



FONDATION
BÂTIMENT
ÉNERGIE

Atelier

Mesure de la
performance
énergétique des
bâtiments

Mesure de la
Performance
Énergétique des
Bâtiments

Concepts • Termes clés • Glossaires



Synthèse des travaux de l'atelier de
recherche méthodologique appliquée à
la mesure de la performance énergétique
des bâtiments tertiaires et des bâtiments
collectifs résidentiels neufs ou faisant
l'objet de rénovations globales

Fondation créée à l'initiative de l'ADEME et du CSTB.

Soutenue par :



Sommaire

1. La MPEB, un outil pour atteindre la performance énergétique	3
1.1 La MPEB, une dynamique engagée	4
1.2 La MPEB, une boussole pour guider vers la performance	5
1.3 La MPEB, un outil pour répondre aux besoins des acteurs de la filière	5
2. La MPEB, de quoi s'agit-il, quelles solutions existent ?	7
2.1 Les facteurs d'influence de la performance énergétique	7
2.2 La MPEB, les solutions à l'échelle du bâtiment	7
2.2.1 Les définitions	7
2.2.2 Les méthodes	9
2.3 La MPEB, les solutions à l'échelle des sous-ensembles, bâti et systèmes	12
2.3.1 Les définitions	12
2.3.2 Les méthodes	12
2.4 L'incertitude sur la MPEB, pour une prise de décision éclairée	15
3. La MPEB, comment mettre en œuvre les solutions?	16
4. La MPEB, quels coûts pour quels bénéfices ?	18
4.1 Les coûts	18
4.2 Les bénéfices	19
5. Conclusions et perspectives	20
6. ANNEXE : Présentation de l'atelier FBE MPEB	21
7. ANNEXE : Quelle articulation avec les principes fondamentaux de l'IPMVP ?	22

Mesure de la
Performance
Énergétique des
Bâtiments

Synthèse des travaux de l'atelier

Recherche méthodologique appliquée à la mesure de la performance énergétique des bâtiments tertiaires et des bâtiments collectifs résidentiels neufs ou faisant l'objet de rénovations globales

Rédaction : Paul CALBERG-ELLEN / ARBN, Constance LANCELLE / Cerema et Stéphanie DEROUINEAU / CSTB.
Nos remerciements aux groupes recherche et utilisateurs de l'atelier FBE MPEB pour leur relecture.

1. LA MPEB, UN OUTIL POUR ATTEINDRE LA PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE

Bien identifiée dès les années 70, la nécessité de limiter la consommation d'énergie des bâtiments s'est traduite dans les réglementations thermiques successives, ciblant d'abord les logements (RT1974), puis les bâtiments tertiaires (RT2000). Les mises à jour successives des textes ont permis d'affiner les hypothèses et les calculs, élargissant les postes pris en compte, et de renforcer les exigences pour tendre aujourd'hui avec la RE2020 vers une prise en compte non seulement de la consommation mais plus largement de l'impact environnemental des bâtiments. L'approche réglementaire passe par un ensemble de calculs, de conventions et d'hypothèses pour rester dans une approche à la conception mais elle a permis de **diminuer largement la consommation des nouvelles générations de bâtiment**¹.

Cependant, même si globalement les consommations des bâtiments ont tendance à diminuer avec le niveau d'exigence, de nombreux retours d'expériences accumulés ces dernières années montrent **des écarts entre la performance énergétique attendue et la performance énergétique réelle mesurée**. Ainsi, le suivi approfondi de 166 bâtiments dans le cadre du programme PREBAT a permis de mettre en évidence des écarts de 2 à 70% entre les consommations mesurées et attendues, le plus souvent la consommation mesurée étant supérieure à la consommation attendue.

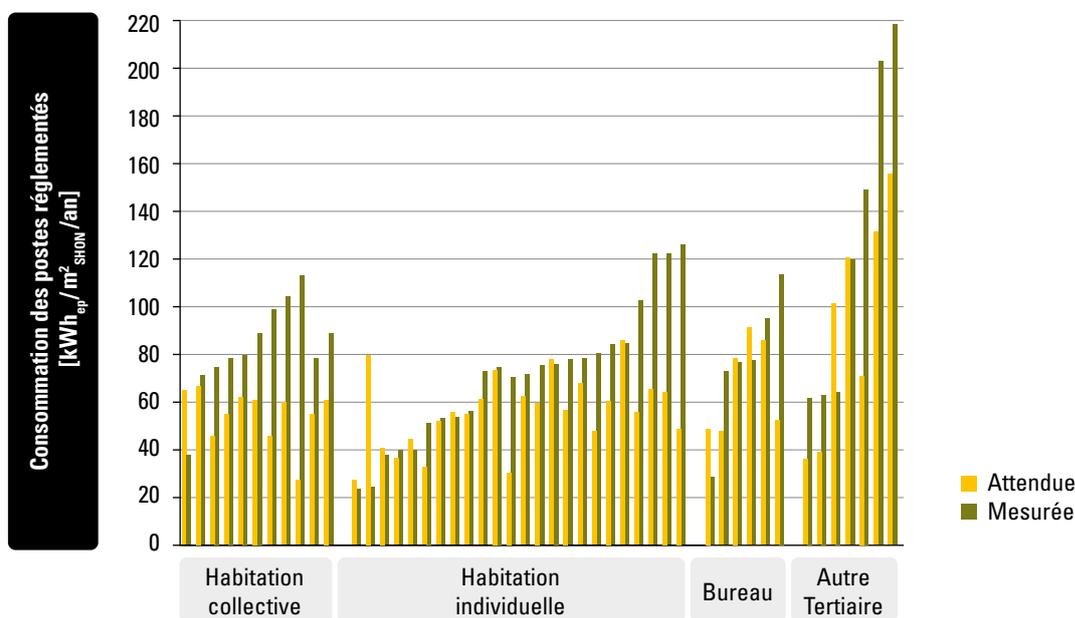


Figure 1 : Illustration des écarts entre performance attendue et performance mesurée (comparaison sur les 5 postes de consommation règlementés). Dans de très nombreux cas, performance attendue et performance mesurée présentent des écarts significatifs.

Pourquoi de tels écarts ? Un ensemble de facteurs est en cause et ceux-ci interviennent aux différentes étapes du cycle de vie du bâtiment pour des raisons à la fois économiques, techniques ou bien encore humaines. Il ne s'agit pas ici d'en faire une liste exhaustive, mais l'on peut notamment évoquer :

- En phase de conception :
 - Le fonctionnement réel ne correspondant pas aux hypothèses (occupation/météo/etc.) utilisées dans les calculs prévisionnels,
 - Les incertitudes inhérentes aux moteurs de calcul utilisés et à la saisie des informations (erreurs ou défauts de compétence),
- En phase de réalisation :
 - Les écarts dans le choix des produits et de leurs performances,
 - Les défauts dans la mise en œuvre du bâti et des systèmes (mode de transport, de stockage et de mise en œuvre des produits),
- En phase d'exploitation : les écarts liés à la qualité de la gestion maintenance des équipements techniques ainsi qu'au comportement des occupants.

La Mesure de Performance Énergétique des Bâtiment (MPEB) apparaît comme un passage nécessaire pour mieux connaître, comprendre et interpréter les consommations énergétiques des bâtiments ainsi que la qualité des enveloppes et des performances des équipements. Elle offre notamment la possibilité de :

- Crédibiliser les exigences théoriques annoncées en matière de performance énergétique à l'échelle du bâtiment,
- Montrer que les bâtiments fonctionnent bien, en particulier qu'ils répondent aux objectifs de performance énergétique et de réduction des coûts en apportant un confort accru à l'utilisateur,
- Rassurer les maîtres d'ouvrage sur les performances techniques et économiques des équipements et sur les capacités des entreprises à les mettre en œuvre puis à en assurer la maintenance et l'efficacité dans le temps,
- Valoriser la qualité de prestation des professionnels impliqués dans l'acte de concevoir, construire et exploiter les bâtiments,
- Accompagner la montée en compétence de la profession en améliorant les connaissances sur ce qui permet effectivement d'améliorer les performances réelles.

1.1 La MPEB, une dynamique engagée

Un mouvement de fond est engagé sur ce sujet depuis environ quinze ans et connaît une forte accélération ces dernières années. Ce mouvement s'est notamment traduit dans le cadre des Contrats de Performance Énergétique et par de premières mesures portées dans les réglementations et labels. Pour illustration sur le volet réglementaire, la RT2012 a imposé la généralisation de la mesure de la perméabilité à l'air pour les logements et le dispositif Eco-Energie tertiaire impose une réduction progressive de la consommation d'énergie dans les bâtiments à usage tertiaire en s'appuyant sur des mesures de consommations énergétiques. La norme ISO50001 contribue elle aussi à accompagner le changement progressif de culture d'objectifs de moyens à des objectifs de résultats sur les performances énergétiques des bâtiments.

La « mesure » dans le bâtiment est par conséquent en pleine mutation pour s'adapter aux nouveaux enjeux de mesure et de vérification de la performance énergétique réelle, mais aussi prendre en compte un ensemble de considérations nouvelles telles que le progrès du traitement numérique. D'une manière générique, la MPEB apporte en effet des solutions basées sur un moyen de mesure couplé à un moyen d'analyse et de traitement de données. Les outils de traitement des données mesurées, qu'ils soient du domaine du calcul scientifique, de la statistique ou de la simulation physique des bâtiments, effectuent des opérations sur des bases de données importantes alimentées par les différents capteurs et compteurs du bâtiment. Des outils aussi simples, mais performants, que des tableurs, ou aussi pointus que des simulations énergétiques dynamiques, décuplent ainsi les possibilités d'interprétation de la mesure, en permettant ajustement, mise en perspective, présentation graphique et autres opérations pour exploiter « la substantifique moelle » des informations mesurées.

La transformation digitale et plus largement la transition numérique dans le bâtiment facilitent l'accès à ces nouvelles techniques et offrent de nouvelles perspectives pour la mobilisation opérationnelle de la MPEB par les acteurs de la filière bâtiment.

1.2 La MPEB, une boussole pour guider vers la performance

La simple donnée d'une information sur la consommation au compteur² d'un bâtiment est souvent peu pertinente en elle-même pour qualifier la performance. Une fois associée à un ensemble d'indicateurs, souvent sous forme de ratios, même décomposée par poste, les gestionnaires d'énergie, pourtant spécialisés dans le suivi de la performance d'un bâtiment, peuvent se retrouver démunis face à des tableaux de bord dignes d'un cockpit d'avion, parce qu'il n'aura pas été mené d'analyse préalable visant à définir les bons indicateurs. Qu'en est-il alors des maîtres d'ouvrage ou autres décisionnaires face à cette complexité ?

La MPEB permet de **donner du sens à la mesure et des clés de compréhension de la consommation d'un bâtiment. La MPEB peut dès lors être vue comme une boîte à outils dans laquelle il est possible de venir choisir selon ses besoins.** C'est dans ce contexte que les solutions de MPEB se développent et constituent **un repère, une boussole, pour guider les utilisateurs vers la performance attendue.**

Ajoutons que les différentes solutions de MPEB disponibles permettent de traiter une large variété de situations, qu'il s'agisse de démontrer la performance énergétique à l'échelle du bâtiment, sur des consommations liées au climat, ou à l'usage, ou à tout autre facteur, ou bien à l'échelle de sous-systèmes du bâtiment (enveloppe, systèmes de production, ventilation, etc.).

1.3 La MPEB, un outil pour répondre aux besoins des acteurs de la filière

Un certain nombre d'acteurs se sont d'ores et déjà emparés de la mesure pour vérifier et s'assurer de l'atteinte des performances. Cependant, **les pratiques de mise en œuvre de la MPEB demeurent encore très hétérogènes**, et ce dans un contexte où l'activité de R&D importante sur ces sujets offre aujourd'hui de nouvelles solutions à maturité pour accompagner la mesure in situ des performances énergétiques des bâtiments. L'atelier de la FBE sur la MPEB s'est par conséquent donné comme objectif d'offrir des repères aux futurs utilisateurs sur ces différentes approches afin d'accompagner le choix de la solution de MPEB la plus adaptée pour une configuration donnée.

La MPEB est en effet un moyen permettant de répondre à des besoins de tous les acteurs de l'acte de construire/rénover. Via un travail collectif et concerté, 10 besoins types ont été recensés pour lesquels la MPEB est à ce jour en capacité d'apporter des réponses. Sans prétendre à l'exhaustivité, cette liste permet d'illustrer les différents apports de la MPEB aux différentes étapes du cycle de vie et pour l'ensemble des parties prenantes de la performance énergétique.



Réglementation, labels, certification ou financements

Connaître les obligations de MPEB dans chacune des situations (réglementation dans le neuf et la rénovation, labels HQE BREEAM, certifications Effinergie ou encore demande de financements) et obtenir des solutions pour aller plus loin.

ENTREPRISE DE LA CONSTRUCTION, EXPLOITANT, MAÎTRE D'ŒUVRE, MAÎTRE D'OUVRAGE



Autocontrôle en phase chantier et réception

Assurer un autocontrôle de la bonne atteinte des performances (enveloppe, systèmes) du bâtiment, dans le cadre d'une démarche qualité interne.

ENTREPRISE DE LA CONSTRUCTION



Validation de la performance à la livraison

Démontrer la bonne atteinte des performances (enveloppe, systèmes) du bâtiment.

ENTREPRISE DE LA CONSTRUCTION, MAÎTRE D'ŒUVRE, MAÎTRE D'OUVRAGE



Vérification de la performance en exploitation

Faire du suivi d'exploitation dans le cadre d'une GPE ou hors GPE.

EXPLOITANT, MAÎTRE D'ŒUVRE, MAÎTRE D'OUVRAGE



Diagnostic de dysfonctionnements en exploitation

À la réalisation ou pendant la durée de vie d'un bâtiment, détecter ou diagnostiquer des dysfonctionnements qui pourraient apparaître et passer inaperçus sans MPEB spécifique engendrant surconsommation, inconfort, dégradations...

ENTREPRISE DE LA CONSTRUCTION, EXPLOITANT, MAÎTRE D'ŒUVRE, EXPLOITANT, MAÎTRES D'ŒUVRE OU D'OUVRAGE



Diagnostic de l'existant et fiabilisation des futurs travaux

Connaître l'état existant de son bâtiment afin de mieux en comprendre son fonctionnement et élaborer un plan de travaux de rénovation qui seront les plus efficaces.

ENTREPRISE DE LA CONSTRUCTION, EXPLOITANT ET MAÎTRE D'OUVRAGE



Optimisation de la performance au quotidien

Connaître le fonctionnement du bâtiment et pouvoir détecter rapidement des dérives ou dysfonctionnements afin de maintenir voire optimiser la performance du bâtiment.

ENTREPRISE DE LA CONSTRUCTION, EXPLOITANT



Suivi de la Garantie de Performance Énergétique

Dans le cadre d'une GPE/GRE, le suivi est contractuel. Des méthodes de suivi de la consommation globale vous sont proposées.

ENTREPRISE DE LA CONSTRUCTION, EXPLOITANT



Retour d'expérience

Pouvoir bénéficier d'un retour d'expérience avant de généraliser, notamment sur des technologies innovantes ou nouvelles.

ACTEURS CONNEXES, ENTREPRISE DE LA CONSTRUCTION, EXPLOITANT, MAÎTRE D'ŒUVRE, MAÎTRE D'OUVRAGE



Communication / donner confiance

Communiquer sur la bonne performance de ses bâtiments vis-à-vis de ses clients, locataires ou de ses partenaires (actionnaires, pouvoirs publics, etc.).

ENTREPRISE DE LA CONSTRUCTION, EXPLOITANT, MAÎTRES D'ŒUVRE OU D'OUVRAGE

2. LA MPEB, DE QUOI S'AGIT-IL, QUELLES SOLUTIONS EXISTENT ?

2.1 Les facteurs d'influence de la performance énergétique

Les paramètres impactant significativement la performance énergétique des bâtiments sont appelés « facteurs d'influence ». La détermination des facteurs d'influence est nécessaire pour cadrer la Mesure de la Performance Énergétique du Bâtiment et identifier les paramètres prioritaires à suivre par la mesure sur l'ensemble du cycle de vie du bâtiment.

Ces facteurs d'influence sont relatifs à quatre groupes principaux : le bâti, les systèmes, les utilisateurs (occupants et exploitants) et les conditions extérieures.

Un travail spécifique a été mené dans le cadre de l'atelier FBE MPEB afin de permettre d'identifier ces paramètres clés à prendre en compte dans une démarche de MPEB.

L'identification des facteurs les plus influents est propre à chaque bâtiment et il est difficile de généraliser avec certitude. Cependant afin d'identifier pour chaque opération les paramètres les plus influents à suivre, vérifier et/ou mesurer, les travaux de l'atelier [1] ont permis de proposer :

- une cartographie des paramètres influents pour le logement et pour les immeubles de bureau sur la base de nombreux retours d'expérience terrain des défauts et non-performances récurrents constatés,
- un cadre méthodologique opérationnel pour mener des analyses de sensibilités pertinentes. En particulier, des recommandations concrètes sont données pour qualifier en entrée des incertitudes réalistes sur les différents paramètres.

Ces travaux ont fait l'objet de deux synthèses, l'une s'adressant spécifiquement aux maîtres d'ouvrage et l'autre aux bureaux d'études [2] [3].

2.2 La MPEB, les solutions à l'échelle du bâtiment

2.2.1 Les définitions

Dans les approches de MPEB, la consommation d'énergie et la mesure sont centrales. **Il s'agit de caractériser la performance du bâtiment en termes de consommation d'énergie, en s'appuyant sur des mesures.**

Si la détermination de la performance énergétique doit s'appuyer sur des mesures, elle nécessite également, en règle générale, la réalisation d'une ou plusieurs étapes de calcul.

En effet la notion de performance emporte de facto avec elle la notion de comparaison. On juge ainsi de la performance en se comparant à d'autres bâtiments du même type, ou en se comparant au même bâtiment mais sur les années précédentes, etc. Or la consommation d'énergie est généralement affectée par les variations d'un ensemble important de paramètres (occupation, météo, réglage de la température intérieure, etc.), dont on souhaiterait pour certains « neutraliser » l'impact. Le choix des paramètres à neutraliser dépend par ailleurs du contexte du projet. **La performance énergétique aura ainsi vocation à représenter la consommation d'énergie dans des conditions données, choisies pour le projet** [4].

Dans l'exemple illustré ci-dessous, la météo, l'occupation et la température intérieure de réglage du chauffage ne sont pas les mêmes dans la situation mesurée que dans les conditions données choisies pour ce projet. Pour former un Indicateur de Performance Énergétique (IPE), grandeur qui quantifiera la performance globale du bâtiment, on utilisera un calcul permettant de neutraliser l'impact des variations de ces grandeurs.

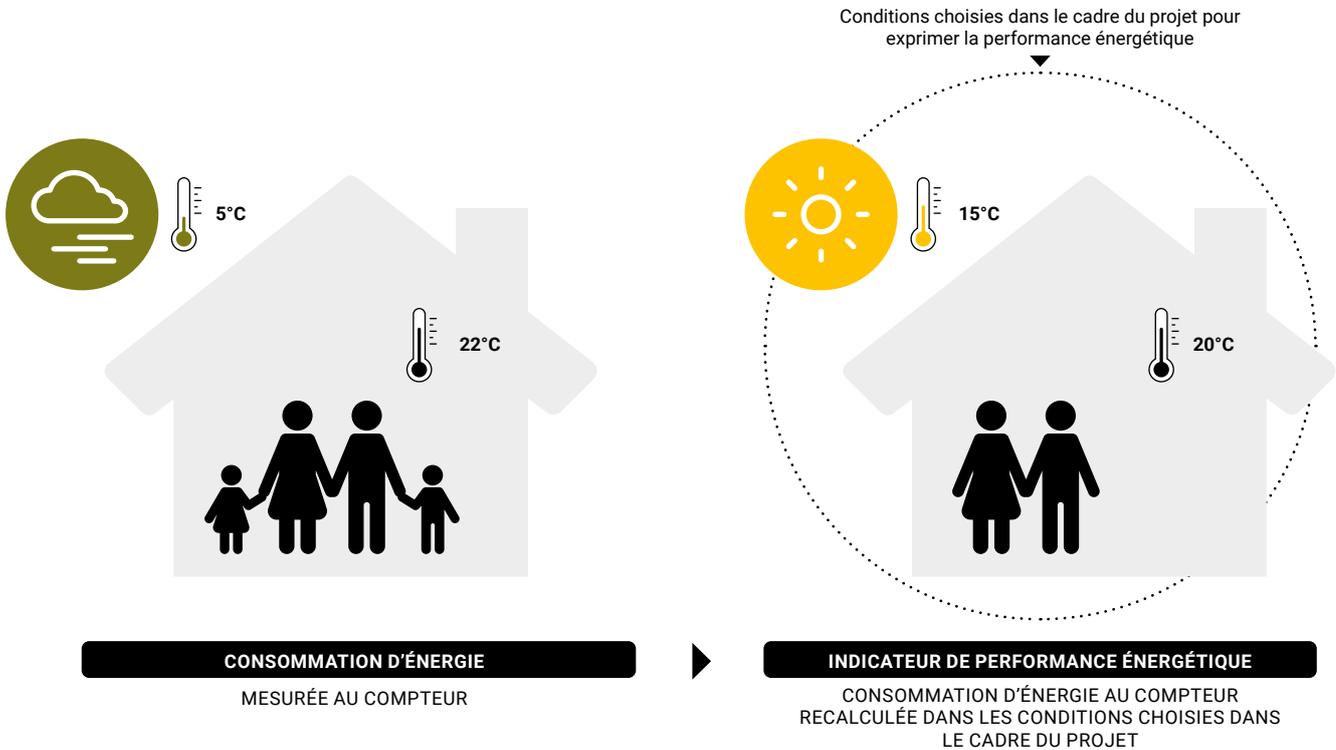


Figure 2 : Illustration des conditions données et du calcul de l'indicateur de performance énergétique (IPE). L'IPE est une consommation d'énergie, recalculée dans les conditions choisies dans le cadre du projet.

Les calculs des consommations d'énergie dans les conditions données choisies dans le cadre du projet sont appelés des opérations d'ajustement. **L'ajustement a vocation à estimer ce que le bâtiment aurait consommé dans les conditions données choisies pour le projet.**

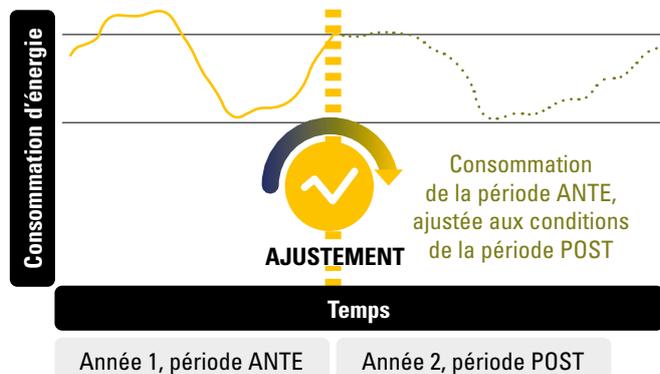


Figure 3 : Illustration d'une opération d'ajustement à la suite d'une action d'amélioration de la performance énergétique, dans le cas où les conditions données choisies pour le projet sont celles de la période POST. L'IPE correspond ici à la consommation de la période ANTE, ajustée aux conditions de la période POST.

Les opérations d'ajustement sont pratiquées très couramment depuis plusieurs dizaines d'années dans le cadre des marchés d'exploitation de chauffage, sous la forme de « règle de 3 » sur les DJU³ (Degré Jour Unifié) qui traduisent la rigueur climatique. On choisit généralement une année de référence qui va être caractérisée par son nombre de DJU qui sert de référence contractuelle (NB). Pour chaque année, la consommation d'énergie (NC) est mesurée au compteur et cette année est caractérisée par ses propres DJU (N'B). La mesure de consommation est alors ajustée, c'est-à-dire que l'on détermine quelle aurait été la consommation d'énergie dans les conditions de rigueur climatiques fixées comme référence contractuelle (N'C). Ainsi, via la règle de 3 pratiquée couramment, pour un bâtiment qui consomme sur une année donnée 100 MWh dans des conditions de rigueur climatique de 2200 DJU, la consommation d'énergie ajustée (N'C) vaut 109 MWh⁴ pour un DJU contractuel fixé à 2400 DJU.

Les travaux de l'atelier ont cependant permis de mettre en lumière que **des précautions doivent être prises lors de la détermination des opérations d'ajustement** (figure 4). En effet, réaliser un ajustement correspond au fait de créer un « modèle » du comportement du bâtiment qui permet par le calcul de se placer dans des conditions différentes de celles réellement rencontrées. Ce modèle peut être aussi simple que la règle de 3 évoquée précédemment, mais doit nécessairement traduire suffisamment fidèlement le comportement du bâtiment pour ne pas conduire à des résultats erronés. L'enjeu d'identifier un bon modèle est de taille. Un modèle utilisé à mauvais escient peut conduire à des résultats erronés pouvant aller dans le sens d'une augmentation ou d'une diminution des économies calculées.

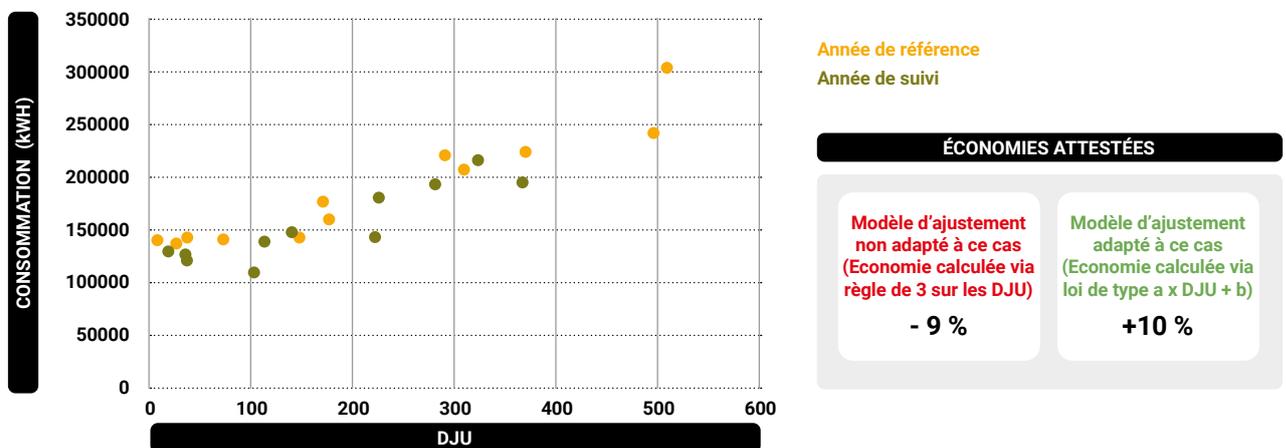


Figure 4 : Dans cet exemple, les erreurs résultant de l'application d'un modèle d'ajustement non adapté peuvent être aussi importantes que de passer, sur un cas donné, d'une économie calculée de - 9 % (surconsommation), avec une règle de 3 utilisée à mauvais escient, à une économie calculée de +10 % avec un modèle représentant fidèlement le comportement du bâtiment.

2.2.2 Les méthodes

Plus généralement, les calculs d'ajustement peuvent être réalisés à l'aide de 3 types de modélisation :

- **Modélisation statistique : ce type de modélisation est largement répandu, en particulier dans le cadre de la mise en œuvre des contrats de performance énergétique.** Le modèle d'ajustement est un modèle issu d'une analyse statistique de données du bâtiment (consommation, occupation, DJU, etc.). Le modèle peut dans certains cas être aussi simple qu'une régression linéaire ou une règle de 3 comme illustré précédemment. Le modèle peut aussi être plus complexe en faisant appel à des techniques de type « machine learning ». Dans tous les cas, il est impératif de démontrer que le modèle utilisé, pour un bâtiment donné, est suffisamment représentatif du fonctionnement du bâtiment, afin d'éviter les pièges évoqués dans le paragraphe précédent. Des bonnes pratiques existent (IPMVP, ISO 50015, FD X 30-148, notamment), mais elles restent insuffisamment connues et sont aujourd'hui maîtrisées par un nombre relativement restreint d'acteurs, principalement ceux impliqués dans des CPE. Point d'attention important, ce type de modélisation ne permet la réalisation d'ajustement que sur certains paramètres (appelées variables indépendantes), et il est par ailleurs nécessaire de disposer de données « historiques » (une année de données disponible typiquement) [5].

3 DJU : Degrés Jour Unifiés. Mesure de la rigueur climatique utilisé depuis les années 1950 dans le domaine du bâtiment, avec une température de base de 18°. $\text{DJU} = \sum (18 - \text{Text})$ pour $\text{Text} < 18$ [Cette formule est dite « météo ». Une formule « climaticien », légèrement différente, est utilisée également, notamment dans les données publiées par le COSTIC]

4 On considère dans la majorité des cas que $N'C = NC \times N'B / NB$. $N'C = 100 \times 2400 / 2200 = 109 \text{ MWh}$

Un module open source pour la modélisation statistique

Dans le cadre de l'atelier, un logiciel open source a été développé pour donner accès :

- *A des modèles simples d'ajustement statistique, associés à tous les indicateurs de qualité de référence et au calcul d'incertitude de modélisation ;*
- *A certaines fonctionnalités innovantes peu implémentées en France ou développées pendant l'atelier. Il s'agit en particulier d'un modèle d'ajustement statistique permettant d'obtenir de bons résultats à des pas de temps fins (inférieurs à la journée) même sans données d'occupation.*

Ce logiciel s'adresse à des techniciens, confrontés à la réalisation de calculs d'économie. Il permet à la fois à des personnes débutantes sur ces pratiques de tester l'utilisation de modèles simples d'ajustement, et à des personnes plus aguerries d'avoir accès à des modèles et des pratiques innovantes. Il est disponible sur www.batiment-energie.org

- Modélisation physique : le modèle d'ajustement est un modèle de Simulation Énergétique Dynamique (SED). L'utilisation de ce type de modèle implique des moyens et des compétences spécifiques. Mais elle permet la réalisation de calculs d'ajustement et ce même en l'absence de données historiques qui auraient permis de construire un modèle statistique. Elle est ainsi la solution à privilégier pour traiter le cas des bâtiments neufs. Elle offre par ailleurs l'avantage de pouvoir réaliser des ajustements sur tous les paramètres présents dans la simulation (plusieurs centaines). **Les opérations faisant appel aux modélisations physiques restent encore actuellement peu nombreuses, mais le recours à ces techniques a largement crû ces 5 dernières années.** Cependant il n'existe pas jusqu'à présent de processus standardisé/partagé d'utilisation, mis en œuvre sur le terrain en France, même si l'IPMVP propose des éléments de bonnes pratiques à travers son « option D ». L'atelier a proposé des pistes de solution à ces difficultés d'utilisation rencontrées sur le terrain, à travers un guide de bonnes pratiques [6].

Option D de l'IPMVP, le recours à la modélisation physique

L'option D de l'IPMVP propose des principes d'ajustement associés à la modélisation physique. Il semble que la plupart des CPE « option D » existants aujourd'hui n'appliquent que partiellement le processus proposé par l'IPMVP, en particulier parce que l'étape de calage de la simulation est omise. Or une procédure de calage bien exécutée est le seul moyen de confirmer que le modèle de simulation traduit bien le comportement réel du bâtiment. En pratique la procédure de calage est très souvent omise car elle ne peut généralement avoir lieu au mieux qu'à la fin de la première année d'exploitation (dans le cas d'utilisation courant de l'option D, c'est-à-dire des bâtiments neufs ou des cas où l'on ne dispose pas de données sur le bâtiment avant travaux). Or, d'un point de vue contractuel notamment, cette situation est moins agréable à gérer qu'une situation où l'on connaît le modèle d'ajustement dès l'engagement. Mais en faisant ainsi, sur le terrain aujourd'hui, on sacrifie la justesse de l'analyse. Cette situation est assimilable à ce qui se passe lorsqu'on applique par défaut une règle de 3 pour ajuster les consommations d'énergie, sans avoir vérifié que cette règle traduisait suffisamment correctement le fonctionnement réel du bâtiment (voir plus haut). Dans certains cas, les résultats obtenus seront très éloignés de ceux qu'on aurait obtenus avec un modèle traduisant le comportement réel du bâtiment... Pour pallier ce problème, les recommandations développées dans le guide « Bonnes pratiques pour l'utilisation de la modélisation physique en MPEB » constituent une ressource à exploiter !

- Modélisation hybride : la modélisation hybride utilise une modélisation physique, qui doit être calée sur les données réelles, suivie d'une modélisation statistique. Au prix d'une complexité a priori un peu plus importante, la modélisation hybride permet de bénéficier de fonctionnalités intéressantes, avec notamment la possibilité d'obtenir une équation d'ajustement s'écrivant de manière simple (par exemple une régression linéaire à plusieurs variables), tout en bénéficiant de la capacité de la modélisation physique à pouvoir réaliser des ajustements sur n'importe quel paramètre. Des développements ont été réalisés ces 5 dernières années dans le milieu académique autour de ces approches et des acteurs s'en inspirent sur le terrain. Cependant sur le terrain on observe le même problème, pour les mêmes raisons, que pour la modélisation physique : les modélisations hybrides ne sont généralement pas calées. Cependant, considérant ses atouts, la modélisation hybride pour la MPEB pourrait dans les années à venir jouer un rôle important [7].

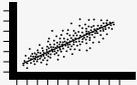
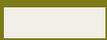
TYPE DE MODÉLISATION POUR L'AJUSTEMENT	STATISTIQUE	PHYSIQUE	HYBRIDE
	 <ul style="list-style-type: none"> • Relativement simple à mettre en œuvre • Équation d'ajustement généralement « lisible », facile à comprendre et à écrire dans un contrat • Largement utilisé à l'heure actuelle 	 <ul style="list-style-type: none"> • Permet de réaliser des ajustements sur n'importe quel paramètre • Offre la possibilité de réaliser un calcul de performance ou d'économie même en l'absence de données sur la période ANTE amélioration, et dans le neuf • Permet de réaliser facilement : analyse de sensibilité, propagation d'incertitudes, aide à la décision pour de nouvelles amélioration en phase exploitation, etc. 	 <ul style="list-style-type: none"> • Permet de réaliser des ajustements sur n'importe quel paramètre • Offre la possibilité de réaliser un calcul de performance ou d'économie même en l'absence de données sur la période ANTE amélioration, et dans le neuf • Permet de réaliser facilement : analyse de sensibilité, propagation d'incertitudes, aide à la décision pour de nouvelles amélioration en phase exploitation, etc. • Équation d'ajustement généralement « lisible », facile à comprendre et à écrire dans un contrat
	<ul style="list-style-type: none"> • Nécessite des données réelles concernant la consommation d'énergie ET les variables indépendantes sur la période ANTE amélioration • Nécessité de réaliser des « ajustements de base de référence », pour les facteurs qui n'ont pas pu être modélisés • Peut être envisagé pour des calculs de performance en l'absence de données ANTE et dans le neuf dans certains cas (ajustement POST-ANTE), mais délicat à manipuler 	<ul style="list-style-type: none"> • Nécessite des compétences spécifiques pour manipuler les logiciels de SED • Difficulté/lourdeur pour traduire le processus d'ajustement de manière contractuelle • Moins facile d'assurer la transparence du processus d'ajustement que via une équation d'ajustement 	<ul style="list-style-type: none"> • Nécessite des compétences spécifiques pour manipuler les logiciels de SED • Nécessite des compétences spécifiques/logiciels spécifiques pour générer des jeux de données permettant la réalisation de modélisations statistiques sur les jeux de données issus de la SED.
POINTS D'ATTENTION	<ul style="list-style-type: none"> • Nécessite de vérifier la qualité du modèle statistique 	<ul style="list-style-type: none"> • Nécessite de caler le modèle sur des données de mesure 	<ul style="list-style-type: none"> • Nécessite de caler le modèle physique sur des données de mesure • Nécessite de vérifier la qualité du modèle statistique

Tableau 1 : Synthèse des principaux points différenciant les 3 types de modélisation d'ajustement

Les travaux réalisés dans le cadre de l'atelier ont permis de réaliser des guides de bonne pratique pour l'utilisation des différentes méthodes d'ajustement. Ces guides se veulent être des compléments aux textes existants au niveau international (IPMVP, ISO50015), pour une mise en œuvre facilitée et efficace, sur le terrain [5][6][7].

A l'heure actuelle, les méthodes de MPEB à l'échelle du bâtiment sont principalement utilisées pour attester de l'atteinte d'un résultat attendu sur les consommations d'énergie et dans un grand nombre de cas, elles sont mobilisées dans le cadre de contrats d'engagement (CPE ou marchés d'exploitation avec intéressement). La valeur déterminée par la MPEB à l'issue de la période annuelle constitue alors un couperet : la performance est atteinte ou pas et amène au déclenchement d'éventuels pénalités ou intéressements.

Cette utilisation est en réalité restrictive car **les techniques de MPEB à l'échelle du bâtiment peuvent également servir de socle aux outils de suivi des consommations et de détection de dysfonctionnements ou de dérives.**



M&V : Ponctuel ou à intervalle régulier. Par exemple un an ou tous les ans après la livraison du bâtiment.



Suivi : Continu, détecte et corrige les dérives.

Dans cette optique, des analyses simples sont déjà largement mises en œuvre : vérification des régimes de fonctionnement, observation des tendances, etc. qui apportent des éléments qualitatifs. En complément, des techniques de traitement de données, permettant de quantifier les dérives, et de juger ainsi rapidement de leur criticité, existent également, et commencent à être utilisées⁵. Un état des lieux des techniques de suivi de la performance, couplé à des descriptions et des tests de ces techniques, a été réalisé dans le cadre de l'atelier [8][9].

⁵ Notons ici cependant qu'il faudra prêter attention au bon choix des techniques de suivi. En particulier il est important de souligner que les techniques de suivi de dérives sont différentes des techniques de validation de la performance, mais qu'une cohérence doit cependant idéalement exister, pour une meilleure efficacité, entre les approches de suivi de la performance et les approches de validation de la performance.

2.3 La MPEB,

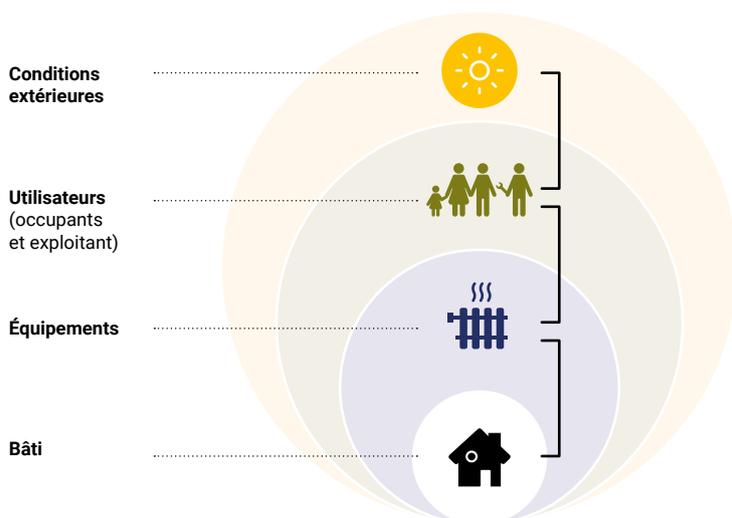
les solutions à l'échelle des sous-ensembles, bâti et systèmes

2.3.1 Les définitions

A l'échelle d'un sous-ensemble⁶ tel que l'enveloppe ou les équipements énergétiques, il n'est pas possible de définir une consommation : qu'est-ce que serait la consommation de l'enveloppe du bâtiment ? ou encore la consommation de la chaudière (uniquement) ? ou bien la consommation des émetteurs ?

Pour autant, tous ces sous-ensembles contribuent à la consommation d'énergie du bâtiment, et une consommation mesurée au compteur est nécessairement la résultante de l'interaction de plusieurs de ces sous-ensembles (Figure 6). Par exemple la consommation de gaz alimentant une chaudière est bien sûr liée aux performances de la chaudière elle-même, mais est aussi liée aux besoins du bâtiment et donc aux caractéristiques thermiques de l'enveloppe, au climat extérieur, aux occupants, au système de régulation, etc.

Des indicateurs de performance de sous-ensembles du bâtiment (bâti ou systèmes énergétiques) seront considérés comme des Indicateurs Partiels de la Performance Énergétique (IPPE) du bâtiment.



INTERACTIONS IMPACTANT LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE DU BÂTIMENT

Figure 5 : Interactions impactant la consommation d'énergie. La consommation d'énergie d'un bâtiment est le résultat d'interactions entre ces 4 composantes.

2.3.2 Les méthodes

Les méthodes de mesure des performances énergétiques du bâti

Concernant le bâti, les solutions actuelles de mesure de la performance énergétique concernent la mesure de deux caractéristiques thermiques de l'enveloppe : **la perméabilité à l'air des enveloppes et le niveau d'isolation thermique de l'enveloppe dans son ensemble ou à l'échelle d'une paroi**. Ces solutions principalement développées pour une vérification des performances à la réception (neuf ou rénovation) peuvent malgré tout répondre à des besoins de mesure pendant toute la vie du bâtiment (avant travaux par exemple).

Les solutions pour évaluer les indicateurs d'étanchéité à l'air des enveloppes (Q4Pa, n50, ...) font aujourd'hui l'objet de normes internationales et sont matures.

Les solutions pour la mesure du niveau d'isolation thermique de l'enveloppe ou d'une paroi émergent actuellement. Elles se classent en deux grandes familles :

- Des méthodes de mesures courtes (de l'ordre de quelques jours maximum). Ces méthodes innovantes demandent l'immobilisation du bâtiment (bâtiment inoccupé) et sont disponibles aujourd'hui en général pour des surfaces de bâtiments relativement modestes (maisons individuelles, crèches, etc.). Elles sont réalisées à l'aide de kits de mesure prédéfinis. Certaines de ces méthodes ont une maturité scientifique relativement élevée à ce jour et sont en phase de lancement opérationnel,
- Des méthodes de mesures longues (a minima plusieurs mois sur une saison de chauffe) applicables lorsque le bâtiment est occupé. Elles peuvent être utilisées pour des bâtiments de taille plus importante (logements collectifs par exemple). Ces méthodes conduisent à des incertitudes sur le résultat relativement importantes et font encore l'objet de travaux de recherche visant à fiabiliser leur approche.

Ces méthodes ont un principe commun comprenant un protocole expérimental pour la récupération de données mesurées sur site durant l'essai qui sont ensuite injectées dans un modèle d'identification pour parvenir à l'indicateur recherché (Ubat, HLC, Rc, Uc, ...).



Source Cerema

Figure 6 : Évaluation de la performance de l'enveloppe par une mesure rapide (à gauche) et test d'étanchéité à l'air (à droite).

Un livrable présentant les différentes méthodes associées à l'enveloppe sous un format de fiches homogènes a été réalisé dans le cadre des travaux de l'atelier MPEB [10].



de sa mise en œuvre, le coût de l'investissement en temps homme est le frein majeur de son développement. En effet, les calculs peuvent être automatisés, mais leur analyse et leur suivi demande l'expertise d'un connaisseur du fonctionnement du bâtiment, alors que le temps manque souvent aux professionnels de la gestion des bâtiments dans le cadre des prestations actuelles.

Un livrable présentant les différentes méthodes associées aux systèmes sous un format de fiches homogènes a été réalisé dans le cadre des travaux de l'atelier MPEB [11].



2.4 L'incertitude sur la MPEB, pour une prise de décision éclairée

La détermination d'une valeur par la mesure s'accompagne nécessairement d'une incertitude. L'habitude de ne considérer qu'une seule valeur pour traduire les observations ou les prévisions (par exemple la consommation d'énergie d'un bâtiment, la vitesse d'une voiture ou les dimensions d'une pièce produite en usine) est une simplification bien pratique pour la facilité des échanges, mais elle a tendance à nous faire oublier qu'une incertitude est physiquement attachée à toute mesure. Dans le domaine de l'ingénierie énergétique, il est illusoire et trompeur d'afficher une consommation d'énergie prévisionnelle de X, sans mentionner d'incertitude associée à cette prévision. Cet affichage va générer des déceptions s'il est constaté que la consommation prévisionnelle n'est pas au rendez-vous, quand bien même l'écart est peut-être uniquement lié à l'incertitude, c'est-à-dire au hasard⁷. Au-delà de la déception, des pénalités/intéressements peuvent être déclarés, dans le cadre de CPE ou de marchés d'exploitation de chauffage avec intéressement. Par le simple fait du hasard... Or les techniques de prise en compte de l'incertitude sont accessibles aux professionnels du bâtiment. Elles sont déjà largement prises en compte en biologie, en chimie, sur les chaînes de production dans l'industrie, etc... **La prise en compte de l'incertitude contribue à la maîtrise des risques et au bon pilotage des processus, permettant une prise de décision éclairée.**

Dans le domaine de la MPEB, la considération des incertitudes apparaît comme fortement recommandée au vu de leur poids par rapport à la valeur mesurée.

Dans le cadre des travaux de l'atelier, la détermination de l'incertitude a été abordée à différents niveaux :

- Des recommandations générales, précisant le cadre d'utilisation des incertitudes et les notions associées, ont été formulées [12];
- Un cadre méthodologique a été défini pour la prise en compte des incertitudes concernant les solutions de MPEB à l'échelle de l'enveloppe [13]. En l'absence de référence existante à ce sujet au niveau international, ce cadre constitue une avancée importante pour la filière pour garantir la fiabilité de ces méthodes ;
- Enfin les principes déjà mis en œuvre par les spécialistes de la Mesure et Vérification (M&V), en particulier dans le cadre de CPE, ont été rappelés dans le guide de bonnes pratiques pour l'utilisation des modèles statistiques [5].

3. LA MPEB, COMMENT METTRE EN ŒUVRE LES SOLUTIONS ?

Les solutions de MPEB sont multiples, peuvent prendre différentes formes et répondre à de nombreux besoins. Quelles sont ces solutions ? Comment s'y retrouver et faire le choix le plus optimal face à un besoin précis ? Enfin, comment réussir la bonne mise en œuvre de la solution choisie ?

Pour répondre à ces différentes questions, un processus en 7 étapes clés a été imaginé et accompagne les acteurs dans leur démarche. Il est détaillé ci-dessous, en distinguant, pour une meilleure lisibilité, le cas des solutions « clé en main » et le cas des solutions « sur mesure ».

ÉTAPES DE MISE EN ŒUVRE	SOLUTION DE MPEB	
	CLÉ EN MAIN	SUR MESURE
1 Définition du besoin, choix d'un solution	Décideur/ porteur du projet	Décideur/ porteur du projet
2 Contractualisation	Décideur/ porteur du projet	Décideur/ porteur du projet
3 Définition du plan de l'instrumentation	Contractant	Équipe dédiée à l'instrumentation pouvant s'appuyer sur les acteurs techniques du bâtiment et d'occupants
4 Vérification de l'existence d'une instrumentation	Contractant	Équipe dédiée à l'instrumentation pouvant s'appuyer sur les acteurs techniques du bâtiment
5 Instrumentation	Contractant	Professionnels du corps de métier approprié (plombier, électricité, intégrateur,...)
6 Contrôle qualité des données	Contractant	Équipe en charge du traitement des données pouvant s'appuyer sur les acteurs techniques
7 Traitement des données	Contractant	Équipe dédiée

CAS DES SOLUTIONS DE MPEB
"SUR MESURE"CAS DES SOLUTIONS DE MPEB
"CLÉ EN MAIN" PORTANT
SUR DES INDICATEURS PARTIELS
DE PERFORMANCEETAPE ①
Définition du
besoin et choix
d'une solution

En premier lieu, il s'agira pour le porteur du projet de **définir son besoin** et de **choisir la solution la plus appropriée**. **Un outil d'aide à la décision a été créé sur la base des solutions recensées lors des travaux de l'atelier (cf. 2)**. Cet outil accompagne les porteurs de projets de MPEB dans la définition plus précise du besoin à travers un questionnaire. Une fois le besoin affiné, une ou des solutions sont proposées et présentées selon le même format afin d'apporter aux décideurs les informations utiles pour finaliser son choix.

ETAPE ②
Contractualisation
(optionnel)

Une fois le besoin défini et la solution choisie en adéquation avec ce besoin, le porteur du projet peut envisager de **contractualiser avec un tiers tout ou partie de la mise en œuvre de la solution**.

Si le porteur de projet n'a pas les compétences en interne pour certaines des étapes suivantes, il peut faire appel à des contractants extérieurs. Le document partagé entre les parties doit contenir, en particulier, la présentation du besoin (raison/contexte, objectifs de l'instrumentation, contraintes, solution choisie, ...) et la définition du cadre de la prestation qui entre dans cette contractualisation (rédaction cahier des charges, instrumentation, instrumentation + analyse, analyse, ...).

Cette pratique de contractualisation de solution « clé en main » est très courante pour des solutions pour lesquelles les étapes post-contractualisation sont entièrement prises en charge par l'opérateur de service (par exemple mesure de perméabilité à l'air).

ETAPE ③ ET ④
Définition du plan
d'instrumentation
en lien avec
l'instrumentation
déjà existante

Une fois la solution choisie en cohérence avec le besoin et si cette solution ne propose pas un protocole spécifique, **un plan d'instrumentation est rédigé par l'équipe dédiée**. Il définit de manière précise les mesures à réaliser (périmètre, grandeurs, pas de temps, mode d'acquisition, ...). Pour sa rédaction, le responsable de cette tâche peut se rapprocher d'autres acteurs comme les gestionnaires, mainteneurs, occupants du bâtiment, etc. sans qui la mise en œuvre pourrait échouer. **Une partie des points de mesure définis dans le plan d'instrumentation est souvent déjà en place** (compteurs d'énergie, sondes de température). Les doubler ne serait pas efficace, les adapter est souvent suffisant pour répondre parfaitement à la solution de MPEB choisie (modification du pas de temps par exemple). L'objectif est d'assurer la cohérence entre le nombre de points mesurés et les capacités d'analyse durant la durée de la mesure. Dans certains cas (notamment dans le cas des solutions MPEB à l'échelle du bâtiment), aucune modification n'est à apporter à l'instrumentation.

Toutes ces étapes sont prises en charge par l'opérateur de service. Il s'assure que le matériel utilisé (dont il est souvent le propriétaire) et sa pose sont cohérents avec le protocole de mesure. C'est aussi lui qui s'assure que les données récupérées sont cohérentes et exploitables.

Sa mission s'achève avec la fourniture des résultats de la mesure obtenues sur la base de méthodes d'analyse spécifiques souvent traduites dans un outil dédié à cette solution.

ETAPE ⑤
Instrumentation

L'étape suivante correspond à la phase de **mise en place par des professionnels (plombier, électricien, intégrateur) de l'instrumentation puis à la réception (présence physique des capteurs, données remontées, enregistrées et cohérentes, ...) par le responsable du projet**.

ETAPE ⑥
Contrôle qualité
des données

Pendant toute la durée de la mesure, un **contrôle régulier des mesures remontées** est essentiel afin de réduire l'incertitude au moment de l'**analyse** et de s'assurer, en particulier pour des solutions s'étalant sur plusieurs années, que l'instrumentation est fonctionnelle.

ETAPE ⑦
Traitement des
données

L'analyse des données peut s'étendre sur plusieurs années, aussi il est essentiel d'avoir un outil d'analyse robuste et adapté. Très souvent cet outil est à construire par l'équipe dédiée (outil tableur ou codé), mais de plus en plus d'outils d'analyse se développent par l'intermédiaire des gestions centralisées ou techniques des bâtiments. Il peut également s'agir d'outils fournis avec les systèmes d'acquisition.

Pour les solutions de MPEB à l'échelle du bâtiment (mesure des consommations d'énergie), il est très fortement recommandé que le contenu de l'ensemble de ces étapes apparaisse dans un document synthétique appelé Plan de Mesure et Vérification (PMV).

Le PMV a vocation à acter entre les parties concernées les différents éléments permettant la détermination de la performance. Dans des contrats avec engagement de résultat, ce document est indispensable puisque lui seul permettra de déterminer les conditions données définies pour le projet, et la façon dont les ajustements seront réalisés, chaque projet étant différent. L'IPMVP définit le contenu du PMV, décliné selon 14 points.

4. LA MPEB, QUELS COÛTS POUR QUELS BÉNÉFICES ?

4.1 Les coûts

Concernant les solutions de MPEB à l'échelle des sous-systèmes du bâtiment (mesure de perméabilité à l'air par exemple), elles sont généralement ou ont vocation à être vendues sous forme de service au maître d'ouvrage. Un opérateur formé à la solution et possédant le matériel vient réaliser la mesure et fournit instantanément les résultats qui peuvent conduire le maître d'ouvrage à réaliser des travaux supplémentaires pour atteindre la performance escomptée. A ce jour, le coût des prestations va varier avec la maturité de la méthode de mesure (stade de développement, lancement ou maturité). Le coût est élevé en phase de développement des méthodes, car les solutions sont alors basées sur des prototypes, jusqu'à des coûts qui diminuent lorsque les ventes du service augmentent et que la solution est industrialisée. Par exemple la méthode de mesure de perméabilité à l'air est aujourd'hui une méthode mature avec une solution de mise en œuvre industrialisée. Le coût des prestations s'est considérablement réduit entre la phase de lancement au début des années 2000 et aujourd'hui.

Concernant les nouvelles méthodes émergentes, comme sur la mesure du niveau d'isolation thermique de l'enveloppe, l'organisation pour fournir des services clé en main va se mettre progressivement en place. Pour ces services émergents, les coûts vont évoluer favorablement si des mesures incitatives ou obligatoires stimulent la demande (protocoles pour l'obtention d'un label ou d'un financement, obligations réglementaires, etc.).

Pour les mesures de performance énergétique à l'échelle du bâtiment, le coût de la solution est construit à façon en fonction du type de bâtiment, des paramètres à mesurer, de la durée de la mesure, de l'instrumentation déjà présente, ... Le maître d'ouvrage supporte le coût matériel et son installation à un instant t et le coût d'analyse sur la durée de la solution. **Outre l'investissement en matériel adapté, les coûts de la MPEB reposent sur une main d'œuvre compétente pour les prestations d'acquisition et d'intégration de la donnée et son analyse.**

Il est essentiel pour la maîtrise d'ouvrage, lors des étapes 1, 3 et 4 des 7 étapes clés de mise en œuvre des solutions (voir chap. 3), de maîtriser le coût de la solution en agissant sur les 5 leviers suivants :

- Une bonne définition des objectifs de la mesure (Etape 1 du chap. 3),
- Une optimisation du nombre de points de mesure et de l'échantillonnage (Étapes 3&4 du chap. 3),
- Une définition de la fréquence des mesures et des modalités de relève qui sont cohérentes avec les indicateurs mesurés et évalués. Le coût d'instrumentation n'est pas toujours imputable à 100% à la mesure de performance énergétique du bâtiment (Étapes 3&4 du chap. 3) ;
- Une maîtrise des coûts de traitement des données et/ou de modélisation qui dépendent certes de la solution mise en œuvre mais aussi des compétences et du temps humain qui peuvent y être consacrés (Étapes 3&4 du chap. 3) ;
- Une bonne anticipation des coûts humains et de mesures ponctuelles (Étapes 3&4 du chap. 3).

Ces solutions de mesure de la performance énergétique en exploitation sont systématiquement mises en œuvre dans le cadre de contrat de performance énergétique. En guise de repère, le protocole IPMVP conseille de ne pas dépasser un coût de MPEB de 10% par rapport aux gains énergétiques sur la durée de vie du projet. Pour plus d'information [14].

4.2 Les bénéfices

Les solutions de MPEB ne sont pas seulement source de coûts financiers. Elles offrent aussi des bénéfices qu'il est possible de chiffrer, comme la réduction des consommations d'énergie, mais également des bénéfices immatériels tels que l'amélioration du confort, la montée en compétences des acteurs, l'augmentation de la valeur patrimoniale des biens immobiliers.

Il existe en revanche une différence de temporalité entre les coûts de la MPEB (bilan comptable) et les gains énergétiques engendrés par les travaux/amélioration qui seront évalués dans le temps par la mesure de la performance. Cette différence de temporalité peut être examinée à travers le prisme d'un premier niveau d'analyse en coût global, appelé **coût global simplifié**, qui intègre les coûts d'acquisition, d'exploitation, de maintenance et de fin de vie du bâtiment. La contrepartie a priori immédiatement perceptible des coûts liés à la MPEB d'un bâtiment, c'est une consommation d'énergie mieux maîtrisée lors de la phase d'exploitation.

Par ailleurs les résultats de MPEB donnent une information fiable sur la qualité du bâtiment concernant les systèmes énergétiques et l'enveloppe. Ils contribuent ainsi à objectiver une partie de la valeur patrimoniale d'un bâtiment. Des systèmes mieux équilibrés, une enveloppe plus performante, c'est aussi un bâtiment qui ne vieillira pas de façon prématurée. Des bâtiments plus performants offrent aussi généralement un confort supérieur aux locataires. Dans le tertiaire, cela se traduira souvent par une meilleure productivité au travail. Enfin pour les maîtres d'ouvrage occasionnels comme les ménages souvent perdus face aux professionnels du bâtiment, la MPEB constitue un moyen de se protéger et de distinguer les offres de qualité et de sécuriser le financement d'un projet de rénovation énergétique. Ces externalités sont prises en compte dans la notion de **coût global élargi**.

Enfin la société au sens large ressortira gagnante de la MPEB puisque les acteurs de la construction gagneront en compétences limitant ainsi les malfaçons et le coût des assurances. En outre, la réduction des consommations énergétiques par l'amélioration des performances engendrera une baisse des émissions de CO₂. Ces éléments se retrouvent dans la notion de **coût global partagé**. Pour plus d'information [15].

COÛTS DE LA MPEB

PARTAGÉ

Baisse du coût de la responsabilité décennale, interventions liées à une malfaçon évitées grâce à une vigilance accrue en cours de chantier, montée en compétences des acteurs, baisse des émissions de CO₂.

ÉLARGI

Valorisation patrimoniale, confort supérieur (différent du gain lié aux seuls travaux), meilleur productivité des occupants (bâtiments tertiaires), durabilité supérieure du bâti et des équipements, meilleure protection des ménages via une information plus facile à comprendre et des indemnisations / actions correctives plus rapides en cas de malfaçons.

SIMPLIFIÉ

Coût de la mesure, meilleure maîtrise des consommations d'énergie (liée à la vigilance accrue et la montée en compétences).

5. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

L'attention de plus en plus soutenue portée à la réduction des consommations d'énergie à différents titres (enjeux environnementaux, confort, maîtrise des coûts etc.) génère des besoins en termes d'évaluation et de suivi de la performance énergétique auxquels répond la MPEB, en sécurisant le passage d'une performance prévisionnelle, à la conception, déjà bien ancrée dans les pratiques des acteurs, à une performance mesurée, démontrée.

La MPEB propose aujourd'hui un panel de solutions qui s'enrichit progressivement et, telle une boussole, guide les professionnels et les utilisateurs de bâtiment dans l'atteinte des performances énergétiques attendues.

Les travaux menés dans le cadre de l'atelier MPEB constituent une contribution consensuelle issue d'un large panel d'acteurs. Sans prétendre à l'exhaustivité, ils donnent une photographie à l'instant t, dans un domaine particulièrement dynamique en termes de R&D prometteur de nouvelles solutions à venir.

Ces travaux auront notamment permis de :

- proposer un vocabulaire et un cadre harmonisé, là où, sur le terrain, et dans les textes, un certain flou règne encore largement,
- présenter les solutions existantes de MPEB et mettre en lumière des solutions innovantes,
- partager des cadres méthodologiques pour l'évaluation des incertitudes de ce type de mesure,
- proposer des guides de bonnes pratiques concernant plusieurs familles de solutions ou sujets techniques, afin d'accompagner les utilisateurs de ces solutions,
- mettre à disposition un outil d'aide au choix pour déterminer la ou les solutions de MPEB adaptées à son besoin,
- partager sur les coûts/bénéfices de ces approches.

Gageons que ce travail ne sera qu'une contribution initiale, car le développement de la MPEB est actuellement en plein essor, et qu'il contribuera à élargir la communauté grandissante d'acteurs autour de ces sujets dans et hors de nos frontières. Notons d'ores et déjà à ce titre, la présentation et la diffusion de ces travaux à l'international (groupes de travail normatif, EVO, annexes de l'AIE, projets européens, etc.). Les travaux menés devraient en particulier pouvoir alimenter la révision des principes fondamentaux de l'IPMVP prévue sur l'année 2021, ainsi que le groupe de travail sur l'option D, en cours de constitution au sein de l'association EVO.

6. ANNEXE :

PRÉSENTATION DE L'ATELIER FBE MPEB

Le projet MPEB est un projet de « recherche méthodologique appliquée à la mesure de la performance énergétique des bâtiments tertiaires et des bâtiments collectifs résidentiels neufs ou faisant l'objet de rénovations globales ». Il a été financé par la Fondation Bâtiment-Énergie, et animé par le CSTB, sur une durée de deux ans.

Deux groupes de travail ont été constitués :

- le groupe recherche, composé d'un ensemble de 12 structures de type grands groupes, PME ou laboratoire de recherche et centres scientifiques et techniques. Le groupe recherche a établi le programme de travail, mené les travaux et rédigé les différents livrables ;
- le groupe utilisateurs, composé de professionnels de la filière bâtiment. Il a eu pour mission, via des échanges ponctuels au fur et à mesure du projet, de garantir la cohérence des travaux menés avec les attentes du marché.

A travers ces deux groupes, des expertises et des compétences très variées étaient réunies : maîtrise d'ouvrage, assistant à maîtrise d'ouvrage, bureaux d'études, entreprises de la construction, exploitants, énergéticiens, fabricants de matériels, chercheurs et experts – spécialistes de la mesure, de la thermique, des simulations, de la M&V.

Participants du groupe « **Recherche** »

ARMINES
BIOMASSE NORMANDIE
BOUYGUES ENERGIES & SERVICES
CEREMA
CERTES
CSTB
EDF R&D
LNE
OPENERGY
H3C
TERAO
SAINT GOBAIN

Participants du groupe « **Utilisateurs** »

ALEC de Plaine Commune
CERQUAL Qualitel
DELPHIS
ENGIE
FBC
MANEXI
NOBATEK/INEF4
SCHNEIDER ELECTRIC
VINCI

7. ANNEXE : QUELLE ARTICULATION AVEC LES PRINCIPES FONDAMENTAUX DE L'IPMVP ?

L'IPMVP constitue actuellement au niveau international le texte de référence en matière de calcul des économies d'énergie (M&V). Comme indiqué dans (3), l'IPMVP est le protocole qui, en France, fournit la vision la plus complète d'un cadre général d'analyse des économies d'énergie et de bonnes pratiques associées.

L'IPMVP utilise notamment 4 options, correspondant à des cas d'applications différents. Nous souhaitons préciser ici de quelle manière les notions de MPEB développées s'articulent avec les concepts IPMVP, et en particulier avec les 4 options.

Dans l'IPMVP sont distinguées les options concernant des périmètres isolés (options A et B), et les options concernant le site entier (options C et D).

Le tableau suivant propose une correspondance entre les options IPMVP, qui constituent aujourd'hui un repère important dans les démarches de M&V, et les approches utilisées dans l'atelier MPEB.

APPROCHE IPMVP, PAR OPTION	APPROCHE UTILISÉE DANS L'ATELIER MPEB	COMMENTAIRE ÉVENTUEL
Option C	IPE / Méthode d'ajustement statistique	
Option D	IPE / Méthode d'ajustement physique	
-	IPE / Méthode d'ajustement hybride	Non décrit dans l'IPMVP
Option A	IPPE	L'approche MPEB traite notamment de sujets peu développés dans les cas typiques de l'IPMVP : mesure de l'étanchéité à l'air, mesure de la conductivité de l'enveloppe, etc.
Option B	-	Non décrit formellement dans l'atelier MPEB. L'approche option B ne vise pas à l'évaluation de la performance d'un bâtiment, mais à l'évaluation de l'économie réalisée à l'échelle d'un système. Les techniques utilisées pour cela s'apparentent en général aux techniques d'ajustement utilisées pour la détermination des IPE à l'échelle du bâtiment, mais développé à l'échelle du système considéré.

Références

- [1] Livrable Atelier de la FBE MPEB (www.batiment-energie.org) CONCEPTS et DEFINITIONS /FBE MPEB - T1.3-Principaux déterminants de la MPEB.pdf
- [2] Livrable Atelier de la FBE MPEB (www.batiment-energie.org) CONCEPTS et DEFINITIONS /FBE MPEB - T1.3-Principaux déterminants de la MPEB_synthese MOA.pdf
- [3] Livrable Atelier de la FBE MPEB (www.batiment-energie.org) CONCEPTS et DEFINITIONS /FBE MPEB - T1.3-Principaux déterminants de la MPEB_synthese BE.pdf
- [4] Livrable Atelier de la FBE MPEB (www.batiment-energie.org) CONCEPTS et DEFINITIONS /FBE MPEB - T1.1-Concepts et termes-clés de la MPEB.pdf
- [5] Livrable Atelier de la FBE MPEB (www.batiment-energie.org) RECENSEMENT et QUALIFICATION DES METHODES /FBE MPEB - T2.3 - Bonnes pratiques – Méthodes statistiques.pdf
- [6] Livrable Atelier de la FBE MPEB (www.batiment-energie.org) RECENSEMENT et QUALIFICATION DES METHODES /FBE MPEB - T2.3- Bonnes pratiques – Méthodes physiques.pdf
- [7] Livrable Atelier de la FBE MPEB (www.batiment-energie.org) RECENSEMENT et QUALIFICATION DES METHODES /FBE MPEB - T2.3- Bonnes pratiques – Méthodes hybrides.pdf
- [8] Livrable Atelier de la FBE MPEB (www.batiment-energie.org) RECENSEMENT et QUALIFICATION DES METHODES /FBE MPEB-T2.4 SUIVI - INVENTAIRE METHODES.pdf
- [9] Livrable Atelier de la FBE MPEB (www.batiment-energie.org) RECENSEMENT et QUALIFICATION DES METHODES /FBE MPEB-T2.4 SUIVI - FICHES.pdf
- [10] Livrable Atelier de la FBE MPEB (www.batiment-energie.org) RECENSEMENT et QUALIFICATION DES METHODES/FBE MPEB-T2.1-INVENTAIRE METHODES ENVELOPPE.pdf
- [11] Livrable Atelier de la FBE MPEB (www.batiment-energie.org) RECENSEMENT et QUALIFICATION DES METHODES/FBE MPEB - T2.2-INVENTAIRE METHODES SYSTEMES.pdf
- [12] Livrable Atelier de la FBE MPEB (www.batiment-energie.org) CONCEPTS et DEFINITIONS /FBE MPEB - T1.1-Bonnes pratiques - Incertitudes MPEB.pdf
- [13] Livrable Atelier de la FBE MPEB (www.batiment-energie.org) RECENSEMENT et QUALIFICATION DES METHODES/FBE MPEB - T2.1-INCERTITUDES METHODES ENVELOPPE.pdf
- [14] Livrable Atelier de la FBE MPEB (www.batiment-energie.org) COUTS et BENEFICES /FBE MPEB - FBE MPEB - T4.1-COUTS DE LA MPEB.pdf
- [15] Livrable Atelier de la FBE MPEB (www.batiment-energie.org) COUTS et BENEFICES /FBE MPEB - FBE MPEB - T4.2-BENEFICES DE LA MPEB.pdf



Mesure de la Performance Énergétique des Bâtiments

Recherche
méthodologique appliquée
à la mesure de la
performance énergétique
des bâtiments tertiaires et
des bâtiments collectifs
résidentiels neufs
ou faisant l'objet de
rénovations globales

La Fondation Bâtiment-Énergie (FBE), reconnue d'utilité publique en 2005, a été créée par ArcelorMittal, EDF, GRDF et LafargeHolcim, avec le soutien financier des pouvoirs publics et le support technique de l'Ademe et du CSTB. Elle se mobilise en soutenant des travaux de recherche sur les enjeux environnementaux actuels pour le secteur du bâtiment.

