RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

Cerema
CLIMAT & TERRITOIRES DE DEMAIN

ADEME
AGENCE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE

Enseignements des bâtiments performants en énergie

AGIR SUR LES PAROIS VITRÉES

Série de livrets « Bâtiments performants en énergie – Agir »

Agir sur les parois opaques	**Agir sur les parois vitrées**	Agir sur la production de chauffage-refroidissement	Agir sur la production d'eau chaude sanitaire	Agir sur la ventilation mécanique contrôlée
Agir sur la production d'électricité	Agir sur l'installation d'éclairage	Agir sur les autres équipements immobiliers	Agir sur les équipements mobiliers	Agir pour le confort thermique *

* À paraître en 2022

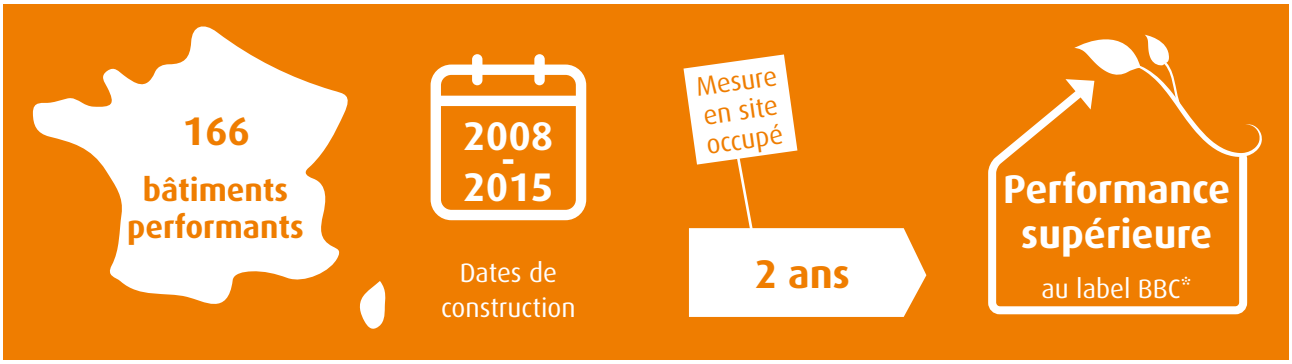
Enseignements opérationnels tirés de 166 constructions et rénovations du programme PREBAT Bâtiments démonstrateurs à basse consommation d'énergie

De 2006 à 2015, ce programme national de la Plate-forme de recherche et d'expérimentation sur l'énergie dans le bâtiment (PREBAT), soutenu par les régions conjointement avec les directions régionales de l'Ademe, a permis la réalisation de près de 3 000 bâtiments d'un niveau de **performance** énergétique équivalent à celui de la **réglementation thermique 2012**, dans le but d'apporter aux professionnels et aux particuliers des solutions performantes de réduction des consommations d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre.

Cent soixante-six d'entre eux, résidentiels et tertiaires, dont les caractéristiques générales sont présentées ci-contre, ont fait l'objet d'une campagne sans précédent de **mesure**, d'expérimentation, d'observation et d'enquête, pendant leurs deux premières années d'occupation, avec **évaluation technico-socio-économique** sur tous les postes de consommation, menée de 2012 à 2019 par le Cerema et des BET.

À partir des résultats des mesures de consommation, de performance et de confort, des pratiques des acteurs, des modes d'occupation, de l'appropriation des systèmes et de l'appréciation du confort par les utilisateurs, des **enseignements** en ont été tirés et consignés dans un **rapport** et une **synthèse** à destination de tous les acteurs de la chaîne de la performance énergétique (cf. références en fin de livret). Ils sont à la base des recommandations dégagées dans cette série de livrets.

Les typologies constructives de ces démonstrateurs et leurs principales performances sont données en fin de livret.



(*) Bâtiment basse consommation énergétique en chauffage, refroidissement, production d'eau chaude sanitaire, ventilation et éclairage.

Cette série de livrets a été réalisée collectivement sous la direction de Pascal Cheippe (Cerema Territoires et ville) et sous le pilotage de Constance Lancelle (Cerema Ouest).

Ont participé à l'élaboration de ce livret :

- en tant que rédacteurs au sein du Cerema : Constance Lancelle (Ouest) et Pierrick Nussbaumer (Est) ;

- en tant que relecteurs : Aloïs Thiébaut et Baptiste Jeannet (DGALN), Pierre-Édouard Vouillamoz et Étienne Marx (Ademe), Benoît Rozel (Enertech) et Myriam Humbert (Cerema Ouest).

INTRODUCTION

De très nombreux corps de métiers sont acteurs des performances énergétiques, économiques et de confort, à chacune des phases de conception, de réalisation, puis d'exploitation-maintenance. Mais nous le sommes également tous, en tant qu'utilisateurs de locaux, dans la façon de les occuper, de les gérer, de piloter leurs équipements ou de les entretenir. Notre impact en est immédiat et capital quand il s'agit de bâtiments performants en énergie, à savoir, fortement isolés thermiquement, étanches à l'air et dotés d'équipements à hauts rendements.

C'est pourquoi les enseignements tirés des évaluations des bâtiments performants PREBAT (cf. la présentation du programme en page précédente) ont été traduits en aide plus directement opérationnelle, sous forme d'**actions principales sur les différents composants du bâtiment ou pour le confort thermique**. Ces actions s'adressent à tous les contextes de bâtiments, de métier ou de moment d'intervention, et à tous les niveaux de pratique ou de connaissance. Elles sont présentées en fiches au sein de livrets par composant du bâti ou équipement technique. Neuf livrets traitent des consommations et performances de tous les équipements (production de chaleur, ventilation, éclairage, mais aussi ascenseurs ou encore bureautique et électroménager…) ainsi que de la production d'électricité photovoltaïque. Un dixième livret les complète sur le confort thermique.

Chaque fiche d'action donne d'abord le contexte des bâtiments concernés, et notamment si l'action est **spécifique aux bâtiments performants ou non**, puis les constats motivant les actions, et les actions elles-mêmes. Celles-ci sont ensuite précisées à travers les **pratiques** observées, qui sont alors, soit à éviter, soit à reproduire, et ce, pour chacune des **trois phases** suivantes de la vie du bâtiment, dans lesquelles chaque acteur pourra se retrouver :

- conception (programme de l'ouvrage et conception de l'œuvre) ;
- réalisation (fabrication, chantier et réception) ;
- utilisation (occupation, pilotage et entretien).

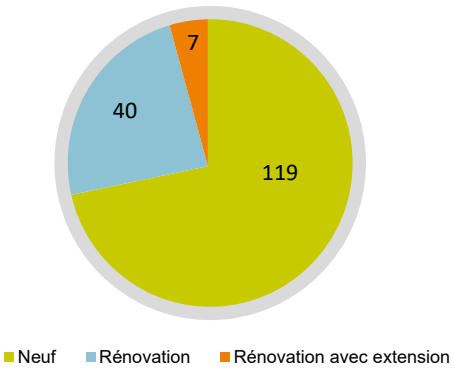
> ⚠ La liste des recommandations proposées, d'action ou de pratique, n'est **pas exhaustive**. Ne figurent ici que celles qui émanent des constats remontés des évaluations du panel PREBAT.

Enfin, pour éviter tout conflit entre consommation et confort, et réciproquement… les actions sont accompagnées d'une indication de leur **impact**, à la fois, **sur la consommation** énergétique, et **sur le confort** lié à l'équipement concerné, sur une échelle à cinq niveaux (plus ou moins positifs ou négatifs autour de l'impact neutre). Le cas échéant, d'autres impacts directs sont mentionnés, notamment au **croisement d'autres besoins à satisfaire** (qualité de l'air, confort visuel, acoustique, fonctionnalité, sûreté, coûts, durabilité…). Néanmoins, pour les exigences ou contraintes non directement liées, il y a lieu de se reporter aux guides relatifs à la démarche de programmation.

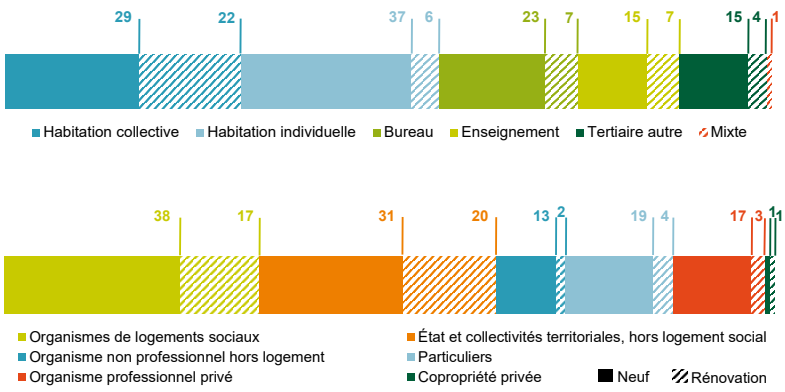
Le présent livret porte sur **les parois vitrées**, dont les différents systèmes rencontrés sont présentés ci-après. Les fiches d'actions s'en suivent, après avoir précisé leurs conventions de présentation.

> ⚠ Compte tenu des données disponibles, les actions proposées peuvent être basées sur des échantillons restreints de bâtiments dont le nombre est alors précisé.

Nature des travaux



Destination d'usage et maîtrise d'ouvrage diversifiées



LES DIFFÉRENTS PRINCIPES IMPORTANTS AU NIVEAU DES PAROIS

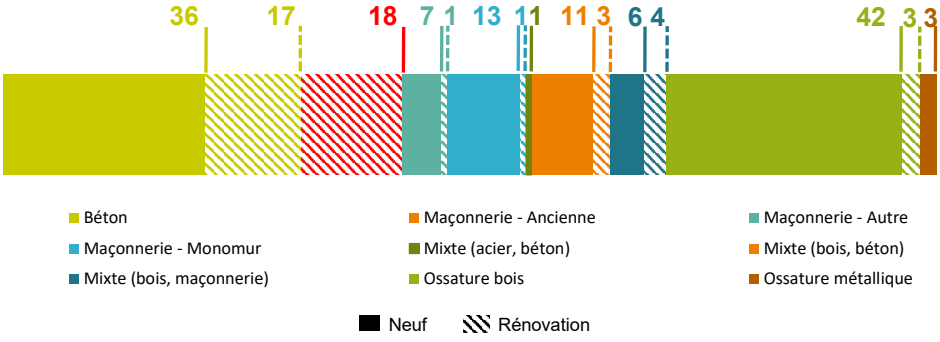
Dans ce livret, différentes notions clés sont citées :

- le **coefficient $U_{bât}$** est le coefficient moyen de déperdition par transmission à travers les parois déperditives séparant le volume chauffé du bâtiment, de l'extérieur, du sol et des locaux non chauffés. Il s'exprime en W/m²/K. Les éléments opaques et vitrés de la paroi ont leur propre coefficient de transmission, noté respectivement Uparoi et Uw ;
- **pont thermique** : zone dans l'enveloppe du bâtiment avec une résistance thermique moindre que le reste de l'enveloppe (toute liaison entre façade et plancher bas, entre toiture et façade…). Il provoque des pertes de chaleurs et peut créer un inconfort, via une sensation de froid. La déperdition via les ponts thermiques s'exprime en W/m/K ;
- **perméabilité à l'air** : La mesure de la perméabilité à l'air de l'enveloppe permet de détecter, visualiser et mesurer le débit de fuite sous 4 Pa divisé par la surface déperditive hors planchers bas. Cette mesure s'exprime en m³/h/m² à 4 Pa.

Pour ces trois notions, plus la valeur est faible meilleure est la performance des parois et de l'enveloppe dans son ensemble.

Les différents systèmes constructifs et systèmes d'isolation observés dans le panel des 166 opérations suivies sont présentés dans les deux graphiques suivants :

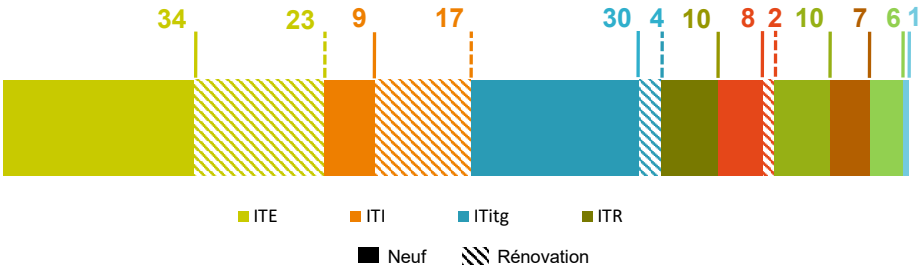
- **systèmes constructifs**



- **système d'isolation**

Parmi les systèmes d'isolation, on retrouve :

- ITE : Isolation par l'extérieur,
- ITI : Isolation par l'intérieur,
- ITitg : Isolation intégrée : isolation entre ossature porteuse (souvent ossature bois),
- ITR : Isolation répartie : le matériau utilisé pour la structure est aussi le matériau isolant.



FICHES ACTIONS

Fiche 01

Optimiser le type, la surface et l'orientation des baies vitrées entre apport et déperdition

Fiche 02

Limiter les déperditions liées aux ponts thermiques

Fiche 03

Maîtriser les points singuliers pour atteindre une très bonne perméabilité à l'air de l'enveloppe

CONVENTIONS DE PRÉSENTATION DES FICHES

Dans ce document, les consommations sont données en énergie primaire et par surface hors œuvre nette (SHON), sauf indication contraire. Pour simplifier, cette unité sera notée **$kWh_{ep}/m^2/an$**.

Les coefficients de conversion en énergie primaire retenus sont de 2,58 pour l'électricité et de 1 pour les autres énergies.

Destination d'usage des bâtiments et performance

Habitation

Toute habitation

Habitation énergétiquement performante

Tertiaire

Tous

Bâtiment énergétiquement performant

Description des pratiques

Les pratiques sont présentées à l'origine du constat réalisé.

- Pratique **à éviter** signalée par
- Pratique **à reproduire** signalée par

Cette rubrique permet de faire le lien, à la fois avec les acteurs et avec leurs actions ou tâches principalement concernées, via les **trois phases de travail/vie suivantes** :

Conception

- Tâches de définition intellectuelle de l'ouvrage et de l'œuvre :
  - par la maîtrise d'ouvrage : programme de l'ouvrage (conception de l'ouvrage), notamment ici, les programmes techniques d'avant-projet sommaire, puis d'avant-projet définitif ;
  - et par le maître d'œuvre (architecte et bureau d'études) : plans et descriptifs (conception de l'œuvre) en réponse au programme.
- En cas d'acteurs différents, les citer impérativement.

Réalisation

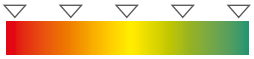
- Tâches principalement des entreprises de chantier et des industriels.
- Jusqu'à la réception (comprise).
- En cas d'acteurs différents, les citer impérativement.

Utilisation

- Actions des occupants, gestionnaires, exploitants ou mainteneurs.

Description des impacts de l'action

- Impact sur la **consommation.**
- Impact sur le **confort.**

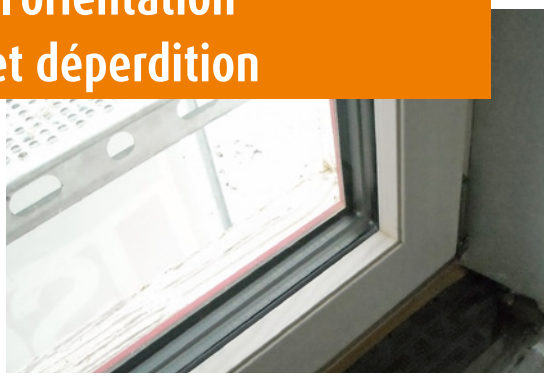
Ces deux impacts sont estimés sur une échelle à cinq niveaux : 

Plus le curseur est dans le vert, plus l'action a un impact positif, et inversement plus le curseur est dans le rouge, plus l'impact est négatif. Au milieu, en jaune, l'impact est neutre.

Point de vigilance ou point réglementaire

Ce sigle signale un point de vigilance ou un point réglementaire.

01 Optimiser le type, la surface et l'orientation des baies vitrées entre apport et déperdition



Bâtiments concernés

Bâtiments d'habitation ou tertiaire

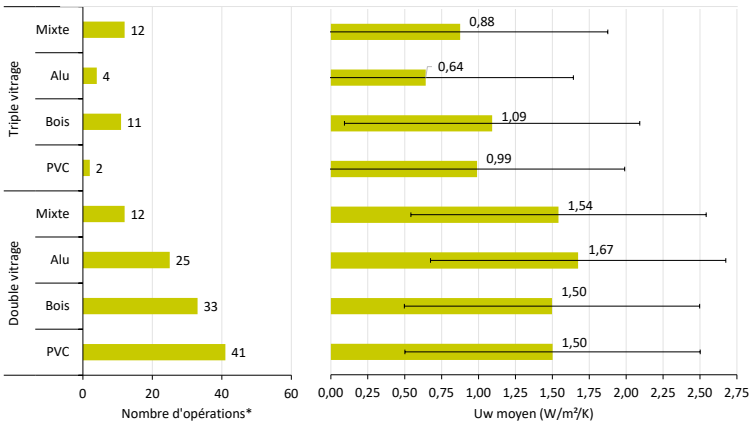
Constats

Les surfaces vitrées représentent les surfaces les plus déperditives avec des Uw[1] moyens allant de 0,64 W/m²/K en triple vitrage à 1,67 W/m²/K pour du double vitrage alu.

Le double vitrage représente 80 % des surfaces vitrées, les 20 % restants étant du triple vitrage surtout installé dans les zones climatiques froides (nord).

Sur l'échantillon, le type de châssis (aluminium, bois, PVC) influe peu la valeur du Uw pour les menuiseries double vitrage. Pour les menuiseries triple vitrage, plus performantes, l'impact est en revanche plus marqué.

L'orientation des surfaces vitrées a également un impact important sur les performances du bâtiment. Principalement orientées au sud, elles permettent des apports de lumière et de chaleur (apports solaires). Attention cependant aux risques de surchauffes en période d'été notamment (cf. livret sur le sujet du confort thermique) ou d'éblouissement (cf. livret sur l'éclairage). La création d'ouvertures traversantes permet la ventilation nocturne, favorable à l'utilisation des surventilations voire de la climatisation.



* Nombre d'opérations sur lesquelles une valeur a pu être récupérée.

Illustration 1 - La moyenne du Uw du triple vitrage est plus faible que celui du double vitrage, respectivement 0,97 W/m²/K et 1,54 W/m²/K.

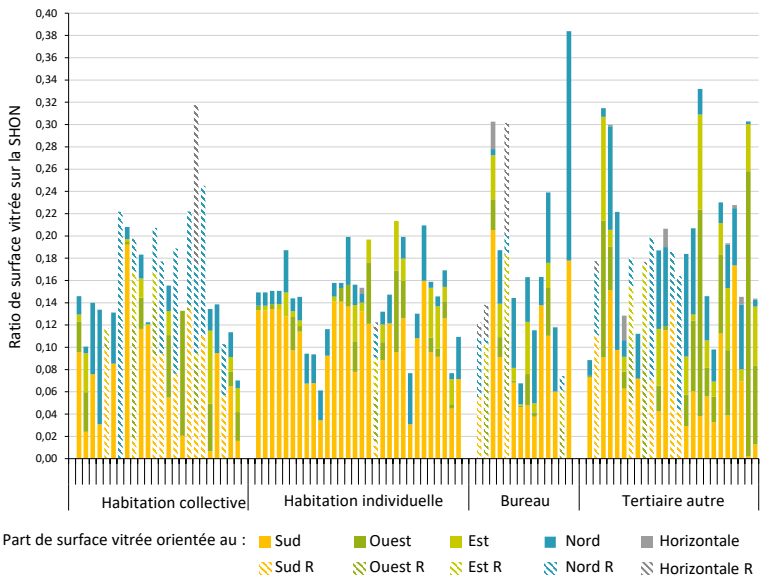


Illustration 2 - Les surfaces vitrées sont en majorité exposées au sud, avec une moyenne de 51 % sur 93 opérations.

Actions

- Optimiser l'utilisation du triple vitrage (appréciation du gain par rapport au coût et au poids des menuiseries).
- Choisir les menuiseries et leur orientation en fonction de différents critères : performance thermique, apports solaires en hiver et risque de surchauffe en été.

1. Les valeurs présentées sont issues des calculs réglementaires.

01

Pratiques constatées

CONCEPTION	RÉALISATION	UTILISATION
✓ Installation suffisante de surface vitrée pour optimiser l'apport de lumière naturelle (cf. livret de la même collection sur l'éclairage) et les apports solaires.	Sans objet.	✓ Optimisation de l'utilisation des ouvrants et des protections solaires pour améliorer le confort d'été et se protéger des surchauffes.
✓ Optimisation de la position des surfaces vitrées pour assurer l'éclairage naturel, les apports solaires mais aussi la possibilité de créer des flux d'air (ventilation nocturne) pour améliorer le confort d'été (cf. livret de la même collection sur le confort d'été).		
✓ Installation de casquette horizontale afin de limiter les surchauffes l'été.		

Impacts

Consommation

L'optimisation du choix des baies vitrées et de leur orientation permet de réduire la consommation de chauffage. Elle permet de limiter la consommation de refroidissement grâce à la ventilation nocturne.

Confort

À condition que les protections solaires soient suffisantes et faciles d'utilisation, le confort d'été n'est pas impacté par les surfaces vitrées. Il peut être amélioré via la ventilation nocturne en limitant l'utilisation de la climatisation.

Usages

Attention Les menuiseries triple vitrage, bien que plus performantes, sont plus lourdes et plus difficiles à manipuler que des menuiseries double vitrage.

02 Limiter les déperditions liées aux ponts thermiques

Bâtiments concernés

Bâtiments d'habitation ou tertiaire

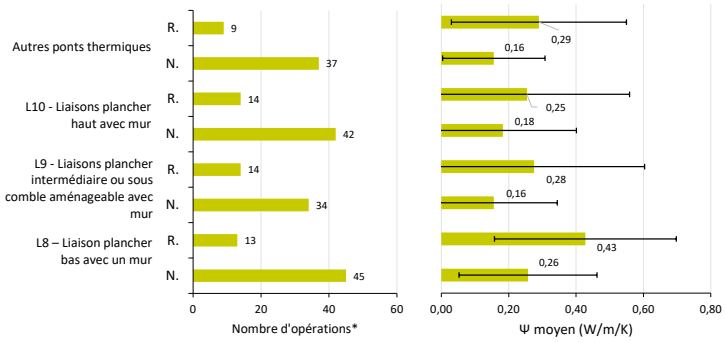
Constats

Les ponts thermiques sont principalement relevés au niveau de trois jonctions de parois : les liaisons plancher haut avec mur (27 %), les liaisons plancher intermédiaire ou sous comble (23 %) avec les murs et les liaisons plancher bas avec un mur (28 %).

Les valeurs moyennes de Ψ[1] pour chaque type de pont thermique sont proches (moyenne 0,22 W/m/K), mais doublent pour les liaisons plancher bas avec mur en rénovation.

Pour une même catégorie de ponts thermiques, les écarts types des valeurs prises sont très liés au mode constructif.

Les solutions de traitement des ponts thermiques sont plus limitées lors des rénovations que pour la construction neuve.



* Nombre d'opérations sur lesquelles une valeur a pu être récupérée.

Illustration 3 – Les déperditions sont plus élevées au niveau des liaisons plancher bas/mur peu ou non traitées.

Actions

- Porter une attention particulière à l'isolation des jonctions du bâti.

Illustration 4 – La mise en place de rupteurs de ponts thermiques au niveau des accroches de l'isolation thermique par l'extérieur limite les déperditions.

Pratiques constatées

CONCEPTION

- ✓ Choix d'un système constructif adapté à l'architecture du bâtiment.
- ✗ En rénovation, insuffisance d'attention aux ponts thermiques face à l'importante contrainte de la structure existante (limitation des solutions pour les liaisons planchers/façades par exemple).

RÉALISATION

- ✓ Mise en place d'une double isolation (intérieure + extérieure).
- ✓ Isolation extérieure pour limiter les ponts thermiques des planchers intermédiaires.
- ✓ Positionnement des fenêtres au nu extérieur de la façade pour permettre le retour d'isolation.

UTILISATION

Aucun constat.

1 Les valeurs présentées sont issues des calculs réglementaires.

02

Pratiques constatées

CONCEPTION	RÉALISATION	UTILISATION
Non recensement exhaustif des ponts thermiques. Limitation de traitement aux plus courants ou importants en longueur.	Isolation périphérique du dallage plancher bas par du polystyrène extrudé. Isolation du poteau de jonction entre deux baies vitrées. Désolidarisation des balcons en structure métallique autoporteuse. Absence de retour d'isolant sur le mur refend. Déperditions provenant des soubassements qui ne sont pas isolés.	Aucun constat.

Impacts

Consommation

La bonne prise en compte et le traitement adapté des ponts thermiques permettent de réduire les consommations de chauffage, et ce d'autant plus que l'enveloppe est performante.

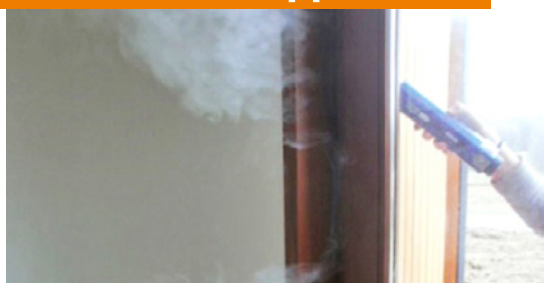
Confort

Le confort thermique est amélioré grâce au traitement des ponts thermiques qui sinon créent des zones froides au niveau de l'enveloppe.

Autres

Limiter les ponts thermiques permet d'éviter l'apparition de moisissures au droit de ceux-ci.

03 Maîtriser les points singuliers pour atteindre une très bonne perméabilité à l'air de l'enveloppe



Bâtiments concernés

Bâtiments d'habitation ou tertiaires

Constats

Dans l'ensemble les résultats des essais de perméabilité à l'air de l'enveloppe des bâtiments sont bons par rapport aux niveaux d'exigence de la RT 2012 (voire très bons).

En moyenne la perméabilité à l'air est : en habitation collective de 0,75 m³/h/m², en habitation individuelle de 0,59 m³/h/m², en bureau de 0,89 m³/h/m² et en tertiaire autre de 1 m³/h/m².

Les principaux défauts relevés sont liés :

- aux joints entre la menuiserie et son encadrement ;
- au passage des réseaux d'électricité, de chauffage et de ventilation ;
- à la jonction au niveau des coffres de volets roulants.

La réalisation de mesure en phase chantier a permis dans plusieurs situations de détecter en amont les problèmes de perméabilité à l'air et de les corriger.

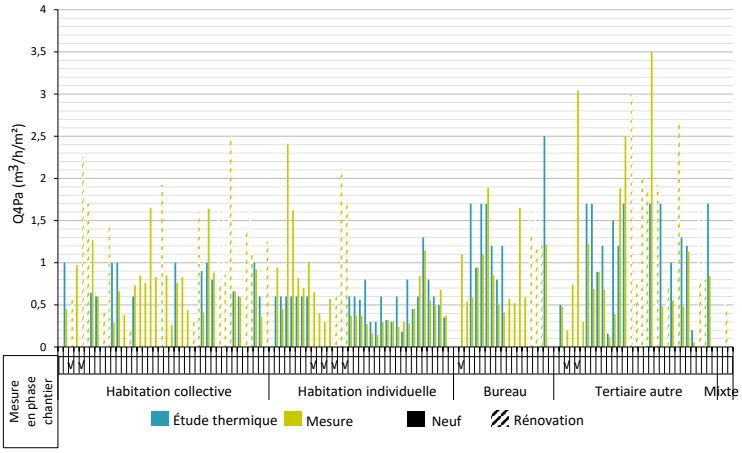


Illustration 5 – La perméabilité à l'air mesurée est majoritairement plus élevée que celle saisie dans les études thermiques. Globalement les opérations de rénovation ont une perméabilité supérieure aux opérations neuves.

Actions

- Limiter les défauts liés aux percements de la barrière d'étanchéité par exemple en optimisant les interventions des différents corps d'état (anticipation de la pose des réseaux électriques puis pose de la barrière d'étanchéité...).
- Porter une attention particulière à la pose des menuiseries.
- Réaliser une mesure en phase chantier pour détecter en amont les fuites.

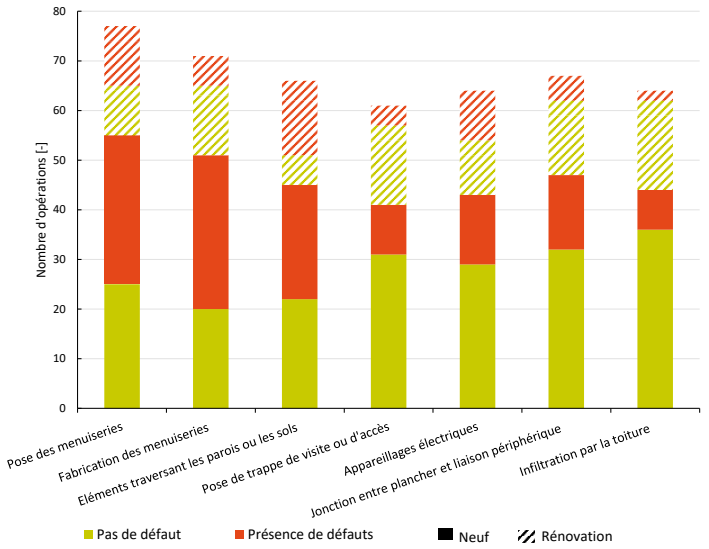


Illustration 6 – Les trois actions présentant le plus de défauts au niveau de la perméabilité à l'air sont : la pose de menuiserie, la fabrication de menuiserie et les éléments traversant les parois ou les sols.

Pratiques constatées

CONCEPTION

- ✓ Choix de menuiserie attentionné au regard de la pose (possibilité de réglage par exemple, pour l'ajustement dimensionnel de la menuiserie bois en fonction de l'humidité).
- ✓ Anticipation du percement du pare-vapeur en limitant leur nombre par exemple.

RÉALISATION

- ✗ Absence de sensibilisation de la maîtrise d'œuvre.
- ✗ Percement de la barrière d'étanchéité à l'air (lors de la pose des conduits de ventilation, évacuation des eaux usées...).
- ✓ Réalisation de mesure lors de la phase de chantier.
- ✓ Utilisation des blocs prise étanches.

UTILISATION

Aucun constat.

Impacts

Consommation

La perméabilité à l'air a un impact direct sur la consommation de chauffage. L'amélioration de celle-ci amènera donc une économie sur la consommation de chauffage.

Confort

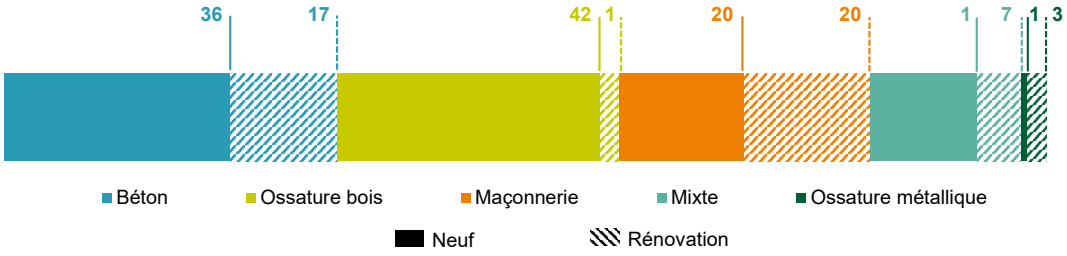
Une meilleure perméabilité à l'air permet de limiter les sensations de courants d'air froids et améliore le confort thermique d'hiver des occupants.

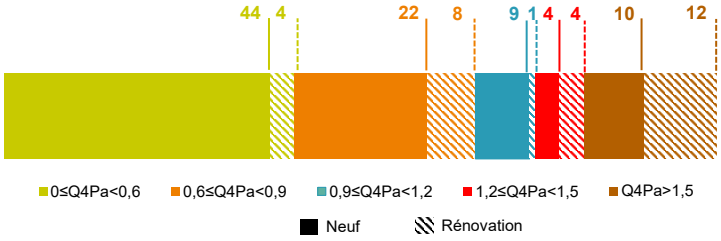
QAI et humidité

Attention: une bonne isolation permet de réduire les sensations de paroi froide et améliore le confort thermique des occupants.

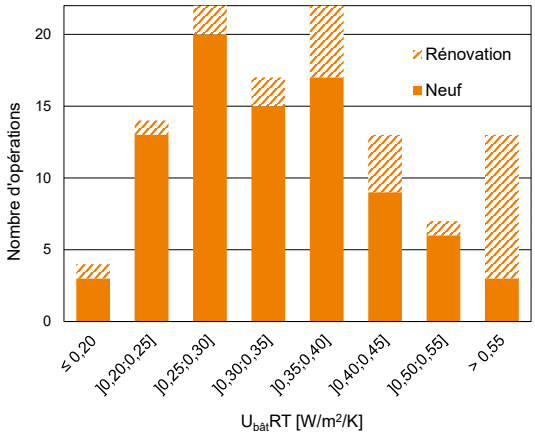
LE PANEL DE BÂTIMENTS DÉMONSTRATEURS ÉVALUÉS

Système constructif et qualité de l'enveloppe



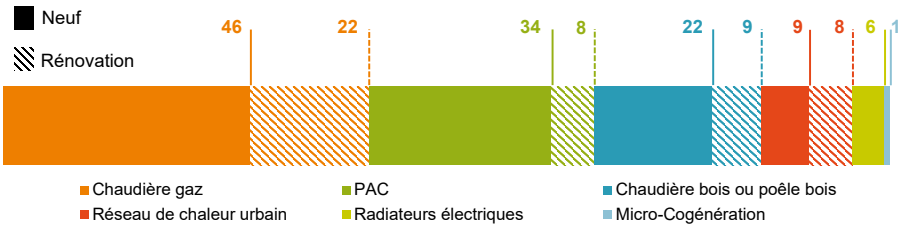


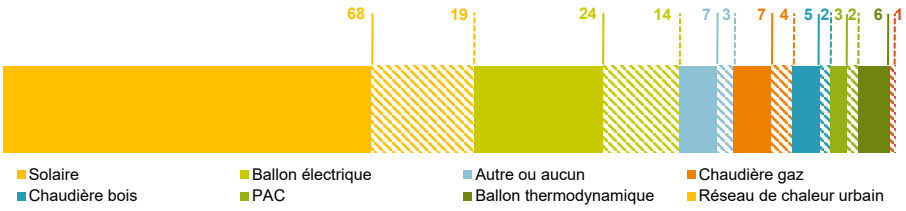
Mesure de la perméabilité à l'air à réception ou en phase chantier

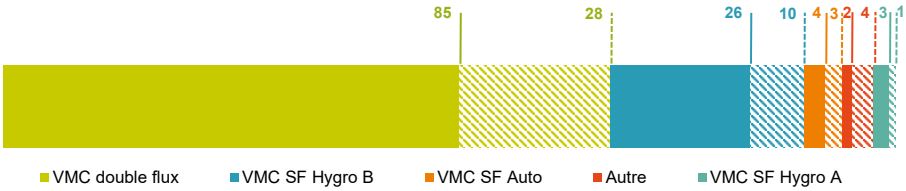


$U_{bât}$ théorique saisi dans le calcul RT

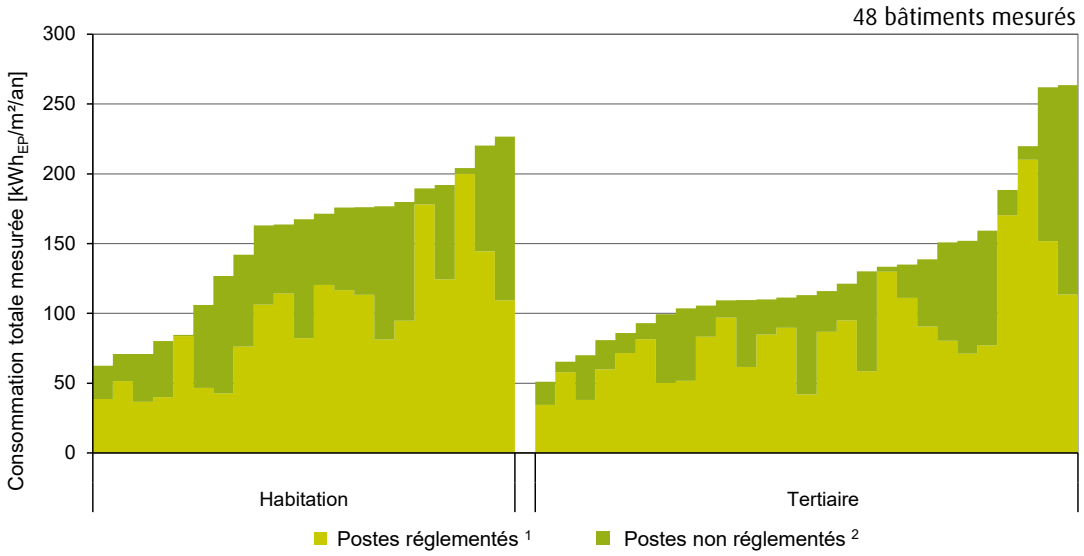
Équipements de chauffage, production ECS et ventilation

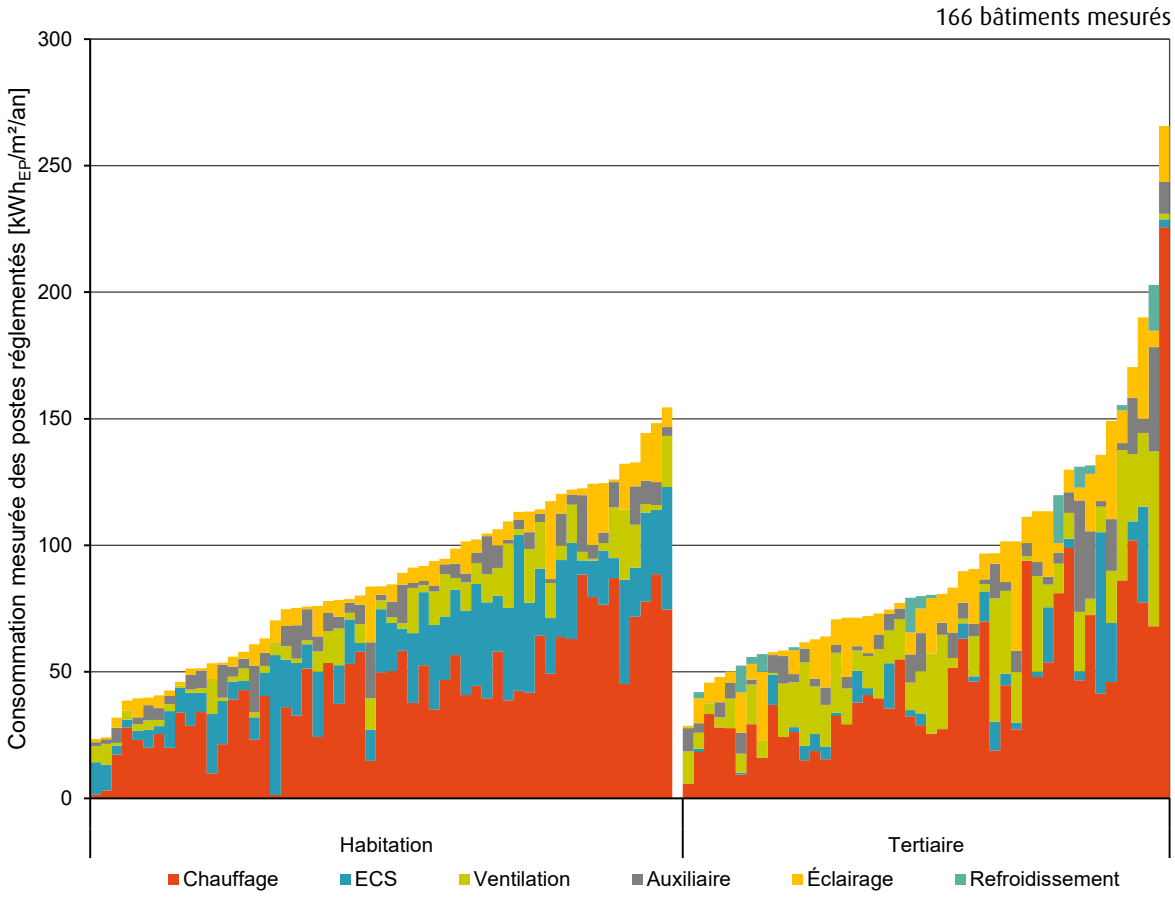






Consommation mesurée





Détail de la consommation des postes réglementés

1. Postes de consommation réglementés : chauffage, refroidissement, production d'eau chaude sanitaire, auxiliaires des systèmes thermiques, ventilation et éclairage.
2. Postes non réglementés : autres équipements immobiliers (ascenseurs, éclairage de sécurité, portes automatiques, pompes de relevage, gestion des accès...) et équipements mobiliers (bureautique, éclairage d'appoint, audiovisuel, électroménager...).

Pour aller plus loin

En téléchargement gratuit sur www.cerema.fr

- **Bâtiments démonstrateurs à basse consommation d'énergie**

Enseignements opérationnels tirés de 166 constructions et rénovations du programme Prebat – 2012-2019 (2021)
Fiche de synthèse (2021)

- **Diminuer la consommation énergétique des bâtiments**

Des actions simples et concrètes pour la gestion du patrimoine immobilier (2019)

- **500 maisons rénovées basse consommation**

Enseignements opérationnels des programmes « Je rénove BBC » en Alsace (2017)

- **Centre de ressources pour la réhabilitation responsable du bâti ancien (CREBA)**

www.rehabilitation-bati-ancien.fr

- **Réduire l'impact environnemental des bâtiments**

Agir avec les occupants (2013)

- **Prise en compte des usages dans la gestion patrimoniale des bâtiments : expériences internationales** - Série de fiches
- **Les missions et les métiers de l'exploitation et de la maintenance des bâtiments publics** - Série de fiches

- Fiche n° 01 : La maîtrise des consommations d'énergie
- Fiche n° 02 : L'entretien et l'exploitation des installations de chauffage CVC
- Fiche n° 03 : Des repères pour optimiser ses contrats
- Fiche n° 04 : Le contrat de performance énergétique
- Fiche n° 05 : L'instrumentation : quels enjeux ?
- Fiche n° 06 : La Gestion technique du bâtiment - GTB

Accompagnement du Cerema

https://www.cerema.fr/fr/activites/services/mieux-gerer-votre-patrimoine-immobilier

Contacts

Constance.Lancelle@cerema.fr
Pascal.Cheippe@cerema.fr
Nicolas.Dore@ademe.fr
qc1.dgaln@developpement-durable.gouv.fr

Le Cerema, l'expertise publique pour la transition écologique et la cohésion des territoires.

Le Cerema est un établissement public qui apporte un appui scientifique et technique renforcé dans l'élaboration, la mise en œuvre et l'évaluation des politiques publiques de l'aménagement et du développement durables. Centre de ressources et d'expertise, il a pour vocation de produire et de diffuser des connaissances et savoirs scientifiques et techniques ainsi que des solutions innovantes au cœur des projets territoriaux pour améliorer le cadre de vie des citoyens. Alliant à la fois expertise et transversalité, il met à disposition des méthodologies, outils et retours d'expérience auprès de tous les acteurs des territoires : collectivités territoriales, services de l'État et partenaires scientifiques, associations et particuliers, bureaux d'études et entreprises. **www.cerema.fr**

À l'ADEME – l'Agence de la transition écologique –, nous sommes résolument engagés dans la lutte contre le réchauffement climatique et la dégradation des ressources.

Sur tous les fronts, nous mobilisons les citoyens, les acteurs économiques et les territoires, leur donnons les moyens de progresser vers une société économe en ressources, plus sobre en carbone, plus juste et harmonieuse. Dans tous les domaines – énergie, économie circulaire, alimentation, mobilité, qualité de l'air, adaptation au changement climatique, sols... – nous conseillons, facilitons et aidons au financement de nombreux projets, de la recherche jusqu'au partage des solutions. À tous les niveaux, nous mettons nos capacités d'expertise et de prospective au service des politiques publiques.
L'ADEME est un établissement public sous la tutelle du ministère de la Transition écologique et du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation. **www.ademe.fr**

Aménagement et cohésion des territoires - Ville et stratégies urbaines - Transition énergétique et climat - Environnement et ressources naturelles - Prévention des risques - Bien-être et réduction des nuisances - Mobilité et transport - infrastructures de transport - Habitat et bâtiment

MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE
Liberté Égalité Fraternité

ADEME
AGENCE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE

500 route des Lucioles
Sophia Antipolis
06560 Valbonne
Tél. : +33 (0)4 93 95 72 62
www.ademe.fr

Cerema
CLIMAT & TERRITOIRES DE DEMAIN

Cité des Mobilités
25 avenue François Mitterrand
CS 92803
69674 Bron Cedex
Tél. : +33 (0)4 72 14 30 30
www.cerema.fr