



Financé par



Efficiency  
Valuation  
Organization



## M&V FOCUS – publication #3

### Détermination des périmètres de mesure dans les projets de M&V - (Partie I)



Par Agenor Garcia\* et Bruce Rowse\*\*

Cet article vise à explorer en détail le concept de périmètre de mesure et son incidence sur l'identification de variables indépendantes, de facteurs statiques et d'effets interactifs dans un projet M&V. Nous passons en revue les concepts de base et les définitions de l'IPMVP (d'après les Principes Fondamentaux de l'IPMVP, 2016), qui, s'ils sont mal appliqués, peuvent entraîner divers problèmes.

A titre d'exemples de problèmes pouvant survenir, nous traitons un cas en utilisant l'option C et un autre exemple portant sur le remplacement d'un groupe, qui, dans le cours « CMVP », est présenté comme un exemple détaillé des deux options A et B. Pour répondre à la question « quels devraient être les périmètres de mesures ? », nous donnons l'exemple de rénovation d'un groupe froid dans un bâtiment tertiaire et du remplacement d'une chaudière à vapeur. Suite à ceci, nous essayons de « modéliser » le processus pour la mise en place du périmètre de mesure pour un projet M&V. Finalement, nous discutons d'un exemple intéressant d'installation d'un échangeur à chaleur dans un four industriel afin de renforcer les concepts présentés.

### 1. Ce que dit l'IPMVP

Le chapitre 3 des Principes Fondamentaux de l'IPMVP (2016) définit le périmètre de mesure comme étant un « périmètre fictif dessiné autour d'équipements, de systèmes ou de sites pour séparer ce qui sera concerné par la détermination des économies d'énergie de ce qui ne le sera pas ». Il est entendu que le périmètre est semblable à une frontière géographique ou physique, séparant les équipements qui ont un impact sur l'Action d'Amélioration de la Performance Énergétique (AAPE) de ceux qui n'en ont pas. Les définitions de l'ajustement périodique - « Calculs d'ingénierie appliqués spécifiquement pour rendre compte des impacts énergétiques de changements des variables indépendantes à l'intérieur du périmètre de mesure » - et des facteurs statiques - « les caractéristiques d'un site qui impactent la consommation d'énergie et la puissance appelée, à l'intérieur du périmètre de mesure, qui ne devraient pas être modifiés a priori, et qui ne sont dès lors pas inclus dans les variables indépendantes » -

impliquent que les conditions de fonctionnement, les variables indépendantes et les facteurs statiques ne doivent être pris en compte qu'au sein du périmètre de mesure. D'autre part, les effets interactifs - « impacts énergétiques créés par une action d'amélioration de la performance énergétique qui ne peuvent pas être mesurés à l'intérieur du périmètre de mesure » - résultent de l'impact de l'AAPE au-delà du périmètre, c'est-à-dire qu'ils impactent d'autres systèmes consommateurs d'énergie en dehors du périmètre.

La section 5.1 des Principes Fondamentaux de l'IPMVP, concernant le périmètre de mesure, considère uniquement une facette du problème, le périmètre d'énergie, en séparant l'isolement de l'amélioration (options A et B) des options de sites entiers (C). L'option D, utilisée dans le cas où les données de mesure ne sont que peu ou pas disponibles et basées sur une simulation, peut être utilisée à la fois comme une méthode d'isolement de l'amélioration et comme une méthode à l'échelle du site entier.

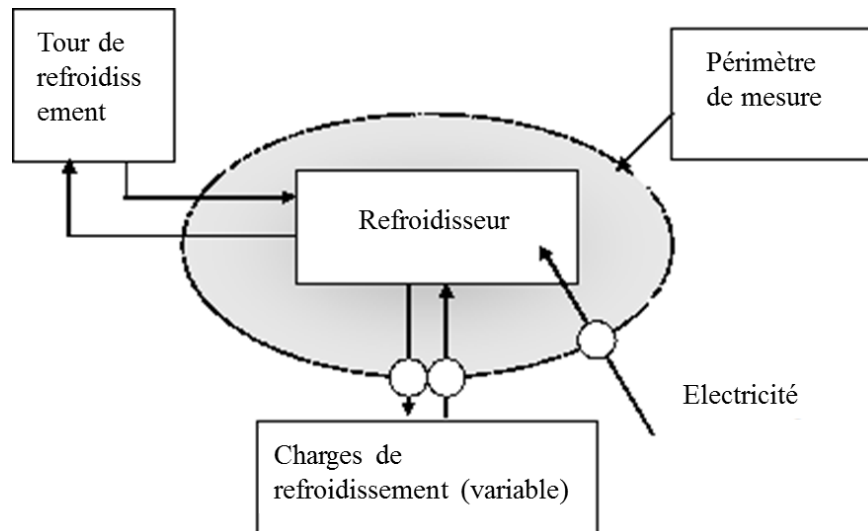
Il n'est aucunement abordé la mesure des variables indépendantes, qui forment en réalité l'autre facette du problème du périmètre et qui sont liées aux services énergétiques délivrés. Les versions précédentes de l'IPMVP plaçaient le compteur comme étant le délimiteur du périmètre, ce qui n'est plus mentionné (mais toujours vrai).

Étant donné que la définition du périmètre est très générique, les interprétations peuvent être maladroites. Il est nécessaire de développer une compréhension plus approfondie des concepts associés au périmètre de mesure afin de pouvoir faire des ajustements corrects lors de la comparaison de la consommation énergétique de la période de référence avec la consommation énergétique de la période de suivi.

## 2. Exemples du problème et d'une solution

Le premier cas présenté concerne l'option C. Comme le périmètre englobe le site entier, on peut en conclure qu'il n'existe aucun effet interactif, car les effets interactifs ne se produisent qu'en dehors du périmètre. Cependant, si nous avons, par exemple, plusieurs AAPE électriques dans un bâtiment, y compris une mise à niveau de l'éclairage, et que le chauffage du bâtiment était assuré par des radiateurs au gaz, l'effet interactif de l'utilisation du gaz augmenterait du fait de la production amoindrie de chaleur par l'éclairage. Cet effet n'est pas mesuré par le compteur d'électricité, il doit donc être comptabilisé comme un effet interactif.

**Figure 1: Périmètre de mesure pour le remplacement d'un groupe froid**



Un autre problème de cette définition imprécise se trouve dans le module 7 - Détails de l'isolement de l'amélioration - de la formation CMVP (voir figure 1). Dans l'exemple de l'option B, le remplacement d'un groupe froid est envisagé. L'énergie électrique fournie aux compresseurs du groupe froid et la charge de refroidissement sont correctement définies comme le périmètre avec deux limites : l'énergie fournie et la variable indépendante. La tour de refroidissement se trouve en dehors du périmètre, car ses paramètres - température d'entrée de la condensation et les tours de refroidissement elles-mêmes sont inchangés. Néanmoins, le matériel de formation du CMVP indique que « au moins une fois par an, examinez les facteurs statiques pour vous assurer que la base de référence est toujours appropriée. Par exemple, les difficultés de la tour de refroidissement pourraient avoir augmenté la température de condensation moyenne ».

Mais la tour de refroidissement n'est-elle pas en dehors du périmètre de mesure ? Et les facteurs statiques ne sont-ils pas obligatoirement dans le périmètre ? Comment pouvons-nous résoudre ce problème ?

En fait, comme l'efficacité énergétique consiste à améliorer l'efficacité de la conversion des intrants énergétiques en service utiles (tels que l'éclairage, le refroidissement, etc.), nous devrions réfléchir aux flux d'énergie associés à la conversion des intrants énergétiques en services. Nous avons donc deux limites : une, du côté de l'entrée d'énergie, marquée par le compteur d'énergie (pour les mesures individuelles comme pour le site entier) et une autre, du côté de la sortie du système, les services énergétiques, pour lesquels la demande est corrélée aux valeurs des variables indépendantes. Tous les équipements et systèmes à travers lesquels l'énergie circule pour fournir les services se situent dans les périmètres de la mesure et le reste est en dehors. En d'autres termes, nous devrions considérer le périmètre non pas

comme une frontière géographique, telle que la frontière d'un pays, mais comme une frontière du flux d'énergie fournissant les services énergétiques que nous mesurons. Dans l'exemple de l'option C, la chaleur des lampes et des ballasts quitte le périmètre de mesure car elle n'est visible ni par le compteur d'électricité ni par les compteurs des variables indépendantes (par exemple, la température extérieure et éventuellement l'occupation). Il s'agit d'un véritable effet interactif, c'est-à-dire un effet de l'AAPE qui se manifeste dans un autre système énergétique en dehors du périmètre de mesure car ce périmètre n'englobe que l'utilisation électrique de l'équipement.

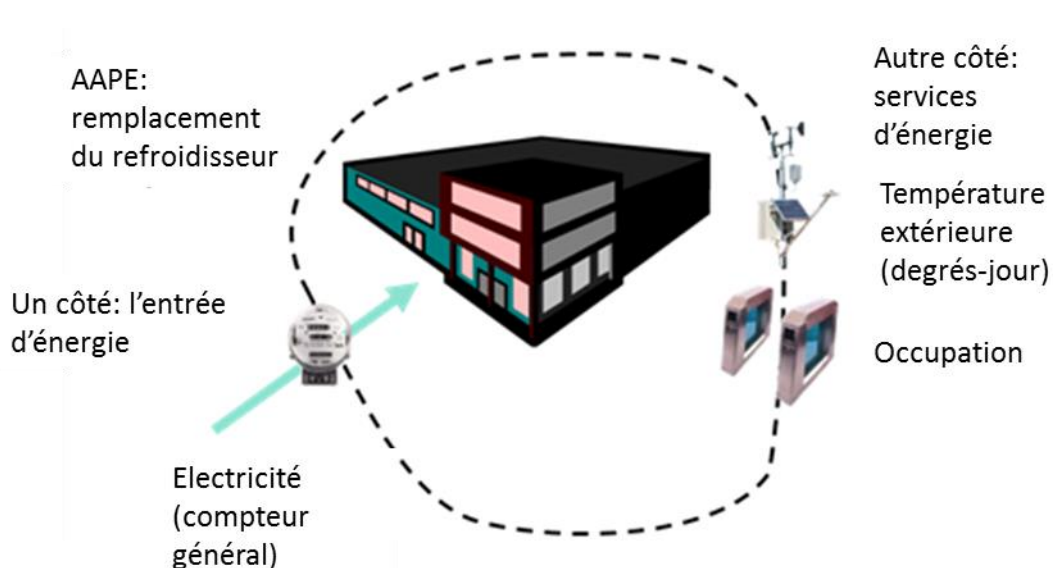
Dans l'exemple du groupe froid, la tour de refroidissement participe au processus de conversion de l'énergie (de l'électricité en eau froide) car l'efficacité avec laquelle elle refroidit l'eau de condensation affecte la performance du refroidisseur, tout comme le refroidissement du réfrigérant. Par exemple, une perte de capacité de refroidissement de la tour affectera la condensation du réfrigérant et le fonctionnement du refroidisseur. Ce qui est en dehors du périmètre de mesure est l'énergie dépensée par la tour dans les ventilateurs et les pompes de circulation, dans la mesure où seule l'électricité fournie aux compresseurs du groupe froid est mesurée.

Si nous pensons en termes de flux d'énergie et les voies prises pour transformer l'énergie en services, nous avons une considération complète du périmètre, c'est-à-dire les variables indépendantes, les facteurs statiques et les effets interactifs. Regardons quelques exemples plus en détail.

### 3. Autres exemples

#### 3.1 Refroidisseur dans un centre commercial

**Figure 2: Approche 1 : option C – Site entier**





Financé par

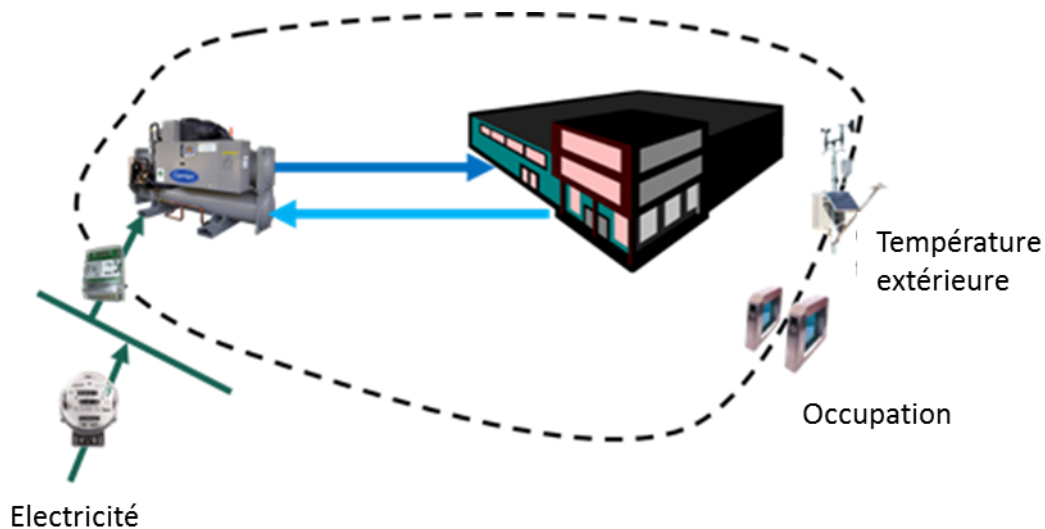


Revenons à l'exemple du groupe froid, maintenant installé dans une installation spécifique (un centre commercial). Étant donné que la climatisation représente une part importante de la consommation d'électricité et que le remplacement du groupe froid génère d'importantes économies d'énergie, une possibilité serait d'utiliser le compteur d'alimentation en électricité du centre commercial (qui alimente les zones communes) - Option C. Supposons que les variables indépendantes sont la température extérieure (mesurée en degrés-jour à l'aide de données provenant d'une station météorologique proche) et l'occupation du centre commercial (en jours-personnes, mesurée par l'exploitant du centre commercial).

Les mesures de consommation d'électricité sont effectuées mensuellement par le fournisseur d'électricité. Le périmètre de mesure, dans ce cas, a un côté défini par le compteur d'énergie du fournisseur d'électricité et un autre par le site entier, puisque tout changement dans la structure du centre commercial (changement du nombre de magasins, changement d'utilisation dans les magasins, etc..) se reflète dans les modifications de la charge thermique et de la consommation d'énergie du refroidisseur.

Dans cette configuration, les facteurs statiques incluent tout ce qui se passe à l'intérieur du centre commercial qui impacte la consommation d'énergie, à l'exception de la température extérieure et de l'occupation. Par exemple, l'éclairage dans les zones communes est un facteur statique et, s'il est modifié, nécessite un Ajustement de la Base de Référence (ABR). Toute modification de la consommation d'électricité d'un magasin modifie la charge thermique et nécessite également un ABR. Il est donc nécessaire de surveiller en permanence tout ce qui se passe dans le système électrique de la zone commune et dans le système thermique de tout le centre commercial (ce qui peut poser problème). L'un des grands avantages de cette option est que la base de référence (par exemple, la consommation d'électricité des 12 derniers mois, la température/les degrés-jours et l'occupation) sera probablement disponible.

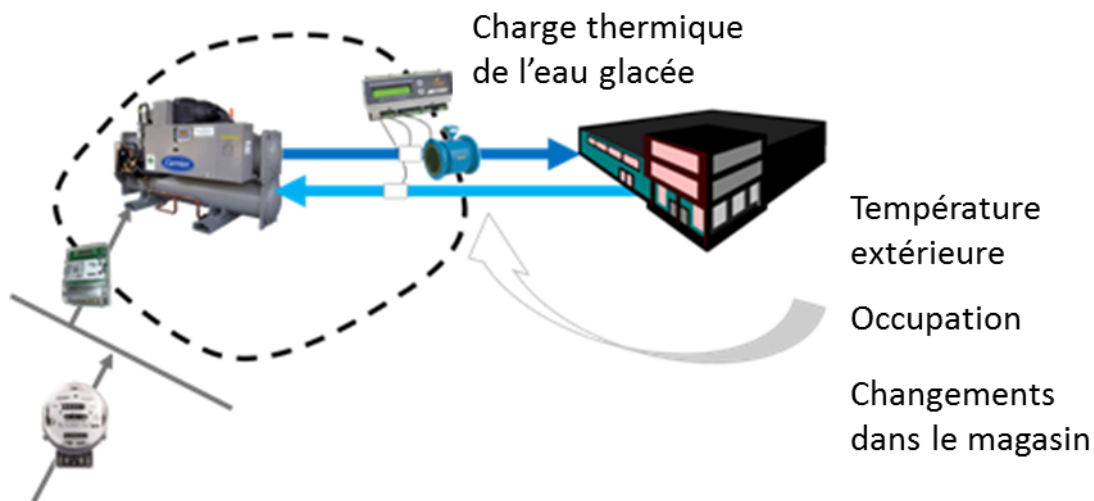
**Figure 3: Approche 2 : option A ou B – Isolement de la rénovation**



Si une grande quantité d'ABR est nécessaire, une solution peut consister à placer un compteur d'électricité sur l'alimentation du groupe froid et à utiliser les options A ou B. Les variables indépendantes restent la température extérieure et l'occupation, car elles affectent de manière significative la consommation du groupe froid. La différence est que le système électrique des zones communes n'est plus un facteur statique, car il affecte le compteur d'électricité du site dans son ensemble, mais pas celui du groupe froid.

L'inconvénient majeur est que si le compteur est installé à cause de l'APE, vous devez mesurer toute la période de référence. L'IPMVP appelle à un cycle complet des conditions d'utilisation, c'est-à-dire qu'il doit couvrir l'ensemble du spectre de la température extérieure et de l'occupation, ce qui peut prendre beaucoup de temps et retarder la mise en œuvre de l'APE.

**Figure 4: Approche 3 : option A ou B – Isolement de l'AAPE avec mesures de la charge thermique**



Si les facteurs statiques sont difficiles à suivre et nécessitent de nombreux ABR, on peut mesurer une variable intermédiaire définissant le service énergétique, à savoir la charge thermique de l'eau glacée.

La variable indépendante est maintenant la charge thermique elle-même. Des mesures quotidiennes ou plus fréquentes peuvent être utilisées. La variation de la température extérieure et de l'occupation se reflète dans la charge thermique et n'aura pas besoin d'être mesurée.

De plus, les changements dans l'utilisation ou la taille (c'est-à-dire le nombre de magasins) du centre commercial se reflètent dans la charge thermique de l'eau glacée et ne représentent pas un facteur statique. Cette solution est assez intéressante comme mesure de l'amélioration dans le rendement de conversion de l'AAPE elle-même, mais elle a un coût de mesure élevé. De plus, elle ne corrèle pas la consommation avec les conditions d'utilisation auxquelles les propriétaires de centres commerciaux font généralement référence, telles que la température externe et l'occupation. Il est également nécessaire de mesurer la base de référence avant d'exécuter l'AAPE. Il s'agit également d'une option B (ou A) de l'IPMVP, car ce qui définit le périmètre de mesure de l'énergie ne concerne que l'AAPE et non le site entier.



**Tableau 1 : Avantages et désavantages des trois approches de M&V dans l'exemple du groupe froid**

Approche	Avantages	Désavantages
<b>1 - Site entier</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Base de référence existe déjà</li> <li>▪ Pas besoin de compteurs additionnels</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Beaucoup de facteurs statiques, comme: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Autres utilisations de l'électricité fournie à l'installation</li> <li>○ Utilisation des magasins</li> </ul> </li> </ul>
<b>2 - Isolement de l'AAPE, variables indépendantes indirectes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Un seul compteur supplémentaire nécessaire</li> <li>▪ Fournit des informations sur le fonctionnement du refroidisseur</li> <li>▪ Autres utilisations de l'électricité fournie à l'installation ne sont plus des facteurs statiques</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Besoin de temps pour mesurer la base de référence</li> <li>▪ Toujours besoin de considérer certains facteurs statiques, comme: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Changement de la charge thermique des magasins</li> </ul> </li> </ul>
<b>3 - Isolement de l'AAPE, variables indépendantes directes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Peu de facteurs statiques</li> <li>▪ Fournit des informations sur le fonctionnement du groupe froid (utile pour des approches de type Monitoring &amp; Ciblage)</li> <li>▪ Autres utilisations de l'électricité fournie à l'installation ne sont plus des facteurs statiques</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Besoin de temps pour mesurer la base de référence</li> <li>▪ Coût important de la mesure</li> </ul>

L'approche 1 a un coût de mesure faible, mais de nombreux facteurs statiques doivent être surveillés. Un autre avantage est que la variation en efficacité dépend directement de variables déjà comprises par le propriétaire du site : la température et l'occupation.

L'approche 2 constitue le juste milieu entre un périmètre large, lié à l'utilisation du centre commercial, et un périmètre étroit, lié à la performance du groupe froid. La mesure de l'énergie ne concerne que le groupe froid et la mesure des variables indépendantes provient du périmètre plus large du centre commercial.

L'approche 3 est axée sur les performances de l'équipement. Avec les compteurs installés, elle peut être utilisée pour suivre et optimiser les performances du groupe froid via, par exemple, des approches de M & C (Monitoring et Ciblage), à l'aide de techniques CUSUM (somme cumulative). Son coût de mesure est élevé, mais il n'est pas nécessaire de surveiller les conditions dans le centre commercial, ce qui peut être un avantage dans les environnements en mutation.

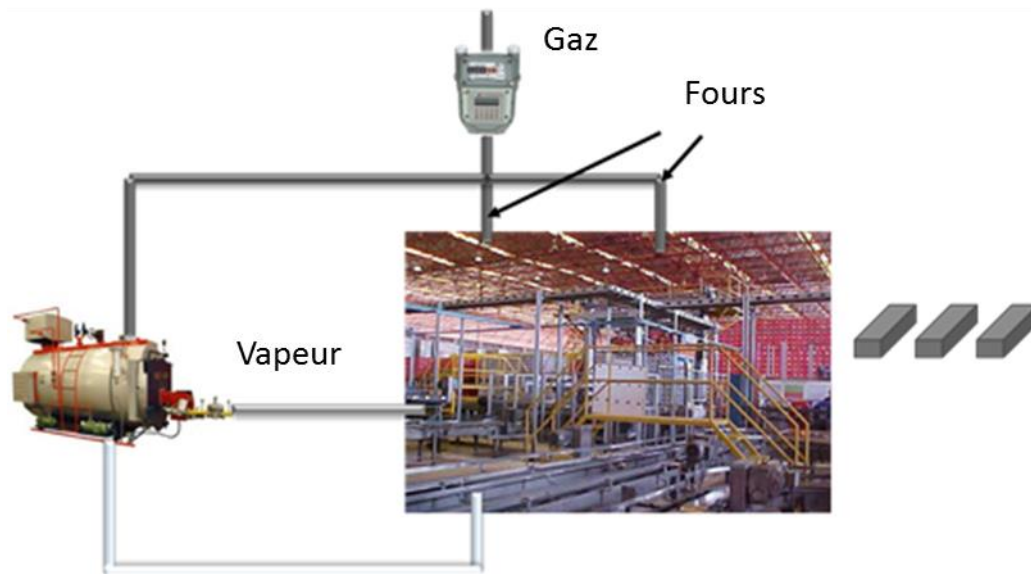
### 3.2 Chaudière à vapeur

Prenons un exemple de M&V où l'AAPE est le remplacement ou l'amélioration d'une chaudière à gaz qui fournit de la vapeur à une installation industrielle, qui peut être une fabrication de boissons, par exemple. Le gaz naturel est utilisé, en plus de



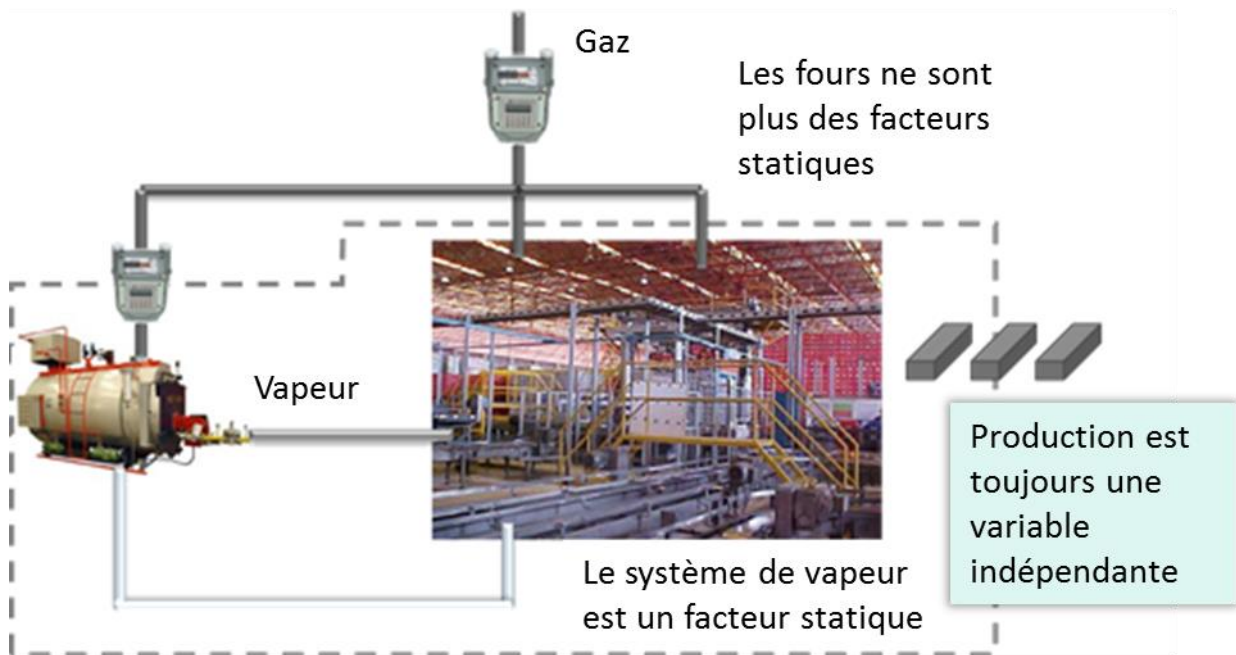
l'alimentation de la chaudière, dans certains fours de production. Une partie du condensat est réutilisée.

**Figure 5: AAPE de type amélioration/remplacement de la chaudière**



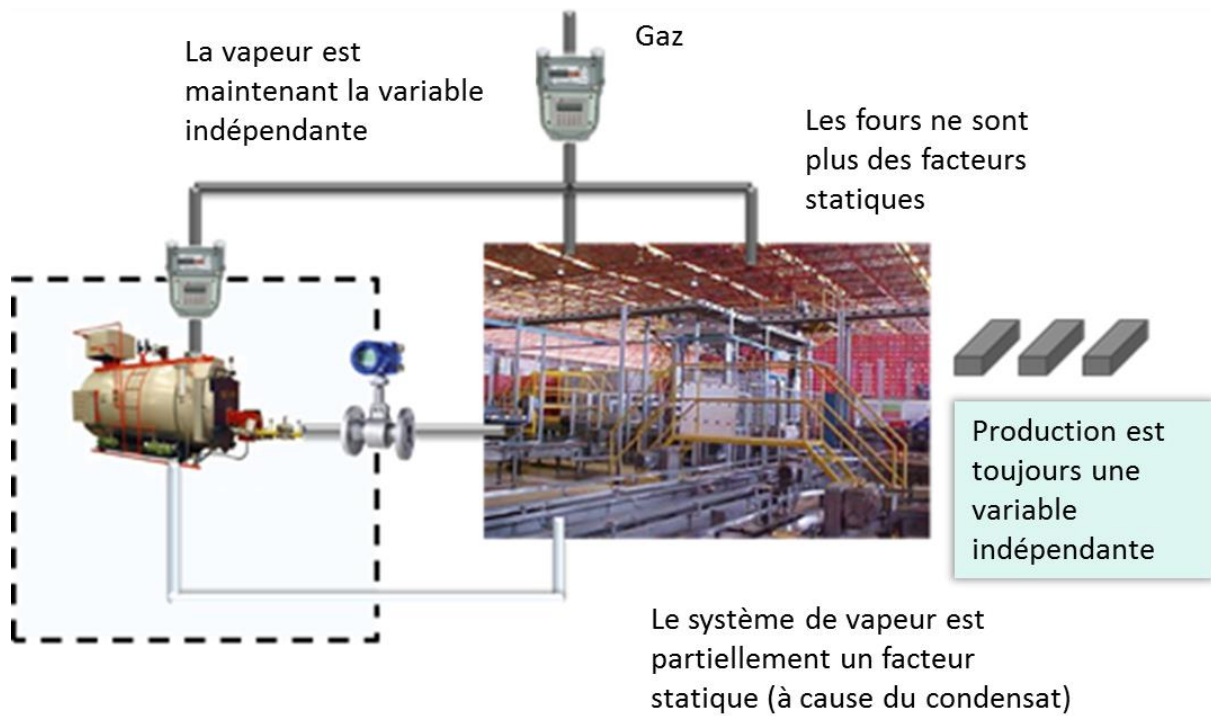
La première approche consisterait à utiliser les mesures du compteur de gaz du site, probablement en corrélation avec la production de l'usine, ce qui expliquerait l'essentiel de la variation de la consommation de gaz. Nous avons ici un très grand périmètre, à la fois pour l'énergie et les services énergétiques, qui englobe toute l'usine. Les fours seraient des facteurs statiques, car ils utilisent du gaz, en plus du système à vapeur. Cette approche est intéressante car la base de référence est prête, n'utilise pas de mesure supplémentaire et met en corrélation la consommation de gaz avec des variables qui sont importantes pour le propriétaire du site.

**Figure 6: Approche 2 pour l'amélioration de la chaudière**



Si les fours ne sont pas utilisés régulièrement, nécessitant de nombreux ABR, il est possible d'installer un compteur de gaz exclusivement sur l'alimentation en gaz de la chaudière, tout en corrélant la consommation de gaz avec la production de l'usine. Ici, la base de référence devrait être mesurée, en couvrant une plage de points représentatifs de la plage de variation de la production, afin d'avoir un bon modèle de la base de référence. Une fois que la base de référence est établie et que l'AAPE est mis en œuvre, l'option B de l'IPMVP est la plus appropriée car elle permettra également de surveiller et d'optimiser les performances de la chaudière. Les fours ne sont plus des facteurs statiques, car ils n'influencent pas le compteur de gaz de la chaudière et se situent en dehors du périmètre de mesure. Le système de vapeur reste un facteur statique : des modifications dans l'isolation des conduites de vapeur, des modifications des purgeurs de vapeur ou leur entretien, ainsi que la récupération du condensat peuvent modifier le ratio vapeur/production et donc nécessiter des ajustements de la base de référence.

**Figure 7: Approche 3 à l'amélioration de la chaudière**



La troisième option serait de mesurer la production de vapeur ainsi que la consommation de gaz. Le périmètre est restreint à l'équipement et à tout ce qui se passe dans l'usine et les changements dans l'utilisation de la vapeur seront déjà détectés par le compteur de vapeur. La production n'est plus une variable indépendante et les fours ne sont plus des facteurs statiques. Le système à vapeur est un facteur statique que s'il influe sur le retour du condensat. Par exemple, s'il n'y avait pas de retour de condensat au cours de la période de référence et que la récupération de condensat était installée au cours de la période de référence, le retour du condensat permettrait de réaliser des économies supplémentaires et un ABR devrait alors être réalisé. Ici, le concept de flux d'énergie permettant de définir le périmètre de mesure est clair - le retour du condensat est au sein du périmètre car il impacte l'efficacité de la chaudière. C'est une option très utile pour la surveillance et l'optimisation des performances de la chaudière, mais son coût de mesure est élevé.

[FIN DE LA PARTIE I. - LA PARTIE II SERA PUBLIÉE DANS LE NUMÉRO DE DÉCEMBRE 2018 DE M&V FOCUS]



Financé par



## REFERENCES

EVO – Efficiency Valuation Organisation. Core Concepts, International Performance Measurement and Verification Protocol, 2016.

GERBI – Greenhouse gas Emissions Reduction in Brazilian Industry. M&V Case Study: Heat Recovery in a Furnace, power point presentation, Rio de Janeiro, 2003. Based on a problem initially proposed by John Cowan

(\* ) Agenor Garcia est un consultant en efficacité énergétique et M&V basé au Brésil, directeur technique de CTC Experts. Agenor est membre du comité de formation étendue d'EVO et un instructeur accrédité EVO L3.



(\*\*) Bruce Rowse est consultant auprès de 8020Green et est basé en Australie. Bruce est président du comité de formation étendue d'EVO et instructeur accrédité EVO L3.



Traduction réalisée par Nathan Lee et Paul Calberg-Ellen (CMVP, formateur IPMVP), Biomasse Normandie, dans le cadre d'une mission confiée par l'ADEME Normandie. Texte originale accessible à l'adresse :

<https://evo-world.org/en/news-media/m-v-focus/846-magazine-issue-3/1101-measurement-boundaries-theory-and-practice-part-i>