

 ÉTUDE

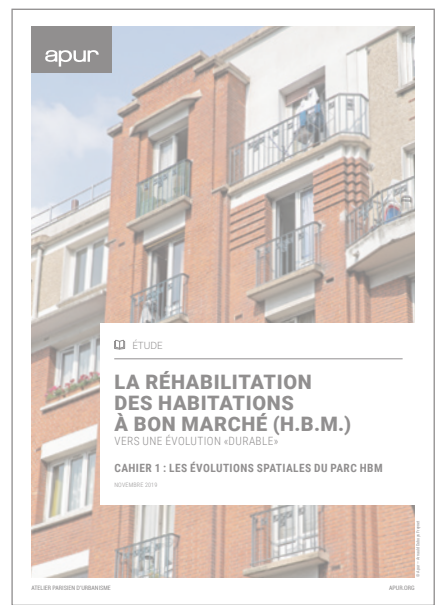
LA RÉHABILITATION DES HABITATIONS À BON MARCHÉ (H.B.M.)

VERS UNE ÉVOLUTION «DURABLE»

CAHIER 2 : LES ÉVOLUTIONS TECHNIQUES

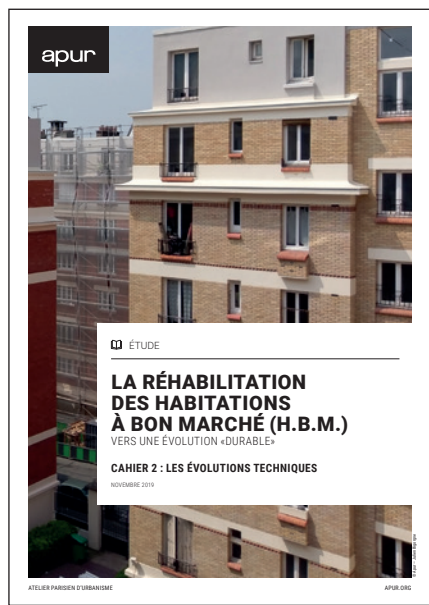
NOVEMBRE 2019

**L'ÉTUDE EST COMPOSÉE DE TROIS
CAHIERS COMPLÉMENTAIRES.**



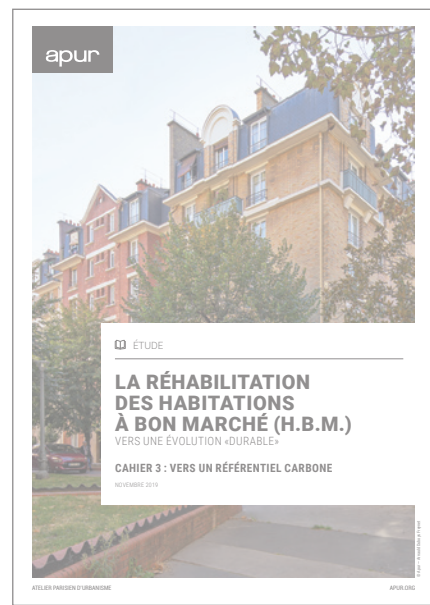
CAHIER 1 : LES ÉVOLUTIONS SPATIALES DU PARC HBM

Ce premier cahier traite des évolutions spatiales du parc depuis sa création. Il décrit les différentes interventions sur la morphologie des ensembles, les espaces extérieurs ou à l'intérieur des locaux, qui ont permis d'adapter les HBM aux nouvelles normes et exigences de confort.



CAHIER 2 : ÉVOLUTIONS TECHNIQUES

Le deuxième cahier aborde les aspects techniques de ces interventions en détaillant les caractéristiques initiales des bâtiments et les procédés techniques mis en œuvre. L'impact de ces dispositifs est évalué par le retour d'expérience et une analyse détaillée des audits énergétiques.



CAHIER 3 : VERS UN RÉFÉRENTIEL CARBONE

Le troisième cahier propose d'élargir la grille d'actions mises en œuvre dans le cadre des opérations Plan Climat en mettant l'accent sur des approches et dispositifs encore peu valorisés dans les opérations, et qui pourraient contribuer de façon significative à l'amélioration de l'impact environnemental de ce parc.

Directrice de la publication : **Dominique ALBA**

Étude réalisée par : **Julien BIGORGNE**

Sous la direction de : **Paul BAROIN**

Avec : **Ludovic PÉPION** accompagné de **Jean-François ARENES, Olivier RICHARD, Gabriel SÉNÉGAS, Florence HANAPPE, François MOHRT, Anaïs LO PINTO, Frédéric BERTRAND** et **Lina SKALLI**

Photos et illustrations : **Apur** sauf mention contraire

Mise en page : **Apur**

www.apur.org

Sommaire

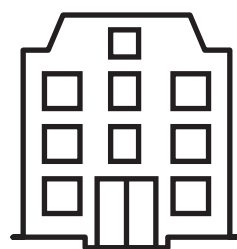
PRÉAMBULE.....	4
1. Évolution des HBM au regard de la ville durable.....	7
Le chauffage	8
2. Retour d'expérience	19
Les opérations étudiées	20
Interventions sur les façades	22
La ventilation	30
Les procédés d'isolation	34
Les énergies renouvelables	40
Efficacité énergétique des opérations Plan Climat	44

PRÉAMBULE

Dans le cadre des réflexions en cours sur les quartiers NPNRU (Nouveau Programme National de Renouvellement Urbain), la Ville de Paris a confié à l'Apur une mission d'évaluation de la réhabilitation engagée dans le parc HBM au regard des objectifs Plan Climat de 80 kWh/m²/an de consommation unitaire et de 60 % de baisse de consommation d'énergie pour le parc HBM. Depuis le démarrage de la mise en œuvre du Plan Climat en 2007, le parc des logements de l'après-guerre, en particulier celui de la période 1945-1974, a concentré l'essentiel de l'attention des efforts de réhabilitation tant ce parc apparaît problématique au regard des questions de consommations d'énergie, mais aussi parce que la mise en œuvre de solutions techniques efficaces comme l'isolation thermique extérieure y est souvent peu contrainte par les questions d'ordre patrimonial. Le parc HBM est un parc de logements constructivement assez spécifique. Il est un entre-deux, à mi-chemin entre la construction ancienne dont il hérite de nombreuses caractéristiques et de la construction moderne dont il applique les techniques constructives notamment l'emploi du béton armé.

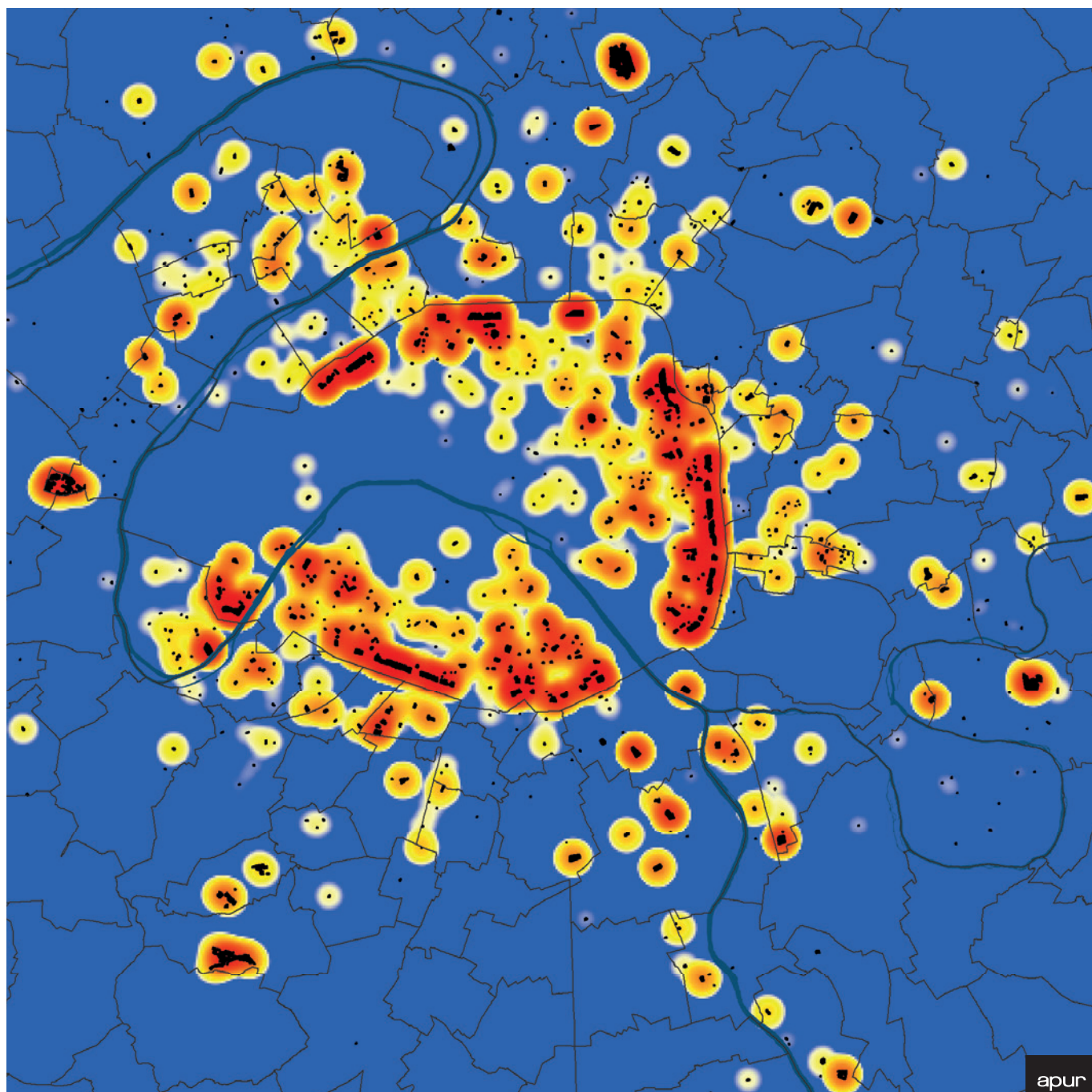
L'étude de l'Apur menée pour la Direction du Logement et de l'Habitat de la Ville de Paris, en partenariat avec Paris Habitat, la RIVP et Elogie-SIEMP, propose une analyse des premières opérations dites Plan Climat menées sur le parc HBM. L'étude propose une capitalisation des retours d'expériences des opérations grâce à des visites de chantiers, des entretiens auprès de MOA, MOE et BET, une analyse des diagnostics énergétiques et une compilation des plans et diverses données mises à disposition de l'Apur. L'étude aborde plus largement les évolutions de ce parc au regard des questions de confort de vie et de bilan carbone.

Elle fait suite à l'étude historique portant sur le parc HBM menée par l'Apur en 2017 et intitulée : « *Les Habitations à Bon Marché de la ceinture de Paris : étude historique* ».



58 000

logements HBM
à Paris
dont 38 000
sur la ceinture,
soit 17 km de linéaire
(sur les 34 km au total)



**DENSITÉ D'HABITAT SOCIAL COLLECTIF
CONSTRUIT ENTRE 1918 ET 1939**
(D'APRÈS DGFIP)





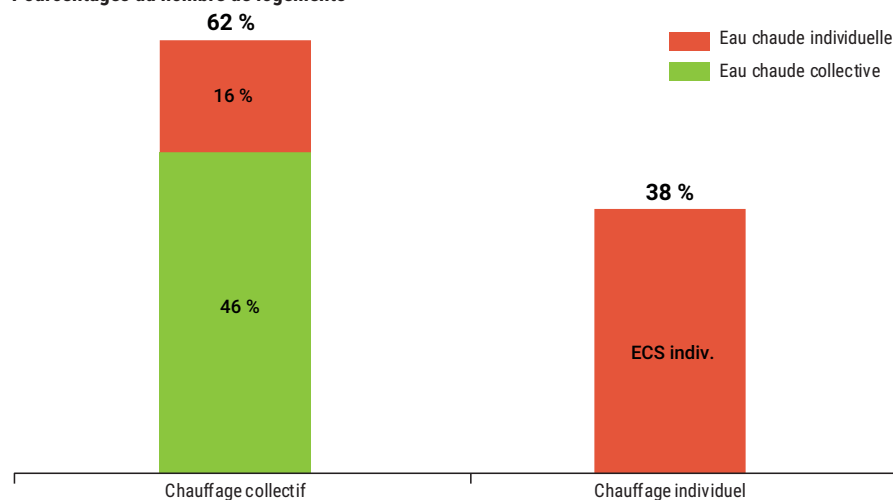
1. ÉVOLUTION DES HBM AU REGARD DE LA VILLE DURABLE

1.1 | Le chauffage

MODES ET ENERGIES DE CHAUFFAGE

MODES DE FACTURATION DE CHAUFFAGE ET DE L'EAU CHAUDE DANS LES HBM GÉRÉES PAR PARIS HABITAT, LA RIVP ET ELOGIE-SIEMP

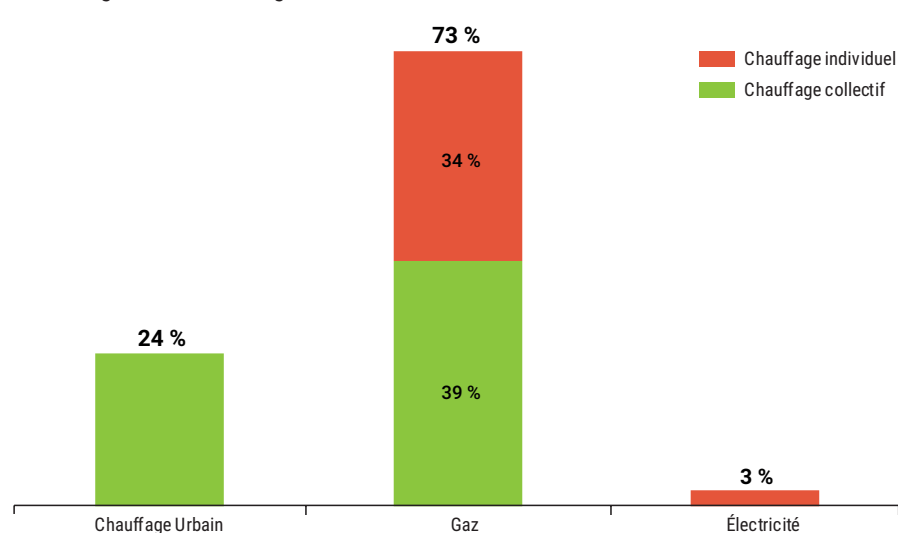
Pourcentages du nombre de logements



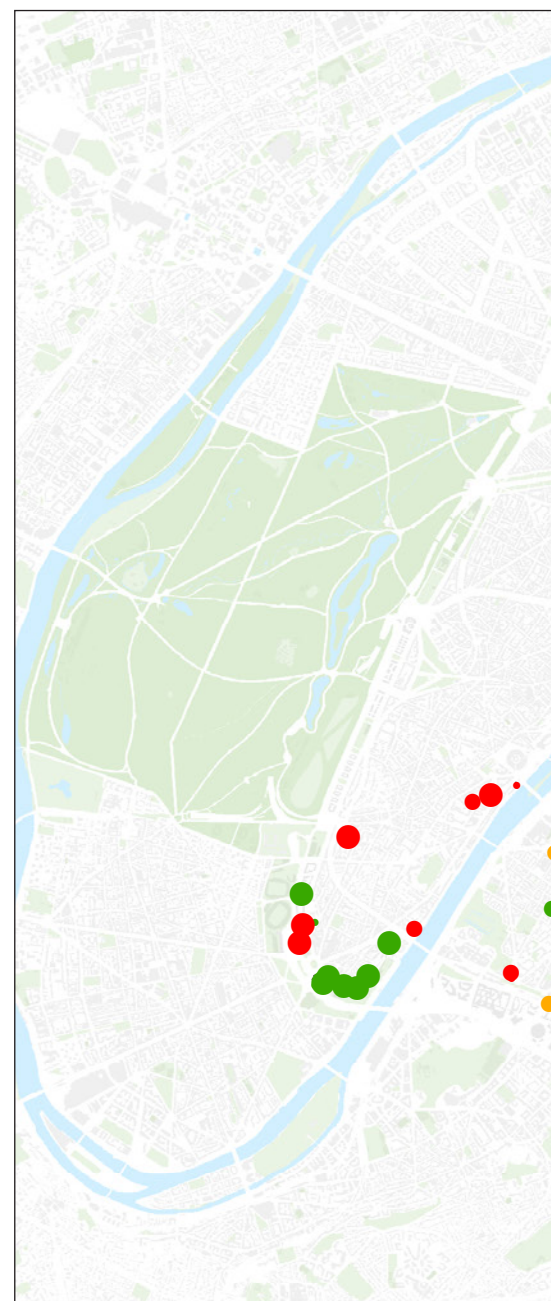
Source : Apur, d'après la Direction du logement de l'habitat de la Ville de Paris (2016)

ÉNERGIES DE CHAUFFAGE DES HBM GÉRÉES PAR PARIS HABITAT, LA RIVP ET ELOGIE-SIEMP

Pourcentages du nombre de logements

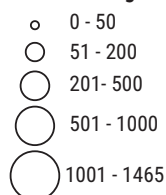


Source : Apur, d'après la Direction du logement de l'habitat de la Ville de Paris (2016)

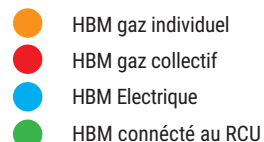


Les modes et énergies de chauffage

Nombre de logements par groupe



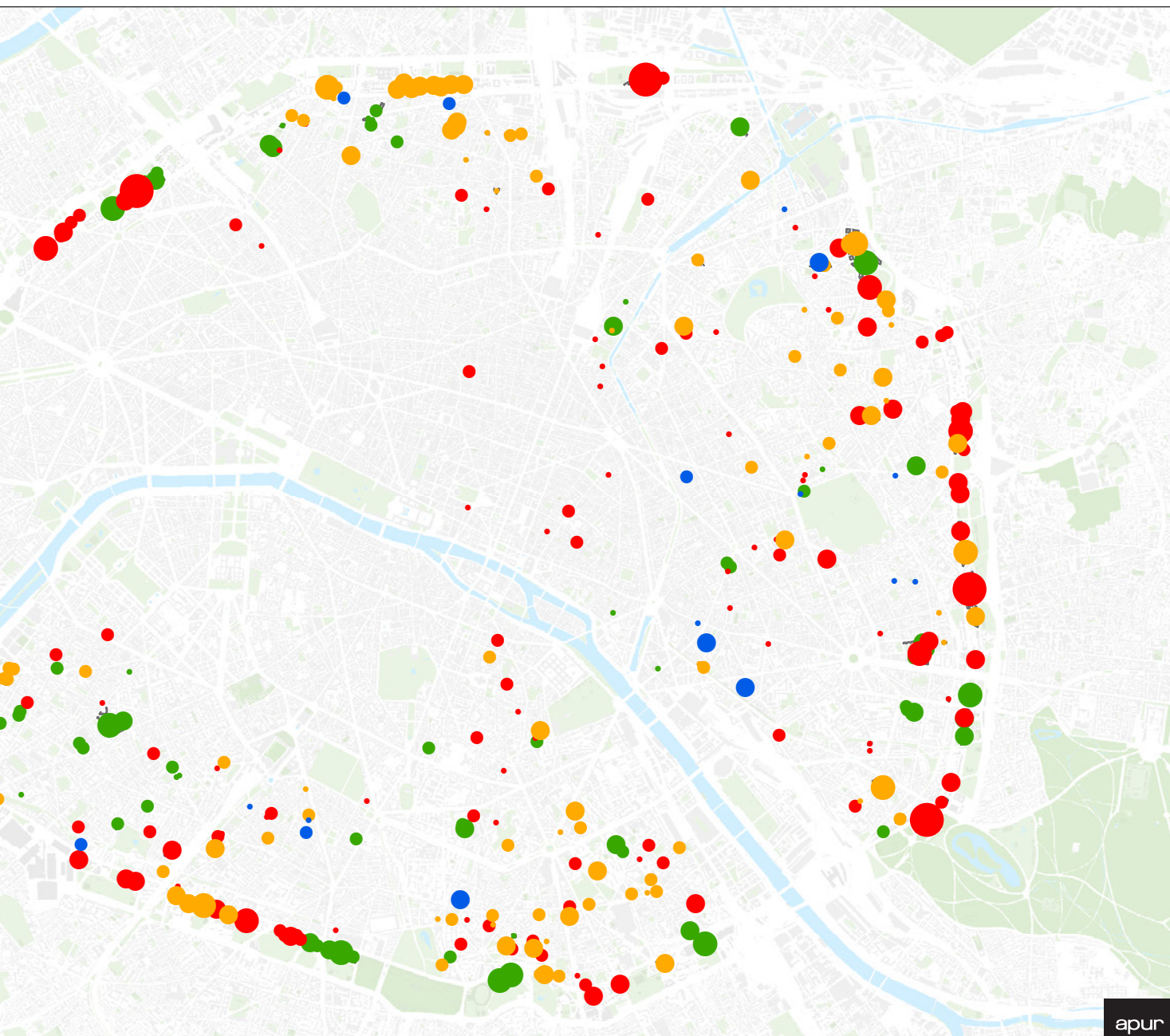
Mode de chauffage



Les HBM ont été édifiées à une époque où les modes de chauffage de l'habitat étaient très peu performants. Les cheminées, les poêles trouvent leur place dans les HBM de l'entre-deux-guerres ; comme dans toutes les autres constructions de la même époque, les températures de consignes de l'habitat (alors non réglementaires) peuvent être jugées basses par rapport aux standards actuels. Durant l'entre-deux-guerres, 16 °C pour les salons et 14 °C pour les chambres

sont des objectifs acceptables de confort. Les systèmes de chauffage collectif représentent un véritable progrès à cette époque et ils sont réservés aux HBM les plus luxueuses comme les ILM.

L'infrastructure de l'installation de chauffage est pensée dès la construction des bâtiments : chaufferie d'immeuble, colonnes montantes, radiateurs, etc. Ainsi les HBM qui furent équipées de chauffage collectif le sont générale-



apur

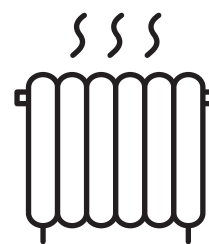
ment encore aujourd'hui, et celles qui en furent dépourvues le sont également encore aujourd'hui. Selon les statistiques actuelles, les 2/3 des logements des HBM sont équipés d'un système de chauffage collectif.

Les types d'énergie employés pour le chauffage des HBM ont énormément évolué depuis l'entre-deux-guerres. On suppose qu'à l'origine le charbon était l'énergie presque exclusive des chauffages collectifs. Ce qui explique la présence de très grandes caves à charbon dédiées au stockage qui étaient implantées dans certains groupes. Au fil du temps le fioul et le chauffage urbain ont progressivement remplacé le charbon.

Enfin le gaz a progressivement pris la place du fioul après le choc pétrolier de 1974.

Les modes individuels étaient historiquement les poêles et les cheminées qui servaient à brûler du charbon et du bois. Les convecteurs électriques existaient également à la création des HBM mais le coût de l'électricité devait freiner l'usage, d'autant que les typologies HBM équipées de modes individuels étaient aussi occupées par les populations les plus pauvres.

Le gaz est actuellement le mode presque exclusif du chauffage individuel des HBM et la présence systématique de conduit d'évacuation de fumées dans les HBM a favorisé l'installation de chaudières individuelles au gaz.



3/4

des logements HBM
sont chauffés au gaz

Performance thermique des façades

La performance des murs de façade, c'est-à-dire la capacité plus ou moins grande des murs à s'opposer aux déperditions thermiques, est un facteur déterminant pour expliquer les consommations d'énergie. Les HBM ont été conçues à une époque où les techniques d'isolation thermique étaient encore peu répandues.

Diverses techniques constructives se rencontrent au sein des HBM, la technique du mur porteur (plus spécifique à l'avant 1^{re} guerre mondiale), la technique de l'ossature en béton armé avec remplissage et parement en brique apparentes (avec ou sans lame d'air), la technique de l'ossature en béton armé avec remplissage en briques creuses recouvertes d'enduit ciment. L'emploi du béton armé va générer des ponts thermiques lorsqu'il reste apparent.

L'écriture architecturale des HBM témoigne d'une diversité des agencements entre briques et béton qui aura donc des conséquences thermiques. Lors de la conception des HBM, les futurs gestionnaires stipulent dans leurs cahiers des charges que le béton armé n'est qu'un moyen constructif, et

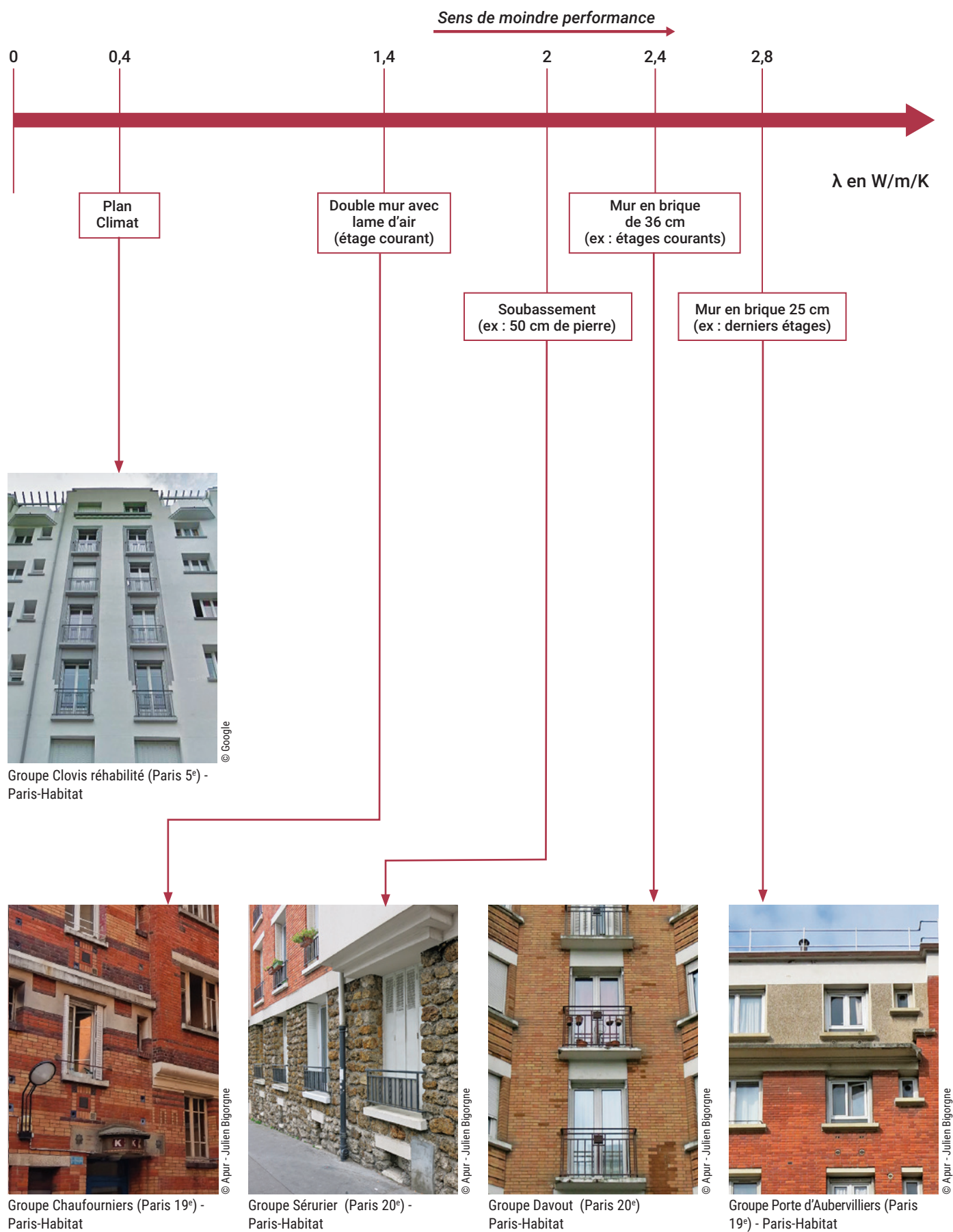
qu'il doit rester invisible pour respecter l'écriture architecturale d'avant la première guerre véhiculée par les premières HBM. Les architectes prendront une certaine liberté avec cette doctrine mais le béton restera tout de même assez discret en façade, en tout cas, il sera bien moins apparent que dans les productions des Trente Glorieuses qui, elles, marqueront l'avènement des ponts thermiques dans la construction. Du point de vue thermique les étages en attique sont de conception assez précaire. Les murs sont très peu épais ce qui expose particulièrement les occupants aux aléas du climat extérieur. Dans la conception d'avant la première guerre en murs porteurs, les derniers étages sont toujours moins épais pour des questions structurelles évidentes. Néanmoins dans la génération suivante des ossatures porteuses, cette légèreté de conception perdure pour des raisons qui ne sont plus structurelles. Des logements précaires, notamment les chambres individuelles, sont souvent placés dans les derniers étages ce qui s'accompagne d'une économie sur la qualité des murs de la part des concepteurs.

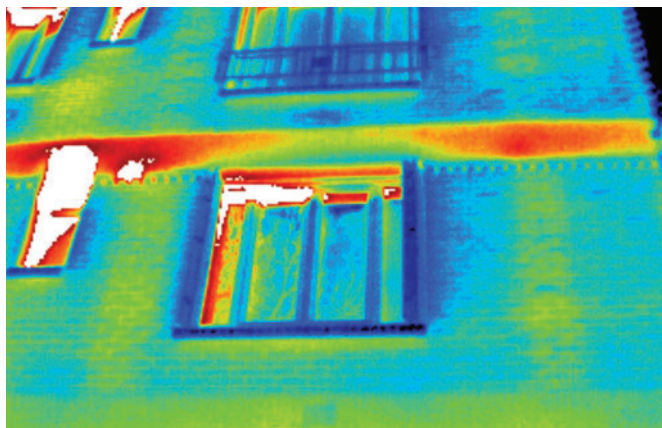
Notons que l'introduction d'une lame d'air entre les briques de parement et la brique intérieure a été quelque peu usitée en tant que technique d'isolation à la fois thermique et hygrométrique. Cette technique a été beaucoup moins employée à Paris qu'en Angleterre ou en Belgique.

À Paris elle a été employée par exemple dans les groupes :

- Picardie (Paris 3^e) — RIVP,
- Chaufourniers (Paris 19^e) — Paris Habitat,
- Ranvier Roquette (Paris 11^e) — Paris Habitat,
- Rentiers Edison (Paris 13^e) — Paris Habitat,
- etc.

CONDUCTIVITÉ THERMIQUE DE QUELQUES MURS HBM





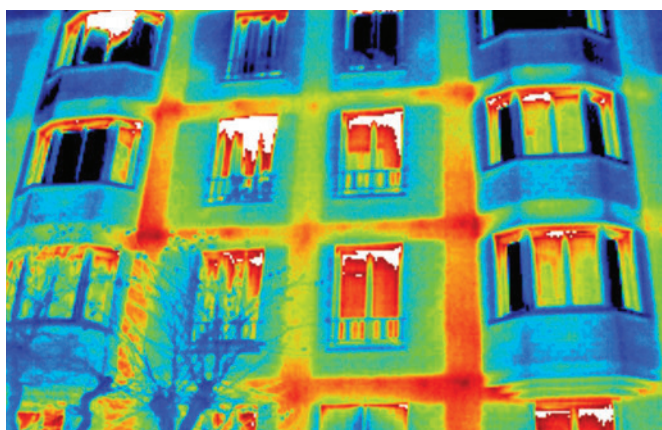
© Apur – Julien Bigorgne



© Apur – Julien Bigorgne

Groupe Mortier (Paris 20^e) – RIVP

Les ponts thermiques sont visibles pour les bandeaux en béton enduits qui prolongent la structure horizontale. La trame verticale de la structure porteuse apparaît en filigrane, elle est recouverte d'une brique de parement de type « mulot » qui cache l'ossature, le pont thermique est ainsi amoindri.



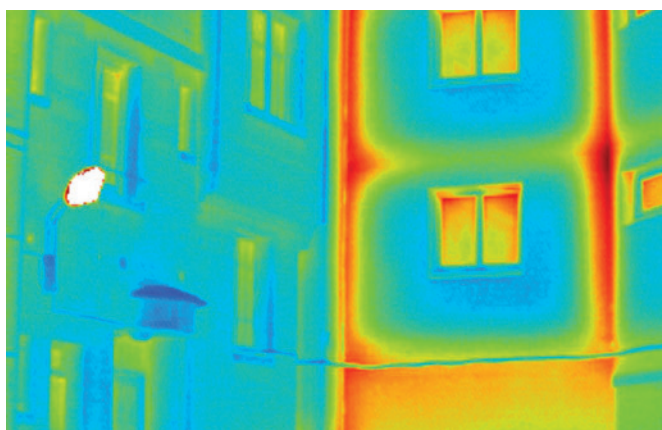
© Apur – Julien Bigorgne



© Apur – Julien Bigorgne

Groupe Porte de Bagnolet (Paris 20^e) – RIVP

Les ponts thermiques sont particulièrement marqués. La couche d'enduit n'atténue pas les déperditions de la structure qui est, de ce fait, très visible.



© Apur – Julien Bigorgne



© Apur – Julien Bigorgne

Groupe Chauffourniers (Paris 19^e) – Paris Habitat

Le groupe Chauffourniers est situé à gauche de l'image. Il est constitué d'un double mur qui est un dispositif de coupure thermique assez efficace pour l'époque. En comparaison se trouve à droite un bâtiment des années

1980 (en mitoyenneté) isolé par l'intérieur. L'HBM est assez peu touché par les ponts thermiques grâce au double mur ; à l'inverse les ponts thermiques du bâtiment de droite sont typiques des productions des années 1980 (on notera que son RdC n'est pas isolé du tout).

1.2 | Consommations d'énergie

L'évaluation de la consommation d'énergie des groupes HBM est capitale dans les diagnostics qui précèdent les programmes de réhabilitation thermique.

L'évaluation de la consommation d'énergie des groupes HBM est capitale dans les diagnostics qui précèdent les programmes de réhabilitation thermique. Deux types d'information sont alors utiles :

- **La modélisation thermique du bâtiment**
- **Les relevés des consommations réelles.**

La modélisation thermique

Elle consiste, par le calcul, à donner une évaluation théorique des consommations du bâtiment. Dans ce cadre, une représentation physique du bâtiment est réalisée (composition des murs, performances des murs, ponts thermiques, systèmes de chauffage, etc.). Il s'agit bien sûr d'une représentation conventionnelle du bâtiment dans laquelle les usages du bâtiment et les stratégies d'occupation des habitants sont représentés de façon forfaitaire (temps passé dans le logement, durée d'ouverture et fermeture des ouvrants, etc.).

Il existe plusieurs types de modélisations :

- L'outil de diagnostic le plus répandu est issu de la réglementation thermique appliquée à l'existant. Il s'agit d'un moteur de calcul dynamique basé sur la RT2005, le coefficient synthétique généralement retenu est le coefficient d'énergie primaire « Cep » (prenant en compte les consommations de chauffage, d'eau chaude, de refroidissement, des auxiliaires et de la ventilation). Pour la maîtrise d'ouvrage, l'obtention d'aides financières pour la réhabilitation est généralement assujettie à des valeurs seuils tirées de ce canevas réglementaire (certificats d'économies d'énergie,

Plan Climat, etc.). L'évaluation des Cep « avant » et « après » travaux est donc un exercice obligé dans le contexte actuel, la comparaison des deux valeurs est généralement retenue pour évaluer la performance de l'effort de réhabilitation.

- Il est également possible d'adopter des démarches non réglementaires (via la simulation thermique dynamique) qui consistent à représenter physiquement un bâtiment et ses usages en fonction de la connaissance précise que l'on en a sans passer par des valeurs forfaitaires imposées par la réglementation. Cette démarche, généralement coûteuse en temps, est parfois fort utile lorsque les biais du calcul réglementaire sont jugés trop importants.
- Enfin, la plus connue est le DPE (Diagnostic de Performance Énergétique) dont la notoriété tient au fait qu'il est obligatoire dans le cadre des locations et ventes immobilières. Il offre une évaluation trop approximative pour être utilisé pour diagnostiquer un bâtiment et entreprendre des travaux.

Quelle utilité de la modélisation ?

La modélisation permet de reconstituer virtuellement le bâtiment et toutes ses composantes. L'évaluation de la pertinence d'un programme de réhabilitation consiste à modifier les paramètres du modèle pour arriver au niveau d'exigences que l'on se sera fixé : par exemple en modifiant la performance des murs suite à une isolation thermique, à réduire les débits de fuite d'air suite à l'installation de nouvelles huisseries et d'une ventilation mécanique, etc.

En parallèle de cette modélisation il est toujours prudent de capitaliser les

informations relatives aux consommations réelles du site, c.-à-d. celles données par les compteurs d'énergie. Ces données nous renseignent sur le niveau de consommation du bâtiment, et nous informent indirectement des stratégies d'occupation des habitants. Un programme de réhabilitation thermique qui sera mis en œuvre sur des HBM vise à faire baisser les consommations réelles du bâtiment, c'est bien le niveau de ces consommations qui fera le retour d'expérience de l'opération. La compréhension en amont du niveau de ces consommations est fondamentale lors du diagnostic, les éventuels écarts avec les consommations théoriques doivent être compris également et assumés dans le déroulé des opérations de réhabilitation thermique.

Consommations « réelles » et « conventionnelles » d'énergie

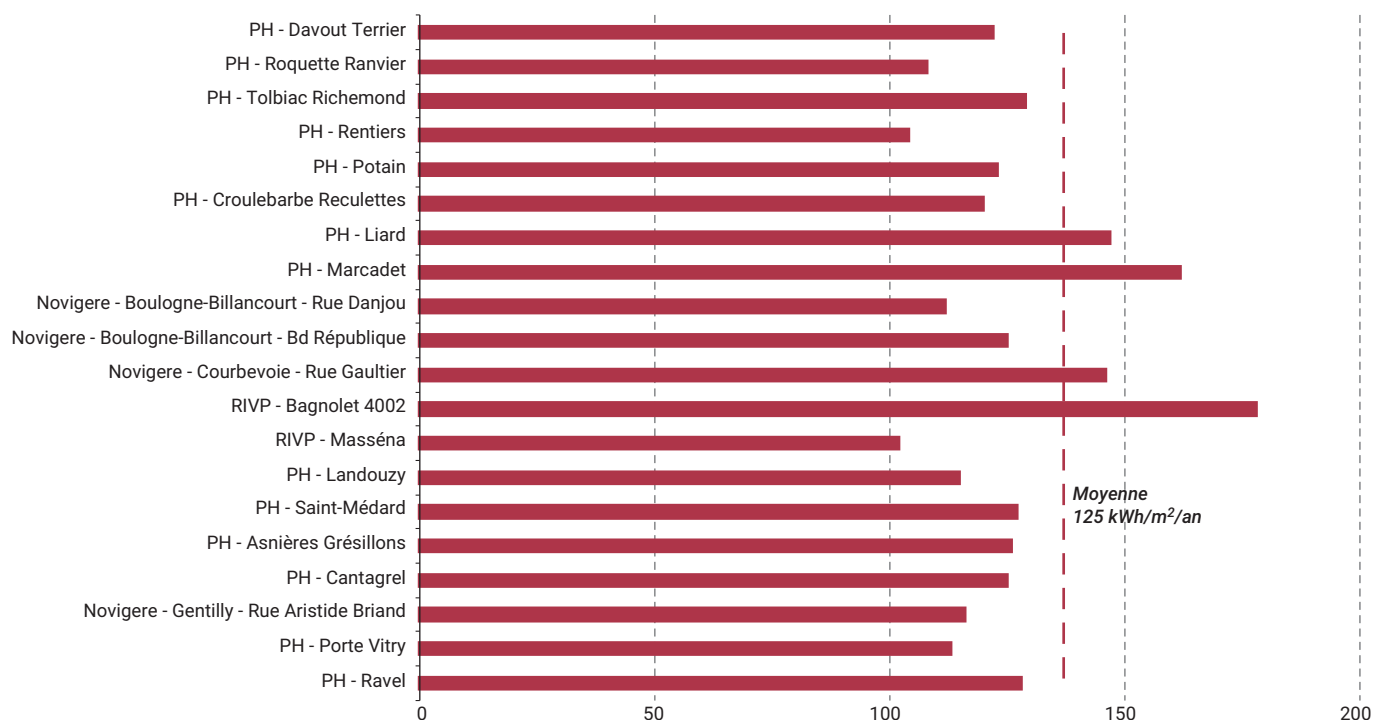
Les consommations des groupes de logements HBM sont des informations précieuses lorsqu'elles sont collectées dans les phases d'audit et confrontées

aux consommations théoriques.

En mode collectif, la collecte d'informations est relativement simple puisque le bailleur s'acquitte d'une facture d'énergie directement auprès du fournisseur d'énergie. Dans le cas du chauffage individuel la collecte est plus fastidieuse puisqu'il s'agit de collecter auprès des occupants eux-mêmes en faisant des hypothèses sur les postes de consommations annexes (cuisson, électroménager, etc.) qu'il faut retirer des consommations des compteurs individuels.

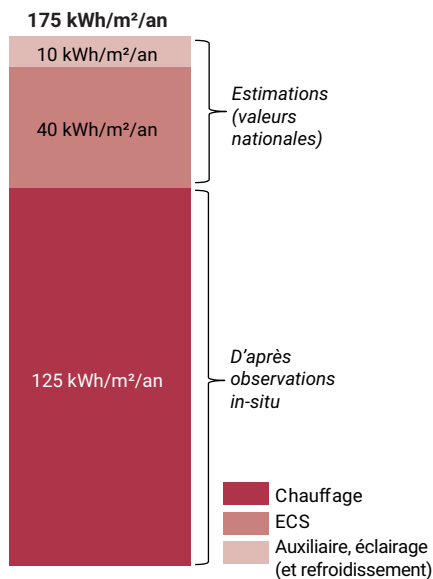
Beaucoup de diagnostics thermiques réalisés par les bureaux d'études s'attardent sur les relevés de consommations réelles des sites avant de procéder aux exercices de simulations qui seront utiles pour comprendre la pertinence future des actions de réhabilitation. Ainsi l'analyse des consommations d'énergie sur une vingtaine de groupes HBM révèle des **consommations réelles de chauffage avant travaux d'environ 125 kWh/m²/an**. Sont compatibles indifféremment des groupes à facturation individuelle ou collective. Cette valeur peut être jugée

CONSOMMATIONS RÉELLES DE CHAUFFAGE DE QUELQUES GROUPES HBM



Sources : ALTEREA, Novigere, Paziad, Optimum

CONSUMMATION D'UNE HBM TYPE SELON LES 5 USAGES (CHAUFFAGE, ECS, REFROIDISSEMENT, ÉCLAIRAGE, AUXILIAIRE)



assez faible pour un parc de cette génération mais la question de l'entretien et de la gestion de la part des bailleurs y est pour beaucoup. En effet, dans une grande majorité de groupes, les simples vitrages ont déjà été remplacés (à partir des années 1990), des isolations partielles ont été réalisées notamment pour les planchers hauts pour traiter certaines situations d'inconfort des derniers étages. De plus, les équipements de chauffage, comme les chaudières, ont également fait l'objet de campagnes de remplacements régulières.

Les consommations d'énergie qui font l'objet de simulations concernant généralement 5 usages : chauffage, production d'eau chaude sanitaire, refroidissement, ventilation, auxiliaire, éclairage. Ainsi pour comparer les résultats simulés aux consommations réelles, il faut documenter les 5 postes de consommation.

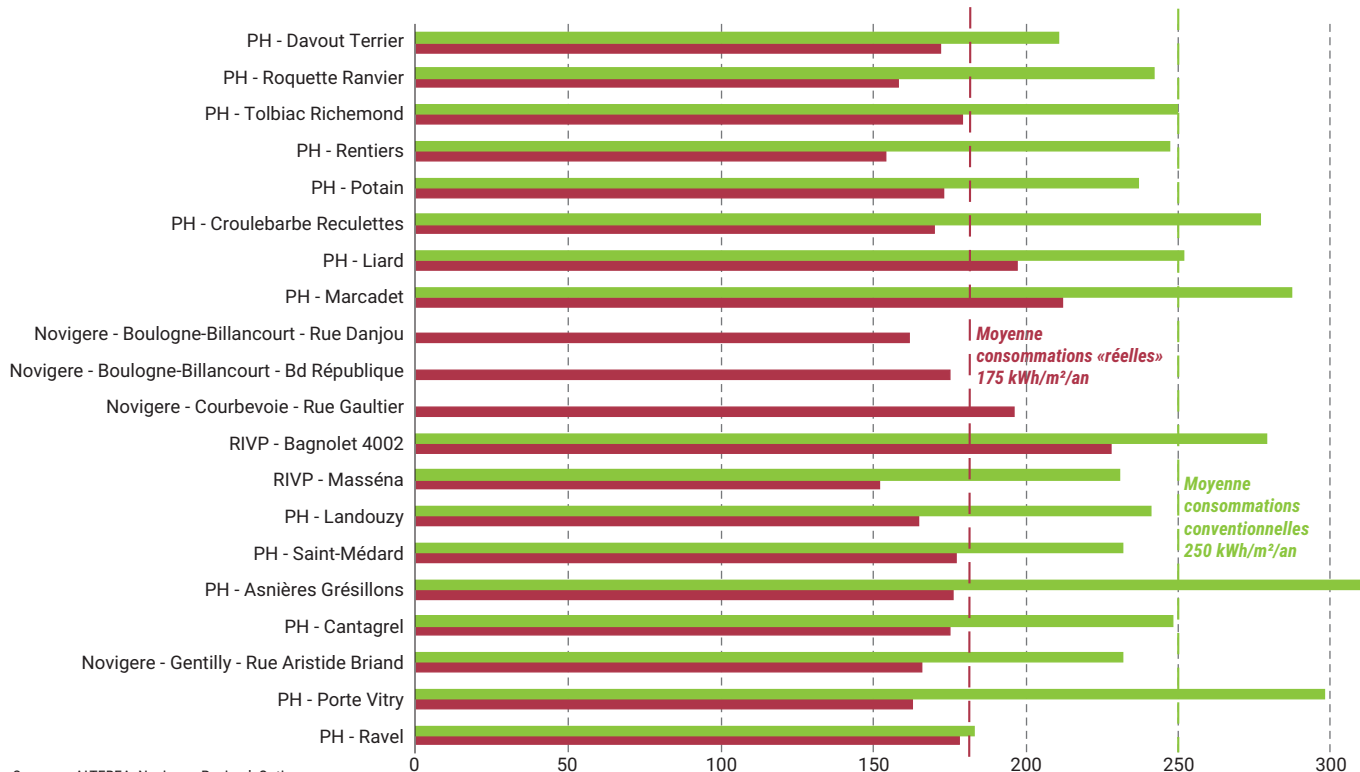
La connaissance de l'énergie nécessaire à la production d'eau chaude sanitaire est peu documentée dans le cas de grou-

pes HBM, ainsi une valeur de 40 kWh/m²/an (qui correspond approximativement à la valeur moyenne nationale) pourra être retenue, et une valeur d'environ 10 kWh/m²/an peut être retenue (ordre de grandeur souvent retenu dans les audits) pour les consommations des auxiliaires et de l'éclairage. Les consommations de refroidissement et de ventilation sont généralement nulles car les HBM ne sont pas climatisés et la ventilation mécanique y est encore marginale.

Ainsi une consommation attendue pour les groupes HBM, (moyennant une approximation sur l'ECS et les consommations annexes) pour les 5 usages est approximativement de 175 kWh/m²/an.

Les consommations dites conventionnelles, issues de la modélisation donnent des valeurs plus importantes. Sur les mêmes groupes audités la valeur théorique moyenne est de 250 kWh/m²/an, soit un écart conséquent de 43 %.

CONSUMMATIONS CONVENTIONNELLES (5 USAGES) VS. CONSUMMATIONS "RÉELLES" DE QUELQUES GROUPES HBM



Sources : ALTEREA, Novigere, Paziaud, Optimum

Divergences entre consommations réelles et consommations conventionnelles

Quelques éléments explicatifs des différences entre « consommation réelle » et « modélisation » :

Une spécificité technique

La modélisation défavorise très souvent les bâtiments d'avant 1945 car l'inertie des murs (capacité des murs à stocker et déstocker de la chaleur) est souvent mal comprise par les algorithmes. De plus, l'existence (non systématique) de vide d'air dans les parois HBM est elle aussi mal comprise par la modélisation qui a tendance à être trop pessimiste sur les performances réelles des murs.

L'usage réel

La modélisation considère que les HBM sont très perméables à l'air et donc que l'air chaud contenu dans le logement a tendance à s'évacuer par les percements existants sur les façades et par les conduits de cheminées. Selon la modélisation, 15 à 20 % des déperditions sont

l'objet de défauts d'étanchéité. En réalité les occupants ont traité d'eux-mêmes l'inconfort lié à l'infiltration d'air froid, et, comme le montrent les enquêtes de terrain, ils ont procédé au bouchage systématique des prises d'air en façade et des cheminées (quand elles n'ont pas été condamnées par le bailleur). Cette stratégie d'occupation se traduit dans les faits par une moindre consommation par rapport au calcul mais également par des situations pouvant mener à l'insalubrité des logements puisque l'air vicié et l'air humide ne s'échappent pas correctement.

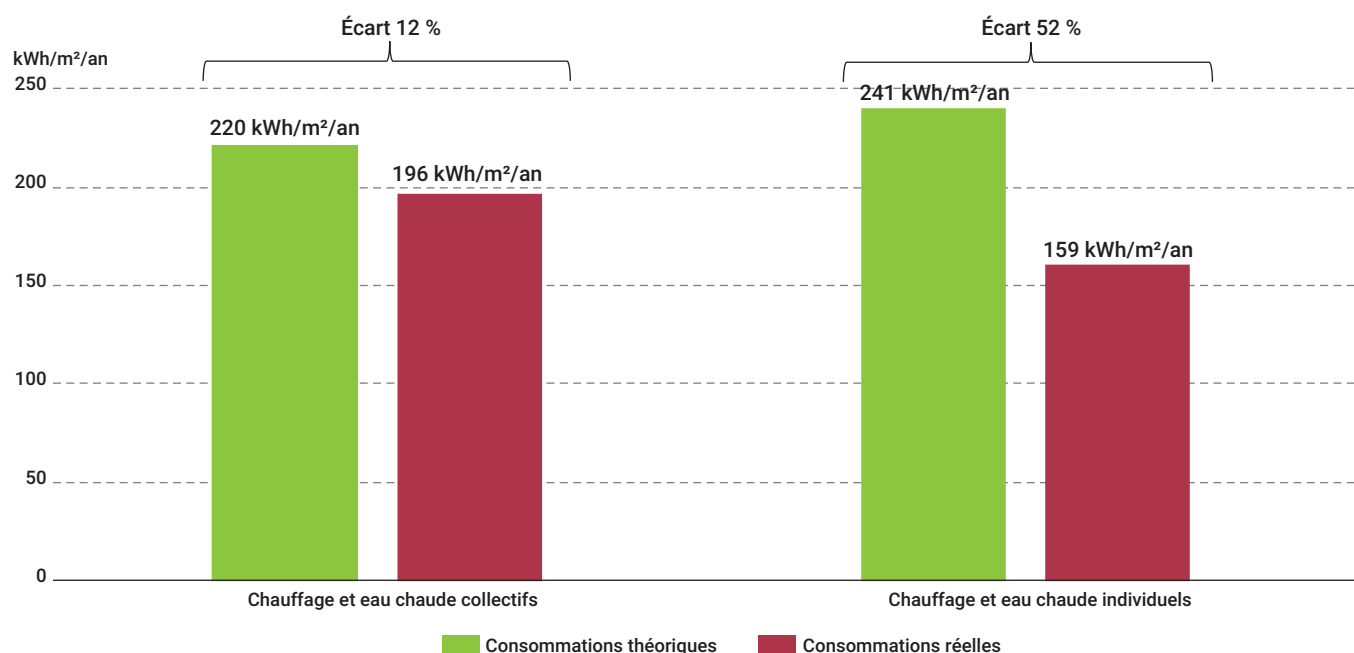
Le mode de facturation

La divergence entre consommation « réelle » et « modélisée » dépend également du type de facturation de l'énergie. La facturation individuelle est assez responsabilisante pour l'utilisateur puisqu'il paie exactement ce qu'il dépense, à l'inverse, dans le cadre du chauffage collectif, l'utilisateur s'acquitte de charges dépendant de la surface du logement et donc n'est pas incité à réaliser des économies. Une comparaison des consommations entre factures réelles et modélisation a

pu être réalisée sur le parc HBM de Paris Habitat (échantillon de 25 groupes). On observe un écart assez net entre la modélisation et la réalité dans le cadre du chauffage individuel (52 %) et un écart moindre dans le cas du chauffage collectif (12 %). **La comparaison des consommations réelles entre les deux modes de facturation indique une surconsommation de 25 % pour le mode collectif.** Cette valeur est assez courante et se retrouve également sur d'autres typologies bâties que les HBM.

N.B. : dans le cas du chauffage collectif, l'apparente convergence entre modélisation et réalité cache en fait deux approximations fausses qui se compensent puisque la modélisation surestime les déperditions du bâti et sous-estime le gaspillage du chauffage collectif. On comprend donc qu'il y aurait un risque à composer un bouquet de travaux sans avoir identifié les raisons de cette coïncidence.

COMPARAISON ENTRE CONSOMMATIONS THÉORIQUES ET RÉELLES (5 USAGES) DE 25 GROUPE HBM DE PARIS HABITAT AUDITÉS PAR ALTEREA



Sources : ALTEREA

La performance doit être non plus évaluée mais mesurée en prenant en compte la réalité des usages.

L'intérêt de l'analyse des consommations réelles

L'analyse des consommations réelles présente un intérêt certain puisqu'elle permet de donner la valeur exacte des consommations d'énergie des occupants et donc de leur contribution au changement climatique.

Leur interprétation fait apparaître, certes, la performance globale de l'édifice mais aussi les stratégies d'usage de l'énergie développées par les occupants en fonction de facteurs sociologiques déterminants.

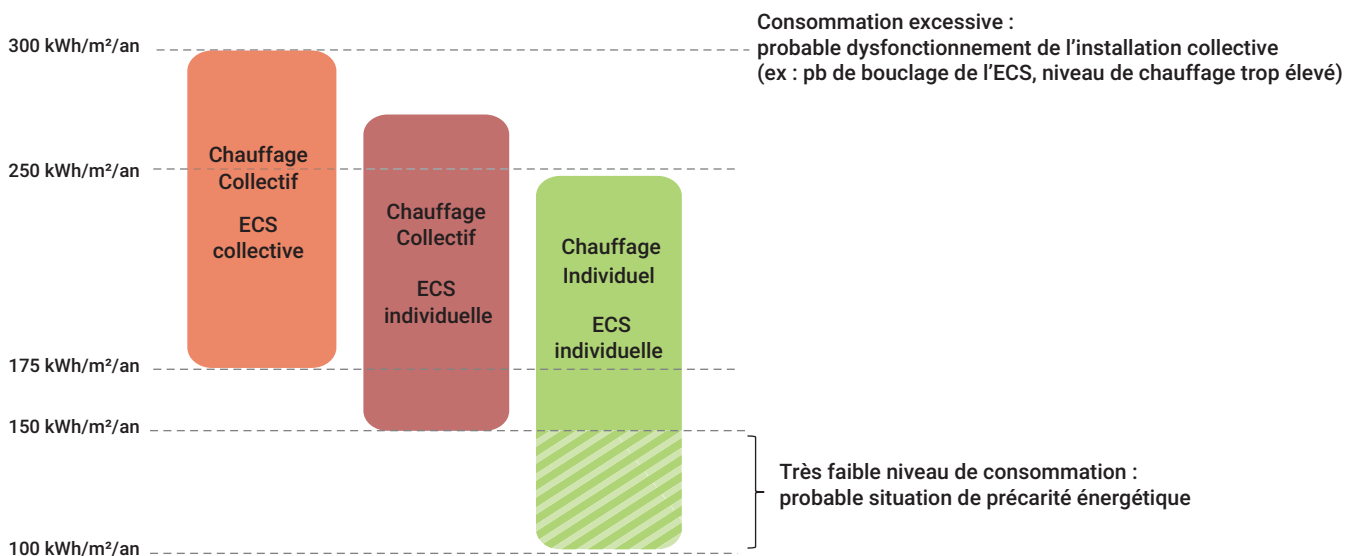
Ainsi des grands écarts à la moyenne peuvent révéler des situations dans lesquelles des équipements de chauffage sont en état de dysfonctionnement avec un niveau de chauffage à 24 °C sans possibilité d'action de la part des occupants (par exemple lorsque les consommations des 5 usages avoisinent les 300 kWh/m²/an) ou bien, à l'exact inverse, des situations de précarité énergétique dans lesquelles les occupants renoncent au chauffage pour limiter leur facture (par exemple lorsque les consommations des 5 usages avoisinent les 100 kWh/m²/an).

Ainsi l'élaboration de solutions de réhabilitations énergétiques consiste généralement en une double analyse : celle des consommations conventionnelles et celles des consommations réelles. Ces deux approches sont indissociables et permettent d'apprécier à sa juste valeur les chances de réussite d'une opération de réhabilitation thermique ambitieuse.

Des modes d'évaluation à consolider

La préoccupation d'une efficacité réelle de la réhabilitation thermique doit pouvoir s'appuyer sur une connaissance fine et fiable du comportement énergétique des bâtiments. Les outils d'évaluation doivent encore pouvoir s'améliorer au travers d'expérimentations pour aller vers une maîtrise de la performance énergétique réelle. La performance doit être non plus évaluée mais mesurée en prenant en compte la réalité des usages. Cela implique le déploiement de capteurs sur les équipements énergétiques qui fourniront par l'analyse le retour d'expérience nécessaire aux réglages et à la validation et des dispositifs mis en œuvre.

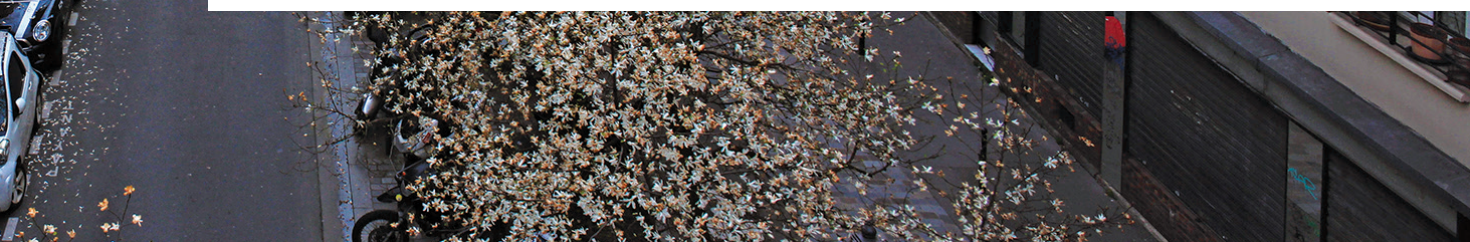
PLAGES DE CONSOMMATIONS RÉELLES (5 USAGES) COURAMMENT RENCONTRÉES SUR DES GROUPES HBM NON RÉHABILITÉS SELON LES MODES DE CHAUFFAGE







2. RETOUR D'EXPÉRIENCE



© Apur - François Mohrt

2.1 | Les opérations étudiées

L'analyse des diagnostics thermiques et des chantiers de réhabilitation a permis de dresser une liste de questions techniques qui se posent nécessairement lors de l'intervention sur un groupe d'HBM. Ces questions relèvent de l'entretien courant des bâtiments comme le ravalement mais aussi de l'intervention plus lourde comme l'isolation thermique.

23 opérations parisiennes ont été analysées à partir des informations remises par les bailleurs. 10 opérations ont été livrées, 5 sont en travaux et 8 à l'étude.

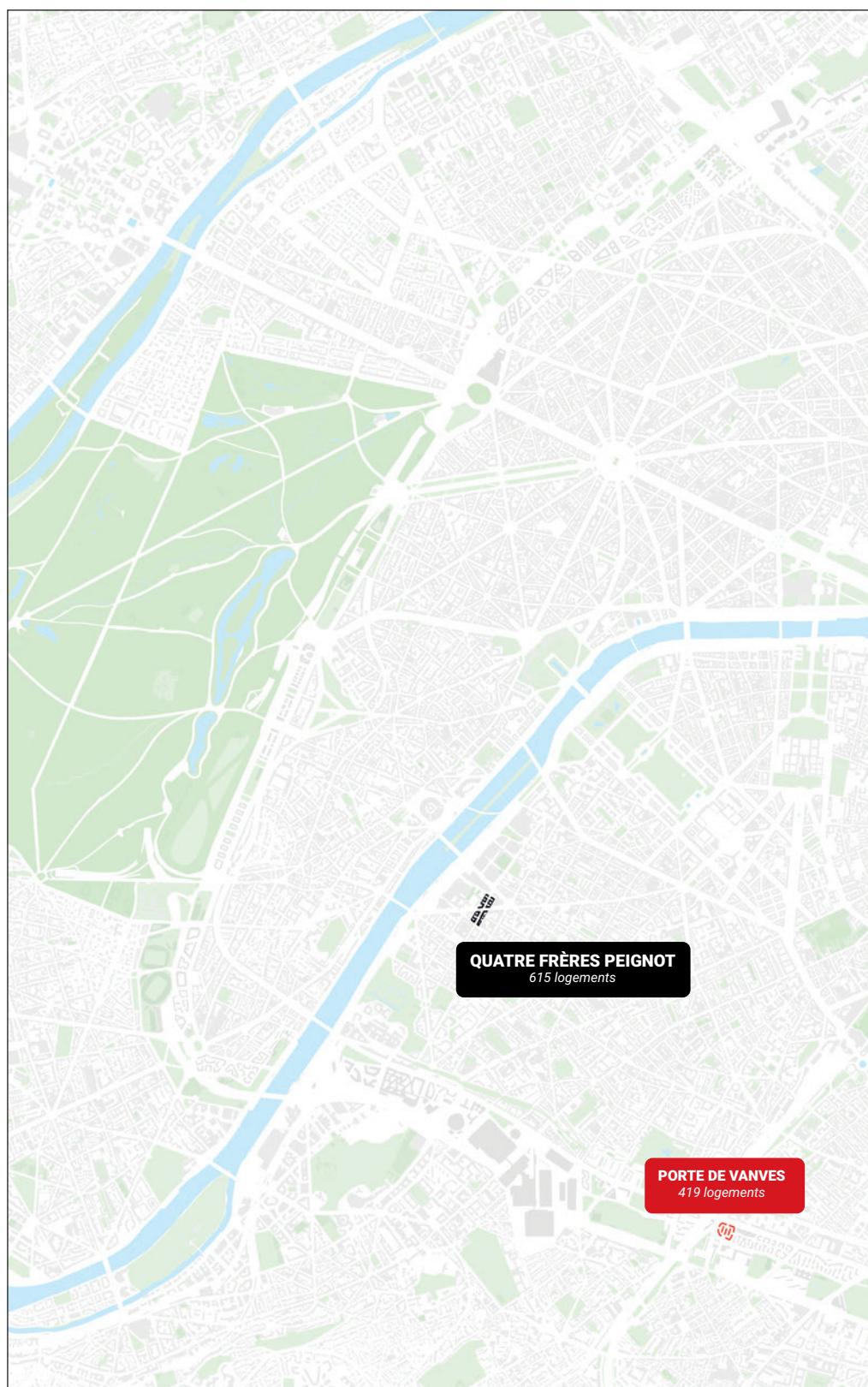
Cet échantillon a été complété par des opérations de réhabilitation d'HBM situées en première couronne parisienne.

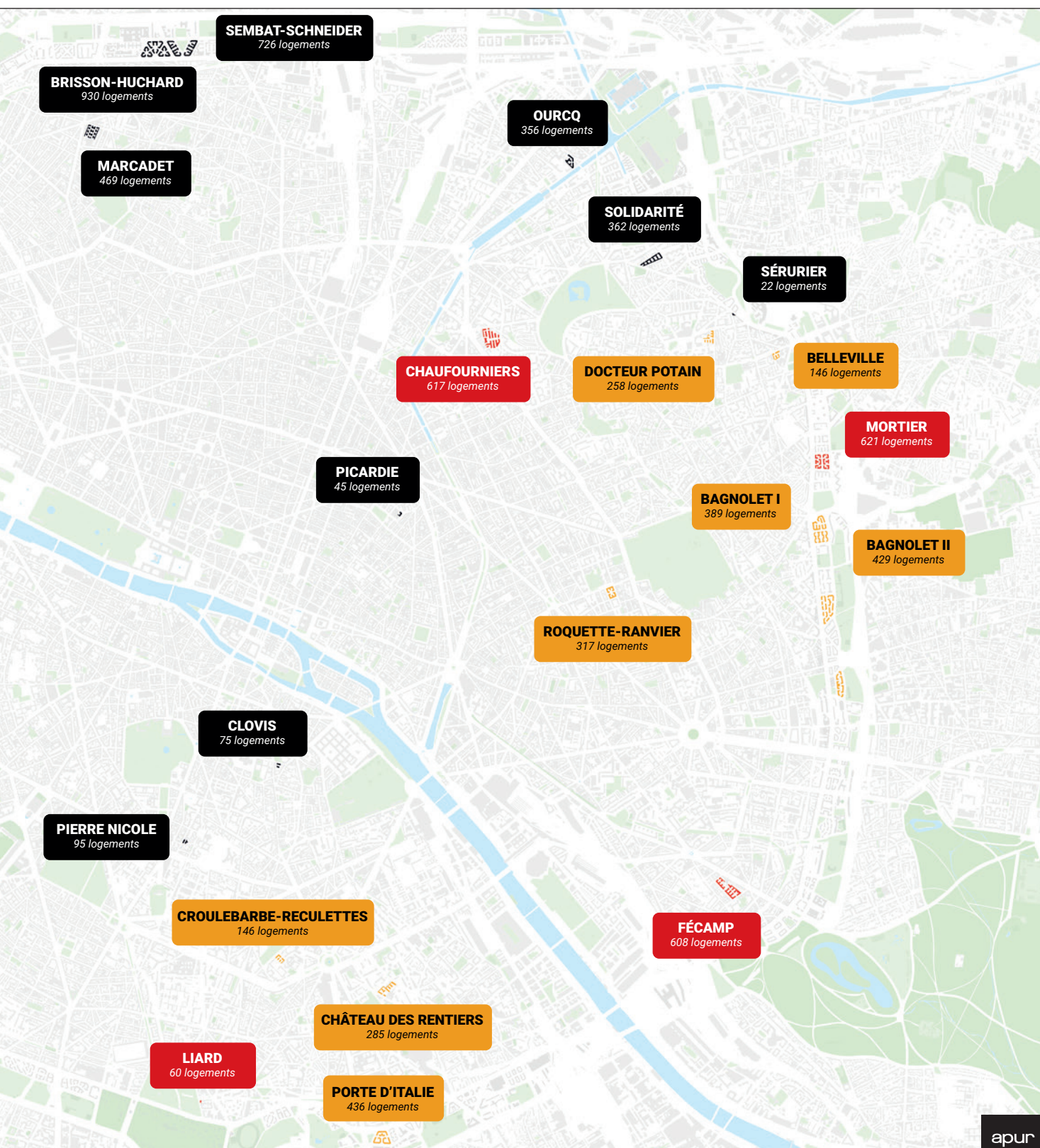
Les opérations Plan Climat ont permis la réhabilitation d'environ 8 000 logements HBM sur 69 000 existants (dont 58 000 relevant du parc social locatif) à traiter. L'avancement est donc à ce jour d'environ 11,5 %, la moitié de ces logements situé sur la ceinture verte, sur laquelle il reste plus de 30 000 logements devant faire l'objet de travaux.

ÉTAT D'AVANCEMENT DES OPÉRATIONS ÉTUDIÉES



-  Opérations livrées
-  Opération en travaux
-  Opération à l'étude





2.2 | Interventions sur les façades

L'humidité dans les bâtiments

Les pathologies liées à l'humidité sont le premier sujet de désordres constatés dans les bâtiments. En France, 25 % des logements en souffrent. Chaque fois qu'une opération de réhabilitation est entreprise elle transforme l'équilibre hygrométrique des locaux et également des murs, il est donc nécessaire d'en maîtriser les effets. La compréhension de l'hygrométrie des murs est un sujet essentiel lors des étapes de réhabilitation des HBM.

De manière générale, on oppose les murs des bâtiments anciens (avant 1945) à ceux des bâtiments modernes (après 1945) du point de vue hygrométrique, les premiers étant extrêmement sensibles (comme les bâtiments en pans de bois), les seconds ne l'étant presque pas (comme les bâtiments en béton armé banché).

La spécificité des HBM tient dans le fait qu'elles représentent une période de transition avant l'industrialisation complète du secteur du bâtiment et qu'on retrouvera dans le comportement de leurs murs une situation intermédiaire entre celle des murs anciens et celle des murs modernes.

Les HBM de la ceinture de Paris sont généralement édifiés avec une ossature en béton armée, remplie de 2 rangées de briques.

- **La brique de parement** est généralement de très bonne qualité (brique perforée dite de « Bourgogne »), elle est issue d'une cuisson à haute température qui l'a rendue dure et peu poreuse. Elle est donc peu perméable à l'eau liquide, et donc à la pluie bat-

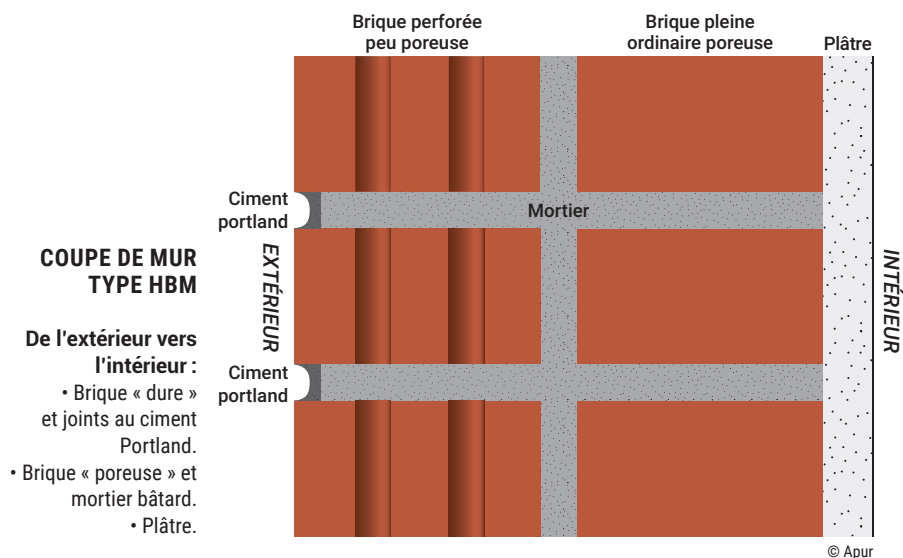
tante. Les briques de parement sont rejointoyées au ciment de Portland qui est lui aussi relativement étanche. Ainsi la principale pathologie liée à l'infiltration d'eau depuis l'extérieur est le fait de joints détériorés (par exemple lors d'un ravalement trop agressif) qui laisseront transiter l'eau vers l'intérieur du mur d'où elle aura du mal à s'échapper.

- **La brique intérieure** est de qualité ordinaire, elle est peu cuite. Elle est par conséquent poreuse et ouverte à la diffusion de vapeur d'eau. Elle est hourdée au mortier bâtard, également très ouvert.

Ainsi, **il est possible de comprendre le mur HBM comme étant composé de deux épaisseurs de briques aux propriétés hydriques assez antagonistes**. La partie extérieure est très fermée à l'eau et la partie intérieure est plutôt ouverte. Notons que dans le cas où un vide d'air est ménagé entre les deux épaisseurs de brique il y a une coupure capillaire qui est assez intéressante pour la salubrité du mur.

De la vapeur d'eau est constamment produite dans l'habitat par la respiration des occupants mais aussi par le séchage du linge, la cuisine, les douches, etc. Dans un logement c'est plusieurs dizaines de litres de vapeur d'eau qui doivent s'évacuer chaque jour. Dans le cas d'une HBM non réhabilitée, la vapeur d'eau s'échappe par les défauts d'étanchéité des menuiseries, par les conduits de cheminées, les grilles de ventilation hautes et basses des pièces. Lorsque du double vitrage est installé, la

Les HBM de la ceinture de Paris sont généralement édifiées avec une ossature en béton armée, remplie de 2 rangées de briques



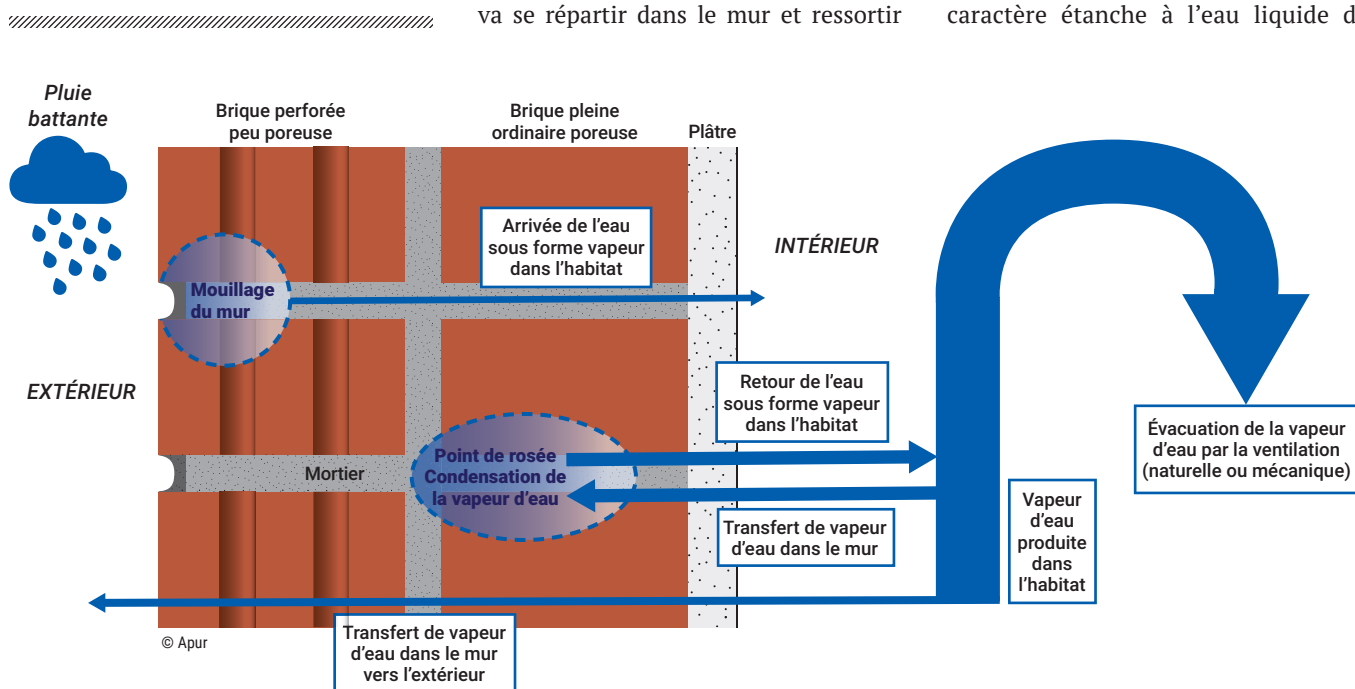
ventilation mécanique est technique-ment obligatoire sinon la vapeur d'eau ne peut plus s'échapper et le logement devient rapidement insalubre, c'est ce qui est arrivé dans les années 1980 et 1990 lors des réhabilitations Palulos.

Parmi les dizaines de litres de vapeur d'eau produits dans le logement, une part infime (moins de 1 %) transite à travers les murs. Comme la partie extérieure du mur est très fermée à la vapeur d'eau, il est vraisemblable qu'à certains moments de l'année, en hiver surtout, la vapeur d'eau condense dans le mur. Étant donné le caractère capillaire de la brique intérieure, cette eau va se répartir dans le mur et ressortir

vers l'ambiance intérieure plus tard. Il y a donc des échanges hygrométriques entre l'ambiance intérieure et le mur, mais sans que cela ne soit problématique (tant qu'on ne recouvre pas le mur intérieur d'un revêtement étanche). En cas d'isolation intérieure il faudra donc veiller à anticiper la modification de fonctionnement du mur.

La stratégie d'hydrofugation qui est pratiquée lors des ravalements est une stratégie d'étanchéification couramment pratiquée en réhabilitation. Elle est acceptable du point de vue hygrométrique puisqu'elle renforce le caractère étanche à l'eau liquide du

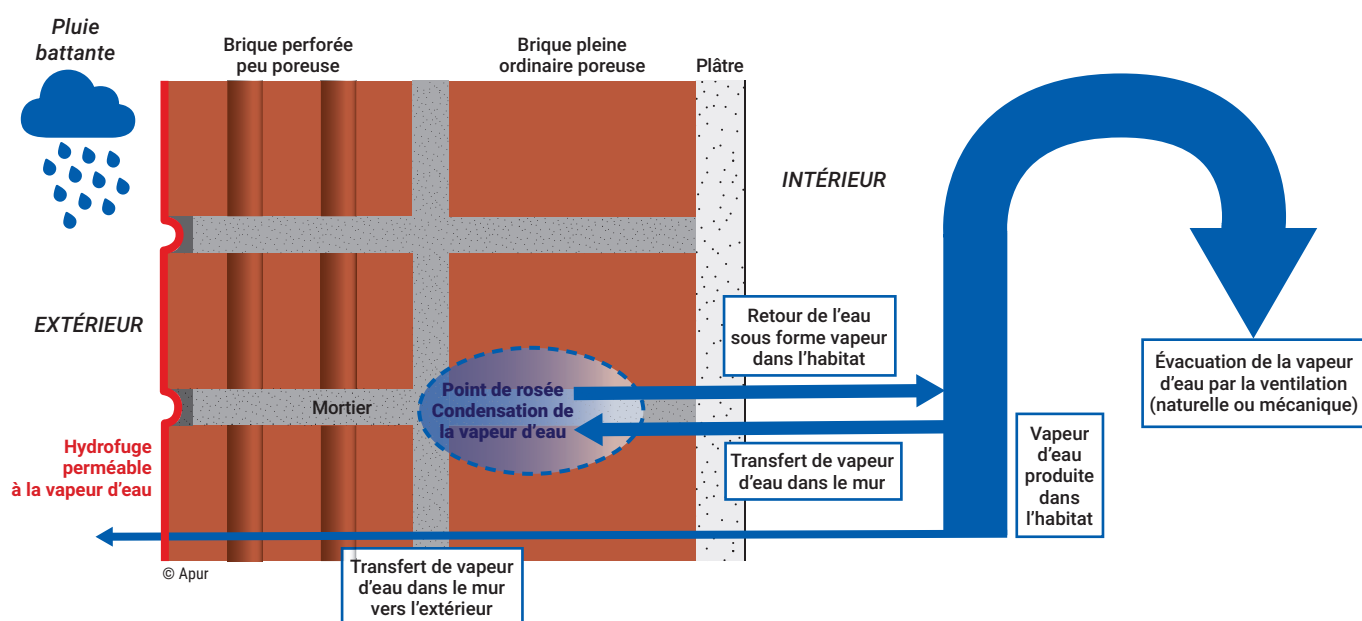
SCHÉMA DE SYNTHÈSE DES TRANSFERTS HYGROMÉTRIQUES DANS LE MUR HBM



mur extérieur tout en permettant le transfert de la vapeur d'eau (l'hydrofuge doit être perméable à la vapeur d'eau). Cette stratégie est payante à condition que le mur sur lequel est appliqué l'hydrofuge soit en bon état et que l'hydrofuge soit parfaitement appliqué, sinon des dégâts sont à attendre.

Aujourd'hui la technique d'hydrofugation est très pratiquée sur la brique et elle est mieux maîtrisée qu'auparavant. En effet, il y eut après-guerre de nombreux cas d'application de substances filmogènes imperméables à la vapeur d'eau sur des bâtiments en briques qui occasionnèrent de graves pathologies.

SCHÉMA DE SYNTHÈSE DES TRANSFERTS HYGROMÉTRIQUES DANS LE MUR HBM AVEC HYDROFUGE PERMÉABLE À LA VAPEUR D'EAU ET IMPERMÉABLE À L'EAU LIQUIDE



Exemple d'écailage d'une substance filmogène inadaptée au mur en brique. L'hydrofuge devrait être imperméable à l'eau liquide et perméable à la vapeur d'eau.

L'entretien des façades

Les façades des HBM nécessitent un entretien régulier afin de préserver la salubrité et l'intégrité des bâtiments

Les façades des HBM nécessitent un entretien régulier afin de préserver la salubrité et l'intégrité des bâtiments, et ce, en dehors de toute considération portant sur la réhabilitation.

Désordres courants constatés sur les façades

Voici citées par ordre croissant d'impact sur le bâtiment, les différentes agressions recensées sur les façades HBM :

Pollution de l'air

Elle entraîne le noircissement progressif des façades. La pollution de l'air n'entraîne pas de dégâts mécaniques sur les briques argileuses (ce sont ces briques qui sont ultra-majoritaires dans le parc HBM de la ceinture de Paris). Les briques silico calcaires peuvent souffrir de la pollution (tout comme la pierre calcaire), elles ont surtout été employées dans les HBM d'avant la 1^{re} guerre mondiale et sont donc peu représentées sur la ceinture de Paris.

Souillures des pigeons

Les déjections des pigeons provoquent des salissures sur les façades. Les pigeons trouvent refuge dans les garde-manger, en particulier quand les habitants ont condamné l'usage des garde-manger depuis l'intérieur du logement sans boucher les orifices extérieurs de ventilation naturelle. Les pigeons sont également vecteurs de parasites (poux du pigeon).

Actions de l'eau de pluie

Les corniches et bandeaux sont des dispositifs de protection des façades vis-à-vis du ruissellement. Les briques de parement des HBM ont en général une bonne résistance à l'érosion provoquée par l'eau de pluie. Ces briques sont généralement peu poreuses et peu perméables. Néanmoins la qualité variable des briques peut faire que, ponctuellement, on constate, des décollements de matière dus à une humification de la brique suivie de cycles de gels et de dégels qui font alors



© Apur - Julien Bigorgne

Fenêtre de cuisine souillée par les pigeons.
Lors de la réhabilitation, à la demande de l'ABF, l'installation de piques anti-pigeons n'a pas été retenue pour les rebords de fenêtre et les bandeaux. Cité jardin de Stains (93) – Seine Saint-Denis Habitat



© Apur - Julien Bigorgne

Ventilation haute de cuisine fréquentée par les pigeons.
L'intrusion des pigeons est effective même dans les plus petits orifices, en conséquence de quoi les occupants les bouchent fréquemment. Groupe Orléans Univers (Paris 14^e) – RIVP



© Apur - Julien Bigorgne

Dégradation des ouvrages en béton armé,
Corrosion des fers sous l'action érosive de l'eau de pluie. Groupe Fécamp (Paris 12^e) – Paris Habitat

exploser la brique. Des décollements se constatent également couramment en des points singuliers où la brique est fragilisée de façon mécanique comme la jonction entre un garde-corps et le mur. À Paris, les orientations Sud-Ouest/Ouest/Nord-Ouest sont les plus exposées à la pluie battante, c'est sur ces façades que l'on constate les dégâts les plus importants et notamment des infiltrations d'eau liquide dans les logements quand les joints des briques sont dégradés. L'action de la pluie se traduit également par une érosion des éléments en béton armé apparents, avec corrosion de fers et le développement de mousses et de lichens.

Fuites des réseaux eaux (eaux pluviales, eaux-vannes, eaux grises).

Il s'agit des désordres les plus graves. Dans ce cas, le mur est aux prises avec de l'eau liquide en quantité trop importante. Les désordres les plus importants sont constatés lorsque l'eau provient de l'intérieur du bâtiment (fuites d'eaux-vannes ou eaux grises). La relative tolérance à l'eau du complexe brique/béton qui compose les murs fait que l'insalubrité des logements se révèle bien avant que des problèmes structurels ne se posent.

Types d'agressions	Effets
Pollution de l'air	Noircissement des briques
Pigeons	Souillure des façades, problème d'hygiène
Pluie	Érosion des briques et des joints, dégradation des éléments en BA
Fuite réseaux	Humidification forcée des murs, insalubrité dans les logements, érosion accélérée des murs



© Apur - Julien Bigorgne

L'action érosive de l'eau : décolllement de l'enduit ciment des briques creuses composant l'allège des balcons.
Action corrosive de l'eau : éclatement des fers en sous face des balcons.
 Groupe Serpollet (Paris 20^e) – Paris Habitat



© Apur - Julien Bigorgne

Efflorescences de sels contenus dans les briques consécutifs à la fuite de la canalisation d'eau pluviale.
 Groupe de la Porte d'Ivry (Paris 13^e) – Paris Habitat

Politiques d'entretien

L'entretien des façades tel qu'il est pratiqué aujourd'hui consiste généralement en plusieurs étapes :

- Nettoyage de la façade.
- Restauration de certaines briques, des éléments en BA.
- Hydrofugation.
- Bouchage des orifices de façade.
- Etc.

Nettoyage

Le ravalement est théoriquement obligatoire tous les 15 ans (au plus) d'après le code de la construction, néanmoins, en pratique, à Paris, l'obligation de ravalement est signifiée aux bailleurs via des enquêtes de terrain effectuées par la Ville de Paris qui rendent compte de la propreté et du niveau de dégradation des édifices.

L'hydrogommage est la technique la plus répandue pour décaper une façade et lui redonner une couleur proche de celle de la brique d'origine. L'hydrogommage, qui consiste à projeter sous pression du sable et de l'eau sur la façade, doit être réalisée avec soin en évitant les trop fortes pressions. De nombreuses pathologies (infiltrations

d'eau dans les logements) ont été révélées après des ravalements trop agressifs ayant détérioré les joints. Ce fut le cas pour le groupe Château des Rentiers (Paris 13^e) de Paris Habitat dans les années 1990.

Le lavage biologique est également employé comme alternative à l'hydrogommage, il s'agit d'une projection d'eau avec un produit nettoyant (généralement à base de soude). Cette technique est moins érosive que l'hydrogommage mais peut se révéler moins efficace lorsque les façades sont particulièrement sales.

Restauration de briques

Les briques trop détériorées sont généralement changées, mais il est souvent difficile de retrouver une teinte identique à celle d'origine. Les briques légèrement abîmées ou ayant encore une couleur trop sombre par rapport à la couleur d'origine sont souvent repeintes. Cette dernière pratique est assez courante et donne des résultats chromatiquement surprenants puisque la teinte de la peinture est généralement différente de la teinte des briques d'origine. Notons que la mise en peinture des briques sur toute une façade avec une peinture étanche peut entraîner



© Apur - Julien Bigorgne

Peinture de protection appliquée sur certaines briques (elles apparaissent en clair)
Groupe Sérurier (Paris 19^e) – Paris Habitat



© Apur - Julien Bigorgne

Ravalement ayant été suivi par la mise en peinture de la totalité des briques. Le choix de deux teintes fait évoluer l'aspect général de la façade en créant de nouveaux motifs, notamment des lignes diagonales, qui étaient absentes de la façade d'origine composée d'une seule teinte de brique.
Groupe Sembat (Paris 18^e) – Paris Habitat



© Apur - Julien Bigorgne

Au centre apparaît la couleur d'origine des briques (ocre et beige). Le reste de la façade a été peint en rouge et hydrofugé.
Groupe Ourcq (Paris 19^e) – Paris Habitat

des problèmes d'accumulation d'humidité dans les murs (via l'ambiance intérieure). Si cette mise en peinture ne peut être évitée (ou a déjà été réalisée), les stratégies d'isolation intérieures des locaux doivent se porter sur des techniques procédant à l'étanchéification du mur.

Restauration décors en béton armé

Le ravalement est généralement l'occasion de restaurer certains éléments de décors en béton armé qui auraient été détériorés.

Plusieurs étapes se succèdent alors :

- Piochage des bétons fragilisés
- Passivation des fers (peinture)
- Reconstitution des volumes manquants
- Sur les corniches et bandeaux, l'application d'une couche de peinture à base de résine peut permettre d'éviter le développement ultérieur de mousses, lichens et algues.

Restauration de décors

Les HBM de la ceinture sont moins concernées par la présence de petits éléments de décors (briques vernissées, briques polychromatiques, sculptures, etc.) que leurs homologues insérées dans les tissus parisiens. Néanmoins certains groupes possèdent quelques touches ornementales discrètes, par exemple les sgraffites sous corniches des groupes de la Porte d'Or-

léans (RIVP) ou les briques vernissées des étages en attique des groupes de la Porte de Saint-Cloud (RIVP).

Hydrofugation

L'hydrofugation est un traitement de façade généralement appliqué à l'issue des ravalements pour imperméabiliser les façades des HBM et éviter les désagréments dus à l'infiltration d'eau. L'hydrofuge doit être imperméable à l'eau liquide mais perméable à la vapeur d'eau (il faut toujours laisser la possibilité à l'eau de s'évacuer du mur en cas de mouillage intérieur notamment). L'hydrofuge doit s'appliquer sur une façade parfaitement sèche, propre et rejointoyée.

Bouchage des orifices de façade

Le bouchage des garde-manger ou des prises d'air en façade est souvent réalisé pour éviter l'intrusion des pigeons, mais aussi pour garantir l'étanchéité à l'air de la façade lors de l'introduction d'une ventilation mécanique. Dans des cas plus exceptionnels la condamnation d'ouvrants par des briques de remplissage a pu être constatée lorsque des modifications lourdes des logements sont entreprises. Il s'agit d'une pratique peu répandue qui met en cause la qualité patrimoniale des édifices.



© Apur - Julien Bigorgne

Une résine a été appliquée en surface d'une corniche. Elle vise à stopper le développement de mousses, lichens et algues.
Groupe Mortier (Paris 20^e) – RIVP.



© Apur - Julien Bigorgne

Décors en sgraffites ayant presque disparu qui pourront être restaurés lors d'un ravalement.
Groupe de Porte d'Orléans (Paris 14^e) – RIVP



© Apur - Julien Bigorgne

Orifice d'un garde-manger bouché pour empêcher le nichage des pigeons.
Cité Jardin de Stains (93) – Seine Saint-Denis Habitat



© Apur - Julien Bigorgne

Bouchage de fenêtres de cuisine permettant l'installation de chaudières gaz individuelles à condensation. Une modification remarquable de la façade est opérée ici.
Rue du Moulin Vert (Paris 14^e) – 3F



2.3 | La ventilation

On a très souvent créé des situations de calfeutrement de l'habitat (notamment avec le double vitrage) qui ont produit de l'insalubrité par manque de renouvellement d'air

Sous l'influence du mouvement hygiéniste, le renouvellement d'air des logements HBM est une question qui fut pensée et dimensionnée dès la conception.

Ce renouvellement est traditionnellement assuré de façon naturelle par des prises d'air hautes et basses à proximité des ouvrants mais également par les cheminées, les orifices des séchoirs et garde-manger, et les défauts d'étanchéité (plus ou moins prononcés) des menuiseries.

Lors des programmes de travaux dits Palulos des années 1980 et 1990, beaucoup de modifications ont été effectuées dans les logements HBM, en particulier :

- Changement des simples vitrages pour des doubles vitrages avec menuiseries PVC.
- Pose de lino sur les parquets
- Modification et/ou création de salle de bains.

Ces interventions n'ont pas été accompagnées de travaux sur la ventilation, et on a très souvent créé des situations de calfeutrement de l'habitat (notamment avec le double vitrage) qui ont produit de l'insalubrité par manque de renouvellement d'air. Les situations les plus critiques correspondent aux cas où furent créées des salles de bains aveugles en empiètement de pièces à vivre directement sur les parquets d'origine (et



Développement de moisissures d'une chambre d'HBM avant chantier de réhabilitation. Groupe Pierre Nicole (Paris 5^e) – Elogie-SIEMP



Moisissures et décollement de peinture Avec le double vitrage, la condensation se fixe essentiellement sur le pont thermique du plancher Haut. Groupe Gambetta (Paris 20^e) – Elogie-SIEMP

© Apur - Julien Bigorgne



Gaine de ventilation et autres réseaux prenant place dans l'ancien conduit de cheminée.

Les conduits historiques ont dû être déposés et élargis.

Cité jardin de Stains (93) – Seine Saint-Denis Habitat

sans ventilation mécanique). Rappelons que dans la configuration originelle, toute pièce d'une HBM possède forcément un ouvrant, et même les toilettes qui sont situées parfois en second jour communiquent avec un ouvrant via une trémie, ce qui permet un renouvellement d'air minimal.

Autre facteur aggravant : les HBM les plus petites (les plus précaires donc) sont aussi celles qui sont équipées de chauffages individuels qui sont souvent réglés au plus près des besoins des occupants. Les occupants ont presque toujours bouché les entrées d'air des logements afin d'éviter les surconsommations et l'inconfort thermique. Dans ces conditions, les opérations Palulos ont eu un effet désastreux sur la salubrité des logements. Nombre de dégâts ont été alors identifiés comme des développements de moisissures sur les murs, une trop forte hygrométrie de l'air des logements, etc.

Les usages domestiques actuels sont sûrement beaucoup plus producteurs de vapeur d'eau qu'auparavant. Aujourd'hui, nombre de familles possèdent une machine à laver le linge dont

le séchage fait augmenter l'hygrométrie de l'habitat. Chaque jour c'est plusieurs dizaines de litre de vapeur d'eau dont les sources sont multiples (douches, cuisines, séchage du linge, etc.) qu'il faut évacuer. Ce problème est bien sûr accru par la petitesse de certains logements aux taux d'occupation élevés et pour lesquels des débits de renouvellement d'air allant au-delà des standards actuels sont requis.

Dans les opérations de réhabilitation thermiques actuelles, l'intégration de la ventilation mécanique est quasi systématique. L'intégration de cet équipement pose une question de place évidente dans les logements ainsi qu'en haut du bâtiment puisqu'il faut disposer d'un local technique sur la terrasse ou dans les espaces sous combles.

Ventilation mécanique centralisée

La ventilation centralisée est le système le plus courant que l'on applique dans l'habitat neuf depuis la fin des années 1960. Le principe de la ventilation centralisée consiste en une colonne montante entre étages qui est chargée de collecter l'air vicié des pièces humides.

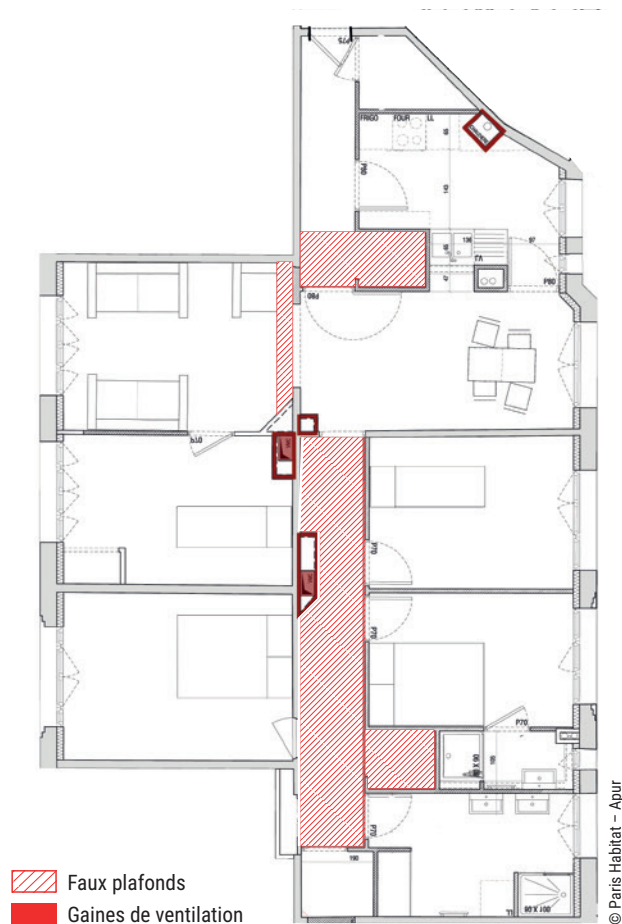
EXEMPLE D'IMPLANTATION D'UNE VMC CENTRALISÉE (LOGEMENTS OCCUPÉS)

Installation de la gaine VMC dans la trémie de l'escalier.

Groupe Pierre Nicole (Paris 5^e) – Elogie-SIEMP

 Faux plafonds
 Gains de ventilation

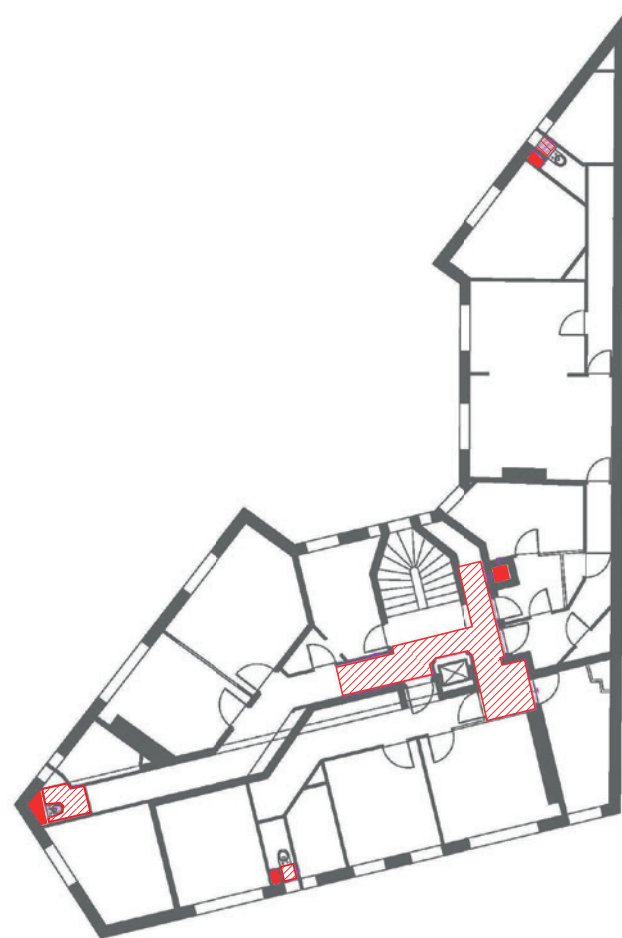
© Elodie-SIEMP – Apur



 Faux plafonds
 Gains de ventilation

Installation de la gaine VMC dans l'espace des conduits de cheminée démolis.

Groupe Roquette Ranvier (Paris 11^e) – Paris Habitat



Installation de la gaine VMC dans les gaines de vide-ordures.

Groupe Sérurier (Paris 19^e) – Paris Habitat

Sa mise en œuvre nécessite souvent la création de faux plafonds pour faire passer les gaines reliant les extracteurs des pièces humides aux colonnes d'évacuation. La distance entre pièces humides et la colonne ne doit pas être excessive au risque d'une perte de charge importante impactant les débits de renouvellement d'air. Cette question est assez stratégique car les espaces permettant l'implantation de colonnes ne sont pas toujours évidents à trouver dans les HBM et on peut être tenté de s'éloigner un peu trop des points de collecte.

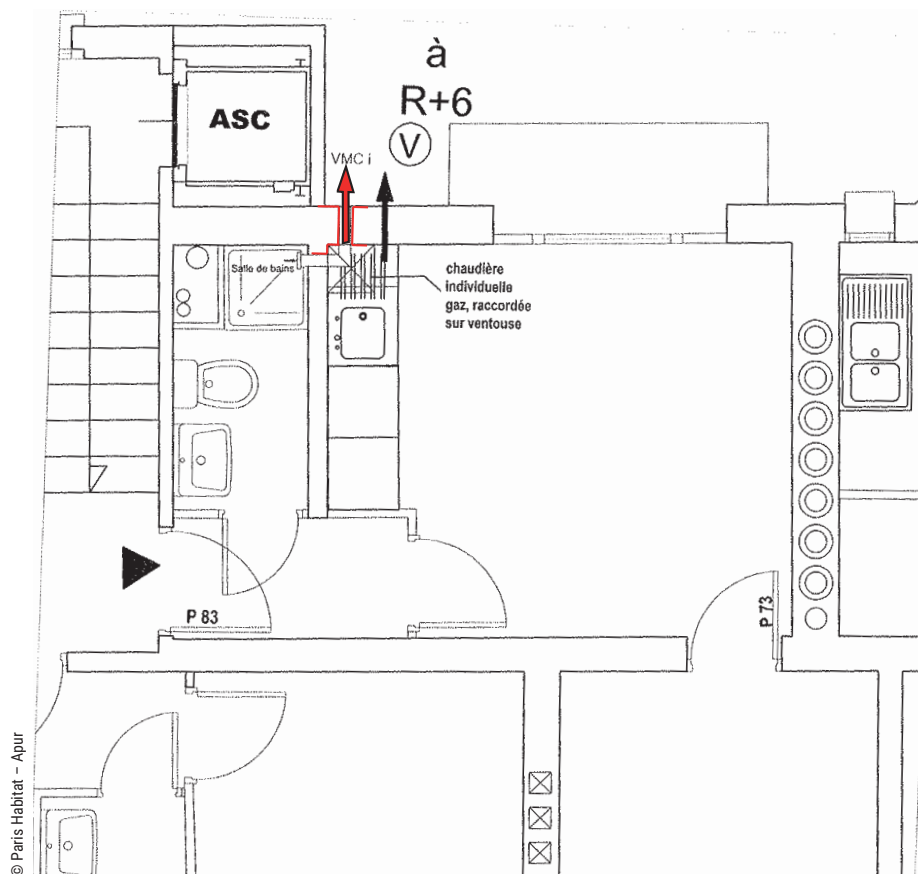
Lorsqu'une cage d'escalier entière a pu être vidée de ses occupants, l'intégration de la colonne dans les logements est assez simple car une perforation des planchers entre étages est possible.



En haut à gauche, **extracteur de VMR type A installé dans une ancienne trémie de WC.**
Groupe Porte de Montreuil (Paris 12^e) – Paris Habitat.



Chantier d'installation d'une VMC centralisée à l'échelle du logement.
Groupe Fécamp (Paris 12^e) – Paris-Habitat



VMR de type A desservant douche et cuisine suite à une réhabilitation Palulos.
Groupe des 4 Frères Peignot (Paris 15^e) – Paris Habitat

tion mécanique répartie (VMR type A), il s'agit de solutions simples à mettre en œuvre qui sont de solutions correctives, c.-à-d. répondant à un impératif de salubrité mais qui ne permettent pas d'assurer un renouvellement global de l'air du logement.

- Une solution alternative à la précédente, et qui est nettement plus efficace pour le renouvellement de l'air, consiste à installer dans les logements un extracteur en faux plafond qui collecte l'air vicié et le renvoie vers l'extérieur (VMR de type E). L'intérêt de ce dispositif est de pouvoir être installé en logement occupé et donc sans avoir à prévoir une vacance qui est souvent complexe à organiser. Le principal inconvénient relève de l'entretien puisqu'il faut pouvoir rentrer dans chaque logement pour effectuer la maintenance de l'installation.

Ventilation naturelle assistée

À l'origine, les HBM sont tous équipés de conduits individuels et non pas de conduits unitaires (qui seront systématisés après-guerre), ce qui fait que l'air de l'habitat est balayé individuellement grâce au tirage vertical thermique ou éolien. Malheureusement ces conduits ont souvent été bouchés et ne participent donc plus à la ventilation de l'habitat, c'est souvent le cas des cheminées. En été, pourtant, on constate que la ventilation verticale des conduits peut grandement améliorer le confort thermique car les débits atteints dépassent parfois largement ce que peut réaliser une ventilation mécanique classique. Il est rappelé que conformément aux attentes du PLU de Paris les conduits et souches de cheminées doivent être conservés ou adaptés, leur rôle dans la résilience de l'habitat a été identifié dans ce texte comme capital. Une alternative à l'usage des conduits existants peut consister à les utiliser directement pour faire passer les gaines de ventilation (leur diamètre de 20 cm x 20 cm est suffisant), la mise en place de dispositif de ventilation naturelle assistée peut alors être envisagée.



Destruction d'une cheminée et de son conduit
à la demande d'un locataire (« gain de place »). Cette intervention est contraire aux attentes du PLU de Paris comme formulées à l'article 15. Groupe Fécamp (Paris 12^e) – Paris-Habitat.

Lorsque les locataires occupent les logements, l'installation de gaines de ventilation est plus complexe à entreprendre d'autant que des faux plafonds doivent être réalisés dans les logements. La stratégie d'implantation des gaines consiste généralement à exploiter les conduits de cheminées existants, les vide-ordures condamnés ou bien les parties communes.

Ventilation mécanique décentralisée

La ventilation décentralisée est le système qui consiste à localiser dans le logement la fonction d'extraction de l'air vicié.

- Les problèmes d'insalubrité générés par les opérations Palulos ont incité l'installation ponctuelle d'extracteur sur les façades, il s'agit de la ventila-

2.4 | Les procédés d'isolation

Isolation thermique intérieure

Lorsque sont envisagés des projets de réhabilitation thermique, la question de l'amélioration de la performance des murs est souvent abordée. Les dispositifs de type isolation thermique extérieure (ITE) ont un champ d'application restreint pour les bâtiments à caractère patrimonial puisqu'ils impliquent la réécriture architecturale. Les dispositifs de type isolation thermique intérieure (ITI) ont l'avantage de faire rentrer dans le logement la question de l'isolation, non sans poser un certain nombre de difficultés :

- Nécessite d'organiser la vacance du logement.
- Perte de surface habitable pour l'occupant qui se traduit par une perte de revenu pour le bailleur.
- Modification des réseaux (électrique, chauffage, eau, etc.).
- Renforcement du sentiment d'exiguïté dans le cas où l'ITI est mise en œuvre hors opérations de déclassement ou regroupement de logements.
- Exposition du logement à des risques de pathologies liées à la modification de l'hygrométrie. Notons que dans le cas de l'ITE les pathologies liées à l'humidité sont beaucoup plus simples à éviter.

Du point de vue hygrométrique, l'ITI possède quelques risques qu'il convient de répertorier avant toute opération de réhabilitation. Les pathologies liées à une isolation thermique peuvent mettre du temps à se manifester, il peut ainsi s'écouler plusieurs années entre la livraison d'un chantier et la manifestation de pathologies.

L'ITI effectue une coupure thermique entre l'ambiance intérieure et l'ambiance extérieure. De ce fait le mur en brique devient « froid », ce qui induit un risque de condensation de la vapeur d'eau qui pourrait se trouver à l'interface entre l'isolant et le mur. C'est principalement ce risque qu'il convient d'anticiper et de prévenir.

En pratique, on recense plusieurs types de stratégies pour l'isolation thermique intérieure des HBM mises en œuvre ces dernières années. Ces stratégies se distinguent par des gestions des transferts de vapeur d'eau relativement différentes.

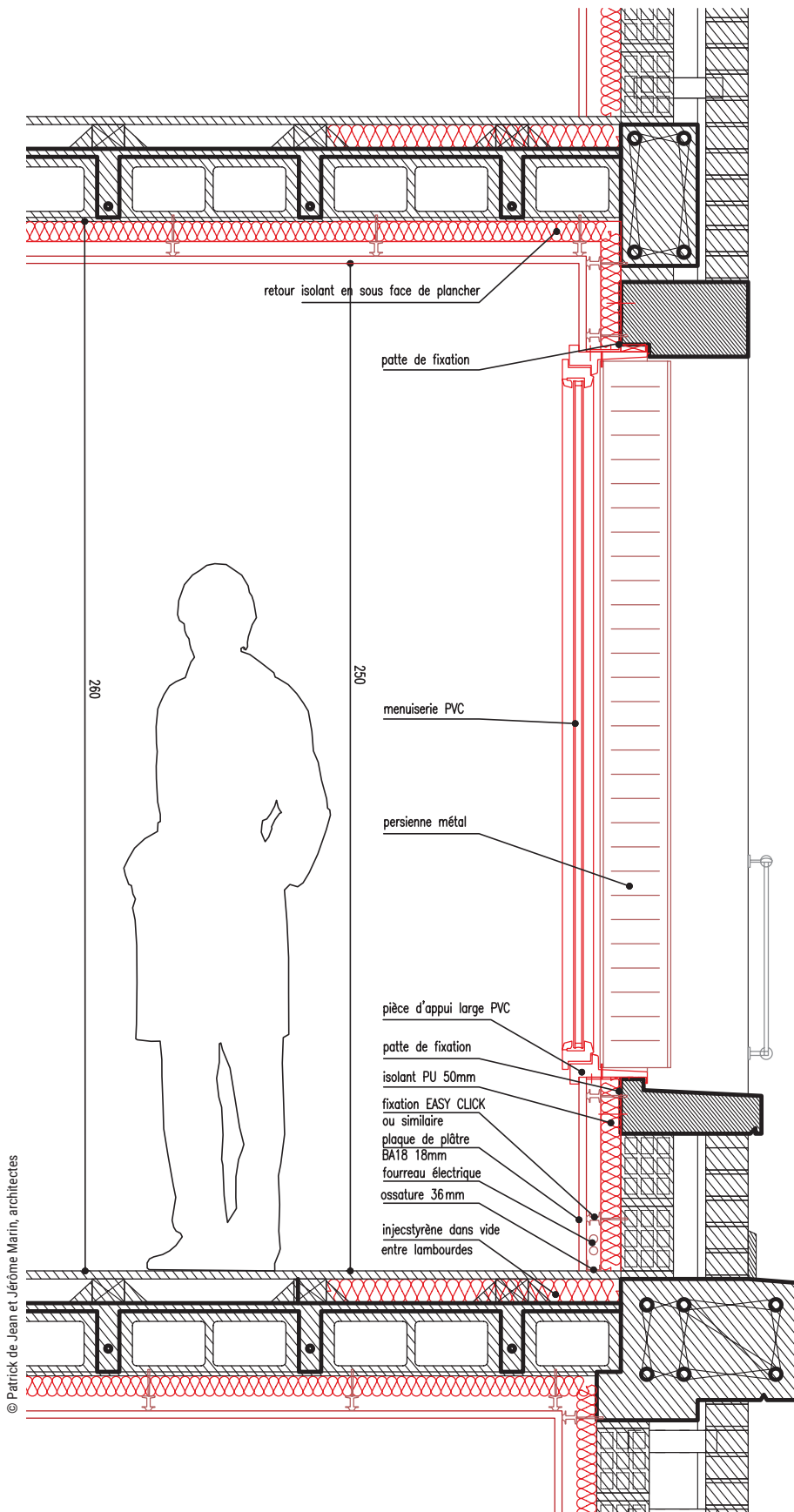
Stratégie d'ITI procédant d'une imperméabilisation du mur

Cette stratégie est très pratiquée pour l'ITI des bâtiments d'après 1945, elle consiste à bloquer totalement la vapeur d'eau émanant de l'ambiance intérieure. Cette stratégie comme toutes les autres a des avantages et des inconvénients. Son principal avantage est de protéger le mur d'une trop forte dérive hygrométrique, ce qui se produit quand le taux d'occupation du logement est très élevé, ou quand la ventilation mécanique marche mal (par exemple si elle est bouchée par les occupants). Par contre, le risque repose dans la mise en œuvre du dispositif : si l'étanchéification, qui est basée sur un isolant étanche (polystyrène, polyuréthane etc.), est mal mise en œuvre alors des dégâts sont à attendre, ils seront liés à l'accumulation d'eau qui ne peut s'échapper du mur.



Réhabilitation d'une salle d'eau.

Au fond, une ITI sur ossature métallique est mise en œuvre. La laine minérale choisie ne nécessite pas de frein vapeur.
Groupe Fécamp (Paris 12^e) – Paris Habitat



© Patrick de Jean et Jérôme Marin, architectes

Schéma de principe d'une isolation intérieure sur mur creux.

Groupe Chauffourniers (Paris 19^e) – Paris Habitat.

Source : Patrick de Jean et Jérôme Marin, architectes

Notons que dans le cas de murs creux (ou double mur) l'étanchéification est moins risquée dans la mesure où la lame d'air intercalaire entre brique intérieure et brique de parement permet le séchage de la brique intérieure. Dans la stratégie d'étanchéification, il est :

- Recommandé de traiter au mieux les ponts thermiques des planchers hauts et bas car le risque de condensation y est décuplé.
- Recommandé de pratiquer l'hydrofugation de la façade (imperméabilisation à l'eau de pluie tout en conservant la perméabilité à la vapeur d'eau)
- Impératif de mettre en œuvre l'isolation sur un mur parfaitement sec (la présence de remontées capillaires proscriit l'étanchéification)

Le groupe Chauffourniers (Paris 19^e) de Paris Habitat est un exemple où a été mise en œuvre cette stratégie grâce à 5 cm de polyuréthane situés derrière une contre-cloison avec traitement des ponts thermiques des planchers.

Stratégie d'ITI perspirante

Cette stratégie consiste à ne pas s'opposer aux transferts de vapeur d'eau, grâce à l'emploi d'un isolant perméable à la vapeur d'eau. Elle est particulièrement recommandée pour les bâtiments préindustriels avec lesquels les HBM partagent quelques traits communs (notamment la porosité de la brique côté intérieur). La stratégie « perspirante » accepte le risque de condensation dans le mur en considérant que la présence d'eau n'est pas pathologique tant que l'eau peut s'échapper du mur a posteriori.

Il existe de nombreux choix possibles pour les isolants perméables à la vapeur d'eau.

- **Les laines minérales** (nécessitent souvent une mise en œuvre avec frein vapeur) : les laines possèdent une conductivité très basse (aux alentours de 0,03 W/m/K), les laines sont peu capillaires, ainsi lorsqu'elles sont mouillées, l'eau a du mal à se répartir dans l'isolant, le séchage est donc long. Néanmoins leur capacité à absorber l'eau de l'air ambiant est faible (on dit

qu'elles sont « non hygroscopiques »). Elles conviennent donc aux ambiances dans lesquelles l'hygrométrie peut ponctuellement être élevée.

- **Les matériaux biosourcés** (nécessitent souvent une mise en œuvre avec frein vapeur) : ces matériaux ont une faible conductivité thermique (de 0,038 à 0,052 W/m/K) ce qui en fait des isolants à part entière. Cette conductivité est légèrement supérieure à celle des isolants de synthèse donc ils nécessitent une épaisseur légèrement supérieure pour une même résistance thermique. Ils sont généralement capillaires, c'est-à-dire qu'ils repartissent bien l'eau liquide dans leur masse en cas d'humidification, ils ont donc de bonnes capacités de séchage. En revanche leur caractère hygroscopique fait qu'ils ont tendance à capter l'humidité de l'ambiance intérieure. Il y a donc un risque à employer ces matériaux lorsque la ventilation mécanique est défaillante et/ou que la production de vapeur d'eau est très importante dans le logement. Dans une ambiance saine, où le taux d'hygrométrie reste raisonnable, le caractère hygroscopique du matériau doit être vu comme un avantage pour le confort des occupants puisque l'isolant joue le rôle de régulateur hygrométrique de la pièce.

- **Le béton cellulaire** : Le béton cellulaire est, tout comme les matériaux biosourcés, capillaire et hygroscopique. Il répartit bien l'eau condensée dans sa masse, mais a tendance à capter l'humidité ambiante. Il s'emploie sans frein vapeur ce qui est avantage puisque la pose du frein vapeur est délicate et peut être à l'origine de désordres. Son principal avantage par rapport aux biosourcés est qu'il est imputrescible, il peut donc supporter un mouillage accidentel sans pourrissement.

Dans toutes les stratégies perspirantes :

- Le traitement des ponts thermiques des planchers hauts et bas est recommandé.
- Il ne faut jamais laisser de vide entre

le mur et l'isolant sinon il y aurait discontinuité capillaire et donc risque de concentration d'eau liquide à cet endroit. L'isolant doit donc parfaitement adhérer au mur sur toute la hauteur ce qui est simple avec les isolants souples mais plus complexes avec les isolants rigides (surtout si le mur n'est pas droit).

Les « doublages collés » présentent un risque dans la logique « perspirante » car la continuité du frein vapeur est impossible à obtenir en pratique (joints entre les panneaux, prises électriques, etc.), des désordres sont très probables même dans une ambiance intérieure à l'humidité correctement maîtrisée par la ventilation.

Correction thermique.

La stratégie de correction thermique est une mesure qui peut être mise en œuvre lorsque l'ITI est impossible (logement occupé, perte de place jugée trop importante, etc.). Elle consiste à appliquer sur le mur un revêtement isolant de faible épaisseur afin de couper l'« effet de paroi froide » qui est une source majeure d'inconfort des logements non isolés. Rappelons que le confort thermique est tributaire de plusieurs facteurs : l'hygrométrie, la température de l'air, la température des murs et vitres. La correction thermique consiste à traiter uniquement la température des murs mais cela permet tout de même de palier à une grande part de l'inconfort thermique. Bien entendu, les gains en termes de consommation d'énergie ne sont pas aussi probants qu'avec une isolation classique, il n'en demeure pas moins que, couplée à un système de chauffage individuel, la correction thermique peut produire des baisses très intéressantes de consommation.

Dans le cas du groupe Marcadet (Paris 18^e) de Paris Habitat, une expérimentation de correction thermique à base de liège a été lancée. Le liège est l'un des rares matériaux biosourcés à ne pas être capillaire ce qui est plutôt un inconvénient, en revanche son caractère imputrescible lui permet de supporter des dérives en matière d'hygrométrie, ce qui est un gage de sécurité intéressant dans le cas des HBM.



Matériaux biosourcés

Source : Fédération Française du Bâtiment

Isolation thermique extérieure



© Apur - Julien Bigorgne

Isolation thermique extérieure mise en œuvre sur cour HBM. Le parement retenu est la briquette vernissée blanche.
Groupe Pierre Nicole (Paris 5^e) – Elogie-SIEMP

L'isolation thermique extérieure (ITE) est une action relativement efficace pour juguler les déperditions énergétiques des murs périphériques des bâtiments. À l'inverse des bâtiments des Trente Glorieuses qui ont fait l'objet de réhabilitations thermiques employant massivement l'ITE, les HBM ont été peu concernées jusqu'à aujourd'hui par l'ITE. La raison est bien évidemment la valeur patrimoniale de ces édifices qui semble faire consensus aujourd'hui. Néanmoins ce consensus est assez récent ; dans la seconde moitié du xx^e siècle, la vétusté

et l'insalubrité des HBM sont montrées du doigt et l'image qu'elles véhiculent est considérée comme dégradante pour l'habitat social. Ceci entraînera des séries d'interventions dans les logements eux-mêmes, mais assez peu sur les façades, car l'isolation thermique extérieure est restée peu pratiquée en France dans la réhabilitation avant les années 2000. On dénombre aujourd'hui quelques cas d'ITE dans les HBM. Il est intéressant de les passer en revue pour comprendre la portée de cette technique.



© 2019 Google

Façade isolée par l'extérieur, les seules briques encore visibles sont celles des balcons qui n'ont pas été recouvertes d'isolant.
Groupe des Vergers du Fort (Nogent-sur-Marne) – Valophis



© 2019 Google

HBM isolée par l'extérieur par un ETICS (« systèmes composites d'isolation extérieure »), généralement appelé « enduit sur isolant ».
Groupe Clovis (Paris 5^e) – Paris Habitat



© Apur - Julien Bigorgne

Revêtement de type Glasal mis en œuvre sur certaines façades enduites lors d'une opération Palulos. Le rôle d'isolation de ce type de revêtement est faible voire nul. Ce bardage a été retiré récemment lors d'un ravalement.
Groupe de la Porte de Clignancourt (Paris 18^e) – Paris Habitat

Isolation extérieure des murs pignons

Dans les HBM insérées dans les tissus constitués, nombre de murs implantés sur des limites séparatives entre parcelles sont aveugles. L'ITE est souvent mise en œuvre sur ces murs dont les qualités thermiques sont généralement bien inférieures aux façades courantes en briques. En effet ces murs sont des murs « en attente » qui à l'origine n'étaient pas faits pour être exposés au froid et aux intempéries. Les pathologies telle l'infiltration d'eau de pluie à travers les maçonneries (pour les façades dont l'orientation possède une composante Ouest) sont couramment constatées. L'isolation thermique extérieure traite donc à la fois la question de la thermique et la question des pathologies liées à l'eau liquide.

Isolation thermique extérieure sur façade enduite

Si les HBM sont souvent associées à la brique apparente, certaines façades des HBM sont totalement enduites de ciment et peintes. Lorsqu'à l'échelle d'un groupe, les façades sont totalement enduites et qu'aucune brique n'est apparente alors la pratique de l'isolation extérieure sous enduit est mieux acceptée. Citons par exemple le groupe Clovis (Paris 5^e) de Paris Habitat, les deux groupes (en chantier) de la Porte de Bagnolet (Paris 20^e) de la RIVP et, dans le parc privé, l'immeuble du 20 rue Alibert (Paris 10^e). Notons que l'ITE est parfois pratiquée de façon ponctuelle sur les étages en attique comme au groupe Mortier (Paris 20^e) de la RIVP.

Isolation thermique extérieure sur cour

les formes urbaines des HBM insérées dans les tissus urbains existant ressemblent parfois aux formes urbaines parisiennes historiques avec une discrimination architecturale forte entre façades sur rue et façades sur cour. Dans cette configuration, qui est typique des formes haussmanniennes, les façades sur cour sont souvent peu ornementées et l'ITE y est souvent pratiquée. Dans le cas de la rue pierre Nicole (Paris 5^e)

d'Eloge-SIEMP, une configuration de ce type a motivé la réalisation d'une isolation extérieure dans le cadre d'un projet de réhabilitation Plan Climat (80 kWh/m²/an).

Concernant la ceinture HBM des maréchaux, les principes hygiénistes interdisaient la pratique de la cour fermée, et la dichotomie architecturale entre cour et rue n'existe presque plus, à part dans quelques formes urbaines fermées produites par la SAGI comme à la Porte de Montreuil.

Isolation thermique extérieure d'une HBM en briques apparentes AVEC imitation de la façade d'origine

L'ITE sur des HBM en briques apparentes est une pratique peu courante. À Gentilly (94), le bailleur Novigere a réalisé un programme d'ITE sur la partie sud du groupe HBM de la rue Aristide Briand dans le cadre d'un projet BBC Rénovation (objectif théorique du projet d'environ 80 kWh/m²/an). Il s'agit d'un exemple dans lequel le parti pris architectural a été de réaliser une imitation la plus fidèle possible de la façade d'origine. L'isolant est recouvert d'une brique de parement qui reprend le calepinage d'origine, un travail est effectué sur la volumétrie pour éviter l'effet d'« épaissement » procuré par l'isolant, ainsi les fenêtres ont toutes été déplacées au nu extérieur de la façade d'origine avant isolation.

Ce programme est instructif puisqu'il pousse le plus loin possible son postulat de départ qui était d'« isoler par l'extérieur sans modifier l'aspect de la façade ». Le soin apporté à l'exécution générale du projet en fait un cas assez unique dans lequel chacun pourra juger des limites inhérentes à l'exercice d'imitation en architecture. Sans ouvrir ce débat, qui n'est pas spécifique à la question HBM, on relèvera que le contexte normatif actuel (DTU notamment) dicte beaucoup de choix architecturaux qui s'imposent au maître d'œuvre (obligation de bavettes sur les bandeaux, usage de caisson métalliques



© Apur - Julien Bigorgne

Chantier d'ITE d'un mur pignon.

On notera l'usage de deux types d'isolants : le polystyrène et une laine minérale dont l'emploi est réservé à des bandes régulièrement espacées afin de barrer la propagation du feu en cas d'incendie du complexe isolant.

Groupe Cantagrel (Paris 13^e) – Paris Habitat



© Apur - Julien Bigorgne

ILM à la façade enduite devant faire l'objet d'une isolation thermique extérieure
Groupe de la Porte de Bagnolet (Paris 20^e) – RIVP

© Apur - Julien Bigorgne



Façade d'origine avant ITE.
Groupe Aristide Briand (Gentilly) – Novigere

pour les appuis de fenêtre, impossibilité d'isoler les mignonnettes, etc.) et qui l'éloigneront, malgré lui, de sa volonté de réaliser une imitation parfaite de la façade originelle.

Comme tous les bâtiments d'avant 1945, l'architecture des HBM est caractérisée par une mise en œuvre artisanale et une absence de norme qui se lit dans la matérialité des façades HBM : vibration des briques, imperfections colorimétriques des briques, inégalité des joints, etc. Le contexte technique et normatif actuel interdirait la production d'une copie à l'identique d'une façade HBM.

L'entente tripartite entre la MOA, la Ville de Gentilly et l'ABF qui a donné naissance à la réalisation de l'ITE sur la partie sud n'a pas perduré sur la partie nord du groupe qui sera traitée selon la technique de l'isolation intérieure. Ce groupe deviendra donc un démonstrateur intéressant des questions posées par l'ITE et l'ITI en termes de gestion et d'économie d'énergie.

Isolation thermique extérieure d'une HBM en briques apparentes SANS imitation de la façade d'origine

L'ITE sur brique apparente a été également réalisée par le bailleur Valophis à Nogent-sur-Marne (94). Dans ce projet une labellisation BBC rénovation a été atteinte (avec un objectif théorique aux alentours de 80 kWh/m²/an). Le parti pris architectural est ici de laisser apparents certains éléments en brique du bâti d'origine tel les balcons, qui forment des ponts thermiques et qui ne sont donc pas traités, et à réaliser une ITE (sous enduit) pour le reste du bâtiment. Le retour d'expérience du chantier évoque l'obligation de sécher les murs à l'intérieur des logements après l'ITE car de l'humidité commençait à apparaître. Si l'ITE est une solution théoriquement très performante et moins pathologique que l'ITI du point de vue hygrométrique, il faut s'assurer que les murs soient parfaitement secs avant la mise en place du complexe isolant.

© Apur - Julien Bigorgne



ITE reproduisant l'aspect briques apparentes des HBM
Groupe Aristide Briand (Gentilly) – Novigere

2.5 | Les énergies renouvelables

Dans le parc HBM, les énergies renouvelables et les énergies fatales sont encore peu représentées

Les énergies renouvelables mises à profit dans les opérations de réhabilitations d'HBM analysées sont le solaire thermique et la valorisation des eaux grises.

Certaines énergies renouvelables n'ont encore jamais été mises en œuvre dans les HBM :

- **Le solaire photovoltaïque** : tout comme dans le cas du solaire thermique les toitures plates des HBM peuvent se prêter à l'installation de panneaux solaires photovoltaïques. Si le solaire thermique est quelque peu employé, c'est parce que les besoins d'eau chaude dans l'habitat sont permanents et que la fonction de stockage est rendue possible par des ballons. Dans le cas du photovoltaïque, l'électricité produite doit trouver consommateur, or, dans une logique d'autoconsommation, les consommations électriques de l'habitat sont assez décorrélées avec la production. La consommation s'effectue plutôt entre la fin de journée et le matin (donc quand il n'y a pas de soleil), de plus il n'existe peu ou pas de parkings dans les HBM qui sont, eux, consommateurs d'électricité à toute heure. Dans la logique de la revente sur le réseau, les tarifs actuellement pratiqués sont moins avantageux qu'il y a une dizaine d'années, ce qui a pu décourager les investissements lors des opérations

de réhabilitations de HBM récentes. Néanmoins la logique de centrale solaire peut être défendue sur la ceinture HBM de Paris, car il existe des situations où la valorisation solaire semble tout à fait opportune, en particulier quand l'électricité produite peut être consommée par des bâtiments tertiaires à proximité, c'est par exemple juridiquement possible dans un périmètre de ZAC (cf. cahier 3).

- **La géothermie** : les nombreux espaces libres au sein des HBM sont un atout pour la réalisation de forages géothermiques. Néanmoins la géothermie n'est valorisable, dans le bâti HBM existant, qu'à la condition d'une baisse drastique de la puissance de chauffage requise dans les appartements, vraisemblablement aux alentours d'un facteur 2. Ainsi la géothermie trouvera des débouchés dans le cas de bâtiments préalablement isolés thermiquement.

- **Les éoliennes** : à l'inverse des autres types d'énergies renouvelables, les éoliennes ne sont pas représentées sur les toitures parisiennes quelques soient les typologies bâties. Leur implantation sur le vélum de la ville reste expérimentale ; le principal frein actuel semble la connaissance de l'aérodynamique très particulière des toits en ville, leur documentation est sans doute le préalable à toute expérimentation.

Le solaire thermique

Le solaire thermique est aujourd'hui utilisé dans les groupes gérés par Paris Habitat à la Porte de Châtillon (Paris 14^e) et le groupe Pierre Nicole (Paris 5^e) d'Elogie-SIEMP.

Dans ces deux cas il permet d'assurer une production d'eau chaude sanitaire grâce à l'implantation de panneaux solaires en toiture. Actuellement le coût d'une installation solaire thermique est aux alentours de 2000 €/lgt.

L'analyse de ces dispositifs existants permet un retour d'expérience essentiel pour s'assurer que la mise en œuvre de cette technologie, très intéressante en théorie (facilité d'insertion sur les toits terrasses HBM, pas ou peu d'entretien), contribue de manière optimale à la performance énergétique :

- Le dimensionnement des installations est calé sur le pic de production estival (pour garantir une absence de surchauffe et de dégradation du matériel). Il en résulte que généralement les installations sont dimensionnées pour assurer 40 % des besoins annuels.

- La production d'eau chaude solaire implique un système d'ECS collectif qui peut s'avérer dépensier, avec de très grandes pertes de distribution et de bouclage (la moitié des calories de l'eau chaude peuvent ainsi être perdues). Actuellement, dans les groupes équipés de panneaux solaires, la contribution du solaire à l'eau chaude sanitaire peut être estimée aux alentours de 20 %.

- La facturation de l'eau chaude est collective (avec absence de comptage individuel), ce qui fait que les consommations peuvent être élevées par rapport aux besoins réels.

En conséquence, les modalités de consommation de l'eau chaude et les réseaux existants doivent être optimisés pour donner toute sa portée à cette technologie.

Pour aller plus loin cette technologie peut devenir très efficace s'il existe des logiques de mutualisation avec des équipements voisins situés sur des îlots à proximité (cf. Cahier 3).



Panneaux solaires — Porte de Châtillon (Paris 14^e)

© ph.guignard@air-images.net

Valorisation des eaux grises

La récupération en pieds d'immeuble (juste avant l'arrivée en égout)

Cette récupération est de **type centralisée** : les calories des eaux grises sont capitalisées, dans une seule installation, qui préchauffe l'arrivée d'eau du ballon d'eau chaude collective de l'immeuble.

- La première difficulté de cette technologie pour la réhabilitation des HBM est causée par le mélange systématique des eaux grises avec les eaux-vannes (c'est-à-dire les eaux en provenance des WC). Ces dernières étant froides, il est donc nécessaire de tenter la récupération de calories avant qu'il n'y ait mélange. Or, dans les HBM, le mélange est effectué systématiquement en pieds d'immeuble ce qui suppose d'arriver à déconnecter les eaux grises avant mélange avec les eaux-vannes.

- La deuxième difficulté provient de la forme urbaine des HBM. Les HBM ont des formes de bâti plus proches des barres que des tours. Les tours sont intéressantes car les descentes d'eaux grises sont relativement proches les unes des

autres. À l'inverse les barres multiplient les descentes d'eaux grises sur de longs linéaires, ce qui, même en considérant l'hypothèse précédente d'une déconnexion avec les eaux-vannes, occasionne d'importantes pertes de charges avant l'arrivée en égout.

La technique de récupération en pieds d'immeuble rencontre donc de nombreuses difficultés techniques pour la réhabilitation des HBM. Dans le cas où ces difficultés pourraient être levées, il est à noter que le dispositif s'adresse à des dessertes collectives d'eau chaude pour lesquelles il convient d'avoir résolu en amont les problèmes de surconsommation inhérents à la facturation collective (tout comme l'eau chaude solaire). Il paraît difficilement défendable de réaliser un investissement de récupération d'énergie sur eaux grises, sans une certaine sobriété des usages.

Les temps de retour sur investissement des installations de récupération (hors coût de reconfiguration des réseaux) sont de 15 à 30 ans, avec un coût d'au moins 2 000 €/lgt.

SCHÉMA DE PRINCIPE D'ÉVACUATION DES EAUX GRISSES APPLIQUÉ AUX HBM

La récupération d'énergie sur ces eaux est contrainte par deux difficultés :

- Le mélange des eaux grises et eaux-vannes en pieds de colonne.
- La perte de charge imposée par un linéaire important de canalisation puisque les bâtiments suivent des implantations de type « barre ».

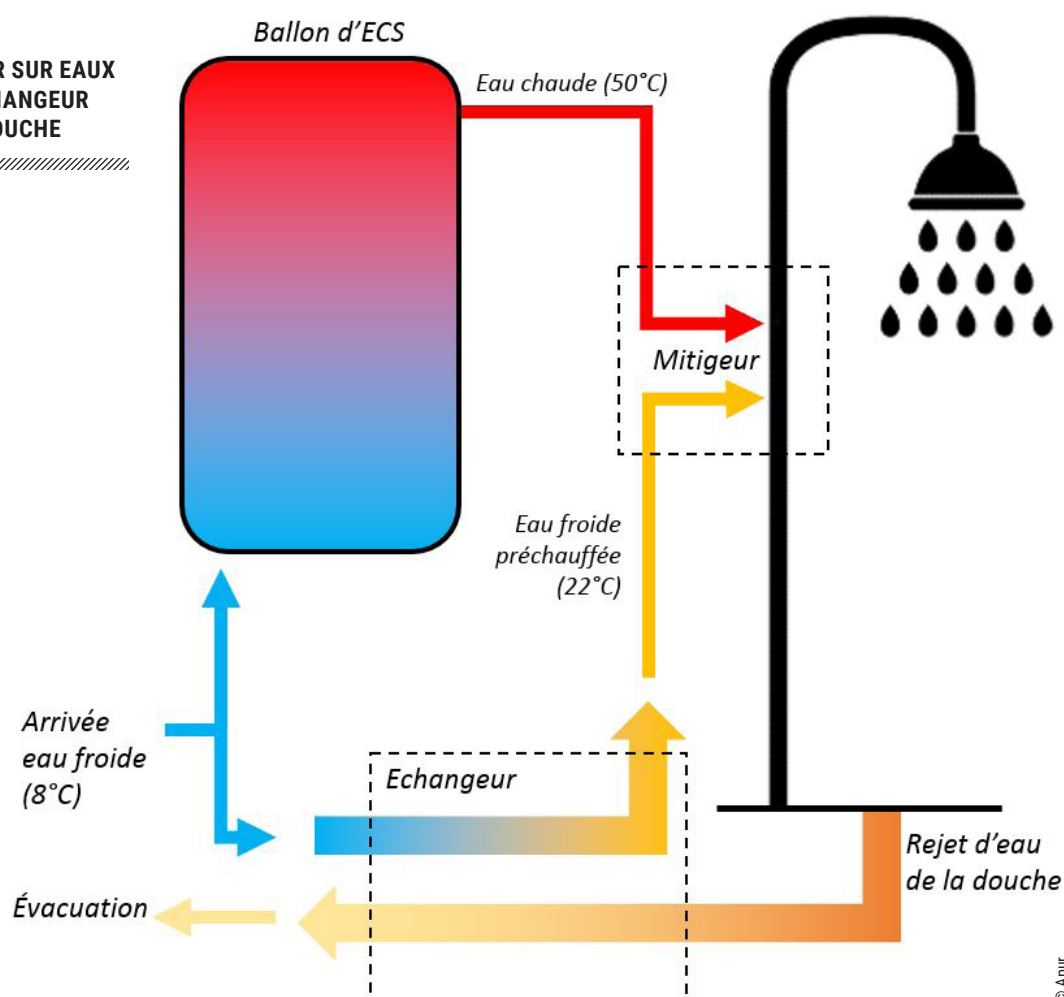


La récupération directement au niveau du bac à douche.

Cette récupération est de type décentralisée. Les calories de la douche sont récupérées dans chaque logement avant que les eaux grises n'aient rejoint la colonne d'évacuation. Les calories ainsi collectées peuvent servir au préchauffage du ballon individuel (dans le cas d'une production ECS individuelle par ballon) ou bien l'eau préchauffée peut être directement envoyée au mitigeur, dans ce cas le système fonctionne pour une production ECS collective et individuelle.

Cette technique suppose le relèvement du bac à douche d'une dizaine de centimètres. Le temps de retour sur investissement est d'environ 5 à 10 ans (avec un coût d'environ 500 à 1 000 €/lgt). Le temps de retour est faible et le type de technologie employé ne laisse pas présager de coûts trop élevés en maintenance puisqu'il s'agit d'un échangeur simple (pas de pompe à chaleur).

SCHÉMA DE PRINCIPE DE RÉCUPÉRATION DE CHALEUR SUR EAUX GRISES AU MOYEN D'UN ÉCHANGEUR COMPRIS DANS LE BAC À DOUCHE



2.6 Efficacité énergétique des opérations Plan Climat

Analyse des audits énergétiques

Les travaux de réhabilitation thermique sont évalués dans les audits au regard des consommations conventionnelles initiales et non pas des consommations réelles. En conséquence les réductions de consommations ainsi calculées restent virtuelles et ne sont pas une garantie de gains effectifs après travaux.

Les scénarios de réhabilitation des HBM audités peuvent être regroupés en 3 familles selon la nature des dispositifs mis en œuvre :

- Les scénarios de réhabilitation thermique mettant peu en œuvre l'isolation thermique. Il s'agit de scénarios dans lesquels l'isolation thermique

est pratiquée à la marge : pour les planchers hauts, les planchers bas, les murs pignons ou les héberges.

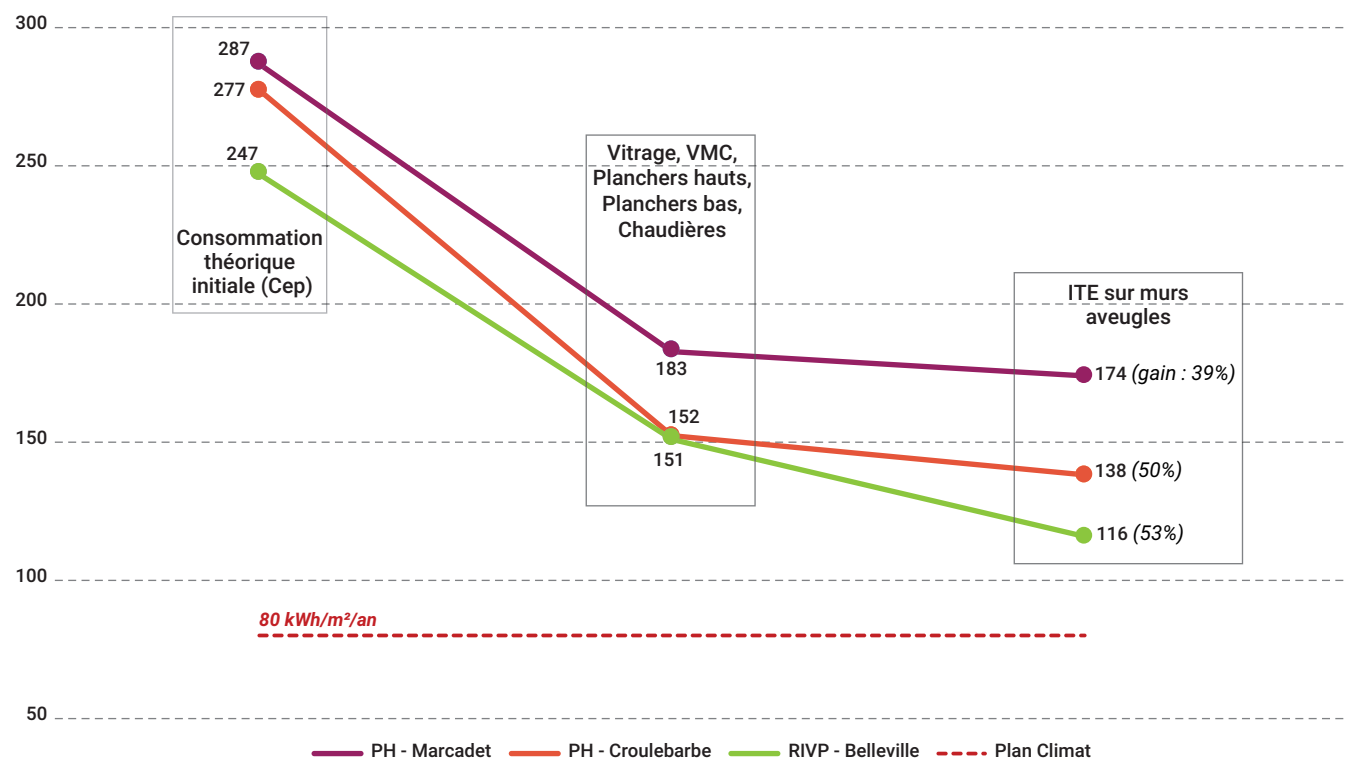
- Les scénarios de réhabilitation thermique mettant en œuvre l'isolation thermique intérieure (ITI). Ces travaux à l'intérieur des appartements, impliquent une complexité liée à l'organisation du chantier avec soit des relogements (opérations tiroirs, logements relais) soit plus exceptionnellement, de réaliser des travaux sans le départ des occupants.
- Les scénarios de réhabilitation thermique mettant en œuvre l'isolation thermique extérieure (ITE). Dans ce cas, le principal frein est d'ordre archi-

tectural, puisque les travaux d'isolation thermique supposent la réécriture ou la réinterprétation de l'architecture originelle.

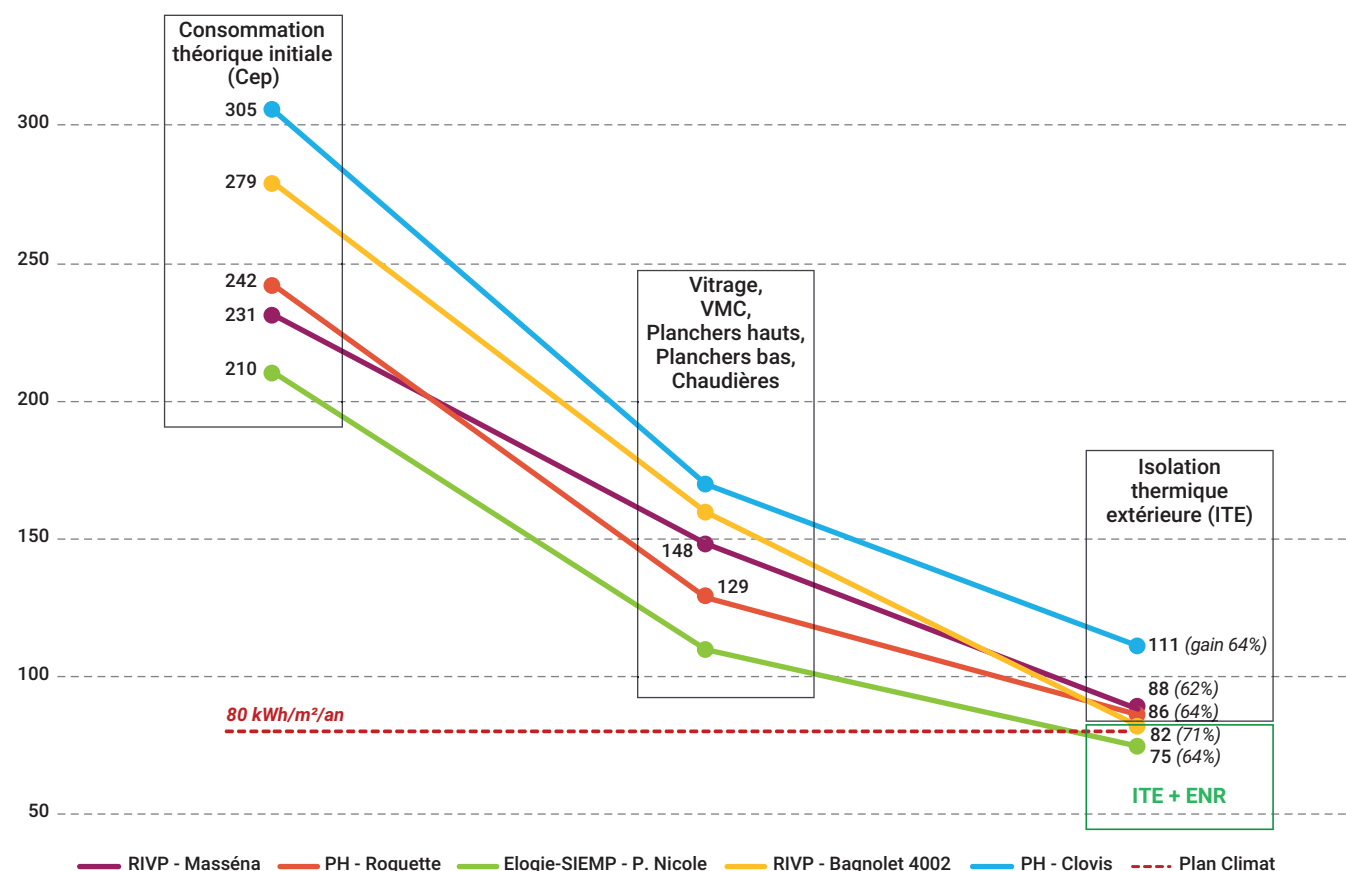
Les scénarios consistent en des familles d'interventions qui sont présentées de façon synthétique dans les 3 schémas suivants.

Tous les audits comportent une valeur de consommation initiale et valeur de consommation après réhabilitation thermique. La plupart du temps les scénarios comportent des étapes intermédiaires. Lorsque ce n'est pas le cas ces étapes sont extrapolées (aucune valeur ne figure alors au-dessus des courbes).

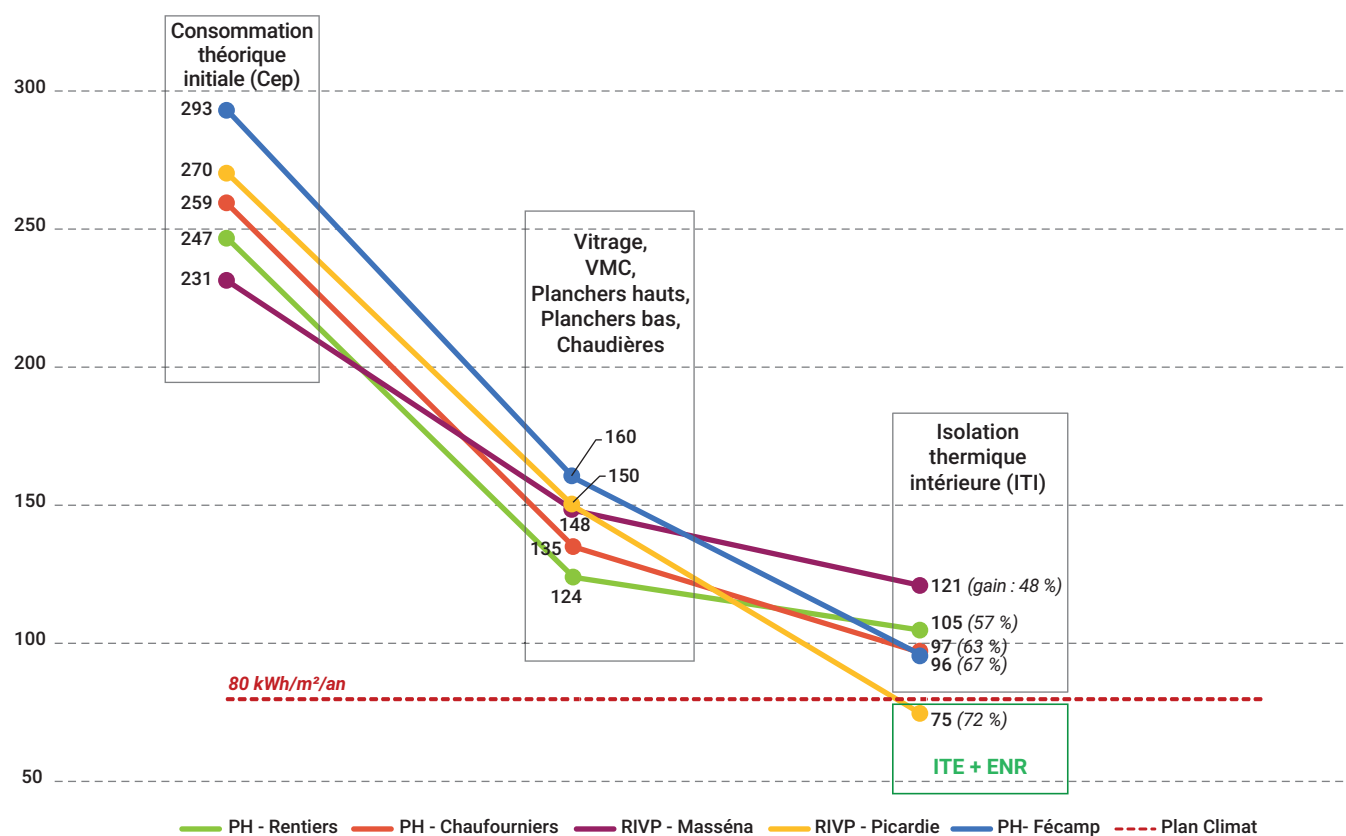
EXEMPLES DE SCÉNARIOS DE RÉHABILITATION THERMIQUE METTANT PEU EN OEUVRE L'ISOLATION THERMIQUE.



EXEMPLES DE SCÉNARIOS DE RÉHABILITATION THERMIQUE METTANT EN OEUVRE L'ISOLATION THERMIQUE EXTÉRIEURE



EXEMPLES DE SCÉNARIOS DE RÉHABILITATION THERMIQUE METTANT EN OEUVRE L'ISOLATION THERMIQUE INTÉRIEURE



L'analyse de ces courbes montre que :

- Les premières mesures d'économie d'énergie, qui sont aussi les plus faciles à mettre en œuvre, apportent des gains substantiels. Ainsi la barre des 150 kWh/m²/an (gain de 40 %) est généralement franchie dans les bouquets de travaux comprenant par exemple la rénovation des chaufferies ou le remplacement des chaudières individuelles, le remplacement des vitrages existants, la mise en place d'une ventilation mécanique, l'isolation thermique des planchers hauts et bas.
- Le seuil des 100 kWh/m²/an (gain de 60 %) est généralement franchi lors d'opérations d'isolation thermique systématiques des parois opaques. L'isolation intérieure (ITI) est légèrement moins performante que l'isolation extérieure (ITE) puisqu'elle ne traite pas (ou difficilement) les ponts thermiques des planchers, et des refends
- Le seuil de 80 kWh/m²/an (gain de 70 %) est relativement complexe à franchir et suppose obligatoirement la mise en œuvre d'énergies renouvelables (généralement solaire thermique) ou la récupération de chaleur sur eaux grises.

L'analyse des coûts prévisionnels associés aux scénarios montre que les premières mesures d'économies d'énergie sont d'une assez grande efficacité économique (le coût du kWh/m²/an économisé est généralement inférieur à 100 €HT jusqu'à 150 kWh/m²/an). Au-delà de 100 kWh/m²/an la courbe de tendance devient asymptotique et fait donc croître rapidement le coût du kWh/m²/an économisé (les quelques scénarios étudiés proposent des coûts unitaires dépassant les 250 € HT). Le seuil de 80 kWh/m²/an est donc un seuil à la fois techniquement et économiquement complexe à franchir, nécessitant au moins 20 000 €HT à investir par logement.

Retours d'expérience :

Les exercices de scénarisation ne doivent pas limiter l'évaluation des mesures d'économie d'énergie à leur seule plus-value en termes de kWh/m²/

an. De nombreuses mesures relèvent de l'amélioration de la salubrité des logements, comme le traitement des parois froides par l'isolation thermique ou la correction thermique qui améliorent grandement le confort de l'habitat.

Les exercices de scénarisation reposent sur des hypothèses conventionnelles d'usage de l'habitat qui ont bien sûr leurs limites, en particulier quand on vise des niveaux élevés de performance comme 80 kWh/m²/an puisqu'aux alentours de ce seuil chaque kilowattheure vaut très cher alors que l'imprécision du modèle devient élevée. Ce seuil doit donc être interprété comme une valeur moyenne vers laquelle doivent tendre les opérations de réhabilitations. Chaque opération étant unique, c'est bien au cas par cas que les MOA et MOE évalueront le meilleur compromis technique et financier de la réhabilitation d'une HBM et de son niveau de performance final.

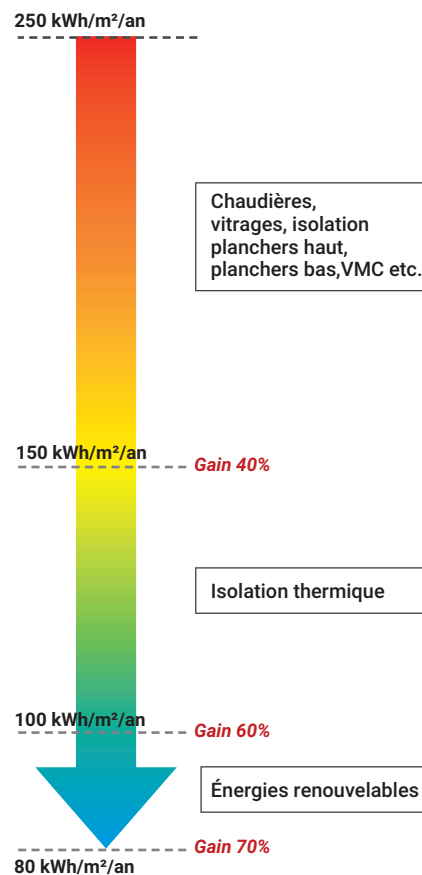
Notons que le moteur de calcul employé actuellement dans l'évaluation des consommations d'énergies théoriques (Cep) possède un certain nombre de biais qui peut inciter les MOE à adopter des mesures d'économies d'énergies avec un risque réel d'effets induits négatifs *a posteriori*, c'est-à-dire des mesures, qui, dans la vraie vie, vont être sources de pathologies voire de dérives des consommations.

Il convient de documenter les plus connues dans le cas des HBM, celles qui ressortent des premiers retours d'expérience des opérations Plan Climat.

> Ventilation mécanique

La ventilation mécanique est un élément essentiel de la salubrité de l'habitat notamment lorsque les huisseries en double vitrage sont installées. Dans les modèles de calcul, la ventilation hygro B (assujettie au taux d'hygrométrie de l'habitat) est nettement favorisée aux dépens de la ventilation auto réglable. Les pièces des HBM sont petites, la vapeur d'eau produite dans l'habitat a tendance à condenser très vite sur les points froids de l'habitat, en particulier

SYNTHÈSE DES GAINS THÉORIQUES DE MESURES DE RÉHABILITATION THERMIQUE APPLIQUÉES AUX HBM



© Apur – Julien Bigorgne



© Apur – Julien Bigorgne

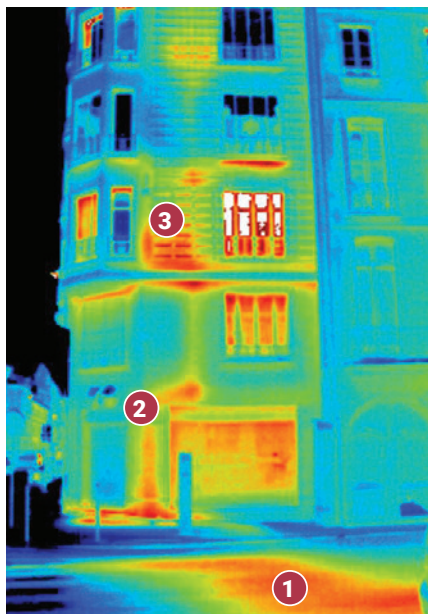
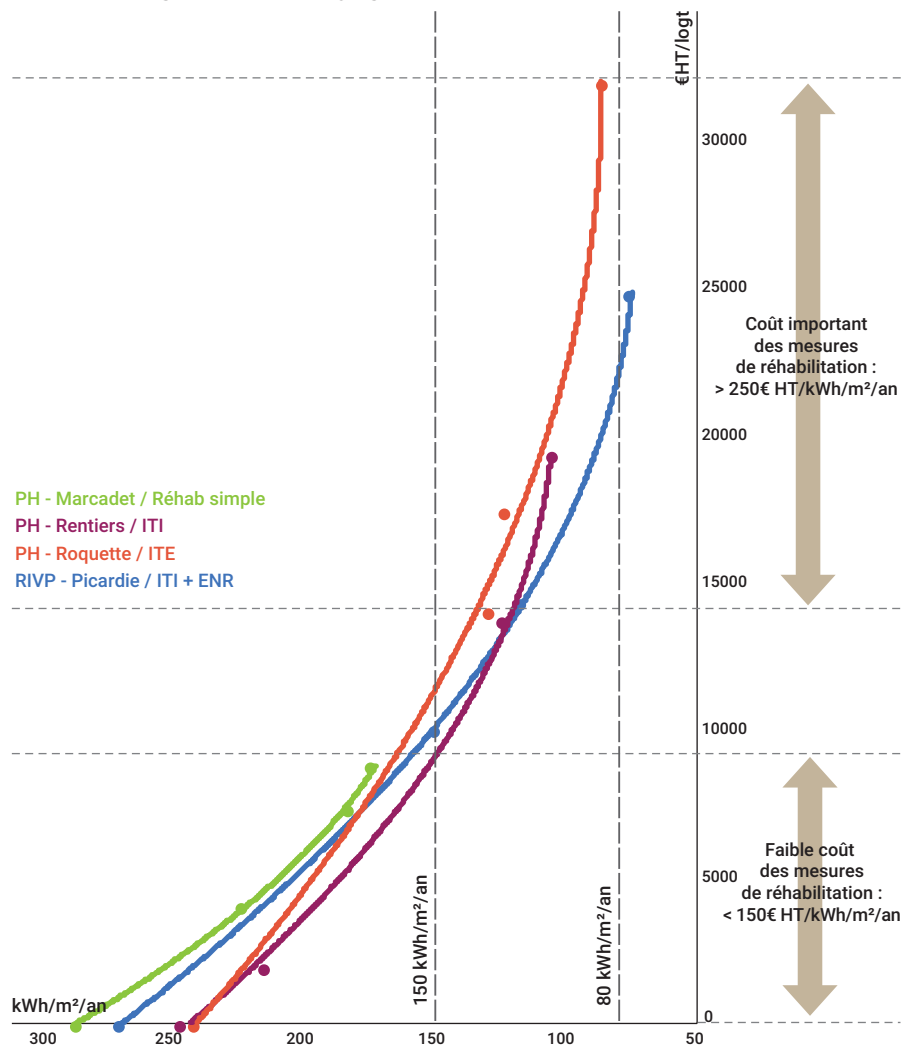


Illustration des déperditions induites par le chauffage collectif. 23 rue du Sommerard (Paris 5e), copropriété de type « HBM »

- 1 arrivée du chauffage urbain
- 2 colonne montante de chauffage
- 3 radiateur le long du mur

COÛTS PRÉVISIONNELS DE QUELQUES OPÉRATIONS DE RÉHABILITATION D'HBM PAR FAMILLES D'INTERVENTIONS



les ponts thermiques quand l'habitat est isolé thermiquement par l'intérieur. Au final le fonctionnement de l'hygro B est très perturbé dans les logements HBM et ne donne pas les résultats théoriques attendus. En général l'usage de la ventilation auto réglable y est préférable afin de pérenniser la salubrité de l'habitat bien que sa performance théorique soit moindre.

> Chauffage individuel vs chauffage collectif

Le calcul théorique favorise le chauffage collectif aux dépens du chauffage individuel alors que dans les faits les retours d'expérience sont plus nuancés :

- Le chauffage individuel apparaît comme plus performant en pratique (consommations 25 % inférieures

sur l'échantillon de groupes audités). Néanmoins cette performance peut cacher des réalités de précarité énergétique pour lesquelles l'absence de recours au chauffage par les ménages est probable. Le traitement thermique (isolation ou correction) de l'enveloppe rend plus acceptable le chauffage individuel et la sobriété qu'il induit sur les usages dans la mesure où il n'implique plus de précarité énergétique ni d'insalubrité de l'habitat.

- Le chauffage individuel chauffe l'ambiance intérieure des logements alors que le chauffage collectif chauffe les logements mais aussi la structure du bâtiment (grâce au passage des réseaux à travers les planchers). Le chauffage collectif permet un meilleur confort dans le logement mais induit

des déperditions importantes via les ponts thermiques (intersection des réseaux avec les planchers et les murs) et le cheminement des réseaux entre les bâtiments.

- La maintenance du chauffage individuel est complexe pour les bailleurs, il faut pouvoir rentrer dans chaque logement ce qui n'est pas toujours aisé. Pour le bailleur la maintenance d'installations individuelles coûte environ 80 €/lgt alors que dans le cas du collectif on observe un coût de 50 €/lgt, avec une meilleure garantie de la qualité de l'entretien.
- Le passage en chauffage collectif peut aussi répondre à une volonté de stopper la présence de gaz dans les appartements pour des raisons de sécurité.
- La suppression des ballons électriques est parfois décidée par les bailleurs pour gagner de la place dans les logements.
- Le coefficient d'énergie primaire de 2,58 pénalise énormément le chauffage et l'ECS individuels électriques. Le calcul théorique exclut presque toujours le maintien des solutions

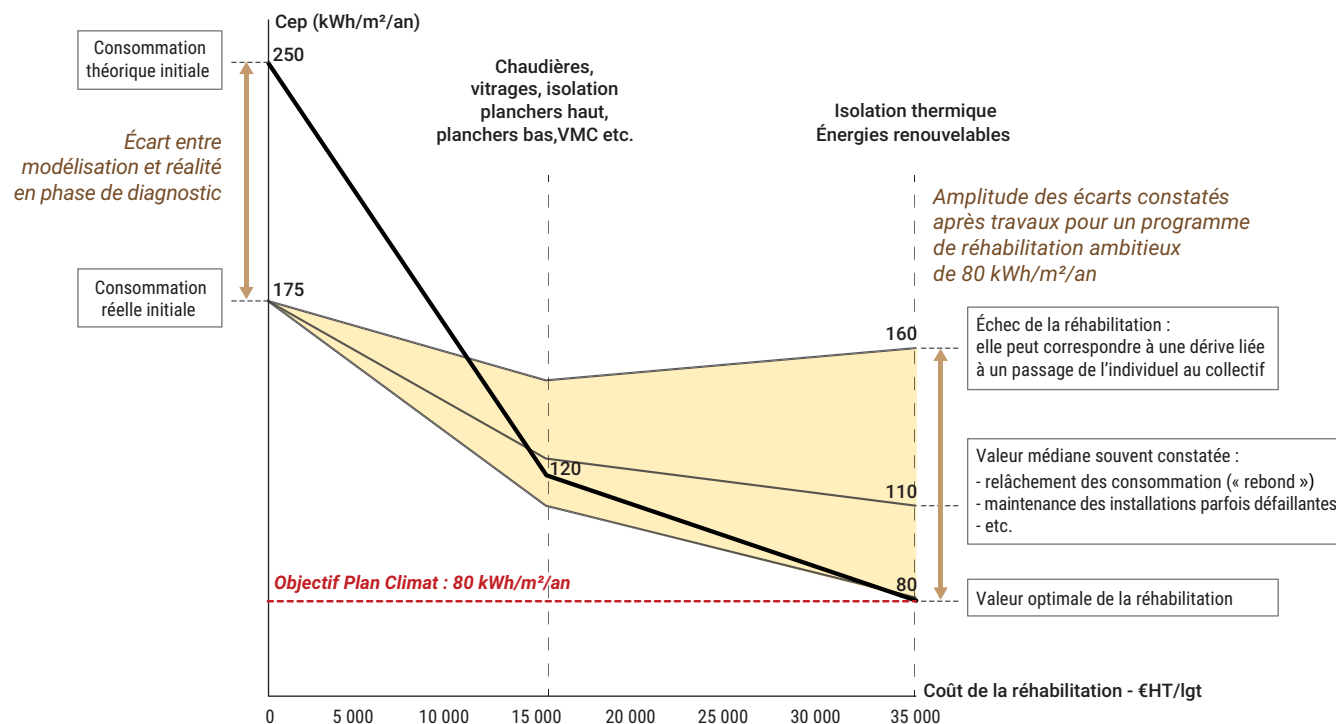
électriques mais leur remplacement se traduit généralement par une augmentation forte des consommations d'énergie finale.

- Le chauffage urbain est favorisé dans le calcul dans la mesure où l'échangeur de pieds d'immeuble est compté comme ayant un rendement théorique optimal de 100 % rarement atteint dans les installations existantes. De plus, le coût élevé du chauffage urbain, de 30 à 50 % plus élevé que le gaz, laisse présager une élévation des charges après raccordement.
- Les chaudières gaz individuelles, comme les chaudières à condensation, supposent des percements en façade qui peuvent poser des questions d'ordre patrimonial.

Notons que les modes de chauffage sont rarement transformés dans les HBM. Néanmoins l'avantage « calculatoire » donné au chauffage collectif a encouragé certains maîtres d'ouvrage à entreprendre la création de réseaux collectifs en remplacement des unités de chauffage individuel. Ce fut le cas

pour le groupe solidarité (75019) de Paris Habitat qui connaît depuis lors des consommations très élevées liées à une dérive des consommations suite au passage en mode collectif. Dans ce cas l'effet de baisse des consommations liées à l'isolation thermique intérieure (ITI) a été complètement annihilé par le passage en collectif. Lorsqu'un passage en collectif est tout de même décidé par un bailleur, un mode de comptage individuel doit être mis en œuvre par exemple via des « modules thermiques d'appartement » (MTA). Néanmoins le manque de place au sein des HBM peut rendre complexe leur insertion. Dans le cas du groupe Chauffourniers (75019) de Paris Habitat, un passage de l'individuel au collectif a été décidé sans comptage de chaleur, en revanche des emplacements ont été prévus pour des compteurs individuels dans la perspective d'une pose ultérieure.

COMPARAISON DES DIVERGENCES APRÈS TRAVAUX ENTRE DIFFÉRENTS PROGRAMMES DE RÉHABILITATION AFFICHANT UNE AMBITION THÉORIQUE DE 80 KWH/M²/AN



Vers la neutralité carbone

L'indicateur de performance en kWh/m²/an est souvent présenté comme une référence dans la réhabilitation du bâti ancien. Cet indicateur n'est pourtant pas le seul à prendre en compte afin de tendre vers la neutralité carbone dans l'objectif d'atténuation du changement climatique.

Tout d'abord il s'agit d'un indicateur unitaire, il renseigne sur la consommation d'un seul mètre carré de l'habitat. Mais comme personne n'habite dans un mètre carré, la consommation d'énergie s'obtient par multiplication avec les surfaces effectivement chauffées. La surface du logement est donc toute aussi importante pour juger de l'impact carbone d'un habitat. L'une des vertus des HBM, et en particulier celles s'adressant aux classes les moins aisées, est les petites surfaces des logements par rapport aux productions actuelles. Par exemple dans un T3 de HBMO, le logement fait en moyenne 59 m² contre 65 m² dans la production de logement actuelle. Donc la valeur en kWh/m²/an à atteindre ne devrait pas être équivalente selon les typologies bâties. Ainsi, un ILM réhabilité à 80 kWh/m²/an consomme autant d'énergie qu'une habitation à bon marché de confort moyen (HBMA par exemple) réhabilitée à 103 kWh/m²/an.

Dans la même logique d'autres para-

mètres interviennent de façon tout aussi importante :

- **Taux d'occupation** : la sous occupation des logements engendre des surconsommations d'énergie par habitant.
- **Facturation** : facturer l'énergie selon les consommations individuelles est nécessaire pour envisager la sobriété énergétique. La facturation collective pose un problème de résilience car l'augmentation attendue du prix de l'énergie mettra tôt ou tard le bailleur face à l'impossibilité des locataires de s'acquitter de leurs factures. Notons, qu'historiquement, c'est précisément pour cette raison que les HBM « populaires » n'étaient pas équipées de chauffage collectif. La tendance actuelle à l'installation de systèmes collectifs en remplacement de systèmes individuels peut être vue comme un facteur de vulnérabilité si un comptage individuel n'est pas envisagé.
- **Contenu carbone de l'énergie (gCO₂/kWh)** : chaque énergie possède un contenu carbone qui lui est propre. Le gaz (234 gCO₂/kWh) est la seule énergie fossile encore employée dans les HBM. La CPCU possède un contenu CO₂ légèrement inférieur (195 gCO₂/kWh). Les énergies renouvelables sont les plus basses puisque leur contribution carbone est quasi nulle, néan-

	TYPOLOGIES BÂTIES				
	Logement neuf (2012-2017)	HBM			
		Becque	« Confort réduit » (HBMO et type 1)	« Confort moyen » (HBMA et type 2bis)	« Confort élevé » (ILM et type 2)
SHAB (en m ²) d'un T3 selon les typologies bâties	65	45	53	59	68
Consommation des logements (en kWh) pour une consommation unitaire de 80 kWh/m ² /an	5 184	3 576	4 224	4 744	5 456
Exemples de consommations unitaires (en kWh/m ² /an) requises pour que toutes les typologies bâties contribuent de façon identique au changement climatique	84	122	103	92	80

moins leur appréciation doit se faire en intégrant les émissions amont dans une analyse de type ACV (« Analyse Cycle de Vie »).

Développer une approche globale qui prenne en compte l'ensemble des variables

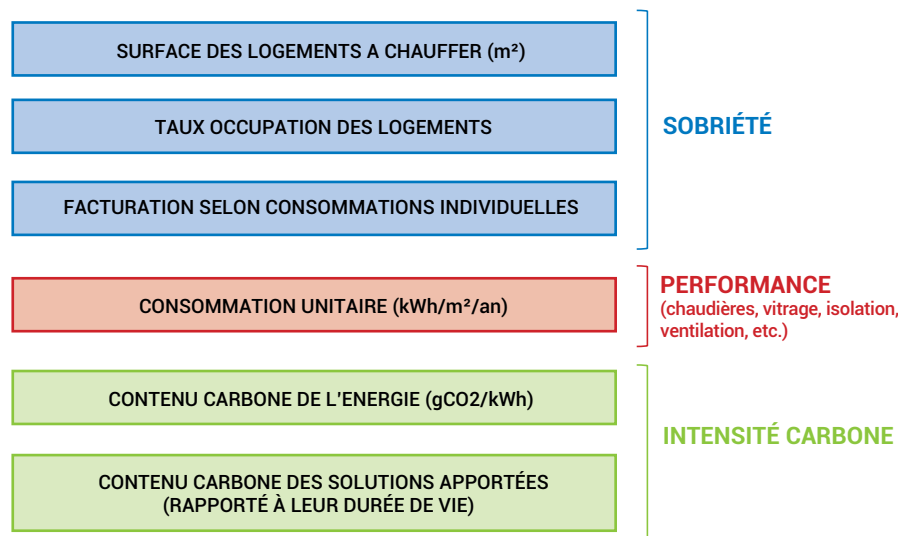
Pour faire évoluer la contribution au changement climatique de chaque habitant dans les HBM, il convient de porter son attention sur un certain nombre de paramètres permettant d'assurer la sobriété, la performance, et une faible intensité carbone. La seule prise en compte de l'aspect « performanciel » du problème via l'appréciation en kWh/m²/an possède ses limites. Outre les dérives qu'elle peut produire quand le volet sobriété n'a pas été traité (notamment à cause des hypothèses du moteur de calcul), elle peut produire des impasses techniques et financières quand les seuils imposés sont bas et fixés ex nihilo.

Enfin, il reste à faire l'évaluation carbone des solutions techniques retenues. Une valeur seuil en kWh/m²/an impose

une mise en œuvre de solutions possédant un contenu carbone (changement de chaudières, mécanisation de la ventilation, mise en œuvre de complexes isolants souvent synthétiques, nécessité d'une maintenance accrue, etc.) qu'il faudrait pouvoir évaluer sur leur durée de vie. Tout comme l'évaluation économique suppose d'apprécier des retours sur investissements, la notion d'amortissement carbone suppose de mettre en vis-à-vis le coût carbone des solutions (énergie grise entre autres) rapportées à leur durée de vie.

La neutralité carbone à l'échelle d'une ville suppose de mettre en place des mécanismes d'atténuation pour faire baisser la contribution de chacun au problème climatique. Les mécanismes de changement climatique étant déjà à l'œuvre et en forte accélération, la neutralité carbone doit être aussi celle des mécanismes d'adaptation qui seront mis en place face à l'augmentation de la température et face à la fragilité accrue des réseaux qui alimentent la ville, notamment électriques.

LES VARIABLES DU BILAN CARBONE



La réhabilitation des Habitations à Bon Marché (H.B.M.)

VERS UNE ÉVOLUTION « DURABLE »

CAHIER 2 : LES ÉVOLUTIONS TECHNIQUES

Dans le cadre des réflexions en cours sur les quartiers NPNRU (Nouveau Programme National de Renouvellement Urbain), la Ville de Paris a confié à l'Apur une mission d'évaluation des objectifs Plan Climat de 80 kWh/m²/an de consommation unitaire et de 60 % de baisse de consommation d'énergie pour le parc HBM. Le parc HBM est un parc de logements constructivement assez spécifique. Il est un entre-deux, à mi-chemin entre la construction ancienne dont il hérite de nombreuses caractéristiques et de la construction moderne dont il applique les techniques constructives notamment l'emploi du béton armé.

L'étude de l'Apur, menée pour la Direction du Logement et de l'Habitat de la Ville de Paris, en partenariat avec Paris Habitat, la RIVP et Elogie-SIEMP, propose une analyse des premières opérations dites Plan Climat menées sur le parc HBM. L'étude propose une capitalisation des retours d'expériences des opérations grâce à des visites de chantiers, des entretiens auprès de MOA, MOE et BET, une analyse des diagnostics énergétiques et une compilation des plans et diverses données mises à disposition de l'Apur.

Le deuxième cahier aborde les aspects techniques de ces interventions en détaillant les caractéristiques initiales des bâtiments et les procédés techniques mis en œuvre. L'impact de ces dispositifs est évalué par le retour d'expérience et une analyse détaillée des audits énergétiques.

Cette étude fait suite à l'étude historique portant sur le parc HBM menée par l'Apur en 2017 et intitulée : « Les Habitations à Bon Marché de la ceinture de Paris : étude historique ».

L'Apur, Atelier parisien d'urbanisme, est une association loi 1901 qui réunit autour de ses membres fondateurs, la Ville de Paris et l'État, les acteurs de la Métropole du Grand Paris. Ses partenaires sont :

