa variation annuelle ne dépasse pas 5%** (ASHRAE 14-2002, 6.2.3.1.1), **respectivement avant et après APE**. L'utilisation, quant à elle, peut être variable aussi bien pendant la période de référence que pendant celle de suivi.

Exemples de systèmes isolés pouvant être catégorisés selon ce profil :

- 1) Ascenseurs.
- 2) Circuits d'éclairage, avec détecteurs d'occupation.
- 3) Pompes d'une Station d'eau chaude, respectivement d'eau glacée, sans variateur de vitesse. Utilisation asservie à la demande et au fonctionnement de la chaudière, respectivement du groupe froid.
- 4) Ventilateur à vitesse constante d'une Tour de refroidissement. Utilisation asservie à la température.

Dans ce profil, il sera possible de se limiter aux mesures ou relevés suivants :

Option IPMVP	Paramètre	Source
Option A	Puissance	Caractéristiques plaque constructeur équipement.
		Spécifications équipement.
	Utilisation	Journaux historiques (Périodes représentatives).
		Estimations, après audits exploitant (Périodes représentatives).
Option B	Puissance	Mesure ponctuelle.
		Moyenne de mesures ponctuelles.
	Utilisation	Enregistreur portable de temps de fonctionnement et d'état (Périodes représentatives).
		Historiques de fonctionnement et d'état, sur système GTB / GTC / SCADA (Périodes représentatives).

- L'APE modifie la puissance (La valeur change, mais elle reste une constante).
  - f)  $KWh_{eco} = (kW_{anteAPE} - kW_{postAPE}) * Hrs_{postAPE}^3$ .
  - g)  $KWh_{eco} = (Eff_{anteAPE} - Eff_{postAPE}) * P_{anteAPE} * Hrs_{anteAPE}$
  - h)  $KWh_{eco} = (1 - Eff_{postAPE} / Eff_{anteAPE}) * kW_{anteAPE} * Hrs_{anteAPE}$
  - i)  $KWh_{eco} = (Eff_{anteAPE} - Eff_{postAPE}) * P_{postAPE} * Hrs_{postAPE}$
  - j)  $KWh_{eco} = (Eff_{anteAPE} / Eff_{postAPE} - 1) * kW_{postAPE} * Hrs_{postAPE}$
- L'APE modifie l'utilisation (La valeur change, mais elle reste une constante).
  - d)  $KWh_{eco} = kW_{anteAPE} * (Hrs_{anteAPE} - Hrs_{postAPE})$
  - e)  $KWh_{eco} = Eff_{anteAPE} * P_{anteAPE} * (Hrs_{anteAPE} - Hrs_{postAPE})$
  - f)  $KWh_{eco} = Eff_{postAPE} * P_{postAPE} * (Hrs_{anteAPE} - Hrs_{postAPE})$
- L'APE modifie à la fois la puissance qui reste constante, et l'utilisation qui reste variable.
  - c)  $KWh_{eco} = kW_{anteAPE} * Hrs_{anteAPE} - kW_{postAPE} * Hrs_{postAPE}$
  - d)  $KWh_{eco} = (Eff_{anteAPE} * Hrs_{anteAPE} - Eff_{postAPE} * Hrs_{postAPE}) * P_{postAPE}$

Lorsque l'APE change le profil à appliquer après travaux, on se référera à l'Annexe 1.

<sup>3</sup> On trouvera la légende des symboles utilisés en ANNEXE 1

### **Profil 3 : Puissance variable, utilisation constante.**

On considérera une utilisation comme constante, **lorsque sa variation annuelle ne dépasse pas 5%** (ASHRAE 14-2002, 6.2.3.1.1), **respectivement avant et après APE**. La puissance (énergie, par unité de temps, appelée par le système), quant à elle, peut être variable aussi bien pendant la période de référence que pendant celle de suivi.

Exemples de systèmes isolés pouvant être catégorisés selon ce profil :

- 1) Circuit ou groupe de circuits Eclairage, à 2 niveaux d'éclairage, avec programmateur pour chacun des niveaux.
- 2) Centrale de Traitement d'air à volumes constants à deux modes (occupation, réduit) dont le ventilateur fonctionne sur programmateur horaire, pour chacun des modes (Energie électrique du ventilateur uniquement).
- 3) Tour de refroidissement à deux vitesses asservies au processus.

Dans ce profil, il sera possible de se limiter aux mesures ou relevés suivants :

Option IPMVP	Paramètre	Source
Option A	Puissance	Courbes de fonctionnement caractéristiques, provenant du constructeur de l'équipement.
		Vérification, par mesures ponctuelles, de la courbe de puissance du constructeur.
		Utilisation de la température ambiante comme valeur relais de la puissance.
	Utilisation	Journaux historiques.
		Estimations, après audits exploitant.
		Heures collectées par tranches, selon une méthode BIN.
Option B	Puissance	Mesure de la puissance et de l'énergie pendant la période complète d'exploitation ; développement de la courbe de performance in situ.
	Utilisation	Enregistreur portatif de temps de fonctionnement et d'état, ou Historiques de fonctionnement et d'état, sur système GTB / GTC / SCADA, pour peupler les tranches horaires d'une méthode BIN et déterminer la distribution de fréquence de puissance.

**Lorsque l'APE maintient le système dans le même profil**, l'on appliquera l'une des équations globales suivantes :

- **L'APE modifie la puissance** (L'utilisation reste constante :  $\sum_i Hrs_{ante,i} = \sum_i Hrs_{post,i}$ ).

$$a) \quad kWh_{eco} = \sum_i (kW_{anteAPE,i} * Hrs_{anteAPE,i} - kW_{postAPE,i} * Hrs_{postAPE,i}^4)$$

$$b) \quad kWh_{eco} = \sum_i (Eff_{anteAPE,i} * Hrs_{anteAPE,i} - Eff_{postAPE,i} * Hrs_{postAPE,i}) * P_{postAPE,i}$$

<sup>4</sup> On trouvera la légende des symboles utilisés en ANNEXE 1

- L'APE modifie l'utilisation (La valeur change, mais elle reste une constante :

$$\sum_i Hrs_{ante,i} \neq \sum_i Hrs_{post,i}$$

$$a) \quad kWh_{eco} = \sum_i (kW_{anteAPE,i} * (Hrs_{anteAPE,i} - Hrs_{postAPE,i}))$$

$$b) \quad kWh_{eco} = \sum_i (Eff_{anteAPE,i} * P_{anteAPE,i} * (Hrs_{anteAPE,i} - Hrs_{postAPE,i}))$$

- L'APE modifie à la fois la puissance et l'utilisation, cette dernière restant constante.

$$a) \quad kWh_{eco} = \sum_i (kW_{anteAPE,i} * Hrs_{anteAPE,i} - kW_{postAPE,i} * Hrs_{postAPE,i})$$

$$b) \quad kWh_{eco} = \sum_i (Eff_{anteAPE,i} * Hrs_{anteAPE,i} - Eff_{postAPE,i} * Hrs_{postAPE,i}) * P_{postAPE,i}$$

Lorsque l'APE change le profil à appliquer après travaux, on se référera à l'Annexe 1.

### Profil 4 : Puissance variable, utilisation variable.

On considérera comme variables, **une utilisation et une charge au-delà d'une plage de variation de 5% (ASHRAE 14-2002, 6.2.3.1.4), respectivement avant et après APE.**

Exemples de systèmes isolés pouvant être catégorisés selon ce profil :

- 1) Centrale de Traitement d'air, à débit variable, régulée en température d'extraction.
- 2) Chaudière alimentant des batteries terminales de Chauffage, régulées en température dans des zones distinctes.
- 3) Cascade de Production de froid, garantissant une température suivant une loi de consigne de froid.
- 4) Compresseurs d'air comprimé à vitesse variable régulés en pression

Dans ce profil, il sera possible de se limiter aux mesures ou relevés suivants :

Option IPMVP	Paramètre	Source
Option A	Puissance	Courbes de fonctionnement caractéristiques, provenant du constructeur de l'équipement.
		Vérification, par mesures ponctuelles, de la courbe de puissance du constructeur.
		Utilisation de la température ambiante comme valeur relais de la puissance.
	Utilisation	Journaux historiques.
		Estimations, après audits exploitant.  Heures collectées par tranches, selon une méthode BIN. Par exemple, si la puissance est pilotée par la température ambiante, utiliser des données météorologiques par tranches de puissances.
Option B	Puissance	Mesure de la puissance et de l'énergie pendant la période complète d'exploitation ; développement de la courbe de performance in situ.
	Utilisation	Enregistreur portatif de temps de fonctionnement et d'état, ou Historiques de fonctionnement et d'état, sur système GTB / GTC / SCADA, pour peupler les tranches horaires d'une méthode BIN et déterminer la distribution de fréquence de puissance.

**Lorsque l'APE maintient le système dans le même profil**, l'on appliquera l'une des équations globales suivantes :

- L'APE modifie la puissance (L'utilisation ne change pas).

$$a) \quad KWh_{eco} = \sum_i (kW_{anteAPE, i} - kW_{postAPE, i}) * Hrs_{postAPE, i}$$

$$b) \quad KWh_{eco} = \sum_i (Eff_{anteAPE, i} - Eff_{postAPE, i}) * P_{postAPE, i} * Hrs_{postAPE, i}$$

- L'APE modifie l'utilisation (à courbe de puissance inchangée).

a) Economies kWh =  $\sum_i (kW_{\text{anteAPE}, i} * (Hrs_{\text{anteAPE}, i} - Hrs_{\text{postAPE}, i}))$

b) Economies kWh =  $\sum_i (Eff_{\text{anteAPE}, i} * P_{\text{postAPE}, i} * (Hrs_{\text{anteAPE}, i} - Hrs_{\text{postAPE}, i}))$

- L'APE modifie l'utilisation et la courbe de puissance.

a) Economies kWh =  $\sum_i (kW_{\text{anteAPE}, i} * Hrs_{\text{anteAPE}, i}) - \sum_i (kW_{\text{postAPE}, i} * Hrs_{\text{postAPE}, i})$

b) Economies kWh =  $\sum_i (Eff_{\text{anteAPE}, i} * P_{\text{anteAPE}, i} * Hrs_{\text{anteAPE}, i})$   
 $- \sum_i (Eff_{\text{postAPE}, i} * P_{\text{postAPE}, i} * Hrs_{\text{postAPE}, i})$

## **Considérations générales pour l'établissement du PMV dans le cas des Options A et B**

### **□ Logiciels**

Parmi les 13 points que comporte un PMV, deux sont particulièrement bien assistés par un logiciel de calcul (Tableurs, progiciels de calcul statistique, ou autres outils d'analyse) :

#### 1) L'analyse des données de la situation de référence.

afin de déterminer :

- La forme et les paramètres de l'équation  $E = f(X_1, \dots, X_n)$ ,
- Quelles sont les variables ( $X_i$ ) « récurrentes » significatives,
- La Qualité, en termes de prédiction du modèle ainsi déterminé.

2) La détermination de la précision avec laquelle les rapports d'amélioration de la performance énergétique seront exprimés.

Plusieurs logiciels sont disponibles sur le marché. On en trouvera les références sur le site d'EVO.

### **□ Quelques éléments clés**

#### **Analyser la période de référence et les variables « récurrentes »**

La détermination des variables « récurrentes », dans le processus de M&V, représente l'étape qui requiert une bonne expérience du terrain et des systèmes mesurés.

Il est judicieux d'opérer, pour les Profils 3 et 4 décrits plus avant, une première « passe de calcul », en utilisant les variables les plus évidentes, extraites d'une première analyse des systèmes thermiques en place, de leur utilisation et/ou profil d'utilisation (Cascades et substitution d'énergies, etc.), ainsi que de leurs mécanismes de régulation (Loi de Chauffe, régulations terminales, etc.).

#### **Inventorier les « facteurs statiques »**

Bien que peu concernés par cet aspect, du simple fait de leur périmètre isolé, les systèmes mesurés selon l'Option A ou l'Option B peuvent dépendre de conditions réputées constantes, non prises en compte directement dans les équations du modèle simplifié ou dans toute autre approche spécifique à ces Options.

- ▶ Il convient donc de s'assurer que le Point 3 (§d du Formulaire A, B, C) soit correctement documenté.

On s'attachera, en particulier, à bien lister les valeurs de référence des facteurs relevés, ainsi que la date de ces derniers. On ne se contentera pas, comme cela se fait trop souvent, d'une simple liste de la nature de ces facteurs !

#### **Mettre en place des indicateurs dans la période de suivi**

Les opérations de vérification, après APE, étant effectuées, il est conseillé de mettre en place, dans le système de GTB existant,

- des historiques sur toutes les valeurs contributives aux facteurs statiques.
- des indicateurs (Rapports automatiques) d'alerte, sur les dérives importantes de celle-ci.

### III. Bonnes pratiques de mise en œuvre de l'Option C

#### Généralités

L'Option C, probablement la méthode de mesurage la plus ancienne et la plus diffusée, a été développée à la fin des années 1970. Elle était principalement utilisée sur la base des factures de distributeurs d'énergie.

Cette approche se révèle très adaptée aux projets de rénovation de bâtiments pour lesquels les différentes APE présentent des effets qui ne peuvent être aisément bordés, donc pour lesquels un périmètre isolé ou un ensemble de périmètres isolés adjacents ne pourraient servir, du fait des interactions trop nombreuses entre les systèmes isolés par ces périmètres.

**Elle est l'Option la plus directe à mettre en œuvre au niveau d'un bâtiment, lorsqu'il s'agit d'obtenir un résultat global de la performance énergétique. Son coût d'instrumentation est, avec celui de l'Option A, le plus réduit.**

Dans la philosophie des méthodes dites de « Signature énergétique », telle que décrite dans l'Annexe D de la norme EN ISO 15203, l'Option C est proche des méthodes utilisées dans le cadre d'ENERGHO. On notera toutefois, par rapport à cette dernière, le fait que la ou les variables explicatives de la courbe d'énergie ne sont pas figées, mais qu'elles dépendent de l'analyse faite lors de l'établissement du Plan de Mesure et de Vérification. Cette approche, plus flexible, permet d'établir des profils plus précis, donc d'obtenir une meilleure précision d'ensemble dans l'expression des résultats, que dans une méthode se limitant aux conditions climatiques.

**L'Option C se caractérise par l'utilisation des compteurs du distributeur d'énergie ou de compteurs divisionnaires, pour évaluer la performance énergétique du site entier. Le périmètre de mesurage englobe l'intégralité du site ou un bâtiment dans son ensemble.**

- ▶ Elle est prévue pour les cas où les économies projetées sont grandes, par rapport aux variations énergétiques aléatoires et inexplicables qui peuvent apparaître au niveau du site et qui constituent le « bruit de fond » de la courbe d'énergie.

Dans le cadre du **Programme Négawatt**, cette méthode sera choisie, de préférence, lorsque les conditions seront telles que les Options d'isolation ne peuvent être appliquées (Interactions, impossibilité d'instrumenter, etc.) ou que le volume des économies projetées représente une fraction importante de la consommation énergétique avant travaux, et que ces dernières sont produites par un grand nombre de contributeurs qu'il serait trop coûteux d'analyser individuellement. La règle étant d'obtenir la meilleure précision du résultat final, au moindre coût.

- ▶ Plus la période d'analyse des économies, après APE, est longue, moins l'impact des variations inexplicables, 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 ans.
  - Si la période de suivi est supérieure à deux ans, cette limite peut être abaissée dans la mesure où la précision dans l'expression des résultats, ainsi que les variations sporadiques de la valeur des facteurs « statiques », ne rendent pas le bruit de fond supérieur à 50% des gains espérés. On peut, en règle générale, situer cette limite inférieure d'économies vers 6-7% de la valeur d'énergie mesurable.

Les opérations d'analyse et d'exploration des données de la période de référence exigent l'emploi de méthodes statistiques de calcul de régression, dans lesquelles l'énergie consommée (le mesurande) est exprimée comme une fonction de plusieurs variables :

$$E = f(X_1, \dots, X_n)$$

Ces variables sont classées en deux catégories :

- **Les variables « récurrentes »** dont l'évolution, dans le temps de mesure, se révèle significative.
- **Les « facteurs statiques »** qui, du point de vue des périodes de mesures, restent constants.

Ainsi, dans la plupart des projets liés au chauffage et à l'eau chaude sanitaire,

- les variables « récurrentes » consistent en :
  - la température extérieure, exprimée en Degrés Jours Unifiés,
  - la quantité d'eau froide nécessaire à la production d'ECS,
  - les périodes d'occupation.
- les « facteurs statiques » sont, le plus souvent :
  - la consigne de température intérieure des locaux,
  - les volumes chauffés,
  - la quantité d'apports internes,
  - les caractéristiques du bâtiment (Clos couvert, ouvrants, etc.).

Dans le cadre du **Programme Négawatt** et de son **Formulaire type (A, B, C)** de Plan de Mesure et de Vérification, l'approche « graduée » met en œuvre, **pour l'Option C**, un modèle d'analyse par régression « préconfiguré », de type polynomial limité au maximum à 3 variables pilotes indépendantes.

Cette approche « guidée » devrait couvrir la plupart des projets concernant les bâtiments. Si des conditions particulières devaient rendre ce modèle inapplicable (Mauvaise corrélation entre énergie et variables pilotes retenues), un modèle spécifique, résultat d'une analyse plus approfondie, pourrait être développé.

- ▶ Ce modèle à 3 variables est accompagné d'un tableau présentant des APE communément proposées, et d'une indication des 3 variables plausibles.
- ▶ Ce tableau s'enrichira progressivement, au cours du **Programme Négawatt**, des différents types et regroupements de cas d'APE rencontrés.

*Voir Annexe 2 du présent document.*

**L'Option C est peu utilisable en tant que telle dans le milieu industriel, sauf à vouloir contrôler des éléments d'ensemble.** Par exemple la consommation globale d'électricité d'un atelier de fabrication, en fonction du niveau de production.

- ▶ On lui préférera des Options d'isolement de l'APE.

## **Considérations générales pour l'établissement du PMV dans le cas de l' Option C**

### **□ Logiciels**

Parmi les 13 points que comporte un PMV, deux sont particulièrement bien assistés par un logiciel de calcul (Tableurs, progiciels de calcul statistique, ou autres outils d'analyse) :

1) L'analyse des données de la situation de référence,

afin de déterminer :

- La forme et les paramètres de l'équation  $E = f(X_1, \dots, X_n)$ ,
- Quelles sont les variables ( $X_i$ ) « récurrentes » significatives,
- La Qualité, en termes de prédiction du modèle ainsi déterminé.

2) La détermination de la précision avec laquelle les rapports d'amélioration de la performance énergétique seront exprimés.

Plusieurs logiciels sont disponibles sur le marché. On en trouvera les références sur le site d'EVO.

### **□ Quelques éléments clés**

#### **Analyser la période de référence et les variables « récurrentes »**

La détermination des variables « récurrentes », dans le processus de l'Option C, représente l'élément qui requiert, à la fois, une bonne expérience du terrain et des qualités d'enquêteur. En effet, dans de nombreux cas, les relevés relatifs à la période de référence seront « historiques » et non documentés. Il est donc judicieux d'opérer une première « passe de calcul », en utilisant les variables les plus évidentes, extraites d'une première analyse des systèmes thermiques en place, de leur utilisation (Cascades et substitution d'énergies, etc.), ainsi que de leurs mécanismes de régulation (Loi de Chauffe, régulations terminales, etc.).

#### **Inventorier les « facteurs statiques »**

Cet aspect des choses, très rébarbatif, s'avère d'une grande importance pour le succès, à long terme, d'un projet de performance énergétique. Ainsi, dans la plupart des projets de Services, la durée de la période de suivi est longue : plusieurs années, et les risques de devoir procéder à des Ajustements de la Base de Référence sont grands, par suite de modification des « facteurs statiques ».

*Se référer à l'IPMVP : Ajustements de la Base de Référence.*

- Il convient donc de s'assurer que le Point 3 soit correctement documenté.

On s'attachera, en particulier, à bien lister les valeurs de référence des facteurs relevés, ainsi que la date de ces derniers. On ne se contentera pas, comme cela se fait trop souvent, d'une simple liste de la nature de ces facteurs !

#### **Evaluer l'impact du changement des « facteurs statiques »**

Dans de grands projets pour lesquels il existe un Audit énergétique détaillé, ou pour lesquels l'évaluation des gains possibles a été réalisée au moyen d'un logiciel de simulation (comme ceux, utilisés dans l'Option D, par exemple), une démarche intéressante consiste à simuler l'impact possible (Ordre de grandeur) de changement des facteurs statiques relevés (Occupation ou forme d'occupation des locaux ; température de consigne d'ambiance ou de départ des réseaux ; volumes desservis, lorsque des locaux changent d'affectation ou de caractéristiques).

### **Analyser la variabilité, dans le temps, de la courbe de consommation de la période de référence**

L'IPMVP recommande de prendre comme période de référence le dernier « cycle » complet pertinent, le plus proche de la date de contractualisation. Mais il précise aussi que, dans la mesure du possible, l'analyste devra considérer plusieurs cycles, c'est-à-dire plusieurs années, afin de déterminer si un schéma (une forme) stable peut être observé. En effet, une stabilité de « forme » (et non dans les valeurs qui, elles, dépendront des variables « récurrentes ») peut être un bon indice de la stabilité des « facteurs statiques ».

### **Mettre en place des indicateurs dans la période de suivi**

Les opérations de vérification, après APE, étant effectuées, il est conseillé de mettre en place, dans le système de GTB existant,

- des historiques sur toutes les valeurs contributives aux facteurs statiques,
- des indicateurs (Rapports automatiques) d'alerte, sur les dérives importantes de celle-ci.

De la même façon, on « historisera » les valeurs de comptage des énergies à partir du (des) point(s) de mesure contractuel(s). On effectuera, de manière continue (Jour, semaine, mois), un suivi et un calcul systématiques (Rapports automatiques) de l'expression du gain, issue de l'analyse de la situation de référence, afin de détecter, de manière automatisée, les changements susceptibles d'apparaître dans les « facteurs statiques ».

## IV. Bonnes pratiques de mise en œuvre de l'Option D

### Généralités

**L'Option D met en œuvre des simulations du comportement énergétique d'un système ou d'un bâtiment. Pour ce faire, elle recommande l'emploi de logiciels spécialisés dans la modélisation dynamique des processus.**

L'IPMVP n'impose pas de contraintes particulières à ces logiciels, ni en termes de pas de calcul (Un dispositif à pas mensuel est théoriquement acceptable), ni en termes de modèles de calculs élémentaires. Le critère déterminant est l'incertitude de la prédiction établie par le modèle, lorsque comparée à la mesure effective de l'énergie consommée durant la période simulée (Opération de calibration).

Pour l'heure, les résultats effectifs d'une simulation calibrée ne garantissent pas des précisions sur le gain, comparables aux autres Options de l'IPMVP. Il est courant d'obtenir des niveaux de précision de l'ordre de 30% des gains, à un niveau de confiance de 68%.

### **L'Option D n'est donc recommandée que dans des cas bien précis :**

- Ajustements de la base de référence (ABR). Dans le cas d'une Option C, lorsque des facteurs statiques varient et que l'on doit déterminer un nouvel ajustement de la situation de référence.
- Construction neuve ou rénovation profonde, dans laquelle des APE sont évaluées par le modèle de simulation avant calibration – le bâtiment ou sa rénovation n'existe pas encore – et validées après calibration (au bout d'une période ayant permis la calibration effective du modèle).
- Systèmes thermiques spécifiques pour lesquels des outils logiciels et des modèles spécialisés préexistent.
- Absence de données de la période de référence, ou données existantes non fiables ou non explicables.  
Par exemple, lors de l'analyse des données dans une application de l'Option C, lorsque le meilleur  $R^2$  obtenu est inférieur à 50% et le meilleur CV(RMSE) égal ou supérieur à 20%.
- Identification des contributions individuelles des APE.  
Par exemple, dans une application de l'Option C, on souhaite connaître la part de chaque APE, ou d'une APE particulière, au gain global mesuré pendant la période de suivi.
- Interactions fortes entre APE. Dans une Option de périmètre isolé (A, B), une simulation calibrée peut établir le niveau de ces interactions.

Dans la majorité des cas, la réussite d'une opération de calibration exige des logiciels effectuant des passes de calcul de pas horaire, soit un minimum de 8'760 passes par période annuelle, afin de pouvoir calibrer le modèle sur des variations à l'intérieur d'une même journée d'exploitation. Il est donc illusoire d'utiliser des logiciels « tableurs » simples qui moyennent les valeurs de température sur une journée ou plus. Ceci implique, par conséquent, une bonne connaissance de logiciels qui ne sont pas, par nature, des logiciels « grand public ».

D'autre part, les opérations de calibration exigent l'affinement du modèle par actions sur ses paramètres, ou sur sa structure. Ceci ne peut être réalisé que par un « sachant » ayant une bonne connaissance des techniques de modélisation et des processus à simuler.

### **Dans quels cas ne pas utiliser l'Option D ?**

- Lorsque les circonstances et les conditions permettent d'effectuer des mesures réelles (Options A, B, C).
- Lorsque les bâtiments ou les systèmes ne se prêtent pas (ou mal) à la simulation :
  - Atriums de grande taille, avec stratification des températures et / ou implication forte des phénomènes de convection.
  - Bâtiments enterrés.
  - Formes extérieures et expositions complexes.
  - Bâtiments subissant des variations importantes de charge thermique, faiblement corrélables avec une variable explicative.
- Lorsque les ressources, la compétence et l'expérience pour l'emploi d'un logiciel de simulation ne sont pas assurées, pendant la totalité de la période de calibration.

## Considérations générales pour l'établissement du PMV dans le cas de l' Option D

### ❑ Logiciels

Bien que non imposés par l'IPMVP, les logiciels de simulation utilisés devraient effectuer des calculs au pas horaire. Il leur faut, par ailleurs, permettre d'entrer des paramètres reflétant les occupations et les conditions locales de zone (Température ambiante) distinctes.

### ❑ Étapes

- 1) Préparer un Plan de simulation calibrée (PMV), selon les 13 points adaptés à l'**Option D**.

*Voir **Formulaire NégaWatt**, Option D*

- 2) Recueillir les données :

- Plans des ouvrages exécutés, si disponibles.
- Données de mesure ou de facturation pouvant servir à la calibration.

Préparer un plan de collecte des données de calibration.

Effectuer des visites sur site pour collecter des données additionnelles :

- Types d'équipements réellement mis en place.
- Modes d'occupation, températures réelles, position des potentiomètres de réglage de la température de confort dans les locaux, etc.
- Enquête auprès des exploitants et des usagers, sur les conditions et les calendriers effectifs d'occupation.

Effectuer des relevés, mesures ponctuelles ou à court terme, des principaux paramètres ; températures, hygrométrie, débits d'air et d'eau des circuits et réseaux de distribution, puissances électriques installées,...

Collecter les données météorologiques au pas horaire correspondant à la période de simulation : station météorologique locale, données officielles, etc.

- ▶ *L'IPMVP – à la différence d'ASHRAE 14 2002 – autorise l'usage de données météorologiques mensuelles.*

- 3) Saisir le jeu de données et lancer le calcul ; vérifier les résultats :

- Examen attentif des données d'entrée
  - Orientation du bâtiment
  - Zonage
  - Caractéristiques du bâti et de l'exposition des façades
  - Densités caractéristiques des puissances d'éclairage et PFM
  - Calendriers d'occupation
  - Volumes d'air échangés
  - Rendement des systèmes de production CVC (y compris les charges partielles)
  - ...

- Examen attentif des données de sortie
  - Les systèmes modélisés prédisent des charges en chauffage et en refroidissement cohérentes.
  - Les calendriers et les types d'éclairage sont corrects.
  - Les calendriers d'occupation des zones de confort sont cohérents.
  - Les charges dues aux systèmes de ventilation sont cohérentes.
  - Les rendements des équipements CVC de production correspondent aux données relevées.
  - ...
- 4) Calibrer le modèle
  - Comparer les flux d'énergie prédits par le modèle aux relevés de mesures effectués sur le site, sur une base horaire ou mensuelle.
  - La comparaison s'effectue à la fois visuellement sur des données graphiques « superposées » et par des méthodes statistiques. Ces dernières sont bien décrites dans ASHRAE 14 2002, 6.3.3.4.2.
  - Vérifier les critères de calibration correcte CV (RMSE) < 15% sur données mensuelles et NMBE =< 5% sur données annuelles.
  - Affiner les données d'entrée du modèle et recalculer jusqu'à obtenir une calibration correcte.
- 5) Produire les données de consommation sans APE ; produire celles avec APE.
- 6) Appliquer l'équation de l'IPMVP :

**Gains =**

***énergie de la période de référence du modèle calibré sans APE – énergie de période de suivi du modèle calibré avec APE***

## Questions fréquentes

Les questions et réponses reproduites ci-après proviennent des séances tenues par le Groupe de travail ayant conçu le présent Guide. Elles peuvent orienter le lecteur dans sa compréhension de l'IPMVP et de la mise en pratique de celui-ci.

**❑ Que signifie exactement « Procédures de réception des ouvrages », dans le Formulaire des Options A, B, C ?**

Il s'agit des procédures permettant de garantir le succès de la mise en œuvre des APE. Autrement dit, des procédures par lesquelles on s'assurera, le cas échéant, que les travaux et / ou les modifications mis en place correspondent, en tous points, au concept d'APE développé dans le contrat, et offrent le potentiel d'économies d'énergies annoncé. Cette vérification pourra, éventuellement, comprendre des mesures ponctuelles.

**❑ Comment faut-il remplir, dans le Formulaire des Options A, B, C, le Point 3d, relatif aux « changements identifiés » ?**

Ce point est particulièrement important par l'engagement que prend le donneur d'ordre, en déclarant ne pas envisager de changements dans les éléments qui conditionnent les variables statiques, durant la période d'exploitation. Cette déclaration ne suffit pas. Il est essentiel de joindre au PMV un inventaire des facteurs statiques, de leurs valeurs, de la date de relevé de ces valeurs, afin de pouvoir, ultérieurement, effectuer des Ajustements de la Base de Référence (ABR).

**❑ Pourquoi privilégier le rendu en énergie (kWh), plutôt que le rendement en % ?**

L'équation principale de l'IPMVP indique bien une mesure d'énergie :

$$\begin{aligned} \text{Économies} = & \text{Quantité Énergie de la situation de référence} \\ & \pm \text{Ajustements périodiques} \pm \text{Ajustements non périodiques} \\ & - \text{Quantité Énergie de la période de suivi} \end{aligned}$$

L'IPMVP demande que l'énergie soit exprimée dans les termes et les unités de la grandeur mesurée, grandeur pour laquelle l'expression financière des gains peut être dérivée directement, selon les indications du Point 7 du PMV.

Comme on ne mesure pas des « % » et que l'on n'exprime pas, en général, dans la performance énergétique, une valorisation financière directe d'un gain relatif, les résultats seront formulés en unités d'énergie et non en rendement.

**❑ Doit-on effectuer les calculs d'incertitude ou peut-on se contenter d'une simple déclaration ?**

Rappel de quelques points importants :

- a. L'IPMVP, au contraire d'ASHRAE 14, n'impose pas que le calcul de l'incertitude soit adossé au PMV. Il en signale, toutefois, dans son Annexe B, les éléments essentiels. On peut alors se poser la question de la manière dont le document de PMV peut se révéler opposable, le cas échéant, sans qu'un tel calcul ait été fait, même si celui-ci n'a pas été communiqué dans le PMV.
- b. Deux documents normatifs EN 15203 et le JCGM\_100\_2008 peuvent être imposés, sur décision d'un donneur d'ordre, dans un projet donné, afin de préciser la méthode à employer pour

déterminer la précision des mesures. Prenez les devants, en utilisant l'Annexe B de l'IPMVP, plus simple d'application, tout en étant cohérente avec les indications de ces normes !

- c. Le budget lié à l'opération de M&V, parallèle au projet de performance énergétique, dépend très étroitement du niveau de précision applicable aux données de performance, garantie de bonne exécution du contrat.
  - ▶ *Toutes ces raisons font que, bien que relativement complexe, ce calcul devra être effectué par les entreprises, lors de l'établissement du Plan de Mesure & de Vérification, afin de justifier et d'encadrer, de manière crédible, les indications données dans le plan.*

**❑ Quelle date doit être considérée dans la valorisation financière des gains et dans l'établissement du budget des opérations de M&V ?**

Selon le Point 7 du PMV lié à la valorisation financière du gain, il est convenu, dans le cadre du **Programme NégaWatt**, que les estimations seront effectuées en CHF constants, à la date de l'établissement du Plan de M&V. Ce qui est également vrai pour l'établissement du budget.

**❑ Est-il possible, au Point 9 du Plan de M&V, de remplacer le nom d'une personne, responsable du suivi du PMV, par la mention d'une fonction dans l'entreprise ?**

Indication de la responsabilité des opérations de relevés, analyse et « Reporting » : comment faut-il comprendre cette spécification ?

Au Chapitre 7 de l'IPMVP 2009, il est demandé que la personne responsable de l'acceptation et du suivi du PMV soit identifiée. Il s'agit bien d'une identification individuelle.

**❑ Quels symboles et quelles unités employer pour l'expression des énergies, dans les PMV ?**

L'utilisation de certains symboles courants pour identifier les énergies peut entraîner des risques de confusion. L'IPMVP n'impose pas de vocabulaire particulier, au contraire de la norme européenne EN 15315, Chapitre 3.2.

Il est demandé, sauf indication expresse, de faire usage des symboles présents dans les Formulaires A, B, C et D.

**❑ Peut-on considérer le compteur de facturation, utilisé en aval d'un objet de production et / ou de transformation de l'énergie, comme conventionnellement juste ?**

Dans le cas du comptage destiné à une facturation finale (Cas d'une Centrale de production, dans laquelle il y a transformation d'énergies avec valeur ajoutée), considérant que cette facturation reflète la transaction financière sur le produit, est-on en droit de convenir que la précision de ce compteur est absolue ?

Ce compteur, servant de référence aux transactions financières reflétant la livraison de l'énergie, inchangé après les améliorations de la performance, est – par assimilation à la clause 4.9.5 de l'IPMVP – réputé juste : « *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* ».

❑ **Comment peut-on convertir, en tonnes de CO<sub>2</sub>, les économies d'énergies exprimées en kWh ?**

Des formules de conversion, appliquées par nature d'énergie, sont listées dans le document : **Contenu énergétique et facteurs d'émissions de CO<sub>2</sub> des agents fossiles OFEV**. Dans le cas de l'Option C regroupant, par énergie, plusieurs agents (Cas des chaudières à brûleurs mixtes gaz / fioul), un relevé de l'utilisation des différentes sources durant la période de suivi déterminera un facteur de proportionnalité à appliquer aux résultats obtenus, en termes d'économies globales d'énergies. En Suisse, il est admis que l'électricité du réseau a, par définition, un facteur d'émission nul. Ce dernier tient au fait que l'électricité y est produite pratiquement sans émissions de CO<sub>2</sub> (nucléaire et hydraulique) et que celles des centrales à cycles combinés, alimentées au gaz, doivent être entièrement compensées.

❑ **Quelle est la durée de la période de calibration ? Peut-on calibrer avant APE ?**

Les exemples évoqués dans ce Guide constituent un cas particulier de l'Option D, pour lequel on effectue la calibration de la simulation à l'aide de données mesurées sur une courte période précédant les APE. Cette particularité qui permet, en effet, une plus grande flexibilité et un usage « commercialement » acceptable de l'Option D se révèle compatible avec l'IPMVP.

ASHRAE 14 indique plus précisément au § 6.3.3 que l'on devrait, théoriquement, procéder à des calibrations avant et après APE, mais que si les circonstances ne le permettent pas, ou que les données se révèlent manquantes, une calibration sur l'une ou l'autre des périodes peut être acceptable.

Si les critères d'emploi de l'Option D sont satisfaits (Type de construction, qualification de l'opérateur, expérience de la simulation, etc.),

– Voir IPMVP 4.10 –

- Etablissement d'un Plan de Simulation (PMV, Option D) : en particulier, détermination d'une période de mesure « pré APE » :

– Voir Chapitres 3 et 6.1 du Formulaire D de la FEDENE - CS2E –

L'étape d) du processus décrite précédemment se complèterait ainsi :

d. 1. Comparaison du résultat du calcul aux mesures « pré APE ».

d. 2. Calibration « pré APE » durant la période définie en a) et acceptées par les parties.

Pendant les passes d'itération de d), cette période peut être prolongée, afin de réduire une incertitude globale incompatible avec les critères d'acceptabilité.

Dès ce moment, un engagement de l'entreprise peut être envisagé sur une APE qui sera simulée à partir du modèle ayant servi à déterminer cette base de référence.

- Calcul de la consommation et de l'appel de puissance prédits par le modèle calibré, en y introduisant les modifications générées par l'APE.
- Détermination des gains en utilisant **l'équation (1h)** ci-après.

Si le modèle lui-même (dans les modèles et systèmes évolués, à schémas modulaires) doit changer, afin de refléter correctement l'APE, il est (probablement) inévitable que l'erreur induite par ce changement de modèle se retrouvera dans la période de suivi comme incertitude additionnelle. Cette dernière sera alors couverte par une re-calibration en période post APE, pouvant amener à un ajustement contractuel selon **l'équation (1i)**. L'incertitude annoncée, le cas échéant, par l'entreprise, à la signature du contrat, sera ainsi majorée de façon à couvrir les risques entraînés par l'éventuelle modification du modèle.

- Durant la phase précontractuelle :

$$\begin{aligned} \text{Gains} = & \\ & \text{énergie de la période de référence du modèle calibré sans APE} \\ & - \text{énergie de période de suivi du modèle calibré avec APE} \\ & + / - \text{Erreur de Calibration dans la phase pré APE} \\ & + / - \text{Erreur estimée de changement de modèle (1h)} \end{aligned}$$

La somme des deux incertitudes est "estimée" dans la phase d'engagement.

- Après APE, le calcul deviendrait :

$$\begin{aligned} \text{Gains} = & \\ & \text{énergie de la période de référence du modèle calibré post APE} \\ & - \text{énergie de période de suivi du modèle calibré post APE} \\ & + / - \text{Erreur de Calibration dans la phase post APE (1i)} \end{aligned}$$

## V. GLOSSAIRE

Se référer au chapitre 9 : **Définitions** de l'IPMVP 2010 F ainsi qu'à la note de bas de page 1 au sujet de la relation entre MCE et APE.

## VI. ANNEXES

1. Méthode BPA simplifiée : Options A et B
2. Méthode 3 variables : Option C
3. Comment remplir les Formulaires A, B, C & D ?
4. Formulaire PMV ABC : Options IPMVP ABC
5. Formulaire PMV D : Option IPMVP D
6. Formulaire de Rapport d'économie d'énergies