

Bâtiments démonstrateurs à basse consommation d'énergie Enseignements opérationnels Évaluations 2012-2019

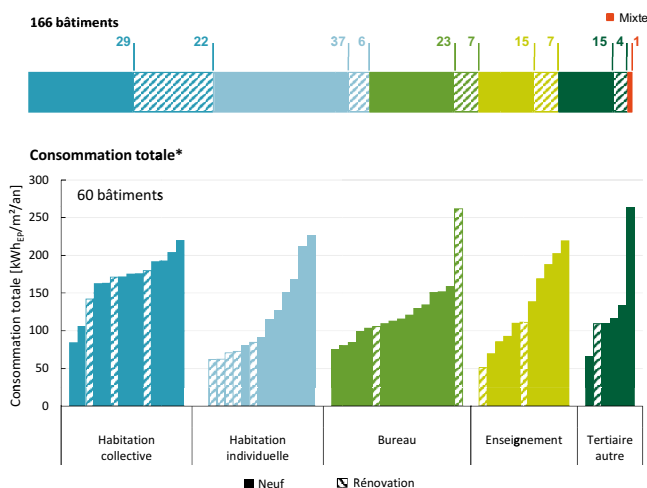
Tout acteur de la performance énergétique en bâtiment résidentiel ou tertiaire a souhaité disposer de références sur la réalité des consommations, des performances ou des pratiques, qu'il soit maître d'ouvrage, gestionnaire ou occupant, en passant par tous les professionnels de la maîtrise d'œuvre, du chantier ou de l'exploitation.



C'est maintenant possible avec ce retour d'expérience national portant sur **166 bâtiments** à basse consommation, issus d'un panel de près de 3 000 démonstrateurs de la plateforme de recherche et d'expérimentation sur l'énergie dans le bâtiment (PREBAT). Ce programme de l'État, dont la réalisation a été soutenue depuis 2006 par les régions conjointement avec les directions régionales de l'Ademe, visait à apporter des solutions performantes de réduction des consommations d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre.

Ces bâtiments ont été **instrumentés** pour mesurer leur performance énergétique et leur confort thermique pendant leurs deux premières années d'occupation. 66 d'entre eux ont été suivis et évalués par des bureaux d'études et 100 par le Cerema, lequel a mené parallèlement des **enquêtes** en plus des observations, afin de mieux connaître les pratiques des acteurs, ainsi que les modes d'occupation, l'appropriation des systèmes et l'appréciation du confort par les utilisateurs. Le Cerema a également **innové** en mesurant expérimentalement l'isolation de l'enveloppe et en comparant les mesures aux calculs réglementaires.

Le Cerema a ensuite analysé transversalement l'ensemble des évaluations pour en tirer les **enseignements** présentés ci-après. Au premier rang des résultats : la consommation totale, en moyenne de 135 kWh_{ep}/m²/an. Elle est plus importante et homogène en habitation collective.



* En énergie primaire, par m² de SHON et par an, sauf indication contraire.

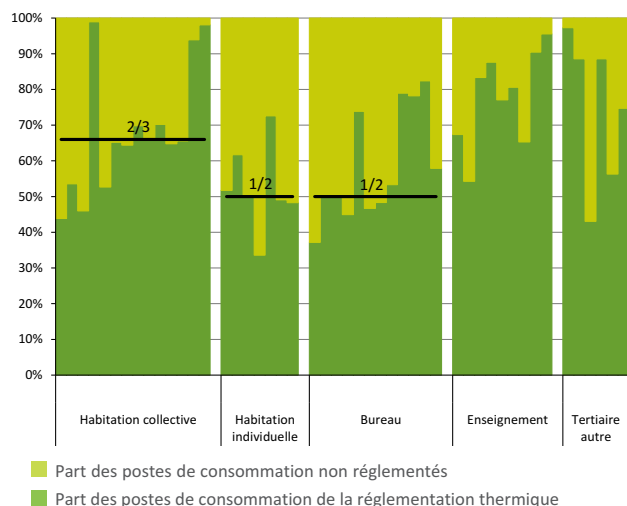
SOMMAIRE

- 1 Consommations mesurées* et performances d'ensemble du bâtiment
- 2 Conditions météorologiques
- 3 Conditions d'occupation
- 4 Performances énergétiques du bâti
- 5 Performances énergétiques des systèmes techniques
- 6 Pratiques des acteurs
- 7 Confort thermique et qualité d'usage induite
- 8 Coûts

1 Consommations mesurées

Concernant les postes de consommation soumis à la réglementation thermique (RT), à savoir le chauffage des locaux et de l'eau chaude sanitaire, la ventilation, l'éclairage et le refroidissement, leur répartition et leur ampleur pour les bâtiments énergétiquement performants sont très différentes de celles des constructions courantes suivant la RT 2005.

60 bâtiments



La **part prise par les postes non réglementés** (généralement entre 20 et 80 kWh_{ep}/m²/an) représente près d'un tiers de la consommation totale, en habitation collective et la moitié en bâtiments de bureaux et d'habitation individuelle.

Les efforts portés sur la performance énergétique des bâtiments ont fait baisser la consommation des postes réglementés, augmentant de fait la part relative des autres postes.

En **période d'inoccupation** des bâtiments tertiaires, la consommation électrique est très élevée (comparée à la période d'occupation) et supérieure à la moitié de la consommation électrique totale annuelle.

La consommation totale des postes réglementés varie par destination d'usage, généralement de :

- 30 à 150 kWh_{ep}/m²/an pour les bureaux ;
- 45 à 200 kWh_{ep}/m²/an pour les autres bâtiments tertiaires ;
- 35 à 200 kWh_{ep}/m²/an en habitation collective ;
- 25 à 120 kWh_{ep}/m²/an en habitation individuelle.

Le chauffage reste le premier poste consommateur, en moyenne à hauteur de 50 %. L'eau chaude sanitaire occupe maintenant une place importante en habitation, et ce en dépit du recours aux systèmes solaires, quasi général sur l'échantillon. La consommation liée à la ventilation arrive en deuxième position en tertiaire, notamment de bureaux.

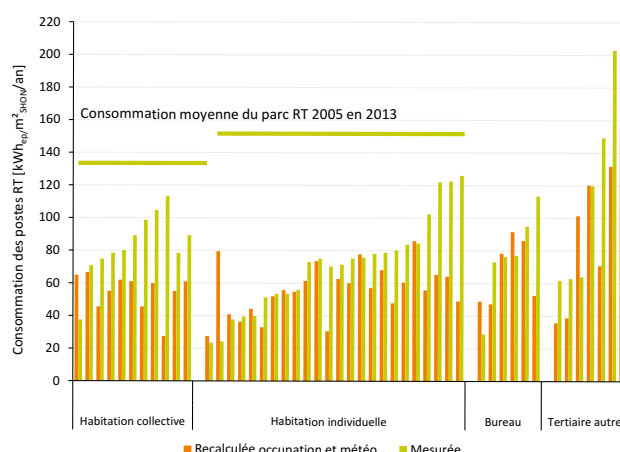
Une tendance à la **baisse de la consommation** est observée **entre la première et la deuxième année** de suivi plus particulièrement dans les bureaux. Cette baisse est souvent supérieure à 10 kWh_{ep}/m²/an, que ce soit sur la consommation totale ou la part réglementée, et quelles que soient les conditions météorologiques.

Elle peut s'expliquer par des réglages plus fins des équipements, le séchage du bâtiment, ou encore l'application des recommandations déduites de l'analyse des consommations de la première année de mesures.

Performances d'ensemble du bâtiment

La performance d'ensemble du bâtiment, caractérisée par sa consommation, s'évalue en s'affranchissant des fluctuations des autres facteurs que sont les conditions météorologiques et d'occupation (cf. en dernière page la méthode développée par le Cerema).

Après application de la méthode à 48 bâtiments, les consommations visées et mesurées se situent, pour l'habitation, en deçà de la valeur moyenne du parc construit suivant la RT 2005 ; il apparaît toutefois que les performances attendues à la conception ne sont pas atteintes, quand bien même elles restent supérieures au niveau du label BBC. L'écart s'explique par la prise en compte partielle et forcément imprécise des conditions d'occupation, par les performances réelles des composants et par leurs conditions de mise en œuvre (cf. § 4 et § 5) ainsi que par la gestion (cf. § 6).



2 Conditions météorologiques

Au regard des besoins réduits des bâtiments énergétiquement performants, les conditions météorologiques peuvent faire varier significativement la consommation annuelle de chauffage, en moyenne de ±4,8 kWh_{ep}/m²/an d'une année à l'autre (et jusqu'à 21 kWh_{ep}/m²/an en valeur absolue) et en moyenne de ±5,5 kWh_{ep}/m²/an par rapport au climat de référence de la zone climatique concernée (résultats obtenus par le moteur de calcul Th-CE). En effet, le climat mesuré sur les périodes de suivi est plus favorable que celui de la station de référence (écart moyen de degrés jours* de 14 %, plus marqué en altitude). L'irradiation solaire est, quant à elle, indifféremment à la hausse comme à la baisse.

La température extérieure à partir de laquelle le chauffage est arrêté, est très variable d'un bâtiment à l'autre (de 12 °C à 23 °C), en moyenne inférieure de 5 °C par rapport à la température de consigne évaluée.

En été, les températures extérieures sont très variables d'un site à l'autre, avec des plages de variations similaires en zones climatiques « b » et « c », et des températures en « zone a » du même ordre de grandeur que dans la « zone b » pour l'été le plus chaud. Si les étés ont été chauds, aucune période de canicule n'est pour autant à signaler entre 2011 et 2018 pour les opérations instrumentées.

3 Conditions d'occupation

Dans les hypothèses du calcul réglementaire et pour le panel de bâtiments évalués, la **température de consigne** des équipements de chauffage est toujours supérieure de 0 à 2,5 °C à la température

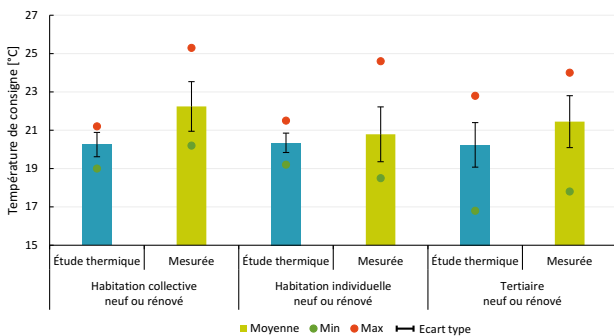
* Les Degrés jours unifiés (DJU) sont l'addition des écarts de température (extérieure) journaliers d'un lieu par rapport à 18 °C, sur une période de chauffage de 232 jours (du 1^{er} octobre au 20 mai).

conventionnelle minimale de la réglementation thermique (généralement 19 °C) avec des extrêmes autour de 17 et 23 °C. La variabilité des températures de consigne pratiquées est indépendante du système de chauffage. Les attentes en termes de confort et de maîtrise par l'occupant des systèmes sont deux paramètres impactants.

Dans les habitations, bien que l'occupation des parties jour et nuit ne soit pas concomitante, la température de consigne pratiquée est souvent identique dans ces deux zones.

Ces écarts ont une influence sur les besoins en chauffage. Pour les bâtiments fortement isolés thermiquement :

- la règle générale d'une sensibilité de 7 % de la **consommation de chauffage** pour 1 °C d'écart de la température de consigne intérieure n'est plus utilisable. Il est préférable de raisonner en valeur absolue ;
- la consommation de chauffage demeure très sensible à la température de consigne, avec, pour une augmentation de 1°C de la température de consigne, une variation de l'ordre de +1,9 kWh_{ep}/m²/an pour les bureaux et de plus de 3 kWh_{ep}/m²/an pour les habitations individuelles. Ces résultats sont une tendance, la sensibilité étant finalement propre à chaque bâtiment, sans règle commune par destination d'usage.



Les **réduits de chauffage** le soir et/ou la nuit sont très fréquents en habitations individuelles et dans les bâtiments de bureaux et d'enseignement, ils sont moins courants dans les habitations collectives car plus difficiles à mettre en œuvre sans risquer de nuire au confort des occupants. Ils sont rares dans les bâtiments de santé et culturels. En général, les températures les plus basses sont observées entre 4 et 8 heures et les relances de chauffage entre 5 et 9 heures avec une pointe vers 7 heures.

L'impact du réduit de nuit sur la température intérieure moyenne, et donc sur les besoins de chauffage, apparaît globalement très faible pour toutes les destinations d'usage (quasiment nul pour les bureaux et de -0,6 °C dans les bâtiments d'enseignement).

Ainsi le bénéfice des réduits de nuit doit-il être soigneusement étudié pour les bâtiments performants. Les gains réels sont donc à évaluer et ce d'autant plus que les installations avec réduit sont souvent surdimensionnées, donc plus chères, et fonctionnent avec un moins bon rendement le reste du temps. L'optimisation du fonctionnement d'un système de chauffage dimensionné au plus juste, en programmant ensuite des réduits, pourra apporter de réels gains énergétiques.

Source d'économie d'énergie très intéressante en tertiaire, les réduits hebdomadaires sont très fréquemment observés dans les bureaux et plus rarement dans les bâtiments d'enseignement.

Les températures de consigne pratiquées pour la climatisation sont souvent très basses (entre 21 °C et 25 °C) et inférieures à la valeur réglementaire.

En tertiaire, en comparant les températures de consigne pratiquées pour le chauffage et la climatisation, deux tendances se dégagent :

- une acceptation des variations de température de consigne sur l'année d'au moins +3 °C ;
- des pratiques fréquentes qui conduisent à des températures proches été comme hiver. Les systèmes sont alors utilisés pour gommer les variations de température saisonnière.

Dans les bâtiments à basse consommation, les apports internes (de 5 à 13 W/m² en fonction de la destination d'usage) représentent une part de plus en plus importante dans la couverture des besoins de chauffage. Les consommations d'énergie apparaissent plus ou moins sensibles à une variation de ces apports : les bâtiments d'habitation sont par exemple plus sensibles que les bâtiments de bureaux ou d'enseignement.

4 Performances énergétiques du bâti

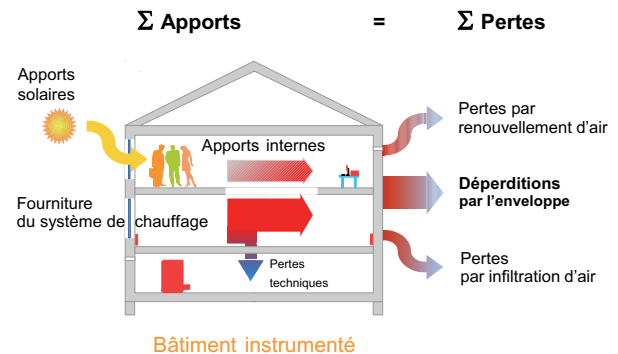
Perméabilité à l'air de l'enveloppe

L'étanchéité à l'air de l'enveloppe est bonne et globalement bien réalisée (en moyenne de 0,81 m³/h/m² sous quatre Pascals pour les logements et 1,1 m³/h/m² sous quatre Pascals pour les bâtiments tertiaires). Les pertes énergétiques par infiltration d'air restent ainsi limitées. Peu de défauts sont observés excepté au niveau des joints entre la menuiserie et son encadrement, du passage des réseaux (électricité, chauffage et ventilation) et de la jonction des coffres de volets roulants.

Le système constructif peut par sa nature réduire les points singuliers en termes de perméabilité à l'air. Ainsi les résultats observés sont-ils meilleurs pour une construction bois du fait de la fabrication des parois en usine.

L'isolation thermique de l'enveloppe

Qu'il soit calculé ou évalué au moyen de mesures, le coefficient de déperdition des bâtiments, U_{bât}, se situe à un bon niveau : entre 0,19 et 0,74 W/m²/K pour le neuf et entre 0,19 et 0,97 W/m²/K pour la rénovation.



La caractérisation, par la mesure et le calcul, du coefficient de déperdition (U_{bât} évalué) laisse apparaître une valeur supérieure (en moyenne de 27 %) à celle visée dans l'étude thermique réglementaire (U_{bât}). Au-delà du caractère expérimental de la méthode développée par le Cerema (cf. dernière page), cet écart s'explique par des imprécisions de saisie dans l'étude (notamment la prise en compte des ponts thermiques), par des changements de matériaux en cours de chantier et par quelques défauts de mise en œuvre.

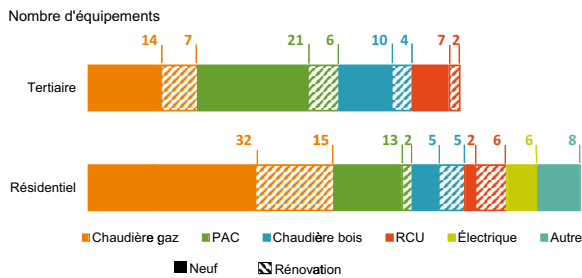
La mise en œuvre de l'enveloppe est la plupart du temps soignée, même si le traitement de l'ensemble des ponts thermiques n'est pas encore systématique et les façades, en phase chantier, ne sont pas toujours suffisamment protégées des intempéries.

En rénovation, les chantiers sont souvent plus compliqués car plus sujets aux imprévus et nécessitent une adaptation à l'existant pas toujours anticipée, notamment sur le traitement des ponts thermiques.

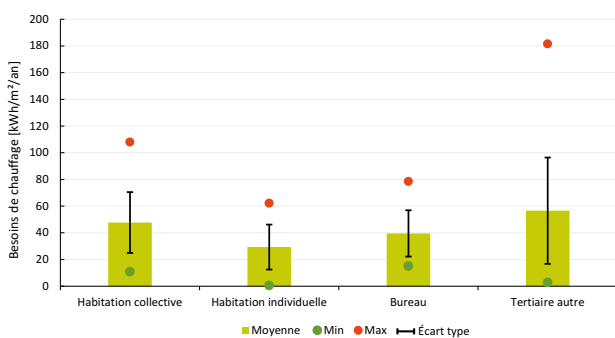
5 Performances énergétiques des systèmes techniques

5.1. Chauffage

Deux grandes familles de générateurs de chaleur assurent le chauffage dans les bâtiments du panel : les chaudières gaz à condensation et les pompes à chaleur (PAC).



Le coefficient de performance moyen mesuré sur la saison est supérieur à 3 pour les PAC eau/eau et à 2 pour les PAC air/eau. Pour les chaudières à condensation, les rendements moyens saisonniers sur PCI sont supérieurs à 85 %. Un simple réglage des systèmes (arrivée d'air, vitesse des brûleurs...) permet d'améliorer leur performance et donc la consommation d'énergie pour le chauffage.



Les besoins de chauffage réduits amènent les PAC et les chaudières à condensation à fonctionner souvent à charges partielles et sur des cycles courts, ce qui dégrade fortement la performance du système global et affecte leur durée de vie. Toutefois, ce problème a pu être limité par association d'un ballon tampon, au détriment de pertes supplémentaires.

Un fonctionnement optimal des **chaudières gaz à condensation et des PAC** est obtenu lorsque les températures de départ et de retour sont faibles. Les radiateurs basse température ou planchers chauffants facilitent ces conditions.

Les systèmes de chauffage réactifs, notamment avec émetteurs à faible inertie, répondent mieux aux besoins de chauffage faibles et ponctuels propres aux bâtiments à basse consommation.

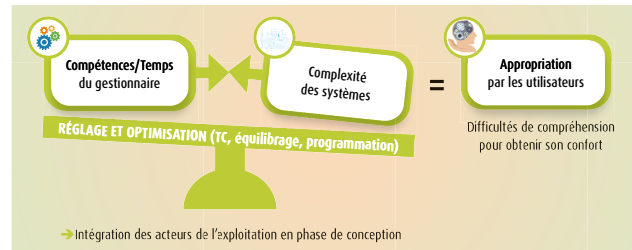
L'installation de VMC double flux avec récupérateur de chaleur permet un gain de 10 à 50 % sur les besoins de chauffage à condition que les débits soient respectés et l'entretien réalisé régulièrement.

Les pertes thermiques des **réseaux de distribution du chauffage** sont encore très importantes, notamment au niveau des organes de régulation, avec un enjeu plus important pour les réseaux bouclés.

La **régulation** du système chauffage, qu'elle soit centrale ou terminale, est souvent mal comprise par les occupants des bâtiments d'habitation. Cela explique pour partie des consommations en habitation collective plus élevées que dans les autres destinations d'usage.

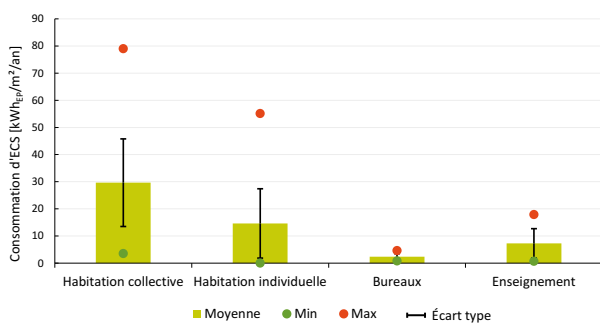
Dans un certain nombre de cas, la conception des chaufferies avec un montage complexe engendre des difficultés de régulation. La mission de régulation/maintenance est souvent réduite aux obligations réglementaires.

La régulation fine des chaufferies qui permettrait d'optimiser les consommations est rarement réalisée. Il y a souvent inadéquation entre les compétences ou le temps donné au gestionnaire et la complexité des systèmes.



5.2. Eau chaude sanitaire (ECS)

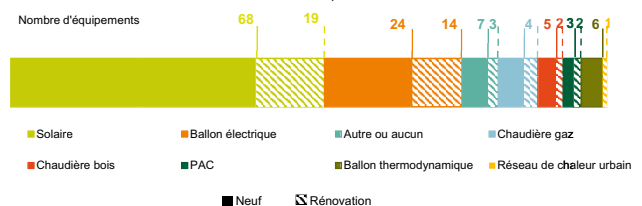
Les consommations énergétiques d'ECS varient fortement avec les besoins en eau chaude, le mode de production (collectif / individuel, à accumulation / instantané) et le type de générateur.



Sur l'échantillon, les habitations comprennent quasiment toujours une production solaire. La variabilité des taux de couverture solaire, de 10 à 80 %, est liée à la situation géographique (25 % en Bretagne, 40 à 80 % en Rhône-Alpes), aux besoins, mais aussi à des dysfonctionnements divers, y compris de l'appoint (mauvais positionnement du clapet anti-retour ou de la sonde de température dans le ballon...). Dans 60 % des cas, la couverture solaire est supérieure à 30 %.

Le recours à la **production centralisée** entraîne par ailleurs une augmentation importante de la consommation d'énergie en habitation collective, de par les pertes de bouclage et de stockage (jusqu'à 50 % de la consommation). Celles-ci pourraient être mieux maîtrisées, notamment par un calorifugeage plus poussé des réseaux.

Les bâtiments tertiaires de bureaux et d'enseignement comportent systématiquement des ballons électriques, dont la consommation est non négligeable (entre 2 et 18 kWh_{EP}/m²/an).

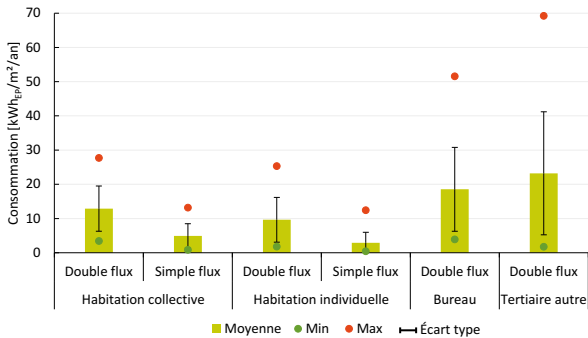


Les besoins d'ECS évalués sont presque toujours inférieurs à la valeur conventionnelle (écart moyen de 50 %) quel que soit le système de production. Ils varient entre 2 et 20 kWh_{EP}/m²/an et sont fortement liés à l'usage. Une estimation précise du besoin permet d'optimiser le dimensionnement des équipements souvent jugés surdimensionnés par leurs utilisateurs.

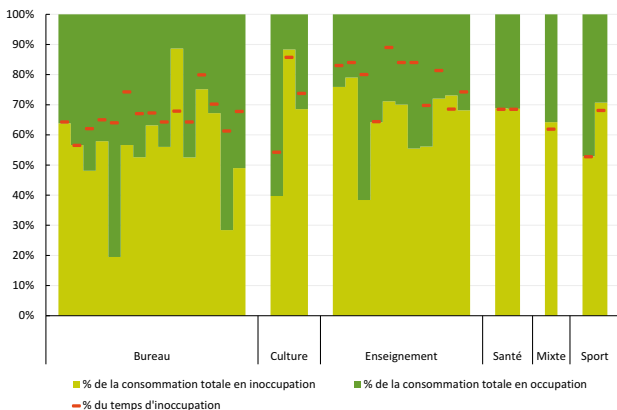
5.3. Ventilation

Dans les bâtiments fortement isolés thermiquement et sans fuites d'air parasites, le poste de **déperdition par ventilation** occupe une place plus importante au niveau du bilan thermique. La consommation de chauffage y est d'autant plus sensible. L'efficacité des échangeurs de récupération d'énergie sur air extrait des VMC double flux s'avère très bonne (supérieure à 70 %) et les dysfonctionnements peu fréquents.

La **consommation des ventilations** hygroréglables en habitation individuelle peut être très faible, inférieure à 3 kWh_{ep}/m²/an. Mais le double flux, du fait de la récupération de chaleur et des débits plus élevés, a une consommation pouvant avoisiner les 15 kWh_{ep}/m²/an en habitation collective, voire davantage en tertiaire, ce qui vient réduire l'intérêt des gains thermiques obtenus par les échangeurs.



Dans plus de la moitié des cas étudiés en bâtiments tertiaires, les consommations de ventilation en période d'inoccupation représentent plus de 60 % de la consommation de ventilation.



Avant même le terme des deux premières années d'occupation, les **filtres des échangeurs** peuvent être très encrassés à défaut d'entretien, ce qui réduit les débits, et donc la qualité de l'air, et entraîne une usure prématurée des moteurs.

Dans les logements, tous systèmes de ventilation confondus, la moitié des personnes interrogées témoignent de difficultés à s'approprier ou à régler leur équipement, davantage pour les locataires que pour les propriétaires.

Dans le cas des systèmes double-flux, ces difficultés engendrent des dysfonctionnements (régulation des débits ou d'arrêt de ventilation) et peuvent porter préjudice à l'intérêt énergétique du système et à la qualité de l'air des bâtiments.

Pour le confort d'été, la **ventilation nocturne** est encore plus indispensable pour éviter le confinement des apports internes et solaires. Quand il est possible, le recours à l'ouverture des fenêtres, en plus d'être non consommateur d'énergie, est plus efficace que la VMC.

5.4. Auxiliaires de chauffage et d'eau chaude sanitaire

Les auxiliaires de chauffage et d'ECS consomment entre 2 et 15 kWh_{ep}/m²/an. En habitation individuelle, des consommations importantes ont été mesurées hors période de chauffe traduisant en

partie l'absence d'arrêt des pompes de chauffage l'été. En habitations collectives, des dérives ont également été constatées sur la pompe de bouclage. Dans les bâtiments tertiaires, l'été, les consommations sont réduites. Malgré tout dans certains cas, le fonctionnement des auxiliaires n'est pas asservi à la présence entraînant des surconsommations.

Les quatre causes de dérives des consommations pour les pompes sont :

- une durée de fonctionnement trop longue ;
- une puissance installée trop élevée ;
- des pompes à débit variable non paramétrées ;
- des pompes de puissance non adaptée à la surface de l'habitation, notamment dans le cas de constructions groupées.

5.5. Refroidissement

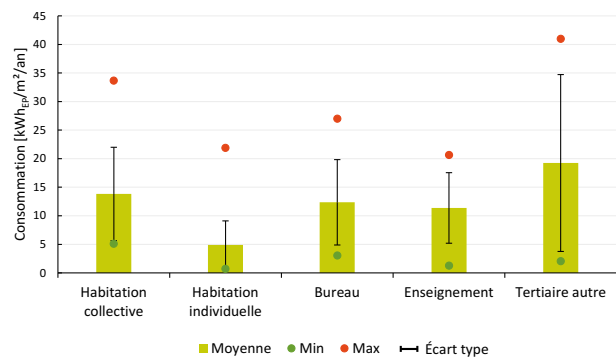
La consommation de refroidissement dans les bureaux oscille entre 5 et 19 kWh_{ep}/m²/an.

Quatre causes principales de dérives des consommations ont été identifiées :

- un pilotage par l'occupant non maîtrisé ;
- un groupe froid non asservi au fonctionnement de l'émission ;
- une climatisation encore active en hiver ou hors occupation ;
- une climatisation installée ou activée suite à des plaintes, sans qu'aucune régulation ne soit mise en place.

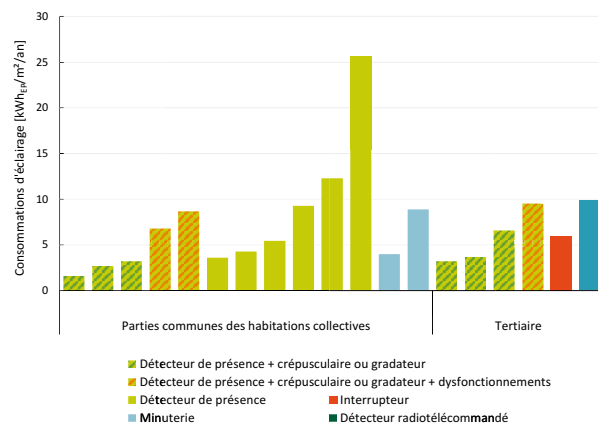
5.6. Éclairage

Les consommations d'éclairage restent très dépendantes de la durée de fonctionnement déterminée par les usages. Elles sont donc très variables d'un bâtiment à l'autre.



Dans le champ réglementé (*i. e.* hors ascenseurs, sécurité incendie, parkings et extérieurs), le niveau de consommation se situe autour de 7 kWh_{ep}/m²/an en habitation et 11 kWh_{ep}/m²/an dans les bâtiments tertiaires.

En tertiaire, plus de 30 % de la consommation d'éclairage a lieu en période d'inoccupation. Des dérives importantes peuvent être constatées, avec des consommations d'éclairage supérieures à 20 kWh_{ep}/m²/an dans plusieurs cas. Les éclairages permanents (notamment extérieurs), les dysfonctionnements des détecteurs et les éclairages de sécurité expliquent en partie ces consommations.



En tertiaire et dans les parties communes des habitations collectives, la consommation d'éclairage dépend principalement du choix et du réglage de l'automatisme de commande.

Les temporisations sont rarement réglées de façon optimale (par exemple, trop longue pour un minuteur et trop courte pour un détecteur de présence) et ne prennent pas en compte l'usage. Les capteurs ne sont pas positionnés de manière cohérente par rapport à l'apport de lumière naturelle limitant l'adaptation à l'évolution de l'éclairage naturel. Des dysfonctionnements récurrents sont observés : fonctionnement permanent de l'éclairage, temporisation non adaptée, pannes de certains capteurs ou seuil de luminosité déréglé.

Consommations d'éclairage et apports de lumière naturelle (ratio de surface de baie par rapport à la SHON) n'apparaissent corrélés que dans les bâtiments de bureaux.

5.7. Autres équipements immobiliers

(champ non réglementé)

La consommation des équipements immobiliers varie :

- de 2 à 6 kWh_{ep}/m²_{SHON}/an dans les bâtiments tertiaires ;
- jusqu'à 11 kWh_{ep}/m²_{SHAB}/an en habitation collective (principalement dans les parties communes).

Les ascenseurs et l'éclairage de sécurité sont les principaux postes de consommation. Les blocs autonomes d'éclairage de sécurité (BAES) ont des consommations qui varient entre 14 et 108 kWh_{ep}/bloc/an selon les types d'appareils.

La consommation des ascenseurs varie de :

- 0,5 à 3 kWh_{ep}/m²_{SHON}/an dans les bâtiments de bureaux ;
- 3 à 4,5 kWh_{ep}/m²_{SHAB}/an en habitat collectif.

Elle dépend surtout :

- de la puissance de veille ;
- de l'éclairage de la cabine (parfois permanent) ;
- et du contrôle commande de la cabine.

La part de la motorisation représente souvent moins de 15 % de la consommation totale (pour des immeubles de moins de sept étages).

5.8. Les équipements mobiliers

(champ non réglementé)

■ La bureautique

En moyenne sur l'échantillon, un ordinateur portable a une consommation de 111 kWh_{ep}/an, cinq fois moindre qu'un ordinateur fixe (565 kWh_{ep}/an). Un ordinateur portable muni d'un écran supplémentaire reste deux fois et demie moins énergivore qu'un ordinateur fixe.

La consommation des salles serveur est très élevée de par :

- une puissance de fonctionnement élevée ;
- un fonctionnement permanent ;
- une climatisation dédiée pour maintenir le local à basse température ;
- les pertes de l'onduleur.

L'optimisation du réglage de mise en veille des imprimantes et photocopieurs peut aboutir à de substantielles économies d'énergie (pour une imprimante, cela a permis de réduire de 60 % sa consommation annuelle). Certains de ces appareils ne disposent pas de coupure de courant programmable et délivrent une puissance de 120 W en veille.

■ Les autres équipements mobiliers*

Un distributeur de café a une consommation de l'ordre de 2000 kWh_{ep}/an, similaire à cinq ordinateurs fixes ou dix-neuf ordinateurs portables.

■ La coupure électrique en période d'inoccupation

La mise en place de prises programmables sur tous les équipements mobiliers (ou leur asservissement à une autre programmation comme celle de l'alarme anti-intrusion) induit une réduction des consommations d'un facteur 1,5 à 3 pour les fontaines à eau et les

machines à café. Toutefois, la coupure par plateau de bureaux ne s'est pas toujours révélée efficace, à défaut d'organisation de leur gestion ou d'information des occupants.

5.9. Les installations photovoltaïques

Les installations photovoltaïques permettent de produire jusqu'à 175 kWh_{ep}/m²_{panneaux}/an et plus de 1 200 kWh_{ep}/kwc/an (énergie finale). La productivité des panneaux est intéressante partout en France et sur l'ensemble de l'année, les installations les plus productives de l'échantillon étant situées en Franche-Comté.

Ces productions peuvent être obtenues à condition que l'installation :

- fonctionne toute l'année (la production mensuelle de mars à septembre étant supérieure à 10 %) ;
- soit orientée plein sud et inclinée ;
- ne présente aucun dysfonctionnement tel que l'absence de raccordement, les pannes des onduleurs ou les panneaux endommagés par des surchauffes.

En tertiaire, propriétaire et occupant sont souvent deux structures différentes. Veiller, dès le contrat de location, à bien répartir les actions liées à la présence de panneaux (maintenance, suivi de la production, paie d'un amortissement par le locataire...) est essentiel pour la gestion et le maintien en fonctionnement des équipements de production.

6 Pratiques des acteurs

La performance énergétique ne peut être atteinte qu'avec le concours de tous les acteurs du bâtiment, de la maîtrise d'ouvrage à l'utilisateur. S'ajoute le degré de motivation au regard des enjeux énergétiques qui, pour les acteurs de la construction-rénovation, semble d'avantage porté par l'enjeu d'image que par l'accès aux subventions bien que les différentes motivations aient tendance à se combiner.

Dans tous les cas, l'engagement des équipes de **maîtrise d'ouvrage** et de **maîtrise d'œuvre** est essentiel pour atteindre cette performance énergétique. Il permet une meilleure anticipation des différents enjeux énergétiques et humains dès la phase de conception, et induit la production d'un cahier des charges complet et rigoureux à destination des entreprises. Les enjeux de pilotage des installations mais aussi d'entretien, bien que cruciaux, ne sont néanmoins pas toujours suffisamment anticipés.

Des relations de bonne qualité entre les différents acteurs du chantier (maîtrise d'ouvrage, maîtrise d'œuvre, architecte, bureaux d'études et entreprises), comme cela est observé pour la majorité des bâtiments du panel, sont nécessaires à l'atteinte de la performance énergétique et sont une première étape pour des retours positifs sur la qualité de l'enveloppe et de l'isolation.

L'enjeu énergétique n'est pas toujours prioritaire pour les **occupants**. Les enjeux de confort étant importants, il convient de prendre en compte les besoins, les attentes et les compétences de ce dernier pour espérer atteindre la performance souhaitée.

Les pratiques des utilisateurs susceptibles d'entraver la performance énergétique sont souvent liées à :

- la difficulté de piloter ou entretenir les équipements du bâtiment pour diverses raisons, allant de la complexité du système à des habitudes culturelles contre-productives ;
- un inconfort ressenti les amenant à modifier ceux-ci.

C'est notamment le cas dans les bâtiments où :

- l'occupant n'a pas la main sur les systèmes (ou ne sait pas les utiliser) ;
- un système est défaillant (chauffage, ventilation, protection solaire...) ;
- la conception conduit à un inconfort (manque de prise en compte du contexte externe comme une rue bruyante ou un risque d'intrusion).

L'utilisateur peut alors avoir l'impression de subir les choix réalisés pour atteindre la performance, ce qui accentue son sentiment d'inconfort et nuit à l'atteinte des objectifs.

* Seules les machines à café bénéficient d'un échantillon suffisant pour en tirer un ratio de consommation.

Les prestations d'**entretien** des bâtiments et de leurs équipements se réduisent souvent à celles exigées par la réglementation (équipements de chauffage, ascenseurs, secours...). L'intervention ne vise pas spécialement la performance énergétique. Les contrats de maintenance et les contrats avec intéressement renforcent la régularité du suivi et engagent les acteurs dans une démarche de maintien des performances énergétiques.

7 Confort thermique

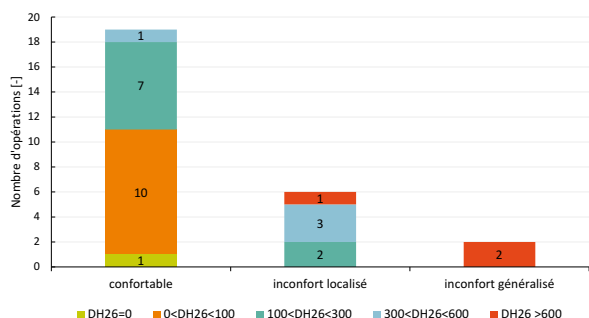
En hiver

Le confort thermique dans les bâtiments de l'échantillon est jugé globalement satisfaisant par les occupants, en cohérence avec les mesures, du fait de la forte isolation thermique des parois qui ne présentent pas de rayonnement froid, et des équipements de chauffage qui assurent des ambiances confortables.

En été

La forte isolation des bâtiments à basse consommation permet de réduire les apports solaires au travers des parois opaques, ce qui procure un meilleur confort d'été sous réserve de maîtriser l'accumulation de chaleur en journée et d'évacuer celle-ci la nuit (à défaut de pouvoir le faire *via* les parois fortement isolées).

Globalement les ambiances d'été à l'intérieur des bâtiments sont jugées confortables d'après les résultats des enquêtes et de l'analyse du confort en tenant compte à la fois de la durée et de l'intensité de l'inconfort (basée sur un seuil de confort de 26 °C évoluant en fonction de la température extérieure). Des inconforts localisés et ponctuels sont constatés dans 30 à 40 % des cas.



Les bâtiments suivis sont davantage conçus pour capter les apports solaires en hiver, et les confiner avec les apports internes au moyen de leurs forte isolation et étanchéité. Ils demandent donc une bonne maîtrise, à la fois des protections solaires pour réduire les apports solaires (utilisation en journée), de l'inertie pour amortir les apports internes et solaires, et de la ventilation pour les évacuer (ouverture des fenêtres la nuit...), et ce sur l'ensemble des zones climatiques.



* L'investissement est comptabilisé hors foncier.

L'implication des occupants dans la gestion thermique de leur bâtiment en été, fortement ancrée dans la zone méditerranéenne, est à généraliser sur l'ensemble du territoire.

Qualité d'usage

Globalement, les occupants sont satisfaits des bâtiments dans lesquels ils évoluent (92 % de satisfaction dans les logements et 62 % dans le tertiaire). Dans le tertiaire, les exigences des occupants peuvent être supérieures aux attentes dans le logement car il s'agit d'un lieu de travail et les retours négatifs peuvent cristalliser des plaintes diverses. La communication autour du bâtiment et de son fonctionnement et l'association de l'occupant régulier au projet, éléments qui facilitent l'appropriation de l'opération, sont des conditions de réussite d'un bâtiment performant.

Le confort acoustique est jugé satisfaisant dans 65 % des cas et dans 1/3 des cas, les désagréments proviennent du bruit des équipements, principalement la VMC.

Les occupants perçoivent positivement le confort lumineux (80 % des cas), mais dans certains cas l'éblouissement est tel, que les protections sont descendues et l'éclairage reste allumé tout au long de la journée.

L'accès à l'eau chaude sanitaire dans l'habitat est satisfaisant en termes de température d'eau, de volume disponible et de temps d'attente (83 % des cas). Les plaintes sont plutôt concentrées dans les bâtiments d'habitat collectif du fait d'un temps d'attente lié au bouclage, parfois jugé trop long.

8 Coûts

■ Dans les opérations neuves

Pour atteindre un niveau de performance énergétique meilleur que celui des bâtiments répondant exactement aux exigences réglementaires RT 2005, un effort de **surinvestissement** de 20 % pour les maisons individuelles (12 opérations) et de 10 % pour les logements collectifs (6 opérations) a été consenti. Il concerne principalement le traitement de l'enveloppe et le choix d'équipements plus performants. L'investissement* pour la construction des bâtiments de bureaux (6 opérations) se situe entre 1 000 et 1 900 €/HT/m²_{SHON}. Ces efforts d'investissement ne sont pas seulement portés sur la réduction des consommations énergétiques. La performance énergétique atteinte permet une baisse importante des coûts énergétiques : en moyenne divisés par quatre par rapport à ceux du bâtiment RT2005 pour l'habitation individuelle et par deux pour l'habitat collectif.

L'analyse en coût global, en approche environnementale (coûts énergétiques, coûts d'entretien, coûts de remplacement et externalité CO₂, sans valeur résiduelle) révèle que les surinvestissements pour la construction neuve sont compensés au bout de trente ans pour plus de la moitié des opérations, le plus souvent dans l'habitat.

En approche financière (point de vue d'un investisseur), la compensation du surinvestissement est difficile à atteindre. Seuls 20 % des opérations présentent un temps de retour sur investissement inférieur à trente ans.

■ En rénovation

L'effort financier supplémentaire à la rénovation, associé à l'augmentation de la performance énergétique de la rénovation est très variable (de 14 % à 176 % sur notre échantillon composé de 7 opérations). Cet effort permet une baisse significative des consommations énergétiques (gain de deux à sept fois par rapport aux consommations du bâtiment après une rénovation au niveau de la réglementation thermique). En approche environnementale, pour la majorité des opérations, le surinvestissement est compensé sur 20 ans.

Une méthode de suivi et d'évaluation innovante développée par le Cerema

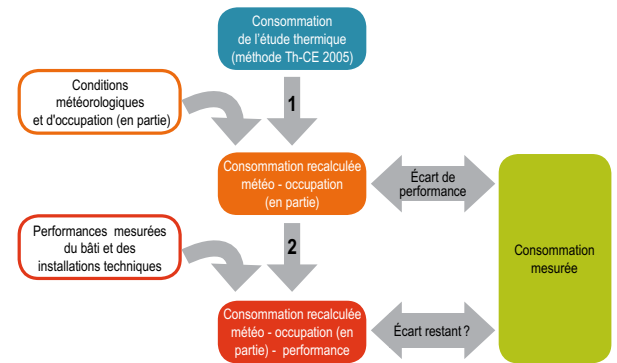
En matière de performance énergétique et de confort, la méthode adoptée dans les suivis-évaluations effectués par le Cerema présente plusieurs aspects innovants :

- caractérisation de la performance d'**isolation thermique** de l'enveloppe du bâtiment **par la mesure**, et par enquête auprès des utilisateurs, par différence des flux entrants et sortants de l'enveloppe ($U_{\text{bât évalué}}$) ;
- caractérisation de la **température intérieure de consigne** par la méthode d'analyse statistique des températures intérieures mesurées pendant l'occupation et la fourniture du chauffage ;
- transposition du calcul de l'étude thermique réglementaire (méthode Th-CE) dans les conditions observées du climat et d'une partie des modes d'occupation, pour obtenir des « **consommations recalculées avec les conditions observées** » de nature comparable (cf. étape 1 du schéma ci-contre) ;
- évaluation quantifiée des **effets sur les consommations des écarts de performance** de l'enveloppe ($U_{\text{bât évalué}}$ et perméabilité à l'air) et des systèmes (efficacité des échangeurs thermiques sur l'air, rendement des chaudières...), à l'aide du moteur de calcul dynamique de la réglementation thermique (cf. étape 2).

Cette approche permet, en outre, d'apporter des **explications sur les écarts de consommation globale**, en distinguant les paramètres de conditions météorologiques et d'occupation de ceux de la performance intrinsèque du bâtiment (bâti et équipements techniques), et en différenciant l'effet de chacun d'eux.

Concernant le confort thermique, la méthode développée est basée sur l'agrégation de données mesurées de température et d'hygrométrie intérieure en période d'occupation, en ayant

recours à plusieurs indicateurs de confort. En particulier, pour le confort d'été, un **nombre d'heures d'inconfort** acceptable est calculé avec la norme du confort adaptatif qui prend en compte l'adaptation physiologique dans la durée. Des enquêtes auprès des occupants complètent les mesures.



Ensuite, en mettant côte à côte les différents bâtiments, la capitalisation de leurs évaluations permet de tirer des enseignements quantifiés de l'impact de la variation d'un paramètre sur la consommation, que ce soit pour les modes d'occupation (température, apports internes, réduits...) ou pour les performances des composants du bâtiment.

Tous ces éléments peuvent être consultés dans le rapport complet de capitalisation 2012-2019.

En complément

Livrets « Agir »

Les constats de performances et de pratiques ont permis de dégager des recommandations d'actions concrètes, avec leur impact sur la consommation et le confort, ainsi que les conseils en phases de conception, réalisation ou utilisation des bâtiments et les points de vigilance au regard des autres besoins à satisfaire. Des livrets les regroupent par corps d'état et sur le confort.

Livrets « Conduire une instrumentation »

Les instrumentations menées par le Cerema ont fait l'objet d'un référentiel commun. Celui-ci a été ajusté, consolidé et complété avec l'expérience accumulée sur le plan opérationnel, selon les différents contextes rencontrés. Cette capitalisation est également mise à disposition des acteurs sous forme d'une série de livrets.

Base de données

Les données de mesures et autres résultats sur la réalité des consommations, des performances, des pratiques, de l'usage et des coûts sont regroupés dans une base de données sur Internet.

Le Cerema

Le Cerema poursuit cette capitalisation unique, avec une diffusion continue des enseignements sur Internet.

Il reste pleinement impliqué dans l'exploitation des données accumulées, dans les travaux sur la mesure et l'évaluation de la performance réelle et dans le développement de guides et outils.

Il peut également accompagner les acteurs pour l'obtention effective des consommations escomptée.

Collection

Références

ISSN : 2276 - 0164

2021/05

© 2021 - Cerema

La reproduction totale
ou partielle du document
doit être soumise à
l'accord préalable
du Cerema

En savoir plus

- Rapport de capitalisation 2012-2019, livrets « Agir » et plus sur :
 - www.cerema.fr/fr/actualites/batiments-demonstrateurs-basse-consommation-energie
 - <https://pedagogie-rexpb.qualiteconstruction.com>
 - <https://www.ademe.fr/expertises/batiment/quoi-parler-t/batiments-demonstrateurs-programme-prebat>
 - www.ecologie.gouv.fr/energie-dans-batiments#scroll-nav__5

Publications du Cerema : www.cerema.fr

Contacts

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

Accompagnement du Cerema

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