

Enseignements des bâtiments
performants en énergie

AGIR SUR LA PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ



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

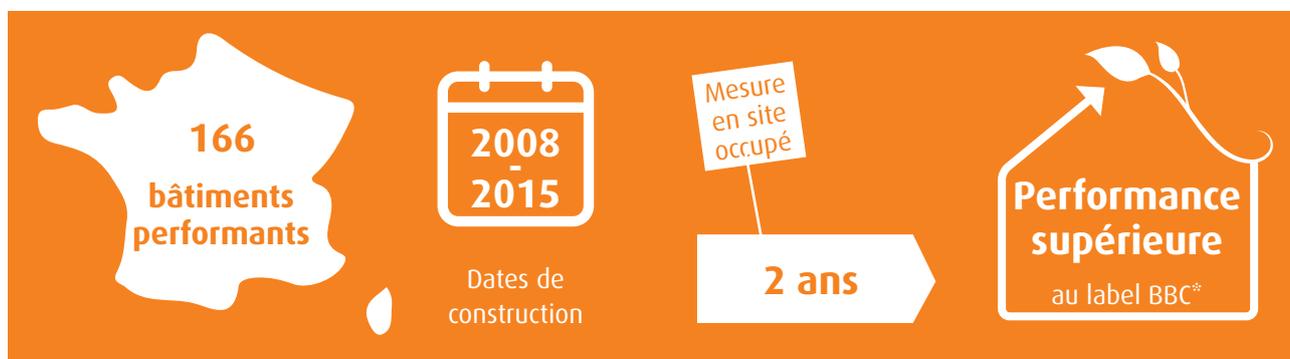
De 2006 à 2015, ce programme national de la Plate-forme de recherche et d'expérimentation sur l'énergie dans le bâtiment (PREBAT), soutenu par les régions conjointement avec les directions régionales de l'Ademe, a permis la réalisation de près de 3 000 bâtiments d'un niveau de **performance** énergétique 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, réduction 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 : François Marconot (Île-de-France), Constance Lancelle (Ouest) et Pascal Cheippe (Territoires et ville).

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 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).

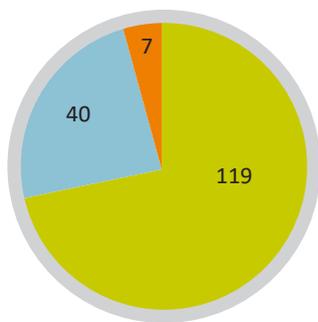
! La liste des recommandations proposées, d'action ou de pratique, n'est **pas exhaustive**. Ne figurent ici que celles qui émanent des constats remontés des évaluations du panel PREBAT.

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 la **production d'électricité**, dont les différents systèmes rencontrés sont présentés ci-après. Les fiches d'actions s'en suivent, après avoir précisé leurs conventions de présentation.

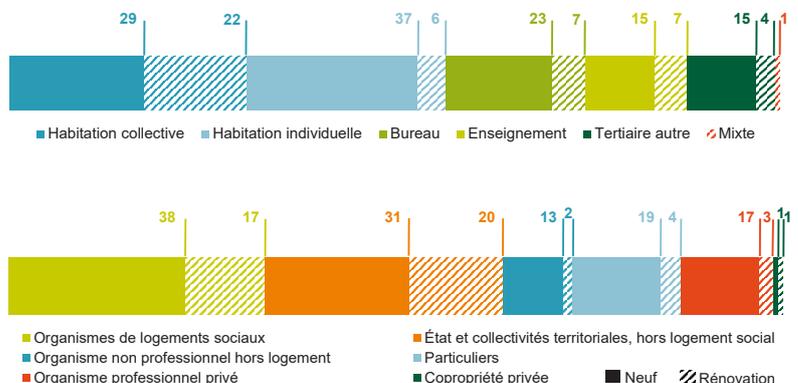
! Compte tenu des données disponibles, les actions proposées peuvent être basées sur des échantillons restreints de bâtiments dont le nombre est alors précisé.

Nature des travaux



■ Neuf ■ Rénovation ■ Rénovation avec extension

Destination d'usage et maîtrise d'ouvrage diversifiées



LA CARACTÉRISATION D'UNE INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE

Dans ce livret, différents équipements de production pour le chauffage sont cités.

■ Le Watt crête (Wc)

Le Watt crête est une unité de mesure représentant la **puissance maximale d'un dispositif**. Pour une installation photovoltaïque, le Watt crête caractérise la puissance électrique maximale pouvant être fournie dans des conditions standard, notamment d'une irradiation de 1 000 W/m².

■ Le type de capteurs

Trois principaux types de capteurs sont rencontrés. Les cellules amorphes, les panneaux polycristallins, les panneaux monocristallins.

■ L'utilisation de l'énergie produite

L'énergie produite peut être entièrement revendue au réseau d'électricité, peut être directement consommée dans le bâtiment, ou peut servir au deux. Dans ce dernier cas, l'électricité produite est prioritairement utilisée pour le bâtiment, le surplus est versé sur le réseau.

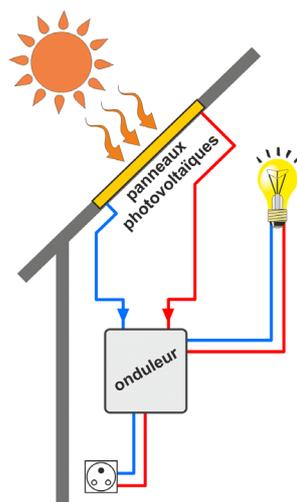


Illustration 1 - Production auto-consommée

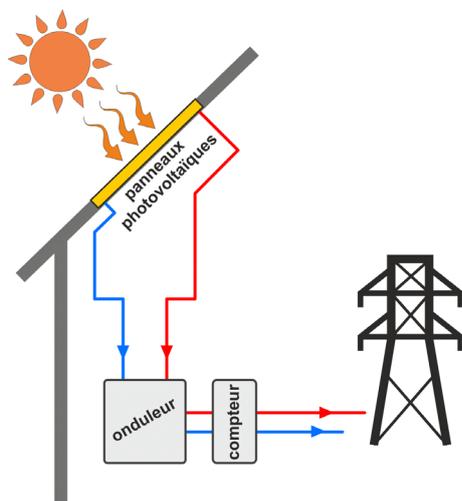


Illustration 2 - Production entièrement revendue

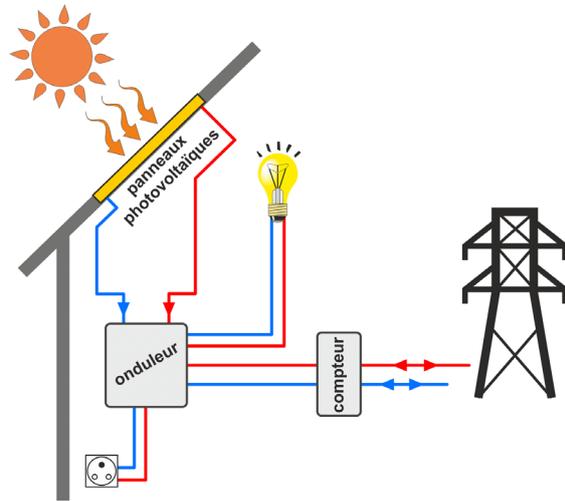


Illustration 3 - Production autoconsommée, surplus revendu

Les zones photovoltaïques

Pour le dimensionnement et le calcul de production théorique de la production photovoltaïque, la France métropolitaine est divisée en cinq zones photovoltaïques ; PV1 est la zone la plus favorable, PV5 est la zone la moins favorable. Les installations suivies dans notre échantillon sont signalées sur la carte.

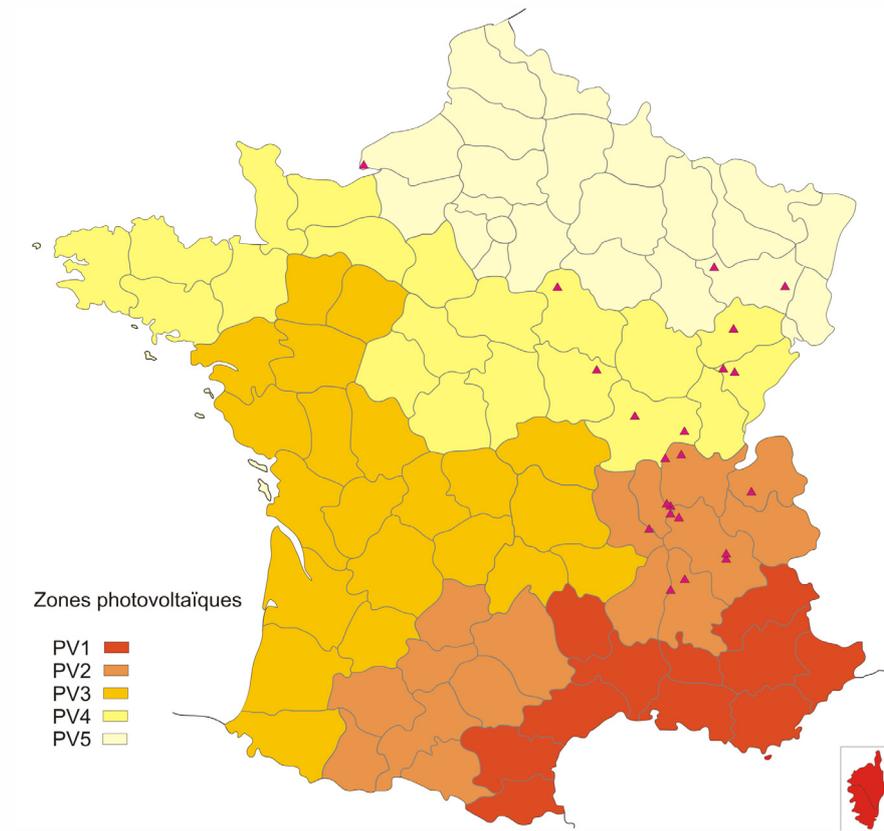


Illustration 4 - Les zones photovoltaïques et les implantations suivies

FICHES ACTIONS



Fiche 01

Évaluer la production électrique
quelle que soit la zone
géographique

Fiche 02

Suivre son installation solaire tout
au long de l'année pour améliorer
la productivité

Fiche 03

Répartir en amont les rôles
entre propriétaires et locataires

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 $\text{kWh}_{\text{ep}}/\text{m}^2/\text{an}$.

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 :



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.

Point de vigilance ou point réglementaire



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

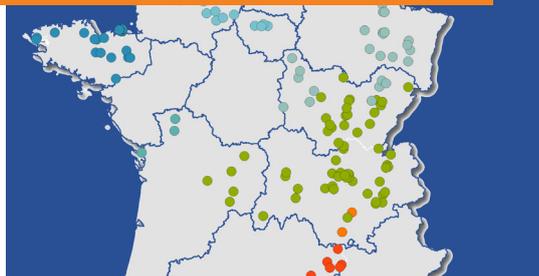
01

Évaluer la production électrique quelle que soit la zone géographique

Bâtiments concernés



Bâtiments d'habitation ou tertiaires



Constats

Près de **25 % des bâtiments** du panel des bâtiments démonstrateurs sont dotés de capteurs photovoltaïques, essentiellement en bâtiment tertiaire.

Ce panel ne couvre pas toutes les zones photovoltaïques de France métropolitaine.

La productivité des panneaux polycristallins et monocristallins est très variable d'une opération à l'autre, de **70 à 154 kWh_{ef}/m²/panneaux/an**, ou, exprimé par Watt crête, de **680 à 1 230 kWh_{ef}/kWc**. C'est dans les zones PV4 et PV5 que sont mesurées les meilleures productivités.

La productivité est directement liée à la zone photovoltaïque, aux choix de conception (type de capteurs utilisé, orientations, inclinaisons), à la prise en compte des contraintes (masques solaires), à la durée de fonctionnement, ou encore à la présence de dysfonctionnements.

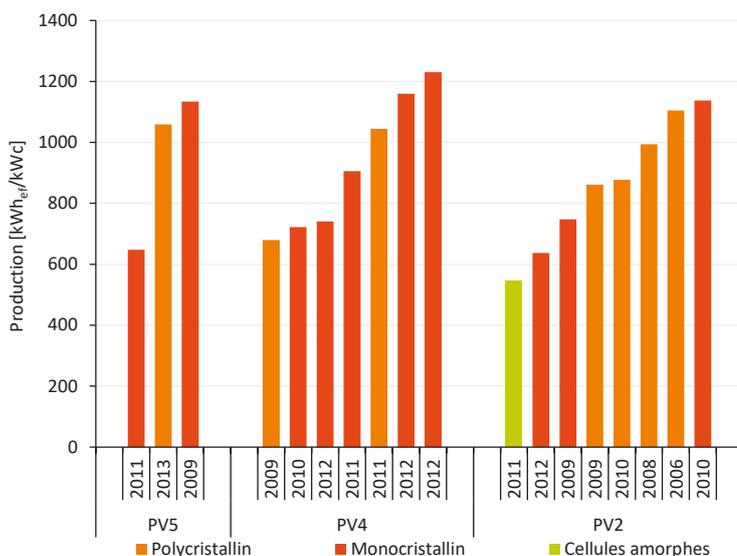


Illustration 1 - Sur l'échantillon, les meilleures productivités sont mesurées pour les zones PV4 et PV5.

Actions

- Envisager l'installation de panneaux photovoltaïques quelle que soit la zone photovoltaïque.

Pratiques constatées

CONCEPTION

- ✓ Favoriser des orientations Sud et l'absence de masques.
- ✓ Étudier la faisabilité, quelle que soit la zone climatique.

RÉALISATION

Aucun constat.

UTILISATION

- ✗ Gestion de certains masques (arbres).
- ✓ Entretien régulièrement les capteurs (nettoyage).

Impacts

Production



L'évaluation de la production permet d'optimiser l'installation et donc la production photovoltaïque.

02

Suivre son installation solaire tout au long de l'année pour améliorer la productivité

Bâtiments concernés



Bâtiments d'habitation ou tertiaires



Constats

La production photovoltaïque est importante tout au long de l'année. En moyenne sur notre échantillon, la période de mars à septembre représente mensuellement plus de 10 % de la production totale. Aucun mois ne peut être négligé.

La productivité variable d'une installation est en grande partie liée à la maintenance et au suivi de l'installation, avec une réactivité différente suite à une panne.

Les dysfonctionnements suivants ont été observés lors des suivis, à l'origine de la baisse de la productivité :

- vol de panneaux solaires ;
- retard important de raccordement au réseau électrique ;
- onduleurs qui disjonctent régulièrement ;
- masques solaires faute d'entretien (salissure, nid d'oiseau, arbre voisin) ;
- baisse de productivité car surchauffe des panneaux.

Actions

- Mettre en place un contrat pour assurer la maintenance des installations importantes, et le nettoyage des panneaux. Pour une meilleure efficacité, le contrat doit être suivi et régulièrement vérifié.
- Comparer la production annuelle de son installation aux valeurs maximales obtenues permet de détecter les dysfonctionnements. Mettre en place des alarmes, et exiger une forte réactivité du mainteneur en cas de dysfonctionnements.

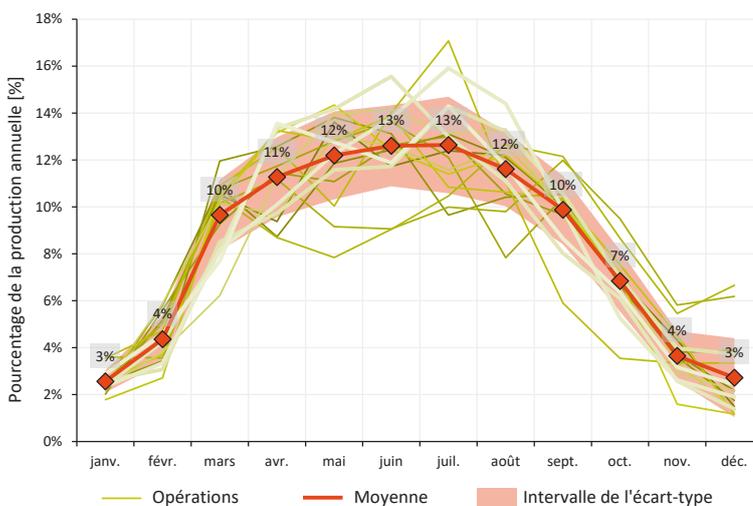


Illustration 2 - La production photovoltaïque est plus marquée de mars à septembre, mais elle n'est pas nulle le reste de l'année (16 opérations).

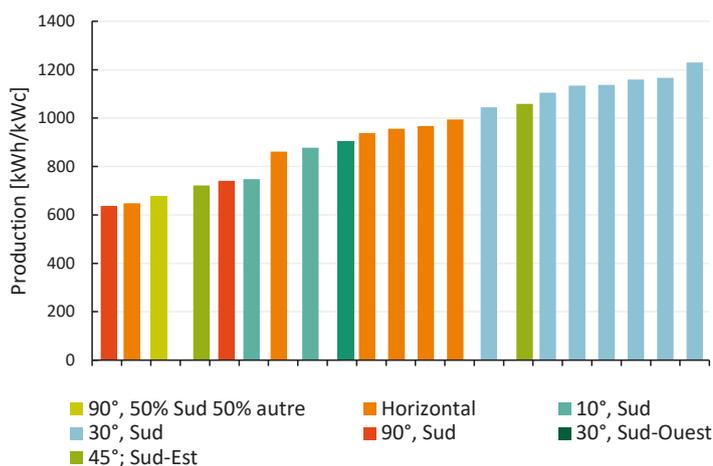


Illustration 3 - Le positionnement Sud avec une inclinaison de 30° permet d'obtenir la meilleure production.

Pratiques constatées	CONCEPTION	RÉALISATION	UTILISATION
	<ul style="list-style-type: none"> ✔ Pour le tertiaire, envisager un suivi des consommations instantanées et mensuelles via la GTB par exemple. ✔ Pour la maison individuelle, mettre un compteur de production relevable par le propriétaire. 	<ul style="list-style-type: none"> ✔ Assurer un accès simple aux capteurs photovoltaïques et aux onduleurs. ✔ Sécuriser les panneaux. ✔ Anticiper le raccordement au réseau électrique. 	<ul style="list-style-type: none"> ✔ Prévoir un contrat de maintenance des capteurs solaires, imposant le nombre de nettoyages annuels, et le délai d'intervention en cas de dysfonctionnement. ✔ Avoir une personne responsable du suivi de l'installation.

Impacts

Production

Le suivi régulier de la production permet d'optimiser le fonctionnement des panneaux et de mettre en œuvre des solutions rapides en cas de dysfonctionnement pour assurer une production continue des panneaux.

03

Répartir en amont les rôles entre propriétaires et locataires

Bâtiments concernés



Bâtiments tertiaires



Dans les bâtiments tertiaires, le propriétaire et l'occupant sont souvent deux structures différentes.

Dans le contrat de location, il faut bien veiller à répartir les actions liées à la présence de panneaux photovoltaïques et les contractualiser. Les questions suivantes doivent avoir une réponse claire :

- Qui a en charge la maintenance du PV ?
- Qui assure le suivi de la production du PV ?
- S'il y a de l'autoconsommation, quelle priorité entre autoconsommation et réseau ?
- Qui récupère les bénéfices liés à la vente de l'électricité ?
- Le locataire doit-il payer ou non un amortissement des panneaux solaires ?

Actions

- Contractualiser les charges et gains liés à l'installation photovoltaïque lors de la location d'un bâtiment tertiaire.
- Se donner les moyens de s'assurer que le contrat est bien respecté par les deux parties.

Pratiques constatées

CONCEPTION

Aucun constat.

RÉALISATION

Aucun constat.

UTILISATION

Prévoir un contrat ou une clause dans le contrat de location définissant les rôles de chacun vis-à-vis de l'installation photovoltaïque.

Impacts

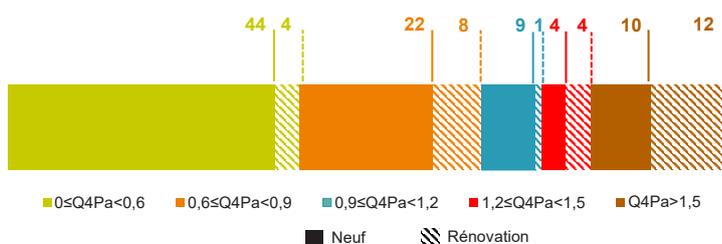
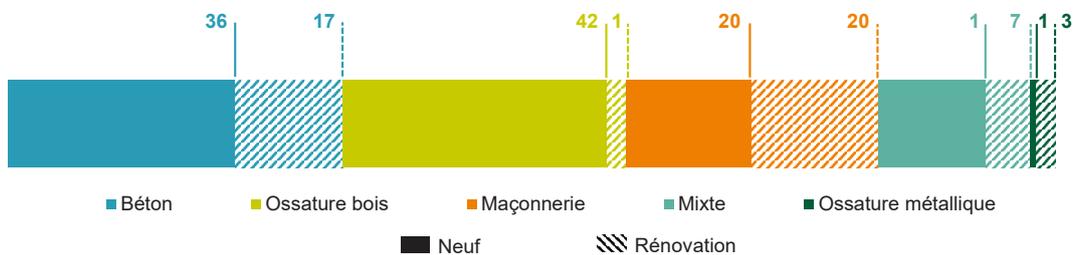
Production



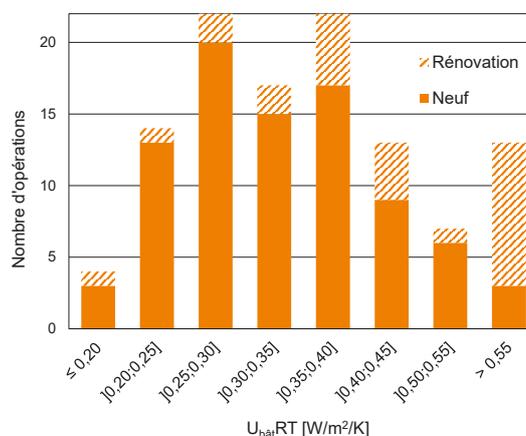
La définition d'un contrat clair entre propriétaire et locataire permet d'améliorer la productivité des panneaux.

LE PANEL DE BÂTIMENTS DÉMONSTRATEURS ÉVALUÉS

Système constructif et qualité de l'enveloppe

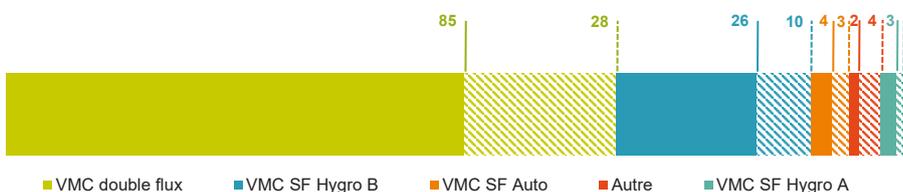
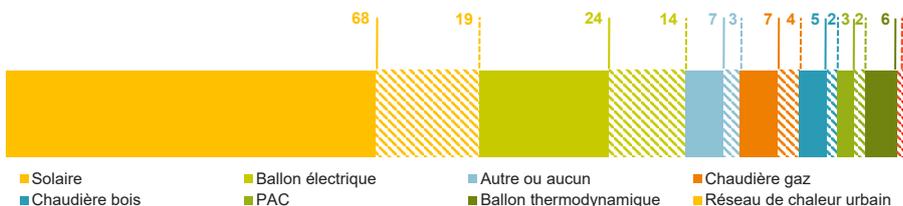
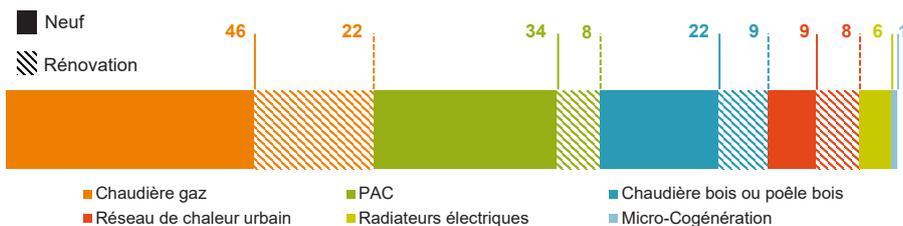


Mesure de la perméabilité à l'air à réception ou en phase chantier

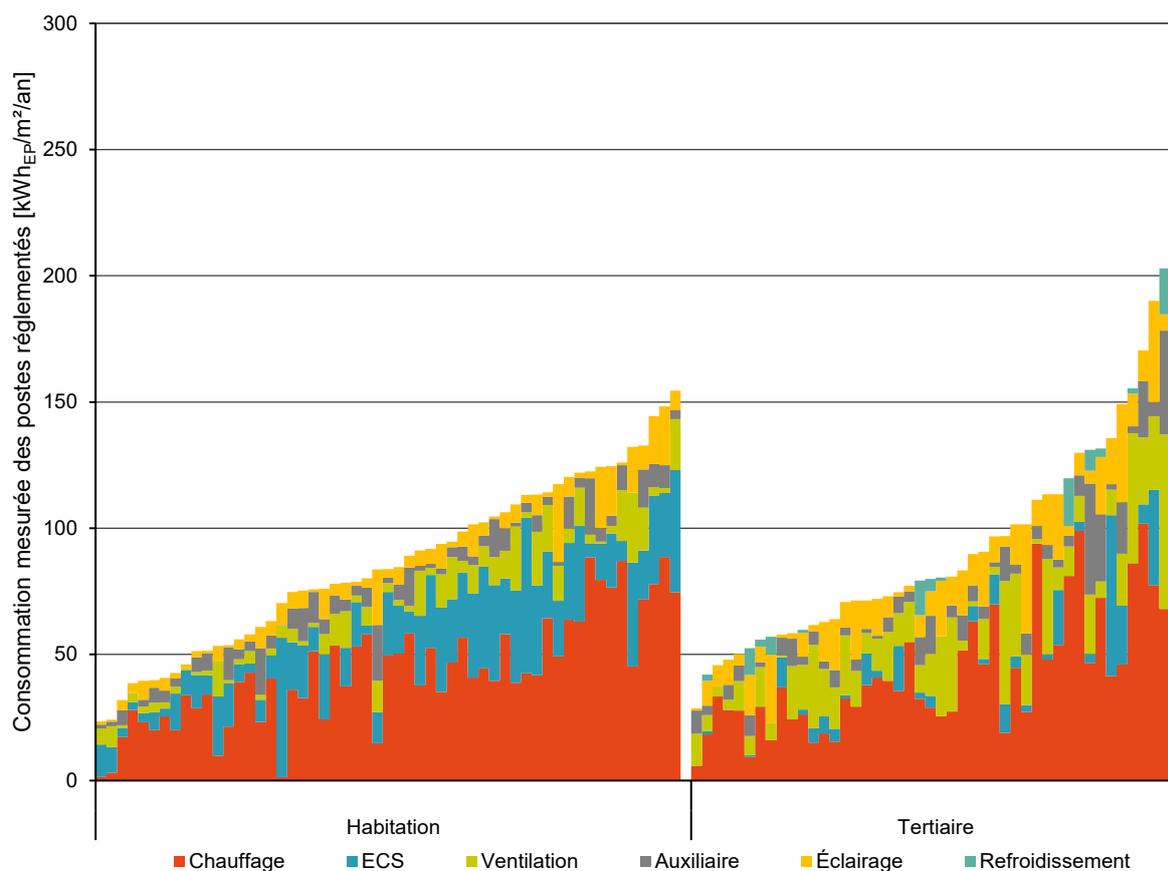
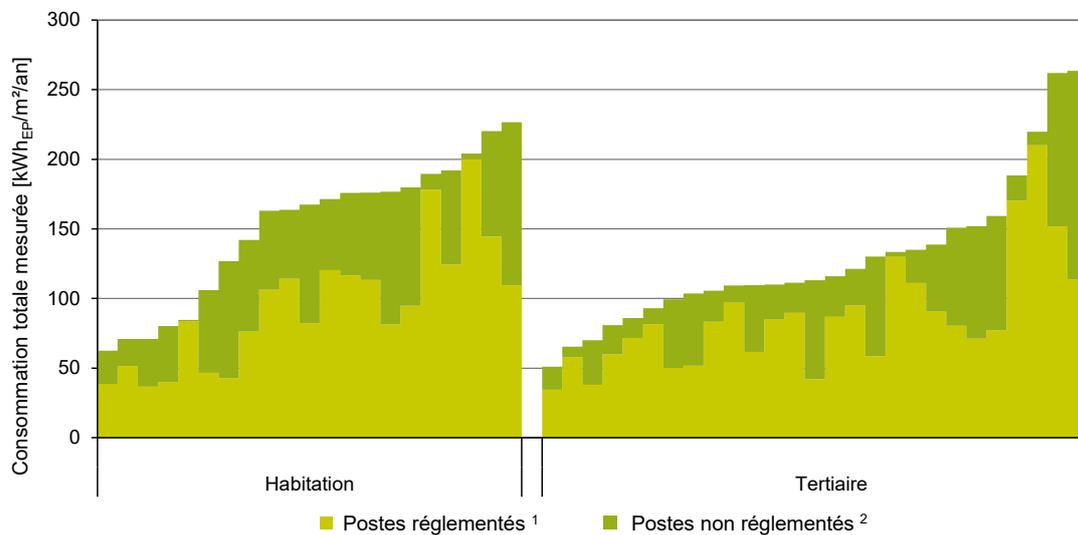


U_{bât} théorique saisi dans le calcul RT

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

■ 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)

En téléchargement gratuit sur : www.cerema.fr

■ Diminuer la consommation énergétique des bâtiments

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

En téléchargement gratuit sur : www.cerema.fr

■ 500 maisons rénovées basse consommation

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

En téléchargement gratuit sur : www.cerema.fr

■ 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

En téléchargement gratuit sur : www.cerema.fr

■ 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

En téléchargement gratuit sur : www.cerema.fr

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

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