



ADEME

Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Énergie

LES ENSEIGNEMENTS DU PROGRAMME PREBAT SUR LES BÂTIMENTS PERFORMANTS EN NORMANDIE

Le Programme de recherche et d'expérimentation sur l'énergie dans le bâtiment (PREBAT) a été initié par le plan climat 2004-2012 pour expérimenter et diffuser de nouvelles solutions permettant l'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments neufs et existants, résidentiels ou tertiaires. Ce programme est porté par l'ADEME et la Direction générale de l'aménagement, du logement et de la nature du Ministère de la Transition écologique et solidaire depuis 2006. Les principaux enseignements de ce programme sont exposés ci-après.

L'un des volets du PREBAT concerne l'analyse de la performance réelle de bâtiments performants via des suivis instrumentés, des observations et des enquêtes, qui vise à :

- apprécier la nature des travaux réalisés en phase chantier au regard de la conception et des marchés de travaux et évaluer la qualité de la mise en œuvre des produits ;
- mieux connaître l'utilisation et la performance réelle des bâtiments en exploitation à travers un suivi réalisé pendant deux années.

L'ADEME Normandie a initiée dès 2008 un appel à projets pour sélectionner des projets de bâtiments performants par rapport à leur époque de construction : niveau BBC RT 2005, Passivhaus ou BBC-Rénovation.

Pas moins de 20 opérations ont été sélectionnées jusqu'à aujourd'hui en Normandie pour faire l'objet d'une telle évaluation des performances par le Cerema Normandie-Centre :

- 10 opérations de maisons individuelles
- 3 opérations de logements collectifs
- 8 bâtiments tertiaires avec des usages variés comme hôpital, gîte, bureaux et gymnases.

Soit au total :

- 15 opérations neuves dont 14 de niveau BBC RT 2005 (Bâtiment Basse Consommation) et 1 opération collective RT2012 de niveau Passivhaus
- 5 opérations de réhabilitation de niveau BBC-rénovation

Objectifs en Normandie (zone climatique H1a)

BBC RT 2005

- logement → $Cep \leq 65 \text{ kWhEP/m}^2.\text{an}$
- tertiaire → $Cep < Cep \text{ réf} - 50 \%$

BBC-rénovation

- logement → $Cep \leq 104 \text{ kWhEP/m}^2.\text{an}$
- tertiaire → $Cep < Cep \text{ réf} - 40 \%$

L'indicateur Cep, exprimé en énergie primaire, correspond à la consommation conventionnelle du bâtiment comprenant le chauffage, le refroidissement, l'éclairage, la production d'eau chaude sanitaire et les auxiliaires (pompes et ventilateurs), calculée avec le moteur de calcul réglementaire.

Le PREBAT arrivant à son terme, des enseignements peuvent en être tirés, avec pour objectif d'améliorer la performance énergétique des bâtiments, tant sur le plan technique (des performances par composant, aux performances plus globales) que sur celui de la qualité d'usage et de service rendu (appréciation du confort du point de vue de l'utilisateur) pour inspirer les futures constructions et réhabilitations.





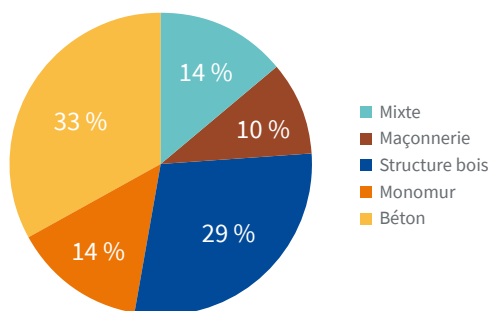
→ Plusieurs enseignements sur l'enveloppe

Les murs

La performance peut être atteinte quel que soit le principe constructif dès lors que :

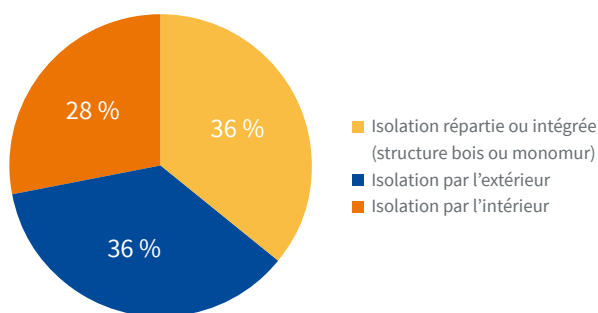
- l'épaisseur d'isolant est suffisante ;
- la continuité de l'isolation et sa mise en œuvre sont soignées.

PRINCIPES CONSTRUCTIFS RENCONTRÉS



De même, toutes les configurations d'isolation peuvent être envisagées : stratégie et matériaux.

STRATÉGIE RENCONTRÉE POUR L'ISOLATION DES MURS



L'isolant retenu est, dans 48 % des cas, la laine minérale mais la performance est également atteinte avec le polyuréthane, le polystyrène ou des isolants biosourcés comme la ouate de cellulose (24 % des cas), la laine de bois, le chanvre ou la laine de mouton, qui ont un impact plus faible sur l'environnement.

Les fenêtres

L'insertion de triple vitrage n'est pas obligatoire pour l'atteinte de la performance.

Sur ces bâtiments performants, ce choix reste à la marge et parfois uniquement pour certaines orientations du bâtiment (typiquement au Nord) : 90 % des opérations ont retenu le double vitrage, tout en incluant la performance.



Performance thermique

La performance thermique de l'enveloppe se caractérise par le coefficient de déperdition par transmission thermique $U_{bât}$ (en $W/m^2.K$).

Bâtiment performant = $U_{bât}$ faible

Sur ces bâtiments, les choix de conception aboutissent à une valeur cible relativement faible : moyenne de $0,38 W/m^2.K$ pour les bâtiments neufs (variation entre $0,27$ et $0,60 W/m^2.K$).

Viser une valeur inférieure à $0,5 W/m^2.K$ paraît donc réaliste.

Le $U_{bât}$ réel a pu être évalué par le Cerema pour plusieurs opérations, à partir de l'instrumentation, avec une méthodologie spécifiquement développée par le Cerema dans le cadre du PREBAT. Bien qu'il soit en général supérieur à la valeur déterminée en conception du fait des aléas de la mise en œuvre (pas de défaut majeur mais quelques défauts de pose d'isolant ou de traitement de pont thermique) ou de modifications du projet, le $U_{bât}$ réel reste en moyenne inférieur à $0,40 W/m^2.K$. Cela montre que la performance visée est atteignable si la mise en œuvre est soignée.



Perméabilité à l'air

La perméabilité à l'air, caractérisée par le Q4, est un autre indicateur de la performance de l'enveloppe : elle rend compte de l'étanchéité à l'air et donc des fuites d'air (fuites de calories en période de chauffage). Des mesures ont été réalisées sur les différentes opérations une fois réceptionnées et concluent à un traitement plutôt performant de l'étanchéité à l'air :

VALEURS MOYENNES MESURÉES PAR DESTINATION D'USAGE - INDICATEUR Q4

Bâtiment performant = Q4 faible ($\text{m}^3/\text{h.m}^2$)

- Maisons (9 opérations) : $0,45 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$ (pour rappel, $Q4_{\text{max}} = 0,6 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$).

Viser la valeur limite de $0,6 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$ paraît donc réaliste.

- Tertiaire gymnase (2 opérations) : $0,64 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$

Ces valeurs de Q4 performantes résultent d'une sensibilisation des entreprises, pendant le chantier, à cette problématique nouvelle en 2006, ce qui a permis la montée en compétence des acteurs impliqués : réflexion sur la conception de l'enveloppe (ajout de matériau étanche à l'air), sur les méthodes de mise en œuvre (traitement des jonctions comme par exemple fenêtres/murs), suivi de formation, démonstration via des tests intermédiaires...

Cette étanchéité à l'air perdure relativement bien dans le temps.

L'ADEME Normandie a mené en 2015 une analyse comparative des résultats à réception des bâtiments et des mesures jusqu'à 6 ans d'exploitation, sur 30 maisons individuelles BBC représentatives (panel différent) :

- l'indicateur Q4 s'est détérioré en moyenne de $0,19 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$ quels que soient le type de maître d'œuvre, l'architecture et le mode constructif mais reste inférieur à la limite $0,6 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$;
- les maisons à étage, en structure béton ou en bois, sont surtout concernées par une détérioration de la valeur dans le temps, très peu celles en brique ou de plain-pied ;
- les principaux points de dégradation constatés dans le temps concernent les liaisons parois/ouvrants ou celles avec des équipements (hotte, poêle...), parfois ajoutés après la réception des bâtiments. Les finitions (plinthes, revêtements de sol...) en revanche sont plutôt bénéfiques pour les fuites au niveau des liaisons périphériques ;
- certaines fuites deviennent plus impactantes : jeu au niveau des menuiseries, éléments entravant la fermeture des ouvrants, dégradation des joints sur les charpentes apparentes traversant le doublage isolant, modification du tableau électrique, ajout de luminaires non étanches et craquellement de joints.





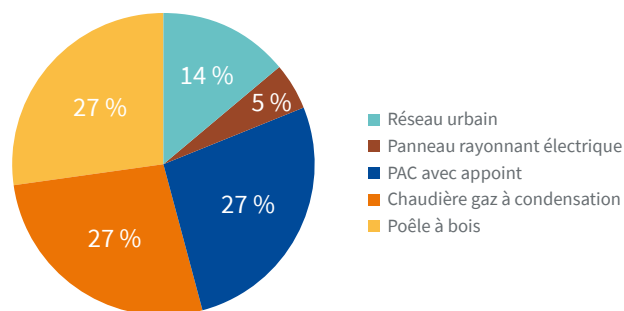
→ Plusieurs enseignements sur les systèmes énergétiques

La performance visée est atteinte avec des systèmes variés, sans présélection particulière, y compris avec des systèmes simples.

Chauffage / eau chaude sanitaire (ECS)

La performance est atteinte avec les différentes énergies : gaz, électrique ou bois.

SYSTÈME DE CHAUFFAGE RENCONTRÉ



Pour les installations à eau chaude, les émetteurs sont en général des radiateurs basse température ou des planchers chauffants. La régulation du fonctionnement du système par l'utilisateur est possible via les sondes d'ambiance et les robinets thermostatiques.

Dans la majorité des cas, l'ECS est couplée au chauffage.

Certaines opérations sont néanmoins équipées de :

- système d'ECS solaire avec appoint (chaudière, réseau urbain ou électrique). Les couvertures solaires peuvent alors être intéressantes : moyenne annuelle évaluée à 87 % et 41 % pour les 2 opérations de logements équipées. Toutefois, des dysfonctionnements ont été rencontrés sur les opérations tertiaires où les couvertures solaires annuelles évaluées étaient inférieures à 10 % ;
- ballons thermodynamiques ;
- système tout-en-un chauffage/ECS/ventilation ou chauffage/ECS combiné, avec appoint.

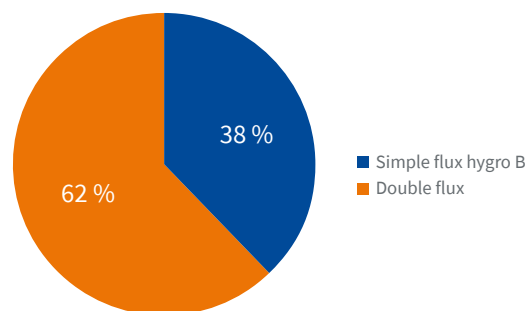
Pour d'autres opérations tertiaires, les besoins en ECS étant faibles, le choix s'était porté sur des ballons électriques, près des points de puisage.

Ventilation

La performance est atteinte avec une ventilation simple flux hygro B ou avec une double flux avec échangeur.

Pour ces opérations, les deux systèmes sont fréquents en résidentiel alors que le double flux équipe de façon préférentielle le tertiaire.

SYSTÈME DE VENTILATION RENCONTRÉ



Pour les opérations concernées, les échangeurs des ventilations double flux affichent des rendements plutôt intéressants : les rendements moyens évalués sur l'année sont compris entre 56 % et 91 % avec 4 valeurs sur 7 supérieures à 70 %. Ils sont proches des valeurs utilisées dans le calcul réglementaire et même supérieurs pour plusieurs opérations.

A noter qu'une opération utilise un système de puits canadien avec un très bon rendement : évalué à 88 % pour 81 % annoncé.

Ces deux systèmes (ventilation double flux et puits canadien), plus compliqués que la ventilation simple flux, permettent de viser une performance supplémentaire ou de compenser une enveloppe un peu moins performante du fait, par exemple, de contraintes particulières.

Optimisation du fonctionnement des systèmes

Quelques préconisations pour l'optimisation du fonctionnement des systèmes :

- **optimiser la conception** : réflexion à mener sur le dimensionnement des installations pour un fonctionnement optimal et sur le choix des systèmes en anticipant



les nécessités et coût de l'exploitation-maintenance (remplacement obligatoire des filtres des ventilations double flux ; coût de la consommation des pompes de bouclage d'ECS ; maîtrise du fonctionnement par l'exploitant sous contrat)...

- **optimiser la mise en œuvre** : attention à porter sur l'installation des systèmes, des dysfonctionnements étant constatés dès réception du bâtiment (mauvais raccord, problème d'équilibrage, de programmation, mauvais réglages initiaux...);

- **optimiser l'utilisation** : communication aux usagers et à l'exploitant, sur la prise en main du fonctionnement des systèmes, et sur les comportements vertueux et amélioration/programmation des réglages tout au long de la vie du bâtiment (reprise du paramétrage, des scénarios de fonctionnement des équipements, des valeurs de consigne... en fonction de l'usage et des modifications du bâtiment).

→ Plusieurs enseignements sur le confort des usagers

Confort d'hiver et température de consigne

Les occupants jugent les différents bâtiments confortables en hiver : la température de consigne du chauffage est réglée pour que l'ambiance soit agréable, certes parfois après un nouveau paramétrage suite à des plaintes.

La méthode PREBAT, développée par le Cerema, permet d'évaluer la température de consigne pratiquée dans les bâtiments.

En logement, elle est en moyenne de 20°C avec de fortes variations : des occupants règlent pour avoir une ambiance à 18,5°C alors que d'autres retiennent 21,6°C.

C'est aussi le cas en tertiaire, notamment en fonction des destinations d'usage :

- Hôpital (1 opération) : proche de 22,5°C
- Bureau (2 opérations) : proche de 24°C ou de 18°C pour un bâtiment avec des ateliers
- Gymnase (2 opérations) : 16°C ou 18,7°C, fonction d'un objectif de confort pour les spectateurs ou pour les joueurs

En comparaison, la température de consigne de la convention de la réglementation thermique vaut, en moyenne sur ces opérations, 20,7°C en logement, 18,8°C en bureau et 16,6°C pour les gymnases.

Pour les différents bâtiments, la température mesurée baisse peu la nuit et en inoccupation du fait de l'isolation des bâtiments, de leur inertie mais aussi parfois uniquement de

l'absence de programmation de réduit de fonctionnement. Les occupants et l'exploitant reviennent très rarement sur les paramétrages.

Confort d'été

Les occupants jugent les différents bâtiments plutôt confortables en été même si certains témoignent de situations de surchauffe qu'ils parviennent à éviter en adaptant leur comportement :

- nécessité d'adopter de nouvelles habitudes comme pour la gestion des volets, la fermeture des fenêtres ou la création de courant d'air avant qu'il commence à faire chaud à l'extérieur.

L'ajout de casquette et brise-soleil, en plus de l'enveloppe isolée, est également très bénéfique d'où l'importance d'une réflexion sur les apports solaires en phase conception.

C'est un sujet à ne pas oublier pour les futures constructions.

La méthode PREBAT permet d'évaluer la température intérieure conventionnelle des bâtiments qui correspond à la température moyenne intérieure des 3 heures consécutives les plus chaudes de l'année, obtenue par simulation. Cette température vaut en moyenne 28°C pour les logements, 27,5°C pour les bureaux et 29,5°C pour les gymnases. Ces températures reflètent les inconforts ponctuels rapportés, même si elles restent inférieures aux valeurs limites réglementaires.





→ Plusieurs enseignements sur l'impact des paramètres dans les études réglementaires

Le PREBAT a permis enfin d'analyser les sources d'écart entre la consommation réglementaire et la consommation mesurée. Cette recherche inédite montre que les écarts proviennent :

- **des données d'entrée des études thermiques**, parfois non remises à jour avec les modifications du projet, d'autres fois éloignées des performances réelles observées. Cela se vérifie pour la performance thermique des enveloppes et des systèmes.

Par ailleurs, certains fonctionnements n'ont pas pu être décrits précisément dans le logiciel réglementaire qui propose une liste de choix pour certains paramètres (la méthode ThCE a été utilisée dans la majorité des cas et elle décrit les configurations courantes. Des évolutions de calcul ont été apportées depuis, pour les versions postérieures).

- **des conventions réglementaires**, en particulier pour la météo, l'occupation et la température de consigne, différentes de la situation observée.

Pour ces opérations, dans 45 % des cas, le bâtiment a reçu plus de rayonnement solaire que dans la convention du calcul, expliquant une diminution du besoin de chauffage.

L'occupation a apporté plus d'apports internes (occupation plus longue et/ou avec plus d'activités) que dans la convention du calcul dans 62 % des cas, expliquant une diminution du besoin de chauffage.

La température de consigne pratiquée est supérieure à la convention du calcul dans 43 % des cas, expliquant une augmentation du besoin de chauffage.

- **des pratiques des occupants (modification des réglages, ouverture des fenêtres...)**, non ou mal intégrées dans le calcul réglementaire.

Les impacts sont toutefois variables et sans généralisation pour les différentes opérations.

Ainsi le climat du site (station météo installée), l'occupation réelle (résultats d'enquêtes croisés à des analyses de relevés) et la température de consigne pratiquée (analyse PREBAT) permettent parfois d'expliquer l'écart entre la consommation mesurée de chauffage et la consommation réglementaire, mais pas toujours. D'autres paramètres comme des imprécisions dans les études thermiques, un réglage des équipements non optimisé, une modification d'isolant ou une mauvaise appréhension de la bonne gestion du chauffage par les occupants peuvent impacter autant, plus ou moins, sans règle simple.

Ce constat se vérifie aussi pour la consommation des autres postes réglementaires, ECS, auxiliaires dont ventilation, éclairage, refroidissement et pour la production photovoltaïque.

Ces enseignements doivent sensibiliser les différents acteurs à leur rôle dans l'évaluation et l'atteinte de la performance. Par ailleurs, ils donnent des clés de compréhension de l'écart entre la consommation envisagée en conception et la facture énergétique.





RAPPEL SUR LA MÉTHODE D'ANALYSE EMPLOYÉE

Comparaison de la consommation mesurée à celles calculées par les moteurs de calculs en renouvelant les calculs en remplaçant les données conventionnelles par celles du site (météo, occupation, température de consigne pratiquée...), les données de conception par la performance observée in situ (rendement des systèmes, Ubat évalué de l'enveloppe) et analyse de la sensibilité des résultats à ces paramètres et des pratiques et du ressenti des occupants afin d'expliquer les écarts.

POUR ALLER PLUS LOIN

Ces enseignements normands sont intégrés à une capitalisation nationale, une démarche similaire ayant été menée dans les différentes régions. Les conclusions font l'objet de présentations lors de colloques nationaux et de publications mises à disposition.

- <https://www.cerema.fr/fr/centre-ressources/boutique/batiments-demonstrateurs-basse-consommation-energie-prebat>
- <https://www.cerema.fr/fr/actualites/3-colloque-batiments-demonstrateurs-basse-consommation-06>
- <https://www.ademe.fr/expertises/batiment/quoi-parle-t/batiments-demonstrateurs-programme-prebat>



Contacts en Normandie

Cerema Normandie-Centre

10 chemin de la Poudrière
CS 90245 - 76121 Le Grand-Quevilly Cedex
Tél 02 35 68 81 00
DADT.DTerNC@cerema.fr
www.cerema.fr

ADEME Direction régionale Normandie

30 rue Gadeau de Kerville
Immeuble "Les Galées du Roi"
76100 Rouen
Tél 02 35 62 24 42
normandie.ademe@ademe.fr
www.normandie.ademe.fr





L'ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Elle met ses capacités d'expertise et de conseil à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale. L'Agence aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, les économies de matières premières, la qualité de l'air, la lutte contre le bruit, la transition vers l'économie circulaire et la lutte contre le gaspillage alimentaire.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de la Transition écologique et solidaire et du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

LE CEREMA EN BREF

Le Cerema, centre d'études et d'expertises sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement, est l'établissement public de référence en matière d'aménagement, de cohésion territoriale et de transition écologique et énergétique. Centre de ressources et d'expertises scientifiques et techniques pluridisciplinaires, il apporte son concours à l'élaboration, la mise en œuvre et l'évaluation des politiques publiques.

Il intervient auprès des services de l'Etat, collectivités et entreprises pour développer, expérimenter et diffuser des solutions innovantes dans de nombreux domaines (mobilité, infrastructures de transport, urbanisme, construction, préservation des ressources, prévention des risques).



www.normandie.ademe.fr



010977

ISBN 979-10-297-1438-2



9 791029 714382