



**CAHIER DES CHARGES D'ÉVALUATION DES
PERFORMANCES ÉNERGETIQUES DES BÂTIMENTS
RENOVÉS DU PROGRAMME « VILLE DE DEMAIN »**

Version 2.0 - Janvier 2017



SOMMAIRE

Introduction	4
1 – Présentation de l'opération immobilière	5
2 – Objectifs de la mission d'évaluation	6
3 – Mission d'instrumentation	10
3-1 Caractéristiques générales de la campagne de mesure	10
3.1.1 Détermination de l'échantillon à instrumenter	10
3.1.1.1 Maisons individuelles	10
3.1.1.2 Bâtiments de logements collectifs et bâtiments tertiaires	10
3.1.2 Durée de la campagne de mesure	11
3.1.3 Pas de temps des mesures	11
3.1.4 Acquisition et stockage des données	12
3-2 Examen de l'enveloppe bâtie par test à la caméra infra rouge	12
3-3 Test d'étanchéité à la porte soufflante en fin d'opération	13
3-4 Le plan de comptage	13
3-5 Définitions	14
3-6 Mesures météorologiques	14
3-7 Mesures à l'intérieur des espaces privatifs	15
3-8 Mesure des consommations de chauffage et d'eau chaude sanitaire	16
3.8.1 Contraintes d'instrumentation propres à chaque cas	16
3.8.1.1 Maisons individuelles et logements collectifs avec chauffage et ECS individuels	16
3.8.1.2 Logements collectifs avec chauffage collectif	16
3.8.2 Spécifications techniques particulières des mesures d'énergie finale pour le chauffage et l'ECS	17
3.8.2.1 Comptages pour combustibles liquides et gazeux	17
3.8.2.2 Comptages pour le bois	17
3.8.2.3 Comptages pour l'électricité	18
3.8.2.4 Cas d'un comptage en énergie finale alimentant le chauffage et l'ECS	
3.8.3 Mesure de la quantité de chaleur en sortie de chaudières	18
3.8.4 Mesure de la quantité de chaleur en sortie d'un échangeur de chauffage urbain	19
3.8.5 Mesure de la quantité de chaleur dans le cas d'un chauffe-eau solaire	19
3.8.5.1 Cas des maisons individuelles	19
3.8.5.2 Cas des installations collectives	19
3.8.5.3 Spécifications propres aux compteurs de chaleur sur l'ECS	20
3-9 Mesures complémentaires en chaufferie et/ou sous station	20
3-10 Mesures de la consommation électrique	21
3-11 Mesure sur les installations de ventilation mécanique	21
3-12 Analyse de la qualité de l'air intérieur	21
3-13 Enquête de terrain	22

4 – Traitement des données	23
4-1 L'analyse du fonctionnement des équipements	23
4-2 Consommations caractéristiques de l'installation	23
4-3 Mesures correctives et pistes d'amélioration	25
4-4 Les enseignements	25
4-5 Le rapport final	26
Annexe 1 : Caractéristiques des mesureurs et contraintes de mise en œuvre	28
Annexe 2 : Questionnaires à destination des usagers	30
Annexe 3 : Présentation technique de l'opération	38

INTRODUCTION

Dans le cadre du Programme d'investissements d'avenir, la Caisse des Dépôts s'est vue confier par l'Etat la gestion d'une enveloppe de près d'un milliard d'euros en faveur de la Ville de demain. Cette action est mise en œuvre par des équipes spécialisées la Caisse des Dépôts, qui agit en son nom et pour le compte de l'Etat.

L'objectif de l'action « Ville de demain » est de soutenir l'investissement dans les villes afin de faire émerger un nouveau modèle urbain, de favoriser l'évolution des usages et des pratiques en ville, de s'appuyer sur une approche intégrée et innovante des transports et de la mobilité, de l'énergie et des ressources, de l'organisation urbaine et de l'habitat. L'action « Ville de demain » a pour vocation de financer des projets innovants, démonstrateurs et exemplaires de ce que sera la ville de demain.

Ces programmes urbains devaient :

- s'inscrire dans une stratégie urbaine intégrée de densification, d'amélioration énergétique de l'habitat, et de maîtrise de la mobilité qui vise la division par 4 des émissions de gaz à effet de serre et la création de villes à énergie positive,
- développer une démarche innovante et expérimentale qui vise à faire la démonstration de l'intérêt économique et écologique de nouvelles solutions d'aménagement urbain et de mobilité.

Grâce à l'argent investi par l'Etat, le financement de projets démonstrateurs et exemplaires favorisera l'évolution des usages et des pratiques urbaines afin de développer une ville saine, économe, adaptable, robuste, abordable, attractive, grâce à une approche intégrée et innovante des transports et de la mobilité, de l'énergie et des ressources, de l'organisation urbaine et de l'habitat.

Dans un certain nombre de villes retenues (Ecocités), l'accent a été mis sur la construction et la rénovation de quartiers à très basse consommation, et sur la nature et les performances de leur alimentation énergétique.

D'une certaine façon, ces quartiers sont des prototypes, des laboratoires grandeur nature, et sont à ce titre riches d'enseignements. Mais il faut pour cela les évaluer soigneusement afin de comprendre en quoi ils ont été une réussite ou un échec. Quelle que soit la conclusion, elle constituera toujours un progrès et une amélioration des connaissances de tous ceux qui ont en charge de construire et rénover la cité.

Le présent cahier des charges a pour objet de définir les exigences liées à l'évaluation métrologique des performances énergétiques des bâtiments rénovés ayant bénéficié de financements du Programme Ville de Demain.

1 - PRESENTATION DE L'OPERATION IMMOBILIERE

L'opération concernée par le présent appel d'offres est située sur la commune de :

Il s'agit d'une opération de :

- xx logements comprenant yy bâtiments et d'une SHON de m²,
- de bureaux comprenant yy bâtiments et d'une SHON de m²,
- de commerces comprenant yy bâtiments et d'une SHON de m²,

Cette opération de rénovation a été livrée en XXXX
sera livrée en XXXX

Un dossier technique complet figure en Annexe 3. Il comprend :

- une fiche de présentation générale fournissant les principales caractéristiques du projet, ainsi que les objectifs de performance, le détail du calcul réglementaire s'il y en a eu de fait, et les éléments propres à un label BBC rénovation s'il y en a eu un.
- une fiche sur les comptages éventuellement mis en place lors des travaux.

Par ailleurs, les Dossiers des Ouvrages Exécutés (DOE) concernant le chauffage, la production d'eau chaude sanitaire, la ventilation et l'électricité (courants forts seulement) si elle a fait l'objet de travaux, ainsi qu'un schéma de principe de la chaufferie et des principaux locaux techniques ou sous stations associés (en cas de chauffage collectif) seront remis en accompagnement du dossier de consultation, sous forme de fichiers joints.

Dans la mesure du possible, les factures des différentes énergies sur la dernière année de fonctionnement précédant la rénovation seront également mises à disposition de l'évaluateur.

Le prestataire disposera aussi de l'adresse et des coordonnées du ou des Maître(s) d'Ouvrage, du maître d'œuvre (architecte et bet), et des entreprises ayant réalisé les chantiers de CVC et d'électricité.

C'est à partir de tous ces éléments que le prestataire devra construire son plan d'instrumentation en fonction de l'architecture des réseaux tels qu'ils existent et des éléments de comptage déjà mis en place. Il lui reviendra de compléter ces équipements de comptage s'il juge que ceux en place sont insuffisants.

Ce plan de comptage détaillé devra faire partie de la note d'intention méthodologique remise lors de la consultation.

2 – OBJECTIFS DE LA MISSION D’EVALUATION

L'évaluation des projets ne se fera pas dès leur livraison pour laisser le temps aux opérateurs de régler les paramètres de fonctionnement de l'ensemble des équipements.

La campagne de mesure pourrait par exemple débiter avec la seconde période de chauffe (mais ceci n'est pas une obligation, uniquement une recommandation).

La mission d'évaluation poursuit plusieurs objectifs. Parmi ceux-ci on retiendra :

1 - Observer comment fonctionnent réellement les bâtiments rénovés et leurs équipements. Toutes les campagnes de mesures faites jusqu'à présent ont montré que les bâtiments, et surtout leurs équipements, ne fonctionnaient guère comme on l'imaginait. À ce stade, la campagne de mesure apparaît comme un outil de mise au point des équipements. Il est donc important qu'un retour puisse être fait très rapidement vers le maître d'ouvrage, l'entreprise qui a réalisé le chantier ou celle qui a en charge la maintenance afin de pouvoir corriger au plus vite ces dysfonctionnements et mettre l'installation en régime nominal. Ces dysfonctionnements peuvent porter par exemple sur :

- fonctionnement de la ventilation dont les débits de soufflage et l'extraction ne sont pas réglés, et ne sont parfois même pas égaux. Encrassement et absence d'entretien des filtres, notamment au soufflage, réseau présentant des défauts d'étanchéité majeurs, etc..

- fonctionnement incorrect de la production d'eau chaude sanitaire, notamment solaire, avec réchauffage du ballon solaire par le retour de la boucle, niveau de température de la distribution incorrect, etc.

- niveau de consommation électrique des pompes, ventilateurs trop élevé.

La liste de ces fonctionnements incorrects est longue, et il importe dans chaque cas de mettre en évidence ces éléments qui ne conduisent pas à de très bonnes performances, voire ne satisfont pas les caractéristiques de base de l'installation (débit d'air).

2 – Analyser et évaluer en détail et très soigneusement le mode de fonctionnement de l'installation afin de déterminer avec précision les caractéristiques des principaux paramètres (débit de renouvellement d'air, température atteinte dans les locaux, etc.) ainsi que les consommations d'énergie des usages ayant été affectés par la rénovation. La priorité sera donnée au chauffage et à la production d'eau chaude sanitaire, aux auxiliaires de chauffage et ventilation ainsi que la consommation électrique totale du bâtiment.

3 – Exprimer les principales consommations ainsi obtenues sous forme de ratios, puis les comparer aux performances qui avaient été envisagées lors de la conception du projet. Ces comparaisons s'effectueront sur les bases suivantes :

A - les **consommations de chauffage et d'eau chaude sanitaire** seront exprimées de manière conventionnelle (en référence au calcul réglementaire) :

Expression en kWh d'énergie primaire par m² de S_{RT} et par an en utilisant les coefficients de conversion entre énergie primaire non renouvelable et énergie finale suivants :

- électricité : 2,58 (coefficient de conversion conventionnel),
- bois : 0,6 (coefficient conventionnel si l'opération a été faite avec un calcul BBC Réno),
- gaz, fioul : 1,0
- réseau de chaleur : 1,0

Cette manière d'exprimer les consommations de chauffage et d'eau chaude sanitaire a pour but de se rapprocher le plus possible des calculs conventionnels.

Rappel : les consommations déterminées au titre du calcul réglementaire ne sont en rien une prévision de consommation mais seulement des consommations de type conventionnel fondées sur une multitude d'hypothèses. Il est donc inutile de chercher à rapprocher les consommations mesurées des consommations conventionnelles aux fins d'en conclure que l'opération respecte ou non les objectifs assignés. En revanche, cette comparaison sera néanmoins faite mais dans le seul but de permettre une évolution du calcul réglementaire de façon à ce qu'il se rapproche le plus possible des valeurs réellement observées.

B – les **consommations électriques** seront exprimées de deux façons :

B1 - Approche conventionnelle

Exprimées en kWh d'énergie primaire par m² de S_{RT} et par an en utilisant les coefficients de conversion entre énergie primaire et énergie finale de 2,58 (coefficient conventionnel). Ceci permettra une caractérisation conventionnelle du fonctionnement des différents usages.

B2 – Approche en énergie finale

Exprimées en kWh d'énergie finale (c'est à dire en kWh d'électricité) par m² de Shab et par an (logement) ou de surface utile (bureau). Ceci permettra une caractérisation simple de chaque usage, sous une forme habituelle pour tout un chacun. Dans les bureaux, en complément de cette approche, on fera également apparaître la consommation d'énergie finale (donc d'électricité) totale par usagers.

Cet ensemble d'éléments devra permettre de répondre aux objectifs qui suivent :

- comparer les consommations obtenues par la méthode définie au § A avec les valeurs du calcul conventionnel puisqu'il a été imposé dans le processus de rénovation (niveau label BBC réno) dans le seul but de permettre une amélioration de ce calcul afin que ses résultats se rapprochent si possible de la réalité,

■ compte tenu des explications données et des dysfonctionnements ou des erreurs mis en avant dans ce qui précède, proposer des mesures correctives permettant si possible d'améliorer la situation et de tendre vers les objectifs initiaux.

Afin de présenter de façon homogène ces comparaisons, l'évaluateur utilisera impérativement le tableau de synthèse suivant :

Postes de consommation	Valeurs mesurées ou évaluées avant rénovation kWh _{ep} /m ² _{Shab} /an	Valeurs calculées (simulation, etc) kWh _{ep} /m ² _{Shab} /an	Valeurs mesurées Approche conventionnelle ¹ kWh _{epc} /m ² _{SRT} /an	Rappel résultats BBC Rénovation kWh _{epc} /m ² _{SRT} /an
Rappel niveau label BBC rénovation				
Chauffage ECS Auxiliaires chauffage + ventilation Consommation totale d'électricité parties communes				
Sous total				
Usages électriques parties privatives				
Total général				

1 : énergie primaire conventionnelle (exprimée en kWh_{epc}) calculée avec les coefficients primaire/finale :
Electricité : 2,58 – Bois : 0,6 (BBC réno avec RT 2005) – Gaz/fioul : 1,0 – Réseau de chaleur : 1,0

Bilan comparé en énergie primaire des différents usages

Un questionnaire assez court joint en Annexe 2, permettra d'approcher l'opinion des usagers sur le fonctionnement de leur logement ou de leurs locaux professionnels. Afin d'être crédibilisées, certaines de ces informations seront recoupées avec les mesures faites à l'intérieur des logements ou des bureaux.

Pour mener à bien l'ensemble de ces missions et atteindre les objectifs assignés dans ce qui précède, le prestataire aura à sa charge intégrale une instrumentation importante. Il devra dimensionner cette instrumentation en fonction des besoins du présent cahier des charges et assurera entièrement la pose et la dépose des mesureurs à ses frais ainsi que le coût de ceux-ci. Son offre devra faire apparaître ces coûts.

Les mesureurs et compteurs à mettre en place seront situés à tout emplacement jugé nécessaire pour permettre de répondre aux questions et objectifs exposés précédemment. Il est notamment acquis que ces mesureurs pourront se trouver dans les parties privatives tout comme dans les parties collectives.

Le prestataire devra enfin inclure dans son offre, pour chacun des bâtiments à évaluer :

- un examen du bâtiment à la caméra infra rouge (à faire exclusivement en hiver). L'objectif sera de voir la qualité de la mise en œuvre de l'isolation, la présence éventuelle de ponts thermiques, etc.

- un test à la porte soufflante sur :
 - deux logements situés sur deux façades différentes pour les bâtiments d'habitation,
 - sur l'ensemble du bâtiment pour les locaux tertiaires.

Ces deux opérations ont pour objet de qualifier la qualité de l'enveloppe après rénovation. Leur rôle est à la fois d'évaluer la qualité du travail réalisé (pour l'améliorer si besoin) et faire œuvre pédagogique auprès des entreprises qui pourront utilement être conviées à assister, notamment au test à la porte soufflante.

L'ensemble des opérations de préparation et de mise en œuvre de l'instrumentation et du suivi devra se faire en relation étroite avec les maîtres d'ouvrage. Ceux-ci seront informés du plan de comptage prévu, des dates d'instrumentation et de dépose.

En contrepartie, ils participeront activement aux opérations de préparation en mettant à disposition du prestataire tous les éléments nécessaires à une bonne compréhension des installations (plans, schémas, descriptifs, emplacement et caractéristiques des compteurs existants, etc). Ils rendront aisé l'accès des installations aux personnes en charge de l'instrumentation et de la dépose. Les bailleurs de logements fourniront les coordonnées des occupants susceptibles d'accepter la campagne de mesure privative.

Tous les autres partenaires de l'opération (architecte, Bet, etc) mettront également à disposition, sur demande des maîtres d'ouvrage si besoin, les éléments nécessaires à la connaissance des installations, des équipements et des mesureurs déjà en place.

3 –MISSION D'INSTRUMENTATION

La mission reposera obligatoirement sur la mesure des paramètres et grandeurs physiques décrits dans ce qui suit.

3-1 Caractéristiques générales de la campagne de mesure

3.1.1 Détermination de l'échantillon à instrumenter

L'ensemble des maîtres d'ouvrage bénéficiaires d'aides au titre du PIA devront, en retour, mettre en place un suivi instrumenté. Les règles d'échantillonnage à respecter sont les suivantes :

3.1.1.1 Maisons individuelles

- a) Maître d'ouvrage unique gestionnaire du parc de maisons rénovées

Dans ce cas, toutes les maisons ont été rénovées de la même manière. La campagne de mesure des usages thermiques (chauffage et ECS) ne portera donc que sur 15 % des maisons, arrondi à l'entier supérieur, et avec un minimum de 2 maisons.

- b) Maître d'ouvrage d'une seule maison

Tous les maîtres d'ouvrage de ce type devront procéder à un suivi instrumenté.

3.1.1.2 Bâtiments de logements collectifs et bâtiments tertiaires

- a) Maître d'ouvrage unique gestionnaire d'un parc de bâtiments rénovés

Compte tenu de la taille de certaines opérations immobilières du programme, seule une partie des bâtiments fera l'objet d'une instrumentation. Les règles suivantes seront à respecter :

- opération de 1 ou 2 bâtiments rénovés : tous les bâtiments devront être instrumentés,
- opération de 3 à 5 bâtiments rénovés : 2 bâtiments seront instrumentés,
- opération de 6 à 10 bâtiments rénovés : instrumentation de 40 % des bâtiments (arrondir à l'entier le plus proche), avec un minimum de 3 bâtiments,
- opération de 11 bâtiments rénovés et plus : instrumentation de 30 % des bâtiments (arrondir à l'entier le plus proche), avec un minimum de 4 bâtiments.

Dans les bâtiments d'habitation collectifs, si le chauffage est individuel, l'instrumentation des usages thermiques (chauffage et ECS) ne pourra pas être globale pour

l'ensemble du bâtiment. Il faudra instrumenter les logements individuellement. De façon à ne pas alourdir les coûts de suivi, cette instrumentation des usages thermiques portera sur 15 % des logements du bâtiment avec un minimum de 5 logements. Ces logements seront choisis sur des façades différentes, et à des niveaux (étages) incluant si possible le rez-de-chaussée et le dernier niveau.

b) Maître d'ouvrage d'un seul bâtiment rénové

Tous les maîtres d'ouvrage de ce type devront procéder à un suivi instrumenté.

Lorsque des bâtiments de différentes natures seront présents dans une opération (logements, bureaux, commerces), le choix des bâtiments à instrumenter comportera un mélange entre ces différents types, de façon pondérée à leur importance dans l'opération.

L'instrumentation portera sur les services généraux des bâtiments (services disponibles en commun à toutes les parties de l'immeuble), et sur les parties occupées à titre privatif (logements, bureaux, commerces, etc.). Les règles à respecter pour connaître la quantité d'espaces privatifs à suivre sont les suivantes :

A – Cas des logements :

15 % minimum des logements d'un bâtiment rénové feront l'objet d'un suivi particulier, avec un minimum de 5 logements par bâtiment. Dans la mesure du possible, ces logements devront être choisis sur les différentes façades de l'immeuble. Il est rappelé que l'instrumentation d'un logement ne peut se faire qu'avec l'autorisation des occupants. Cette contrainte rendra parfois difficile la sélection des logements et leur positionnement souhaitable en façade.

Cas particulier : si dans un bâtiment un nombre insuffisant d'usagers accepte que leur logement soit instrumenté, et si d'autres bâtiments de l'opération peuvent faire l'objet d'un suivi, alors ce sont ces bâtiments qui seront instrumentés.

B – Cas des autres locaux (bureaux, commerces) :

La surface utile des locaux privatifs à instrumenter sera d'au moins 15 % de la surface utile totale du bâtiment.

3.1.2 Durée de la campagne de mesure

La durée de la campagne de mesure sera exactement d'une année. Cette campagne devra être complète et non pas constituée d'une année partielle complétée par extrapolation.

3.1.3 Pas de temps des mesures

Le pas de temps des mesures est l'intervalle de temps entre deux mesures. Pour la totalité des mesures, à l'exception des mesures météorologiques, le pas de temps sera

obligatoirement de 10 minutes. En 365 jours, le fichier de chaque mesureur devra donc comporter 52.560 valeurs.

Pour les mesures à caractère météorologique, le pas de temps sera de 1 h.

3.1.4 Acquisition et stockage des données

Aucune obligation n'est imposée au prestataire concernant le mode d'acquisition et de stockage des données. Les systèmes radio, filaires ou à courants porteurs associés à un concentrateur et à un renvoi périodique des données sur un serveur, ou les systèmes utilisant des dataloggers, sont acceptés.

La fiabilité du système mis en œuvre par le prestataire devra être d'un très bon niveau. Ainsi le nombre de « trous », c'est à dire de manques de données, devra être le plus faible possible et ne devra en tout cas pas affecter la qualité de l'analyse.

Le format des fichiers sera libre (Txt, xls, csv, etc) pour autant qu'il ne s'agisse pas d'un format propriétaire.

3-2 Examen de l'enveloppe bâtie par test à la caméra infra rouge

Les bâtiments instrumentés feront également l'objet d'un examen à la caméra infra rouge. Ce test aura obligatoirement lieu en hiver, un jour sans soleil, et par une température extérieure inférieure d'au moins 10°C à la température intérieure. Il aura pour objectif de mettre en évidence les défauts de mise en œuvre, voire de conception, comme :

- les ponts thermiques
- les malfaçons dans la pose de l'isolation thermique,
- les insuffisances diverses dans la mise en œuvre de l'enveloppe thermique,
- les exfiltrations massives d'air,
- etc.

L'objet de ce test est de permettre aux différents corps de métier de prendre conscience des insuffisances de leurs pratiques respectives, et de la nécessité de s'améliorer dans le futur. Sa vocation est donc avant tout pédagogique.

Les vues à réaliser *a minima* sont les suivantes :

- vues générales des façades, et zoom sur des particularités (anomalies) que ces vues auraient pu faire apparaître,
- vue de la porte d'entrée du bâtiment,
- vues de plusieurs menuiseries extérieures (recherche de ponts thermiques ou d'exfiltrations d'air, impact des coffres de volets roulants, etc) situées dans les étages inférieurs et dans les étages supérieurs,
- vues rapprochées des façades afin d'identifier d'éventuels ponts thermiques structurels (cas des accrochages de bardage), ou tout autre type de ponts thermiques,
- vues à l'intérieur des immeubles (dans plusieurs logements ou plusieurs bureaux) : menuiseries extérieures (vision depuis l'intérieur).

Livrable : l'examen à la caméra infra rouge de l'enveloppe fera l'objet d'un chapitre de présentation dans le rapport final de la campagne de mesures. Toutes les vues seront accompagnées d'une interprétation et de commentaires de la part de l'évaluateur. Les

images seront mises à disposition, en annexe du rapport, au format jpeg thermique (fichier joint) de façon à pouvoir disposer d'informations complémentaires.

3-3 Test d'étanchéité à la porte soufflante en fin d'opération

Ce test est à la charge de la présente mission et les résultats devront donc être repris dans le rapport d'évaluation. Il sera effectué dans le nombre de logements défini en fin de chapitre 2. Il sera obligatoirement fait par une entreprise disposant d'un agrément du Ministère du Logement.

L'objet de ce test est d'abord de faire de la pédagogie, notamment dans le champ de la rénovation où l'origine des fuites est très multiforme et très différente de la construction neuve, afin que les entreprises puissent améliorer leurs pratiques. Mais les taux de perméabilité à l'air sont devenus des contraintes de réalisation que la maîtrise d'œuvre et les entreprises sont désormais tenues de respecter (même s'il n'y a pas de norme en matière de rénovation, les concepteurs se fixent des objectifs dont il faut à tout prix se rapprocher). Ils ont une incidence directe sur le niveau de consommation. En d'autres termes, ce test constitue un contrôle cherchant à vérifier que les valeurs cibles (fixées souvent de façon plus contraignante que dans le calcul réglementaire pour les projets entrant dans le cadre du programme Ville de demain) ont bien été atteintes, et rendant quasi obligatoires les reprises de travaux nécessaires pour ramener les valeurs d'étanchéité proches de leurs valeurs objectives.

Livrable : le rapport final d'évaluation intégrera les résultats et l'interprétation de ce test établi par l'opérateur agréé.

3-4 Le plan de comptage

Les maîtres d'ouvrages s'engagent à participer à l'évaluation de façon active en :

- fournissant toutes les informations nécessaires au prestataire,
- donnant suite aux sollicitations de celui-ci, et en facilitant l'accès aux bâtiments pour les opérations d'instrumentation ou de mesures ponctuelles qui pourraient être nécessaires pendant la campagne de mesure.

A partir des contraintes définies dans ce qui suit et des grandeurs physiques à mesurer, le prestataire établira pour chaque bâtiment un plan de comptage précis. Présenté sous forme de tableau, avec une nomenclature précise, ce tableau fera apparaître l'ensemble des points de mesure prévus. Chaque point sera caractérisé par :

- une référence associant la nature de la mesure (température, compteur de chaleur, etc.) et un n° d'ordre spécifique. Exemple : CC12 désigne le compteur de chaleur n°12,
- la nature en clair de la mesure effectuée (ex : comptage de chaleur sur départ chauffage),
- le local dans lequel il est installé,
- sa position sur un schéma de principe des installations (pour les mesures faites sur les équipements techniques).

Ce plan de comptage sera établi avec les éléments techniques fournis par le maître d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre. La mise en place de l'instrumentation devra être examinée le plus en amont possible du projet, dans le cadre d'une collaboration étroite entre le maître

d'ouvrage, la maîtrise d'œuvre, le prestataire et les partenaires financeurs. Il sera remis dans un délai maximal de deux mois après la notification de la commande.

Il distinguera l'instrumentation prise en charge dans le budget du maître d'ouvrage et l'instrumentation complémentaire prise en charge par le prestataire le cas échéant. Les instrumentations fixes qui resteront après la campagne et qui seront utilisables par le maître d'ouvrage ultérieurement seront privilégiées.

Le prestataire décrira également les moyens de suivi à mettre en œuvre afin d'étudier les solutions particulières utilisant des technologies nouvelles (cas des puits canadiens, ou de la récupération de chaleur des eaux grises, etc.).

Le chiffrage de l'instrumentation sera détaillé en précisant les montants pris en charge par le maître d'ouvrage (compteurs posés au moment du chantier) et ceux qui sont pris en charge par le prestataire.

Livrable : rapport détaillé du plan de comptage.

3-5 Définitions

Quelques définitions préalables sont nécessaires concernant la métrologie :

■ **Résolution** : La résolution d'un appareil est la plus petite variation de la grandeur mesurée qui produit une variation perceptible de l'indication délivrée par l'instrument.

■ **Précision** : La précision d'une mesure est la taille de l'intervalle des valeurs possibles attachées à cette mesure. La précision s'exprime généralement soit en valeur absolue (+/- 0,5°C), soit en % de la valeur mesurée.

■ **Plage de mesure** : étendue des valeurs de mesure possibles.

■ **Sensibilité** : La sensibilité est un paramètre exprimant la variation du signal de sortie d'un appareil de mesure en fonction de la variation du signal d'entrée. Cette notion est très proche de celle de résolution définie précédemment.

3-6 Mesures météorologiques

Une station météorologique, ou toute autre solution assurant avec fiabilité et précision les mêmes fonctions, sera installée sur chaque site (différents bâtiments dans un même ville ne nécessiteront qu'une seule station météo). Les mesures à effectuer seront les suivantes :

- température de l'air extérieur (cette sonde doit être placée de manière à ne pas être influencée par le rayonnement solaire, ni par des surfaces rayonnantes trop proches),
- hygrométrie de l'air extérieur,
- insolation : mesure du rayonnement solaire global sur un plan horizontal (W/m²)

La vitesse du vent ne fera pas l'objet d'un suivi.

3-7 Mesures à l'intérieur des espaces privés

Sont concernés : les logements, les bureaux et les commerces faisant l'objet d'un suivi intrusif.

Les conditions de fonctionnement de ces espaces contribuent significativement au résultat des consommations globales. Il est donc important de suivre à la fois les conditions de confort et les consommations d'électricité à usages spécifiques car celles-ci constituent des apports de chaleur importants contribuant à modifier le bilan énergétique et susceptibles de conduire à des surchauffes en été.

Les grandeurs à mesurer sont donc les suivantes :

- température et hygrométrie intérieures.

Dans les logements on placera une sonde de température et une sonde hygrométrique dans le séjour. En option, si le budget le permet, on placera aussi une sonde de température dans une chambre. Les sondes seront placées de manière à ne pas gêner les usagers. Elles seront situées environ à 1,5 m de hauteur et seront placées dans un endroit qui n'est atteint ni par les rayons du soleil à quelque période que ce soit de l'année, ni par une source de chaleur proche (radiateur, etc).

Dans les bâtiments de bureaux, le même équipement que précédemment sera mis en place dans certains bureaux (voir règle d'échantillonnage au § 3.1.1).

- consommation d'électricité

Les usages suivants seront systématiquement suivis :

Cas des logements :

- comptage général. Il s'agit du suivi du compteur à l'entrée du logement.

Cas des locaux tertiaires : pas de mesure à l'intérieur des locaux mais une seule mesure globale de la consommation d'électricité (comptage général). Voir § 3.11.

- Compteur volumétrique ECS

A titre de recellement et de contrôle, il est intéressant de disposer des consommations annuelles d'eau froide et d'eau chaude sanitaire mesurées par les compteurs en entrée de logement. Ces mesures n'ont pas besoin d'être faites au pas de temps de 10 minutes : il suffit de relever les index au début de la campagne de mesure et à la fin.

3-8 Mesure des consommations de chauffage et d'eau chaude sanitaire

3.8.1 Contraintes d'instrumentation propres à chaque cas

3.8.1.1 Maisons individuelles et logements collectifs avec chauffage et ECS individuels

L'instrumentation du chauffage et de l'ECS respectera les règles suivantes :

A – Chauffage et ECS par le même générateur à combustion

L'instrumentation comportera :

- un compteur sur l'énergie finale (gaz, fioul, propane). Voir détails § 3.8.2
- un compteur de chaleur sur le départ chauffage et un autre sur le départ

ECS. Voir détails § 3.8.2

Le partage de l'énergie finale entre chauffage et ECS se fera, en hiver, au prorata des consommations de chauffage et d'ECS enregistrées sur les deux compteurs de chaleur, et en été en totalité sur l'ECS. Voir détails § 3.8.2.4

Si le combustible est du bois on suivra les recommandations du § 3.8.2.2 le reste étant inchangé.

B – Chauffage et ECS par deux générateurs à combustible

L'instrumentation comportera un compteur d'énergie finale à l'entrée de chacun des deux générateurs. Même recommandations que dans le § précédent.

C – Chauffage par générateur à combustible – ECS par dispositif électrique

L'instrumentation comportera :

- un compteur d'énergie finale en amont du générateur à combustible (§3.8.2.1 et 2),

- un wattmètre sur l'alimentation du générateur électrique d'ECS (§ 3.8.2.3)

D – Chauffage électrique par effet Joule (convectif ou radiant)

L'instrumentation pourra indifféremment placer des wattmètres sur chacun des appareils, ou bien prendre directement la consommation totale du chauffage au tableau, en sortie de protections, par un ou plusieurs wattmètres. Voir § 3.8.2.3.

Dans ce cas, l'eau chaude sanitaire est traitée comme décrit au §C ci-dessus.

E – Chauffage électrique par pompe à chaleur

L'instrumentation comportera un wattmètre sur l'alimentation de la PAC. Si l'ECS est produite par la PAC, il faudra rajouter deux compteurs de chaleur sur les départs du chauffage et de l'ECS. Le partage de l'énergie finale s'effectuera comme précisé au § A ci-dessus. Voir recommandations au § 3.8.2.3.

En revanche, si l'ECS est produite par effet Joule dans un ballon, celui-ci sera équipé d'un wattmètre.

3. 8.1.2 Logements collectifs avec chauffage collectif

Deux situations peuvent se présenter :

- la production de chaleur est assurée par un réseau de chauffage urbain et les bâtiments sont alimentés par le biais d'une sous station. Dans ce cas, il n'est pas possible de

mesurer directement l'énergie finale, mais seulement la chaleur en sortie d'échangeur. Cette mesure sera décrite au § 3.8.4.

- la production de chaleur est assurée par un combustible, ou par de l'électricité (pompe à chaleur par exemple). Il s'agit directement d'énergie finale.

3.8.2 Spécifications techniques particulières des mesures d'énergie finale pour le chauffage et l'ECS

3.8.2.1 Comptage pour combustibles liquides et gazeux

Le comptage des quantités de combustible (gaz, fioul, etc) livrées aux bâtiments devra être instrumenté. Aucune technique n'est imposée au prestataire. Il est possible de disposer de compteurs avec émetteur d'impulsions et de récupérer ces impulsions, ou de mettre en œuvre tout comptage non prévu à la livraison du bâtiment avec les spécifications voulues (à la charge du prestataire). Dans le cas du gaz le prestataire mesurera des m³, et il lui faudra convertir ces volumes en énergie. Cette conversion devra se faire à partir de données (pouvoir calorifique supérieur/m³) fournies par le distributeur de gaz pour le site d'expérimentation et sur la période d'instrumentation. Eventuellement, la correction adéquate sera apportée pour tenir compte de la pression du gaz au niveau du compteur, si la valeur du pouvoir calorifique fournie par le distributeur n'inclut pas déjà cette correction (avec une pression de 20 mbar le pcs du gaz naturel est d'environ 11 kWh/m³, et à 300 mbar il est d'environ 14 kWh/m³).

Compteurs conformes annexe MI-002 de la directive européenne MID 2004/22/CE.

3.8.2.2 Comptage pour le bois

Le comptage de l'énergie finale pour le bois nécessite beaucoup de soin. L'état initial du stock, au moment où va commencer la campagne de mesure, doit être évalué avec une bonne précision. Puis chaque livraison doit être consignée dans un registre. La masse livrée (et non le volume) doit être consignée, ainsi que l'humidité relative pour les plaquettes et les bûches (information inutile pour les granulés). Cette donnée est très importante pour déterminer avec précision l'énergie finale. A la fin de la campagne de mesure, l'état du stock devra à nouveau être évalué avec soin.

La conversion des masses de bois en énergie finale s'effectuera de deux façons différentes, en considérant soit le pouvoir calorifique supérieur soit le pouvoir calorifique inférieur. Ceci pour commencer à prendre en compte le mieux possible les nouveaux modèles de chaudières, déjà présentes sur le marché, permettant de récupérer la chaleur latente lors de la combustion du bois (qui se compose de la chaleur latente de la vapeur d'eau créée par la combustion, mais aussi et surtout de la vapeur d'eau due au séchage du bois pendant la combustion), ce qui évitera d'obtenir des rendements de combustion supérieurs à 100 %.

a) Calcul avec le pouvoir calorifique inférieur

La valeur à prendre pour ce calcul est celle du bois anhydre. Selon l'espèce de bois, on retiendra :

- PCI_a des feuillus = 5,07 kWh/ kg_a

- PCI_a des résineux = 5,33 kWh/kg_a

la masse de référence étant la masse anhydre (sans eau),

b) Calcul avec le pouvoir calorifique supérieur

La valeur à prendre pour ce calcul est celle du bois anhydre. Selon l'espèce de bois, on retiendra :

- PCS_a des feuillus = 5,45 kWh/ kg_a

- PCS_a des résineux = 5,71 kWh/kg_a

la masse de référence étant la masse anhydre (sans eau),

Que l'on travaille avec le PCI_a ou le PCS_a, il est nécessaire de calculer la masse anhydre du bois pour calculer son contenu énergétique réel. Si w_h est l'humidité brute du bois, le contenu énergétique d'une masse de bois M_{tot} d'humidité brute w_h vaudra :

$$E = \text{PCS}/I_a * M_{\text{tot}} * (1 - w_h)$$

Exemple : on a brûlé dans un hiver 4.200 kg de bûches de feuillus à 18% d'humidité. L'énergie correspondante vaut :

$$E_{\text{PCS}_a} = 4200 * 5,45 * (1 - 0,18) = 18.770 \text{ kWh avec le PCS}_a$$

$$\text{Et } E_{\text{PCI}_a} = 4200 * 5,07 * (1 - 0,18) = 17.460 \text{ kWh avec le PCI}_a$$

3.8.2.3 Comptage pour l'électricité

Le comptage électrique se fera soit par le compteur mis en place par le distributeur, soit par un sous compteur dont la précision est inférieure ou égale à 2% (classe 2). Les compteurs de type fixe seront toujours munis d'un émetteur d'impulsions. Le poids des impulsions sera impérativement de 1 Wh.

La pose des wattmètres devra se faire dans le respect total des règles de sécurité (du poseur et des utilisateurs). Des protections électriques seront mises en place si nécessaire.

Dans le cas d'une pompe à chaleur, il faudra instrumenter séparément, lorsque c'est techniquement possible, l'alimentation du compresseur, le contrôle commande, et surtout les différents auxiliaires (pompes et/ou ventilateurs) qui peuvent représenter des consommations importantes.

3.8.2.4 Cas d'un comptage en énergie finale alimentant le chauffage et l'ECS

Il est fréquent que le même générateur de chaleur alimente le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire. Dans ce cas, la quantité d'énergie finale (et donc primaire) relative à chaque usage sera déterminée au prorata des quantités d'énergie thermique enregistrées sur le départ de chaque usage en période d'hiver, et imputée en totalité à l'eau chaude sanitaire hors saison de chauffage.

3.8.3 Mesure de la quantité de chaleur en sortie de chaudières

Des compteurs de chaleur seront placés en sortie des chaudières. Ils permettront de connaître l'énergie au départ de la chaufferie. Ceci permettra de déterminer le rendement de la production de chaleur.

Ces compteurs, pour des raisons de simplicité, seront posés sur les retours des différents réseaux utilisateurs. Ils seront conformes à l'annexe MI-004 de la directive européenne MID 2004/22/CE. Voir en Annexe 1 les contraintes de précision et de pose.

3.8.4 Mesure de la quantité de chaleur en sortie d'un échangeur de chauffage urbain

Dans ce cas la génération de chaleur est extérieure au bâtiment et il faudrait connaître l'énergie finale à l'entrée de l'échangeur à défaut de la connaître en sortie de l'usine de chauffage urbain. Il faut donc obtenir du concessionnaire les points de mesure à 10 minutes qu'il effectue en amont de l'échangeur.

On placera un compteur de chaleur sur le retour de chaque réseau (chauffage et eau chaude), conformément au § 3.8.3 et à l'Annexe 1. Le partage de la consommation totale d'énergie finale en amont de l'échangeur (fournie par le concessionnaire), s'effectuera conformément à la méthode décrite au § 3.8.2.4.

Si pour une raison quelconque il n'est pas possible de disposer les données en amont de l'échangeur, on considérera uniquement les données mesurées en aval de l'échangeur et on relèvera manuellement les index du compteur amont à une année d'intervalle.

3.8.5 Mesure de la quantité de chaleur dans le cas d'un chauffe eau solaire

Cette partie de l'instrumentation n'a évidemment de raison d'être que si une installation de production d'eau chaude solaire a été réalisée au titre de la rénovation.

3.8.5.1 Cas des maisons individuelles

En sus des contraintes fixées au § 3.8.1, il faudra mettre en place les comptages suivants :

- compteur de chaleur en entrée du ballon solaire. La sonde «froide » sera placée au niveau du compteur, et la sonde « chaude » sera placée à la sortie (1m) du ballon solaire. Si l'appoint est électrique et intégré directement dans le ballon, la mesure de ce compteur de chaleur donnera l'énergie ECS au départ de la chaufferie (mélange d'appoint et d'énergie solaire). Pour connaître la part de l'énergie solaire utile il faudra soustraire à cette mesure la mesure de l'appoint électrique (voir ci-dessous). Si en revanche l'appoint n'est pas fait dans le ballon, la mesure de ce compteur fournit directement les apports solaires utiles,
- wattmètre sur l'appoint s'il est électrique.

3.8.5.2 Cas des installations solaires collectives

En sus des contraintes fixées au § 3.8.2, il faudra mettre en place les comptages suivants pour pouvoir établir un bilan global complet :

- compteur de chaleur sur le réseau d'appoint du ballon ECS depuis le générateur (appoint), avec sondes de température sur le départ et le retour de la boucle générateur/ballon ECS,
- compteur de chaleur sur le retour de la boucle de distribution d'eau chaude sanitaire. Ce compteur permet de mesurer les pertes de la boucle. Sa sonde « chaude » sera placée au départ de la boucle de distribution ECS vers les logements, et sa sonde « froide » sera placée au niveau du compteur lui-même,
- compteur de chaleur en entrée du ballon solaire. La sonde «froide» sera placée au niveau du compteur, et la sonde «chaude» sera placée en sortie (à 1m) du ballon solaire,

- si l'appoint est dans un ballon spécifique différent du ballon solaire, il faudra un compteur de chaleur sur l'arrivée générale EF destinée à l'alimentation de l'ECS. Ce compteur est placé en amont de la dérivation éventuelle vers un ballon solaire. La totalité des volumes d'eau chaude sanitaire puisée transite par ce compteur. Sa sonde « chaude » est placée sur le départ de la boucle ECS vers les logements (en aval de la vanne trois voies ou du mitigeur), et sa sonde « froide » est placée au niveau du compteur.

3.8.5.3 Spécifications propres aux compteurs de chaleur sur l'ECS

Ces compteurs seront conformes à l'annexe MI-004 de la directive européenne MID 2004/22/CE.

Technologie : les compteurs à ultra sons sont préférables à tous les compteurs à hélice qui sont beaucoup moins fiables.

Un compteur de chaleur peut restituer la mesure de l'énergie, et le volume d'eau. Il est intéressant, uniquement pour les compteurs placés sur les flux d'eau chaude sanitaire, de récupérer en sus de l'énergie les volumes d'eau qui ont transité à chaque pas de temps de la mesure, car cela permet de vérifier les besoins réels en eau chaude sanitaire, la pointe à 10 minutes et la pointe à l'heure.

Le choix et la pose des compteurs devront être faits conformément aux précisions en Annexe 1.

3-9 Mesures complémentaires en chaufferie et/ou sous station

Les dispositions qui suivent ne concernent ni les maisons individuelles, ni les logements collectifs à chauffage individuel.

Certains paramètres en chaufferie constituent des variables explicatives intéressantes qu'il convient donc à tout prix de suivre. Elles permettent de détecter des dysfonctionnements parfois importants, ou d'expliquer certaines insuffisances de la production de chaleur. Seront donc suivies au titre de la présente mission les grandeurs suivantes :

■ les températures

- de la chaufferie
- eau froide à son arrivée en chaufferie,
- départ/retour de la boucle primaire de production de chaleur (circuit chaudières),
- départ/retour de chaque réseau (chauffage, production ECS, etc.),
- départ/retour de la boucle distribution ECS (la mesure au départ s'effectue en aval du mitigeur ou de la vanne trois voies),

En cas de production d'ECS solaire, si celle-ci a été mise en oeuvre lors de la rénovation :

- entrée/sortie du ballon solaire
- entrée/sortie des capteurs (circuit primaire)
- départ/retour du circuit secondaire (échangeur/ballon solaire),

- **Volume**

- EF sur l'alimentation ECS (donc volume de la production ECS)

3-10 Mesures de la consommation électrique

En sus des consommations d'électricité décrites au §3.7, on mesurera les usages suivants :

Usages	Maisons individuelles et logts coll ch indiv	Logts Collectifs Chauffage collectif	Bureaux	Commerces
Comptage électrique général du bâtiment	X	X	X	X
Comptage électrique général des services généraux	Non pour MI Oui pour logts collect	X	X	X
Chaufferie - Comptage global	Sur chaudière indiv	X	X	X
Ventilateurs de soufflage	Mesure globale du	X	X	X
Ventilateurs d'extraction	Caisson sur VMC indiv	X	X	X
Eau chaude sanitaire électrique	X	X	X	X

3-11 Mesures sur les installations de ventilation mécanique

Les installations de ventilation mécanique constituent l'une des plus importantes sources de besoins thermiques dans les bâtiments. Elles doivent donc faire l'objet d'une attention toute particulière. Leur fonctionnement doit être analysé avec soins, les débits mesurés, la qualité de leur réalisation contrôlée.

Au titre de la présente mission le prestataire devra donc :

- Dans la mesure du possible (ceci reste en option), faire procéder, ou procéder, à un test d'étanchéité d'une partie des réseaux aérauliques afin de déterminer leur classe d'étanchéité à l'air (de A à D). Ce test sera conduit par une entreprise agréée. Les défauts d'étanchéité à l'air seront mis en évidence (fumigène) et feront si possible l'objet d'améliorations,
- Procéder à la mesure des débits aux bouches dans les locaux définis par la règle d'échantillonnage (voir § 3.1.1 A&B)

3-12 Analyse de la qualité de l'air intérieure

Cette évaluation a pour objet de contrôler la qualité de l'air. Mais compte tenu des difficultés techniques et économiques d'une qualification complète de la qualité de l'air, l'ambition de la présente mission sera relativement réduite et se bornera au suivi de la teneur en gaz carbonique et en radon de l'air ambiant à l'intérieur des locaux rénovés.

Cette évaluation nécessite donc la mise en place d'une instrumentation spécifique. Cette mesure se fera, pour les logements, dans le séjour. La mesure de radon s'effectuera seulement sur quelques jours.

Livrable : analyse des fréquences cumulées des teneurs en CO₂ au cours de la période de mesure (deux ou trois mois dans l'hiver). Qualification de la qualité de l'air. Teneur en radon. Les résultats figureront dans le rapport final de synthèse de la campagne de mesure.

3-13 Enquête de terrain

Afin de mieux comprendre et mieux expliquer les résultats de la campagne de mesure, le prestataire procédera à une enquête sommaire auprès des occupants et utilisateurs des bâtiments. Cette enquête sera conduite dans les locaux faisant l'objet de mesures en zone privative (voir § 3.1 et 3.7). Le questionnaire à utiliser obligatoirement pour cette enquête figure en Annexe 2.

L'objet de cette enquête sera de mieux appréhender les niveaux de consommation réels observés, et leur mise en relation avec les comportements des usagers.

Ces éléments permettront de mieux comprendre les mesures faites, le niveau de consommation des différents usages, le lien entre température et confort dans l'esprit des usagers, les niveaux de température observés, etc.

Livrable : les résultats et le dépouillement de l'enquête seront intégrés au rapport final de l'évaluation.

4 – TRAITEMENT DES DONNEES

Rien ne sert de faire des mesures si elles ne font pas l'objet d'une exploitation détaillée qui en constitue la véritable valeur. Il est donc attendu du prestataire un travail en profondeur sur le « matériau » qu'il aura collecté.

Ce travail portera d'abord sur l'analyse du fonctionnement des différents équipements afin de rechercher les dysfonctionnements possibles, l'établissement de ratios de consommation caractéristiques, et les explications des écarts que l'on pourrait constater avec les performances que l'on attendait. Enfin, il est souhaité que pour chaque bâtiment, une liste de propositions visant à améliorer le fonctionnement et les performances soit proposée.

4-1 L'analyse du fonctionnement des équipements

L'intérêt d'un suivi au pas de temps de 10 minutes est de pouvoir revenir en détail sur le mode de fonctionnement de chaque équipement au cours de l'année.

Le prestataire devra donc scruter le mode de fonctionnement des principaux équipements (ventilation, chaudières, préparation d'ECS, etc.) afin de mettre en évidence ce qui ne fonctionne pas. On s'intéressera tout particulièrement au taux de charge réel des chaudières (dont dépend le rendement de génération), aux cycles de fonctionnement des pompes à chaleur, etc.

L'importance d'une campagne de mesure sur des projets très novateurs est d'éclairer les concepteurs et tous les participants au projet sur le mode effectif de fonctionnement du bâtiment livré, sur la qualité de son enveloppe et du fonctionnement de ses équipements.

4-2 Consommations caractéristiques de l'installation

L'analyse des données devra conduire à exprimer les consommations des différents usages, en fonction de paramètres spécifiques (par logement, par m^2_{hab} , par m^2_{SRT} , etc.). Parmi ces indicateurs, et sans que cette liste soit exhaustive, le prestataire fournira pour chaque bâtiment :

- la consommation de chauffage, en énergie finale, et en énergie primaire, par m^2 habitable (ou de surface utile en tertiaire) et par m^2_{SRT} . On se conformera pour cela aux indications fournies au Chapitre 2. Ceci supposera de faire des bilans énergétiques complets de chaque bâtiment,

- La consommation d'eau chaude sanitaire, en énergie finale et en énergie primaire, rapportée au m^2 habitable (ou de surface utile en tertiaire), par m^2_{SRT} , et par logement. Voir indications du Chapitre 2.

- Consommation d'électricité des services généraux exprimée :
 - par m² habitable (ou de surface utile en tertiaire), avec part des usages suivis (en kWh/m²),
 - Structure par usage suivi de la consommation totale d'électricité,
 - Consommation d'électricité spécifique par m²Shab pour les logements instrumentés (énergie finale), puis exprimée en énergie primaire.
 - Consommation d'électricité spécifique par m²utile pour les bureaux et les commerces instrumentés (énergie finale), puis exprimée en énergie primaire.
 - Détails des postes de consommation d'électricité spécifiques suivis dans les bureaux et les commerces, avec part de chaque usage dans la consommation totale.
 - Bilan CO₂ global, avec structure par usage, exprimé en CO₂ par m² habitable (ou utile), ou en CO₂ par usager, ou en CO₂ par logement.
 - Pour l'ecs, on distinguera la quantité d'énergie venant du solaire, celle de l'appoint, et le total.
 - Bilan énergétique global, exprimé en énergie primaire, avec part de chaque usage,
 - Courbes des fréquences cumulées des températures en période hiver, et en période été. Etude des niveaux de température de confort en hiver. Vérification du confort en été.
 - Courbes des fréquences cumulées de l'hygrométrie en hiver et en été.
 - Caractérisation du confort par rapport à des polygones de confort du diagramme de l'air humide que l'on précisera. Ceci est rendu possible par les couples température/hygrométrie.
 - Caractérisation du fonctionnement des chaudières sera obtenue par une courbe de fréquences cumulées de son taux de charge qui est le rapport de la puissance qu'elle délivre, à sa puissance maxi.
 - Caractérisation de la qualité de l'installation de ventilation se fera par une courbe des fréquences cumulées des puissances appelées.
 - Qualité de l'air par les taux de concentration des polluants suivis (CO₂, radon),
 - Etc...

Le prestataire devra rapprocher, avec une grande prudence, les consommations mesurées et les évaluations de consommations prévisionnelles. Ce travail délicat devra être fait avec un soin extrême. Les étapes attendues de cette comparaison sont les suivantes :

- choisir une consommation de référence

Si l'approche a été conduite avec le calcul réglementaire, on rappellera que le calcul RT n'est pas une prévision de consommation. Il s'agit d'un calcul conventionnel, au même titre que la consommation normalisée d'une voiture. Les consommations observées, fruit des conditions réelles d'occupation, ne sauraient valablement être comparées aux valeurs fournies par le calcul RT, sauf pour mettre en évidence les écarts inévitables (mais pas systématiques) qui peuvent séparer les deux résultats.

Si une simulation thermique dynamique et un calcul physique des consommations, fondés sur des hypothèses les plus réalistes possibles ont été faits, leurs résultats serviront de référence pour la comparaison.

- Expliquer les écarts observés

Les écarts observés sont inévitables et normaux. Il faudra néanmoins tenter de les expliquer. Ils peuvent avoir trois causes : une enveloppe bâtie et/ou des équipements qui ne sont pas au niveau de performance requis dans le cahier des charges. Une maintenance défectueuse, des réglages incorrects, une programmation inadaptée du fonctionnement des équipements. Ou un comportement des usagers susceptible de générer d'importantes dérives de consommation (mode d'utilisation des appareils, niveau de température, etc.). La mission du prestataire sera de préciser les raisons des écarts constatés.

Un récapitulatif synthétique (fiche de synthèse des principaux résultats) annexé au rapport sera fournie.

4-3 Mesures correctives et pistes d'amélioration

Le prestataire fournira une liste des principales pathologies ou dysfonctionnements (en indiquant le § du rapport décrivant cette pathologie) accompagnée des mesures correctives et des améliorations à mettre en oeuvre pour remettre le bâtiment et ses installations en fonctionnement optimal. Ces améliorations seront d'une nature adaptée au problème. Elles pourront toucher l'enveloppe, les systèmes, la maintenance, les réglages, etc...

4-4 Les enseignements

Dans cette dernière partie, il est demandé à l'évaluateur de dégager les enseignements généraux apparaissant à l'issue de la mission. Ces enseignements généraux ont un caractère dépassant les spécificités de l'opération elle-même. Il s'agit de règles de conception, de règles de calcul, de modes opératoires, d'avertissements pour le suivi des chantiers, etc. qui semblent manquer dans l'approche générale des rénovations en France.

Ces règles vont s'adresser aussi bien aux maîtres d'ouvrage (sur la manière de rédiger leurs cahiers des charges et leur programme, sur le rôle qu'ils font jouer à la maîtrise d'œuvre sur les chantiers, etc.), aux maîtres d'œuvre (comment bien concevoir pour atteindre tel ou tel niveau de performance, comment bien se prémunir des surchauffes estivales, quelles sont les dispositions constructives qui « marchent bien », etc.), qu'aux entreprises de rénovation ou de maintenance (ne pas oublier la maintenance dans les observations).

Dans la mesure du possible, ces enseignements seront regroupés par acteurs, afin que chacun puisse facilement identifier les éléments qui le concernent.

Parmi les thèmes qui pourraient s'avérer intéressants, on trouvera (sans que cette liste soit limitative) :

- les ajustements souhaitables du calcul réglementaire dédié à la rénovation,
- le cadre contractuel entre maître d'ouvrage et maître d'œuvre de manière à le rendre mieux adapté à la conduite d'une opération performante de rénovation : meilleure définition des objectifs de l'opération (il faut que le maître d'ouvrage précise peut-être mieux ce qu'il attend de l'opération, notamment en matière énergétique), nature de la mission des maîtres d'œuvre, pertinence d'une mission d'Exécution, etc.

- liste des points de vigilance pour chaque type d'opérateur,

- erreurs récurrentes de conception (pas d'analyse de la migration de vapeur, pas d'approche sérieuse de l'étanchéité à l'air lors de la rénovation), de mise en œuvre, de maintenance, etc.

L'évaluateur sera libre de faire toutes les remarques pertinentes qui lui sembleront justifiées et qui permettront d'améliorer les pratiques de la rénovation performante en France.

4-5 Le rapport final

Le rapport final est un document qui a vocation à être largement diffusé. A cette fin, il pourra à la rigueur, sur demande éventuelle et explicite du maître d'ouvrage, être totalement rendu anonyme (disparition du nom de l'opération et des photos permettant son identification).

Mais afin d'être également accessible au grand public, ce rapport sera précédé d'une synthèse ne dépassant pas 5 ou 6 pages qui devra impérativement être rédigée dans un style particulièrement accessible au grand public, faite de mots simples et aussi peu techniques que possible.

Dans le but d'homogénéiser la présentation des résultats de l'ensemble des campagnes de mesure qui seront faites au titre du programme « Ville de demain », la structure du rapport final devra s'inscrire obligatoirement dans la trame suivante de présentation :

A – Cas des logements

Introduction

1 – Présentation de l'opération et de l'évaluation

1.1 Présentation de l'opération

1.2 Présentation de la campagne d'évaluation et de mesure

2 – Evaluation de la qualité de l'enveloppe bâtie

2.1 Examen de l'enveloppe à la caméra thermique

2.2 Test à la porte soufflante

3 - Evaluation de la qualité des ambiances

3.1 Evaluation de la qualité de l'air

3.1.1 Dioxyde de carbone

3.1.2 Radon

3.2 Etude du confort

3.3 Etude du confort d'été

4 – Etude de la ventilation

4.1 Principe de fonctionnement de la ventilation

4.2 Mesure ponctuelle des débits

5-Etude du chauffage

5.1 Présentation de l'installation – Principe de fonctionnement

5.2 Caractéristiques météorologiques de l'année d'évaluation

5.3 Consommation annuelle

6-Etude de l'eau chaude sanitaire

- 6.1 Présentation de l'installation – Principe de fonctionnement
- 6.2 Consommation annuelle
- 6.3 Etude des températures de la boucle ECS
- 7-Electricité des services généraux
 - 7.1 Consommation globale
 - 7.2 Evolution de la consommation globale au cours de l'année
 - 7.3 Puissances appelées
- 8-Electricité : Consommation globale des parties privatives
- 9-Les chiffres clés
 - 9.1 Consommation totale
 - 9.2 Tableau récapitulatif des principales caractéristiques techniques
- 10-Préconisations

B – Cas des bureaux et des commerces

Introduction

- 1 – Présentation de l'opération et de l'évaluation
 - 1.1 Présentation de l'opération
 - 1.2 Présentation de la campagne d'évaluation et de mesure
- 2 – Evaluation de la qualité de l'enveloppe bâtie
 - 2.1 Examen de l'enveloppe à la caméra thermique
 - 2.2 Test à la porte soufflante
- 3 - Evaluation de la qualité des ambiances
 - 3.1 Evaluation de la qualité de l'air
 - 3.1.1 Dioxyde de carbone
 - 3.1.2 Radon
 - 3.2 Etude du confort
 - 3.3 Etude du confort d'été
- 4 – Etude de la ventilation
 - 4.1 Principe de fonctionnement de la ventilation
 - 4.2 Mesure ponctuelle des débits
- 5-Etude du chauffage
 - 5.1 Présentation de l'installation – Principe de fonctionnement
 - 5.2 Caractéristiques météorologiques de l'année d'évaluation
 - 5.3 Consommation annuelle
- 6-Electricité des services généraux
 - 6.1 Consommation globale
 - 6.1.1 Structure de la consommation annuelle (usages suivis uniquement)
 - 6.2 Etude de la ventilation
 - 6.3 Production d'électricité d'origine photovoltaïque (*s'il y a lieu*)
- 7-Les chiffres clés
 - 7.1 Consommation totale
 - 7.2 Tableau récapitulatif des principales caractéristiques techniques
- 8-Préconisations

ANNEXE 1 : CARACTERISTIQUES DES MESUREURS ET CONTRAINTES DE MISE EN ŒUVRE

A1 – Mesures météorologiques

La station météo devra être mise en place avec un grand soin pour ne pas être accessible par une personne non autorisée, et pour ne pas être vandalisée. Son bon fonctionnement sera vérifié de manière périodique car ces stations sont très sensibles à la pluie et à la foudre qui peuvent altérer ses performances. Celui-ci peut aussi être altéré par des vents forts et la mise en place de la station devra tenir compte de cette éventualité.

Caractéristiques des mesureurs :

	Résolution	Précision	Plage de mesure
Température	0,1°C	0,5 °C de 10 à 40°C 1°C de -20°C à 10°C et de 40° à 70°C	- 40°C à + 70°C
Hygrométrie	0,1 %	2% de 10 à 90% 4% de 0 à 10 % et de 90 à 100%	15 à 100 %
Pyranomètre	1 W/m ²	+/- 10%	0 à 1200 W/m ²

A2 – Mesures à l'intérieur des espaces privés

Caractéristiques des mesureurs de température et d'hygrométrie:

	Résolution	Précision	Plage de mesure
Température	0,1°C	0,5 °C de 10 à 40°C 1°C de -20°C à 10°C et de 40° à 70°C	5°C à + 50°C
Hygrométrie	0,1 %	2% de 10 à 90% 4% de 0 à 10 % et de 90 à 100%	15 à 100 %

Caractéristiques des mesureurs de consommation électrique mis en place :

	Résolution	Précision	Plage de mesure
Wattmètre	1 W	3 %	0 à 2200 W

A3 – Mesures dans les services généraux

Caractéristiques des mesureurs :

	Résolution	Précision	Plage de mesure
Température	0,5°C	1°C	0°C à + 100°C
Wattmètre	2 W	3% + 0,025 % de la pleine échelle	Fonction de l'usage
Pression	0,1 Pa	3 %	- 500 Pa à + 500 Pa

A4 – Caractéristiques et pose des compteurs de chaleur

Technologie : les compteurs à ultra sons sont préférables à tous les compteurs à hélice qui sont beaucoup moins fiables.

Le choix des compteurs devra être fait avec beaucoup de soin :

- le débit minimum pris en compte par le compteur devra être aussi faible que possible et en rapport avec les débits susceptibles de circuler dans les conduits,
- l'écart de température minimum pris en compte par le compteur devra être compatible avec l'évolution des températures de l'installation. Lorsque cet écart devient inférieur à 3°C, la précision du comptage se dégrade un peu,
- la précision du compteur sur l'ensemble de sa plage de mesure sera < 5%,
- sauf à ce qu'ils soient raccordés à une GTC (usage du mode Modbus), tous les compteurs devront comporter un émetteur d'impulsion à la fois sur les volumes et sur l'énergie comptés. Attention : le poids des impulsions devra être le plus faible possible (sinon non, on perd tout l'intérêt d'un faible pas de temps) :
 - poids des impulsions volumiques : 1 litre
 - poids des impulsions énergétiques : si possible 1 kWh, sinon 10 kWh.

Recommandations à respecter sur la pose des compteurs de chaleur :

- Le montage de ces compteurs, leur position sur les réseaux, tiendront compte des contraintes constructives de chaque appareil,
- sauf pour les compteurs bidirectionnels mesurant la chaleur et le froid, chaque compteur a un sens de pose matérialisé par une flèche indiquant le sens d'écoulement du fluide. Non respectée, cette règle conduit à une absence totale de mesure,
- positionner correctement les sondes de température. L'une d'elle doit être sur la partie « froide » et l'autre sur la partie « chaude » du flux parcourant le compteur de chaleur. Cette disposition est très souvent non respectée et la mesure est alors incohérente.
- seul le montage des sondes en « doigt de gant » est acceptable (pas de sonde contact). Les diamètres des sondes utilisées et des doigts de gant associés doivent être appairés (diamètre et alésage parfaitement ajustés). Pour cela, les doigts de gant des sondes et les doigts de gant de contrôle seront fournis obligatoirement par le fabricant du compteur de chaleur mis en place.
- en fonction du type de collecte et de transmission des données de mesure, l'intégrateur du compteur de chaleur doit être muni d'une carte électronique spécifique qui n'est trop souvent pas la bonne. A bien vérifier lors de la pose.

ANNEXE 2 : QUESTIONNAIRES A DESTINATION DES USAGERS

CAS DES LOGEMENTS

Questionnaire résidentiel

A IDENTIFICATION DU LOGEMENT ET GENERALITES

A1 **Nom de l'occupant :**

A2 **Bâtiment N° ou nom :**

A3 **N° logement**

A4 **Etage et superficie**

A5 **Orientation (N, S, E, O, SE...) :**

A6 **Nbre d'occupants**

ANNEXE 2 : QUESTIONNAIRE A DESTINATION DES USAGERS

IDEALEMENT quelle température souhaiteriez-vous dans votre logement ? **ACTUELLEMENT** êtes-vous satisfaits de la température ?

Hiver		Eté	
IDEALEMENT Température hiver (°C)	ACTUELLEMENT (1 - Très froid 2 - Un peu froid 3 - Bien 4 - Un peu chaud 5 - Trop chaud)	IDEALEMENT Température été (°C)	ACTUELLEMENT (1 - Très froid 2 - Un peu froid 3 - Bien 4 - Un peu chaud 5 - Trop chaud)

Des pièces posent-elles des problèmes particuliers ?

Pièces	Problèmes été	Problème hiver

Comment êtes-vous vêtus dans votre logement en fonction de la saison ? (1 seule réponse par saison SVP !)

	Eté	Hiver
Pull laine		
Pull coton		
Tee-shirt manches longues		
Tee-shirt manches courtes		
Tee-shirt sans manche		

Utilisez- vous un chauffage d'appoint en hiver ?

Oui Non

Si oui

Pièces	Type (1 - convecteur 2 - bain d'huile 3 - pétrole 4 - gaz 5 - autres)	Fréquence		
		Occasionnellement	Souvent	Très souvent
		Occasionnellement	Souvent	Très souvent
		Occasionnellement	Souvent	Très souvent
		Occasionnellement	Souvent	Très souvent

CAS DES BUREAUX OU DES COMMERCES

A IDENTIFICATION DU BÂTIMENT ET GENERALITES

A1 Nom de l'occupant

A2 Bâtiment :

A3 Etage, superficie

A4 Orientation

A5 Type de bureau (cloisonné 1 occupant / cloisonné plusieurs occupants / open space cloisonné / open space non cloisonné)

cloisonné
1 occupant

cloisonné plusieurs
occupants

open space
cloisonné

open space
non cloisonné

BUREAUX/MAGASINS

STRATEGIE DE VENTILATION (à ne faire que si la ventilation a été mise en place au moment de la rénovation)

D1 Connaissez-vous le type de ventilation de votre bureau ?

Simple flux Double Flux Naturelle

D2 Pouvez-vous expliquer sommairement comment cela fonctionne ?

D3 Avez-vous obstrué des bouches de ventilation de votre bureau ? Oui Non

D4 Si oui, pourquoi ?

D5 Avez-vous ressenti des problèmes d'odeur ? Si Oui, quelles odeurs, dans quelles pièces ?

	Pièces	Odeurs	Fréquence		
1			Souvent	Parfois	Jamais
2			Souvent	Parfois	Jamais
3			Souvent	Parfois	Jamais
4			Souvent	Parfois	Jamais

D6 Comment décririez-vous le confort procuré par cette installation ?

Très satisfaisant Assez satisfaisant Peu satisfaisant Pas satisfaisant

D7 Si vous n'êtes pas satisfaits pourquoi ?

D8 En hiver, ouvrez-vous la fenêtre de votre bureau ? Oui Non

D9 Si oui,

Durée quotidienne(min)	Raisons (évacuer les mauvaises odeurs, réguler la température, séchage du sol après lavage, autres)			
	évacuer	réguler	sécher	autre

ANNEXE 2 : QUESTIONNAIRE A DESTINATION DES USAGERS

CONFORT

Confort thermique

De quel type de régulation est équipé le système de chauffage de votre bureau (magasin)

Aucune Robinets thermostatiques Thermostats pièce par pièce Autres

Pouvez-vous agir sur ce système de régulation ? Oui Non

Si oui, le faites-vous ? Oui Non

Comment jugez-vous ce système de régulation ?

Très satisfaisant Assez satisfaisant Peu satisfaisant Pas satisfaisant

Quelle température souhaitez-vous maintenir dans votre bureau (magasin) ? Êtes-vous satisfaits du confort ?

Hiver			Été		
T°		Satisfaction (1 - Très froid 2 - Un peu froid 3 - Bien 4 - Un peu chaud 5 - Trop chaud)	T°		Satisfaction (1 - Très froid 2 - Un peu froid 3 - Bien 4 - Un peu chaud 5 - Trop chaud)
Jour	Nuit		Jour	Nuit	

Rencontrez-vous des problèmes particuliers concernant le chauffage/la climatisation ?

Problèmes été Problème hiver

Comment êtes-vous vêtus dans votre bureau en fonction de la saison ?

	Été	Hiver
Pull laine		
Pull coton		
Tee-shirt manches longues		
Tee-shirt manches courtes		
Tee-shirt sans manche		

Utilisez-vous un chauffage d'appoint en hiver ? Oui Non

ANNEXE 2 : QUESTIONNAIRE A DESTINATION DES USAGERS

Si oui

Type (1 - convecteur 2 - bain d'huile 3 - pétrole 4 - gaz 5 - autres)	Fréquence		
	Occasionnellement	Souvent	Très souvent
	Occasionnellement	Souvent	Très souvent
	Occasionnellement	Souvent	Très souvent

Quel type de protections solaires sont installées ?

Orientation	Type (1 - Aucune 2 - Volets roulants 3 - Volets à battants 4 - Volets coulissants 5 - Volets plein 6 - Volets à lames fixes 7 - Volets à lames orientables)

Comment jugez-vous les protections solaires qui sont installées ?

Très satisfaisant

Assez satisfaisant

Peu satisfaisant

Pas satisfaisant

Comment assurez-vous le confort d'été dans votre bureau (magasin) ?

	Jamais	Occasionnel- lement	Souvent	Très souvent	Est-ce efficace ?	
Utilisation de protections solaires					Oui	Non
Ouverture des fenêtres le jour					Oui	Non
Ouverture des fenêtres la nuit					Oui	Non
Utilisation d'un ventilateur d'appoint					Oui	Non
Utilisation d'une climatisation					Oui	Non

Bénéficiez-vous d'un système de rafraîchissement pour l'été ?

Oui

Non

Si oui pouvez-vous le décrire ?

En êtes-vous satisfaits ?

Oui

Non

Qualité de l'air

Comment jugez-vous la qualité de l'air dans votre bureau (magasin) ?

Très satisfaisant

Assez satisfaisant

Peu satisfaisant

Pas satisfaisant

Commentaires

Après avoir passé du temps dans les locaux, vous arrive-t-il de ressentir les symptômes suivants ?

Fatigue

Toux

Maux de tête

Irritation des yeux

ANNEXE 3 : PRESENTATION TECHNIQUE DE L'OPERATION

(A remplir pour chaque opération)