

## 18. Autres sujets en énergie

### 18.5 – Mesurage et Vérification

Julien Milot, ing. M.Sc. CEM, CMVP

*Directeur, TST Énergie Québec*

Daniel R. Rousse, ing., Ph.D.

*Groupe t3e, Département de génie mécanique*

François Relotius, M.ing.



# Votre présentateur

JULIEN MILOT, ING. M.SC. CEM, CMVP

- Ingénieur en mécanique du bâtiment
- Spécialisé en efficacité énergétique
- Secteurs commercial, institutionnel, industriel
- Dev. des affaires, Gestionnaire, Formateur, Conférencier



# Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- Définitions
- Principaux concepts
- Étapes pour l'application du protocole IPMVP
- Questions fréquentes
- Exemples simples
- Conclusion

# Plan de la présentation

- ***Introduction et objectifs de la capsule***
- Définitions
- Principaux concepts
- Étapes pour l'application du protocole IPMVP
- Questions fréquentes
- Exemples simples
- Conclusion

# Introduction et objectifs

- Introduction

- Le protocole de l'International de Mesurage et Vérification de la Performance Énergétique (IPMVP) est une **méthode de mesure des économies d'énergie et d'eau** réalisées dans le secteur du bâtiment
- Cette méthode consiste à prendre en compte toutes les variables explicatives agissant sur la consommation énergétique d'un bâtiment afin de rendre le résultat indiscutable
- Développé au niveau international par EVO (Efficiency Valuation Organization), le protocole IPMVP est reconnu en France par l'ADEME

# Introduction et objectifs

- Objectifs

- Comprendre les concepts liés au protocole International de Mesurage et Vérification de la Performance Énergétique
- Apprendre les différentes méthodes de base
- Découvrir la plus-value de la mise en place d'un plan de M&V dans un projet donné

# Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- ***Définitions***
- Principaux concepts
- Étapes pour l'application du protocole IPMVP
- Questions fréquentes
- Exemples simples
- Conclusion

# Définitions

- Qu'est-ce que le concept de M&V ?

**« *Le concept de M&V, mesure et vérification, représente un processus d'utilisation de la Mesure servant à déterminer, de manière fiable, les économies réelles générées dans un établissement individuel, lors d'un projet de gestion de l'énergie. »***

*Référence : IPMVP 2010, Volume I, Section 9*



# Définitions

- Qu'est-ce que l'IPMVP ?
  - Présente les **lignes directrices** et **définit la terminologie** servant à déterminer les « économies », après la mise en œuvre d'un projet
  - Spécifie les aspects à traiter dans un **plan de M&V** d'un projet donné
  - **Permet une grande flexibilité** dans la création d'un plan de M&V, tout en respectant les principes suivants : **précision, exhaustivité, conservation, cohérence, pertinence et transparence.**

# Définitions

- Quels sont les avantages de l'IPMVP ?
  - Il définit les approches normalisées pour **mesurer** les « économies » réalisées afin de rassurer les propriétaires de bâtiment ou de site.
  - Il **légitimise** les projets d'entreprise de service énergétique (ESE)\* par le fait que le processus de vérification des « économies » préconisé est reconnu au plan international.

*\*Une ESE rend des services clés en main*

# Définitions

- Quels sont les avantages de l'IPMVP ?
  - L'IPMVP fournit des recommandations sur les compromis possibles entre la **précision** du « mesurage » et les **coûts** associés
  - Il aide les parties liées par un Contrat de Performance Énergétique à trouver **les termes contractuels** appropriés et transparents quant à la vérification des économies générées par le projet

# Définitions

## Le spectre d'utilisation du concept de M&V

←

→

### Sans M&V

- Ni coût additionnel, ni investissement supplémentaire à prévoir
- Majorité des projets réalisés depuis 1975
- Simplicité et coût minimal des activités de M&V (pas le M, uniquement le V)

### Avec M&V

- Optimisation des économies
- Leur pérennité
- Nécessité, pour les utilisateurs, de disposer d'énergie, d'une démonstration de performance ou d'une garantie (utilités et édifices publics), depuis 1990

# Définitions

- Justifier le concept de M&V
  1. Optimiser les économies d'énergie
  2. Documenter les transactions financières
  3. Accroître les possibilités de financements destinés aux projets relatifs à l'efficacité énergétique
  4. Améliorer la conception, les opérations et la maintenance de ces projets
  5. Expliquer les variations affectant un budget énergétique
  6. Aider à la valorisation des programmes d'EE
  7. Former les usagers sur les aspects de leurs consommations énergétiques
  8. Aider à évaluer l'impact d'un programme d'efficacité énergétique et à obtenir une certification LEED ou autre

# Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- Définitions
- ***Principaux concepts***
- Étapes pour l'application du protocole IPMVP
- Questions fréquentes
- Exemples simples
- Conclusion

# Principaux concepts

- Le « M » dans M&V veut dire **Mesure**

***« Le suivi est une activité indépendante de la détermination des économies. Il consiste en l'observation de l'usage de l'énergie pour les actions de prédiction, de budgétisation, et de diagnostic. »***

# Principaux concepts

- Mesurer les économies ?

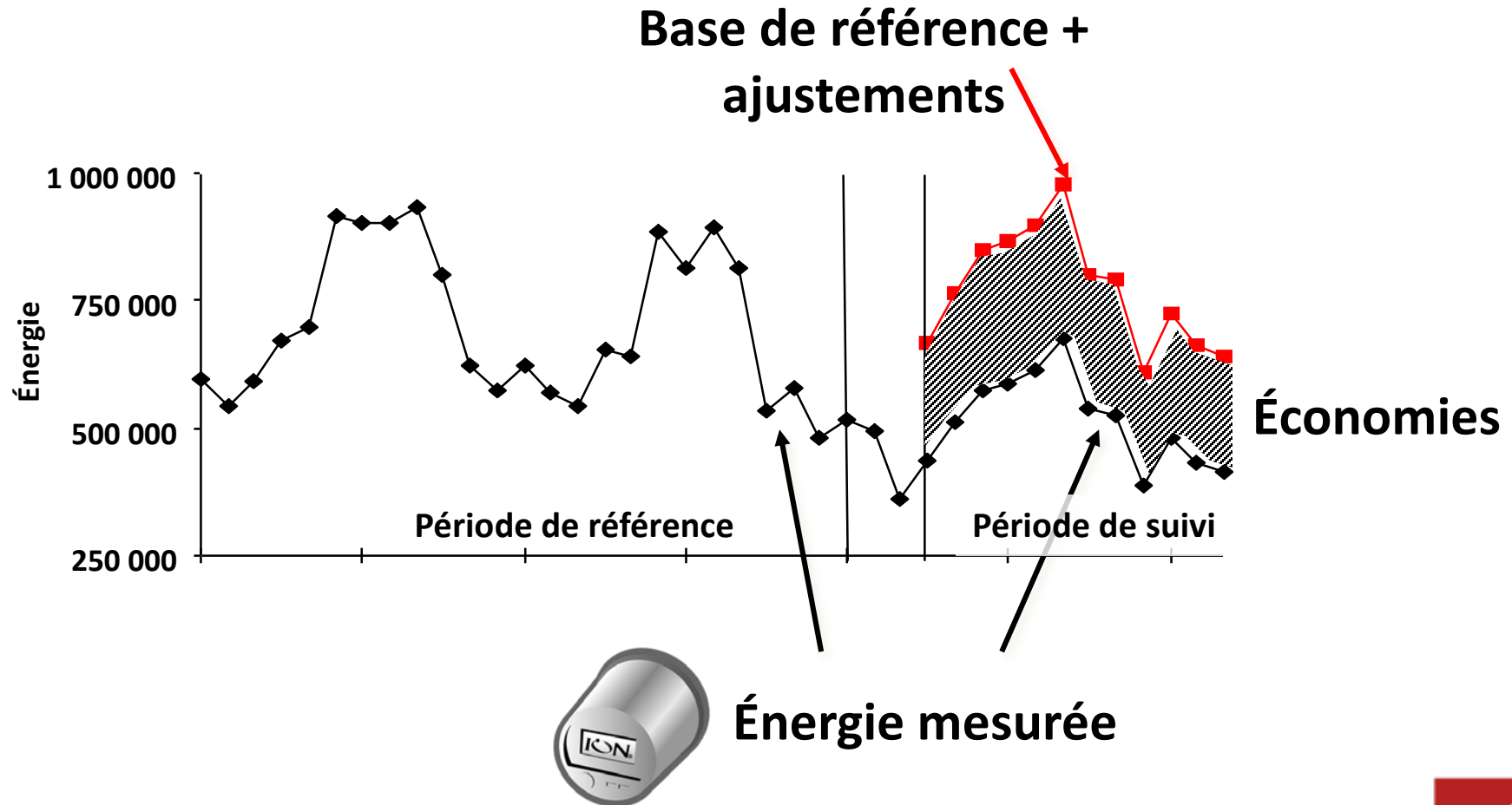
*Les économies sont l'absence de consommation d'énergie.*

- Nous **ne** pouvons pas mesurer ce qui n'existe pas
- Nous **ne** « mesurons » donc pas les économies!
  
- Nous mesurons la consommation d'énergie
- Nous *analysons* l'utilisation de l'énergie mesurée pour **déterminer** les économies



# Principaux concepts

- Une référence conceptuelle



# Principaux concepts

- Equation de base pour le calcul des économies dans l'IPMVP :

**Les économies pour une période donnée**

**=**

**Énergie de la période de référence**

**-**

**Énergie de la période de suivi**

**+/-**

**Ajustements**

# Principaux concepts

- Exemple du besoin d'ajustements :

Une Mesure de conservation d'énergie (MCE) a été effectuée, mais la *production d'usine a été inférieure cette année* par rapport à l'année dernière.

**Quelle part de la réduction des coûts était due à la MCE, et quelle portion était causée par un changement de la production ?**

# Principaux concepts

- Exemple du besoin d'ajustements (suite) :

Le mesurage de la performance nécessite de  
« **Comparer des pommes avec des pommes** »



Période de référence



Période de suivi

Nous ajustons les consommations d'énergie de la période de référence aux **mêmes** conditions que celles de la période de suivi, pour effectuer une vérification valable

# Principaux concepts

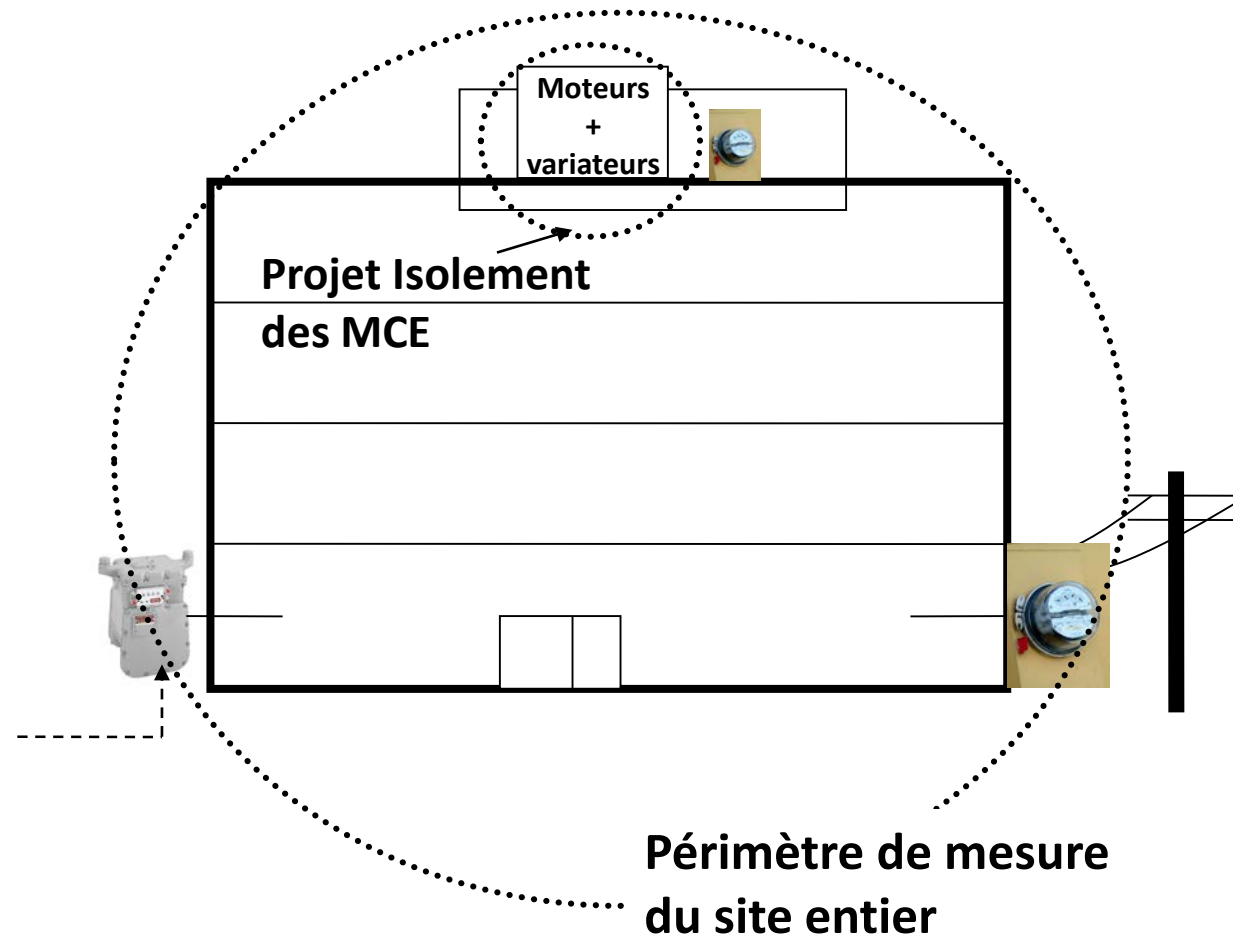
- Les ajustements peuvent être évidents, simples ou complexes
- L'ampleur des ajustements dépend :
  - Du besoin de précision
  - De la complexité des facteurs déterminant la consommation d'énergie
  - Du nombre d'équipements dont on veut évaluer les performances (c.-à-d. «du périmètre de mesure»)
  - Du budget associé au sous-projet de M&V

# Principaux concepts

- Deux méthodes de base :
  - **Méthode pour le site entier** - *Mesure tous les effets dans le site*
    - MCE et autres changements (prévus et imprévus).
    - Utilise souvent le compteur du fournisseur d'énergie.
    - Les ajustements peuvent être complexes.
  - **Méthode d'isolement des MCE** - *Mesure seulement l'effet de la ou des MCE*
    - Les économies ne sont pas affectées par les changements au-delà du périmètre de mesurage
    - Cette méthode nécessite généralement de nouveaux compteurs
    - Les ajustements peuvent être simples

# Principaux concepts

- Quel périmètre de mesure ?



# Principaux concepts

- Choisir la méthode qui vous convient le mieux
  - Si vous voulez **gérer votre utilisation totale d'énergie**
    - Sélectionnez la méthode du site entier
  - Si vous voulez **évaluer une modification en particulier**
    - Sélectionnez la méthode d'isolement des MCE



# Principaux concepts

- Terminologie
  - Isolement des MCE – Option A ou B
  - Site entier – Option C ou D

Deux options pour chaque méthode – pour permettre une flexibilité dans les situations rencontrées

# Principaux concepts

- Isolement des MCE
  - Sélectionnez entre les options A ou B

**Option A – Isolement des MCE**  
Mesurage des paramètres clés

**Option B – Isolement des MCE**  
Mesurage de tous les paramètres

# Principaux concepts

- Isolement des MCE (A et B)

	OPTION A	OPTION B
<b>Mesurage</b> - Période de référence	<b>400 kW</b>	<b>200 000 kWh</b>
<b>Mesurage</b> - Période de suivi	<b>300 kW</b>	<b>150 000 kWh</b>
<i>Heures estimées d'utilisation</i>	<i>500 hres</i>	
<b>Consommation d'énergie évitée</b>	<b>100 kW x 500 hres = 50 000 kWh</b>	<b>50 000 kWh</b>

# Principaux concepts

- **Option A – Incertitude**

L'Option A permet une réduction possible des coûts de mesurage, mais introduit une incertitude sur la quantité estimée.

Toutes les parties doivent accepter l'incertitude associée à cette évaluation.

Le choix entre les options A et B permet une flexibilité appropriée en fonction de la situation.

# Principaux concepts

- Le site entier – *Sélectionnez une option fonction de la disponibilité des données du projet :*

## **C – Le site entier**

Nécessite l'ensemble des données de la période de référence et de la période de suivi.

## **D – Simulation calibrée**

Quand il n'y a pas de compteur (ou de site pré-existant) pour la période de référence, les données peuvent être 'fabriquées', mais selon une procédure contrôlée.

# Principaux concepts

- Option C – Exemple

**Facture d'électricité de la période de référence**  
*Juillet 2009 (29 jours)* = 800 000 kWh

**Facture d'électricité de la période de suivi**  
*Juillet 2010 (31 jours)* = 600 000 kWh  
Différence brute = 200 000 kWh

**Ajustement de la base de référence  
pour la période du relevé du compteur et  
des conditions climatiques**  
(+ chaud en suivi) = + 100 000 kWh  
Économie d'énergie = 300 000 kWh

# Principaux concepts

- Option D – Exemple
  - Considérez le cas d'un bâtiment à construire, conçu pour être plus performant au niveau énergétique que le standard établi
  - Pour prouver le gain de performance constaté par rapport au standard :
    1. Après le début de la phase de pleine occupation du bâtiment, collectez les données des compteurs d'énergies ( = « données de calibration »)
    2. Préparez une simulation modélisée des consommations énergétiques pour l'objet tel que construit.
    3. Comparez le résultat de la simulation avec les consommations réelles.

# Principaux concepts

- Option D – Exemple

4. Calibrez (ou ajustez) la simulation jusqu'à ce que les différences soient acceptables
5. La simulation est maintenant « **CALIBRÉE** » et indique une consommation d'énergie de : **5 000 000 kWh**
6. Modifiez la simulation calibrée en enlevant les améliorations de la performance énergétique (afin de refléter un bâtiment construit selon le standard établi). La consommation d'énergie de la simulation "standard" est de : **7 000 000 kWh**
7. Consommation d'énergie évitée : **2 000 000 kWh**



# Principaux concepts

- Sommaire des options de l'IPMVP
  - L'IPMVP offre quatre options de M&V : A,B, C et D
  - Les options constituent des approches générales pour les M&V des projets d'économie d'énergie et d'eau
  - Les quatre options offrent un éventail de méthodes pour évaluer les économies d'énergie en fonction :
    - du type de MCE mise en œuvre
    - de l'équilibre désiré entre la précision et le coût

# Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- Définitions
- Principaux concepts
- ***Étapes pour l'application du protocole IPMVP***
- Questions fréquentes
- Exemples simples
- Conclusion

# Étapes pour l'application du protocole IPMVP

1. Préalablement à toute mise en œuvre d'un projet d'efficacité énergétique :
  - a) Concevoir le processus de M&V
  - b) Calibrer les compteurs, lorsque nécessaire
  - c) Recueillir les données de la situation de référence (toutes les sources d'énergie et conditions d'utilisation)
  - d) Documenter le plan de M&V

# Étapes pour l'application du protocole IPMVP

## 2. Après sa mise en œuvre :

- a) Vérifier que l'équipement/système adéquat a été installé et fonctionne selon les spécifications
- b) Recueillir les données d'énergie et d'exploitation
- c) Calculer les « économies » telles qu'elles sont définies dans le plan de M&V

# Plan de la présentation

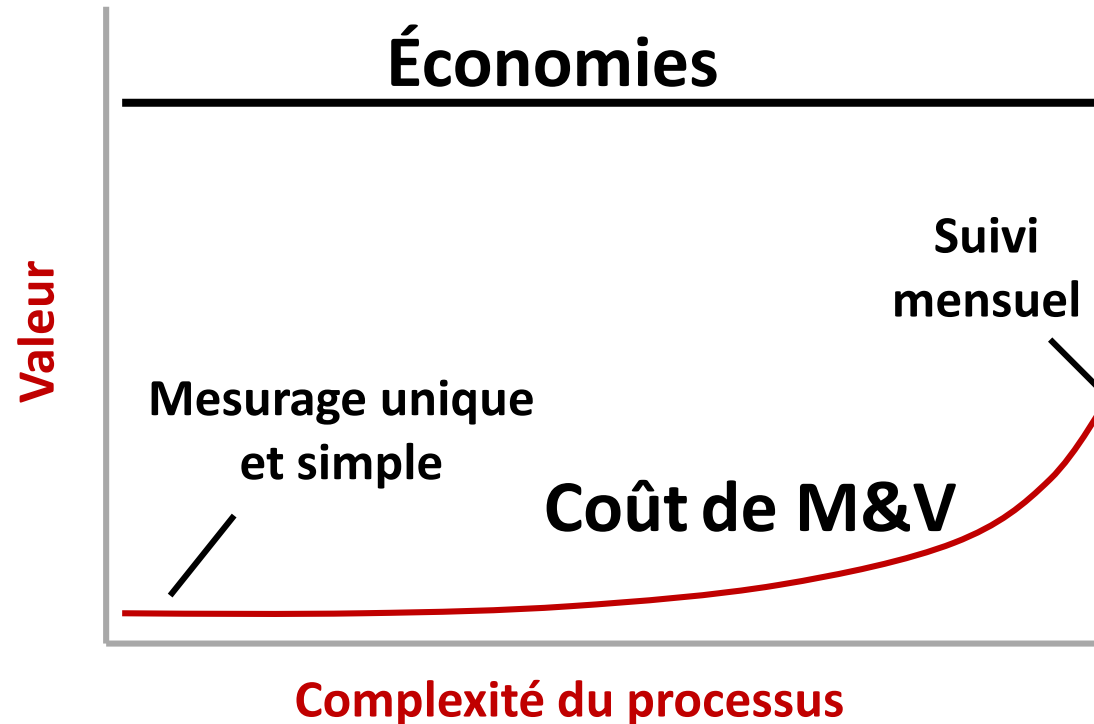
- Introduction et objectifs de la capsule
- Définitions
- Principaux concepts
- Étapes pour l'application du protocole IPMVP
- ***Questions fréquentes***
- Exemples simples
- Conclusion

# Questions fréquentes

- Quels sont les coûts de M&V ?
  - Les facteurs clés affectant les coûts de M&V :
    - La quantité et la précision des compteurs
    - Le nombre de variables indépendantes à être suivi
    - La fréquence des mesurages et des rapports
    - La durée des périodes de référence et de suivi
    - La taille de l'échantillon utilisé, si tous les équipements ne sont pas mesurés
    - Le partage des coûts de mesurage si les systèmes sont aussi installés pour d'autres usages que les M&V

# Questions fréquentes

- Quels sont les coûts de M&V ?



*Quel est le niveau de mesurage suffisant?*

# Questions fréquentes

- M&V, engagement minimal ?
  - Le coût total pour déterminer les économies devrait être inférieur à **10 % des économies générées** pour un projet durant sa vie utile. (Réf. : *IPMVP volume 1, 2010 chapitre 8.5*)
    - **3 – 5 %** est un chiffre plus courant (pour des projets ESE)
    - **0 %** est souvent utilisé (= « économies estimées »). L'absence de mesurage signifie des économies imprécises. Ce n'est PAS une méthode IPMVP.
  - Un compromis coût/précision doit être établi pour chaque projet.

**Ce maximum peut être dépassé pour des situations particulières.  
Lesquelles ?**



# Questions fréquentes

- Contrats de performance
  - Les M&V jouent un rôle critique dans les contrats de performance:
    - Maximise les économies et leur persistance pendant la durée du contrat.
    - Permet de documenter les économies générées et sert de mécanisme contractuel pour établir le paiement ou l'atteinte de l'objectif (garantie)
  - Les contrats de performance permettent d'objectiver les coûts et les avantages d'un niveau de précision des M&V entre l'ESE et le Maître d'Ouvrage.
  - Prenez soin de bien considérer les motivations contractuelles de toutes les parties avant de concevoir le plan de M&V.
  - Annexez le plan de M&V au contrat.

# Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- Définitions
- Principaux concepts
- Étapes pour l'application du protocole IPMVP
- Questions fréquentes
- ***Exemples simples***
- Conclusion

# Exemples simples

- **Option C – Site entier (Bâtiment commercial)**

MCE	Retour simple sur investissement (années)
Modernisation de systèmes d'éclairage	4,5
Moteurs efficaces	5,6
Améliorations CVC	5,4
Système de contrôle	3,4
Réduction des fuites du bâtiment	2,1
Formation et sensibilisation	0,5

# Exemples simples

- **Option C – Site entier** (Bâtiment commercial)
  - Utilisez les données provenant du compteur du fournisseur d'énergie (gaz et électricité)
  - Analysez les données de compteurs en relation aux variations climatiques pour la période de référence
    - Afin d'établir correctement les *ajustements* correspondants
    - Les variations climatiques se résumeront ici à celle de la température exprimée en degrés-jours de chauffage ( $DJC_{180C}$ ).

**Vous** calculerez les économies pour une période de deux mois

# Exemples simples

- **Option C – Site entier (Bâtiment commercial)**

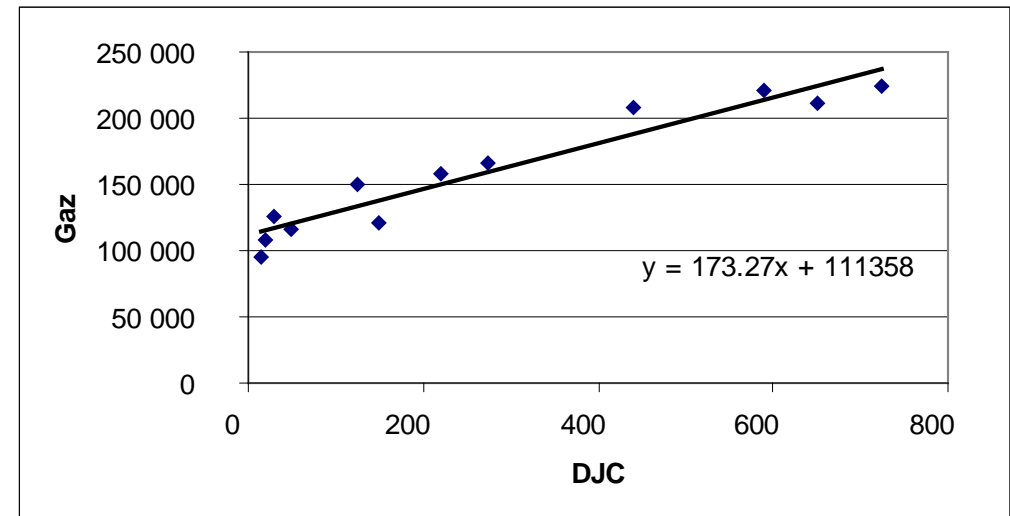
Date de lecture	Unités consommation de gaz	Degrés-jours de chauffage
février 5, 2008		<b>18oC</b>
mars 5, 2008	210 692	650
avril 7, 2008	208 664	440
mai 6, 2008	157 886	220
juin 5, 2008	120 793	150
juillet 7, 2008	116 508	50
août 7, 2008	107 272	20
septembre 5, 2008	95 411	14
octobre 6, 2008	126 423	29
novembre 6, 2008	149 253	125
décembre 4, 2008	166 202	275
janvier 6, 2009	221 600	590
février 5, 2009	224 958	723
<b>Total</b>	<b>1 905 662</b>	<b>3 286</b>

**Données de la base  
de référence**

# Exemples simples

- **Option C – Site entier (Bâtiment commercial)**
  - Modélisation de la base de référence

La relation entre la consommation de gaz et les degrés-jours de chauffage est établie par l'analyse de régression suivante:



$$\text{Consommation de gaz} = 173,27 * \text{DJC}_{180C} + 111\,358$$

(Les techniques d'analyse de régression ne sont pas vues en détail dans ce cours)

# Exemples simples

- **Option C – Site entier (Bâtiment commercial)**

- Méthode d'évaluation

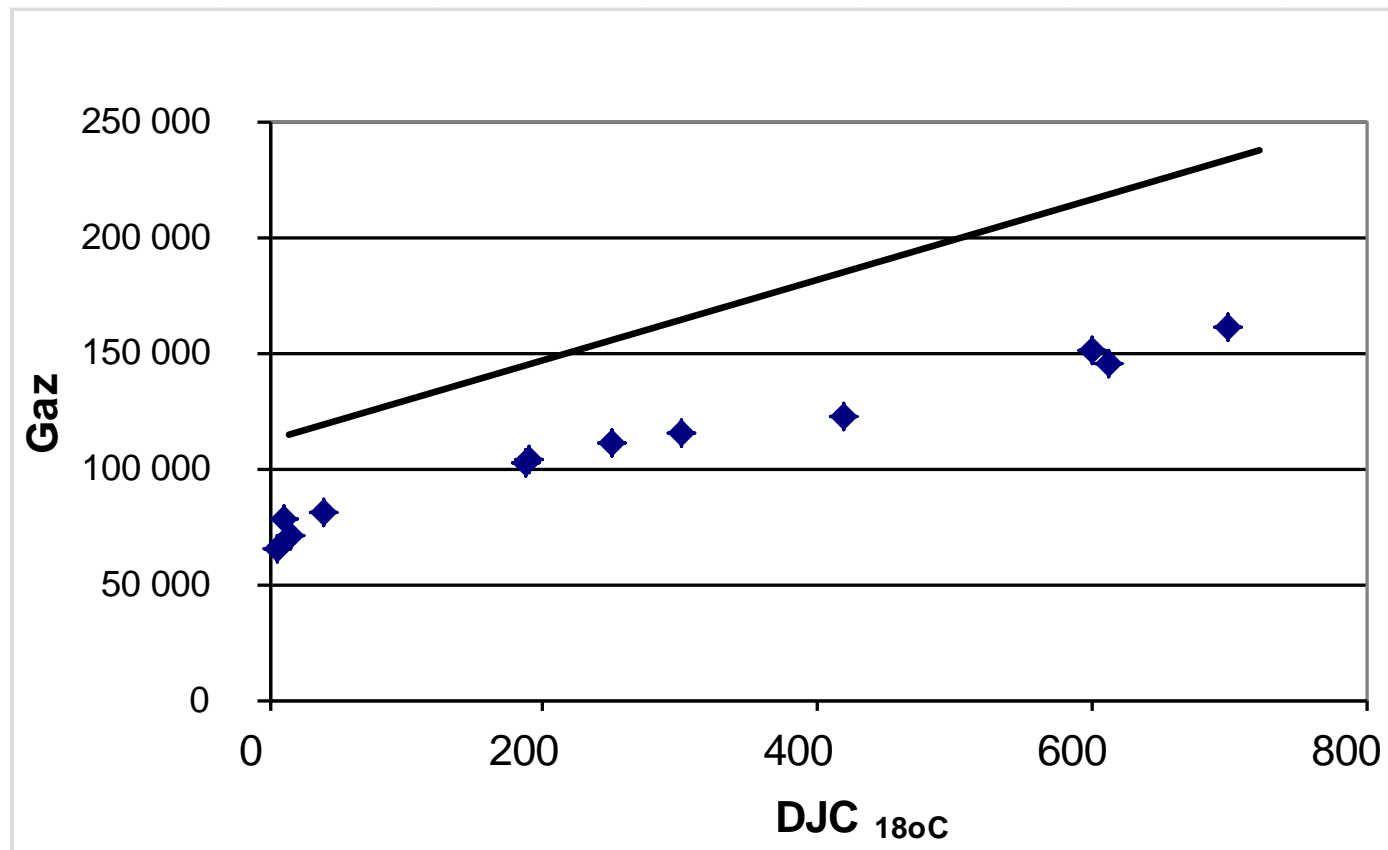
1. Collectez les données météo de la période de suivi.
2. Pour chaque mois de la période de suivi, calculez ce que la base de référence pour la consommation de gaz aurait été pour ces DJC, en remplaçant les valeurs DJC du modèle de la période de référence par celles de la période de suivi :

$$\text{Gaz} = 173,27 * \text{DJC}_{180C} + 111\,358$$

3. Comparez la consommation de la période de référence ajustée avec celle de la période de suivi pour déterminer la "consommation évitée" de gaz
4. Appliquer la structure tarifaire en vigueur durant la période de suivi à la période de référence et à la consommation de la période de suivi pour calculer les coûts évités

# Exemples simples

- **Option C – Site entier (Bâtiment commercial)**
  - Evaluation des économies





# Exemples simples

- **Option A – Isolement des MCE**

- À titre d'exemple, considérons le plan M&V pour la MCE sur **l'éclairage**, utilisant *l'option A : Isolement des MCE, mesurage des paramètres clé.*

- **Paramètre clé : Puissance de l'appareil d'éclairage**

- Le mesurage se fera avant et après amélioration

- **Paramètre non-clé : Heures d'opération**

- Le nombre d'heures d'opération sera estimé

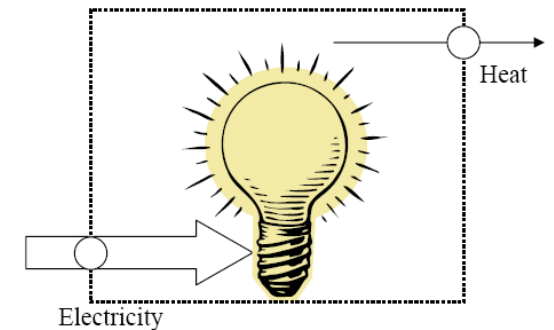
# Exemples simples

- **Option A – Isolement des MCE**

*Pour établir le périmètre de mesure (éclairage), tenez compte de :*

**1. Ce qui affecte la consommation d'énergie à l'intérieur de ce périmètre :**

- Amélioration de l'efficacité des lampes
- Heures d'utilisation
- Nombre de lampes non fonctionnelles



**2. Quelles incidences énergétiques surviennent à l'extérieur du périmètre ?**

- Réduction de la charge de refroidissement
- Augmentation des besoins en chauffage
- Lampes de bureau ajoutées dans des circuits non mesurés

# Exemples simples

- **Option A – Conception**

- **Mesurage :**

- Mesurer aléatoirement un échantillon de lampes
    - Utiliser un Wattmètre RMS (puissance efficace), calibré
    - Mesurer une période d'une seconde avant et d'une seconde après MCE.

- **Hypothèses :**

- 100 heures d'opération/mois mesurées pendant la période de référence. 100 heures d'opération/mois assumées dans la période de suivi
    - L'impact sur le refroidissement ajoute 20 % d'économie
    - Ignorer la réduction de la contribution au chauffage et les lampes de bureau ajoutées
    - Présumer que 5 % des lampes/ballasts sont non fonctionnels en tout temps

# Exemples simples

- Option A – Observations

	Avant MCE	Après MCE
# Échantillons	73	30
Puissance (W) moyenne mesurée par luminaire opérationnel	193,1	102,1
Nombre d'installations	2 000	1 950

# Exemples simples

- **Option A – Résultats**

	<b>Avant MCE</b>	<b>Après MCE</b>
Total kW (95 % d'installations opérationnelles)	366,89 kW (193,1x2000x0,95)	189,14 kW (102,1x1950x0,95)
Réduction de charge d'éclairage		177,75 kW
Ajustements pour économies de refroidissement et chauffage		+ 35,55 kW
Économies mensuelles d'énergie	21 330 kWh/mois = 21 000 kWh arrondi (213,3 x 100 heures)	

# Exemples simples

- **Option A – Notes**

- L’option A est connue sous l’appellation “Isolement des MCE : Mesurage des Paramètres clé”. Dans cet exemple, le paramètre clé est la variation de la puissance des installations; donc mesurée.
- L’option utilisée était «Option A» de l'IPMVP 2010 car nous avons estimé les heures d’opération même si nous avons enregistré les heures d’opération de la période de référence.
- Les données du fabricant ne sont pas mesurées lors du projet. Dans l’IPMVP ceci est considéré comme une estimation. Pour adhérer à l’option A de l'IPMVP, les données du fabricant ne pourraient être le paramètre clé, mais peuvent être un autre paramètre quelconque.

# Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- Définitions
- Principaux concepts
- Étapes pour l'application du protocole IPMVP
- Questions fréquentes
- Exemples simples
- ***Conclusion***

# Conclusion

- Un plan de M&V bien structuré est un document essentiel pour faire la démonstration de la performance d'une (ou de plusieurs) MCE
- L'option de M&V sélectionnée devrait maintenir un juste équilibre entre la précision des données et les coûts d'installation et d'entretien des activités de M&V
  - Des MCE plus complexes demandent des méthodes de M&V plus coûteuses et plus compliquées.
  - Les coûts de M&V ne devraient pas excéder 3-5 % du coût du projet (ou 3-5 % des économies générées durant la période de remboursement d'un projet). La limite maximum habituellement rencontrée est 10 %