

CARACTÉRISTIQUES THERMIQUES DU PARC DE BÂTIMENTS SOUMIS À LA RT 2012





Un très bon niveau de **performance énergétique** -dans des conditions conventionnelles- est, depuis l'entrée en vigueur de la **RT 2012**, devenu une **obligation réglementaire pour les bâtiments neufs**. Dans ce contexte, ce document a pour objectif d'apporter des éléments d'éclairage sur les **solutions techniques** associées au respect de ces exigences ainsi que sur la sensibilité de la consommation conventionnelle à des paramètres exogènes aux techniques constructives (conditions d'occupation, aléas climatiques, dégradation des performances, ...):

- au travers d'une **caractérisation des différents constituants de la performance thermique** (systèmes de chauffage, d'eau chaude sanitaire ou de ventilation, niveau d'isolation de l'enveloppe) ;
- mais également au travers d'une **analyse de la variation de la performance thermique conventionnelle** au regard des principaux paramètres pouvant l'influencer (conditions d'occupation, performance des systèmes ou de l'enveloppe, conditions climatiques) ;

Afin de mener à bien cet objectif, la méthodologie développée par le CSTB repose sur une exploitation de la **base de données OPE** regroupant l'ensemble des modélisations thermiques des bâtiments respectant la RT 2012, c'est-à-dire l'ensemble des bâtiments neufs dont le permis de construire a été déposé à partir du 1^{er} janvier 2013.

LA BASE OPE

La base de données Observatoire de la Performance Énergétique -ou base OPE- regroupe l'ensemble des données de modélisations thermiques pour les bâtiments neufs soumis à la RT 2012. Sa composition est décrite dans l'annexe VI de l'arrêté du 26 octobre 2010 relatif aux caractéristiques thermiques et aux exigences de performance énergétique des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments. Chaque fiche reprend les données administratives du bâtiment, les exigences de performance énergétique, les caractéristiques thermiques et exigences de moyens (Bbio, Bbiomax, Cep et Cepmax, SHON RT, Tic), ainsi que le détail des entrées et sorties du calcul réglementaire. Propriété de la Direction de l'Habitat, de l'Urbanisme et des Paysages -DHUP-, elle est développée et administrée par le CSTB.

L'exploitation de cette base de données a été réalisée en mobilisant les **outils experts développés par le CSTB**. Couplant expertise métier et capacité à traiter un grand nombre de données, ces outils permettent de réaliser des traitements statistiques fins et de réaliser des volumes importants de simulations thermiques dans différentes configurations non conventionnelles (climat, usages, performance de l'enveloppe ou des systèmes) en fonction des objectifs recherchés. Près de 200 000 simulations thermiques dynamiques ont été réalisées pour les besoins de cette étude.

Pour en savoir plus : energiecarbone@cstb.fr



Ce document est divisé en **deux parties**. La première partie présente les **caractéristiques du parc de bâtiments neufs** en lien avec la performance énergétique (consommations conventionnelles, performances de l'enveloppe, types de systèmes mis en œuvre) ; la seconde partie analyse la **sensibilité de la performance thermique** conventionnelle au regard de paramètres liés aux conditions d'occupation, à la performance de l'enveloppe et des systèmes énergétiques, ou aux conditions extérieures.

Pour faciliter la lecture, les 13 typologies de bâtiments considérées dans la RT 2012 ont été regroupées pour les limiter à six catégories. Ainsi, les maisons individuelles isolées et les maisons individuelles groupées ont été traitées dans une unique catégorie, de même que les logements collectifs et les immeubles mixtes (qui sont principalement composées de surfaces de logements collectifs). Les bâtiments d'enseignement, de bureaux ou de commerces sont maintenus dans des catégories spécifiques. Les typologies de restauration, les bâtiments hospitaliers, les hôtels et équivalent, les gares et aérogares, les équipements sportifs ainsi que la typologie Autres sont regroupées dans une unique catégorie « Autres ».

n4

11

CARACTÉRISTIQUES THERMIQUES DES BÂTIMENTS NEUFS

– CONSOMMATION DU PARC DE BÂTIMENTS	04
– PERFORMANCE BIOCLIMATIQUE	06
– PRINCIPAUX SYSTÈMES ÉNERGÉTIQUES	80

SENSIBILITÉ DE LA PERFORMANCE THERMIQUE

- INTRO	11
– IMPACT DE LA TEMPÉRATURE INTÉRIEURE	13
– IMPACT DE LA PERFORMANCE DE L'ENVELOPPE	
OU DES GÉNÉRATEURS DE CHAUFFAGE	14
- IMPACT DES ALÉAS CLIMATIOUES	16



CARACTÉRISTIQUES THERMIQUES DES BÂTIMENTS NEUFS

CONSOMMATION DU PARC DE BÂTIMENTS

La consommation conventionnelle moyenne des bâtiments est variable suivant les différentes catégories de bâtiment considérées. La consommation moyenne des **logements individuels** est de 52,1 kWhep/m²ShonRT.an, soit une consommation assez proche des **logements collectifs** qui est de 57,3 kWhep/m²ShonRT.an. Pour les **bâtiments tertiaires**, on observe une forte variation entre **bâtiments d'enseignement** et les **bâtiments de bureaux** d'une part (respectivement 72,7 et 89,6 kWhep/m²ShonRT.an) et les **commerces ou autres bâtiments** d'autre part (respectivement 165,1 et 302,1 kWhep/m²ShonRT.an).

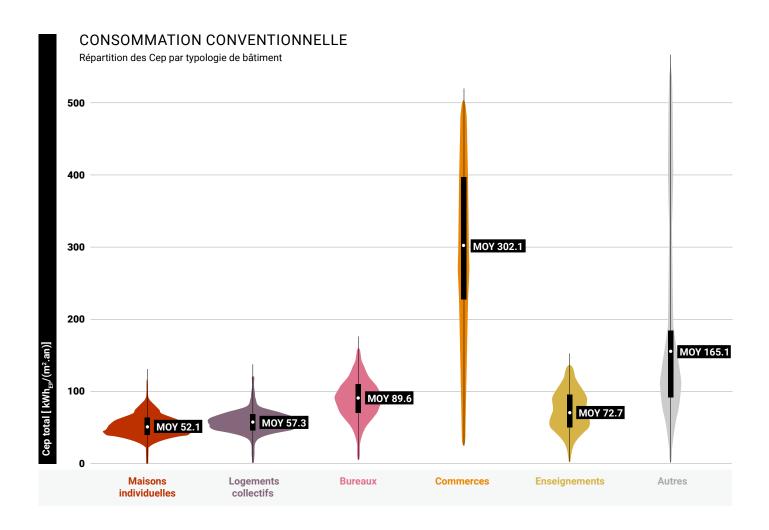
Ces niveaux de consommation sont en général inférieurs aux exigences de consommation maximale (le Cep max) de 10% à 25% environ. Et là encore, on observe une forte variabilité suivant les différentes catégories de bâtiment. Ainsi, les consommations conventionnelles pour

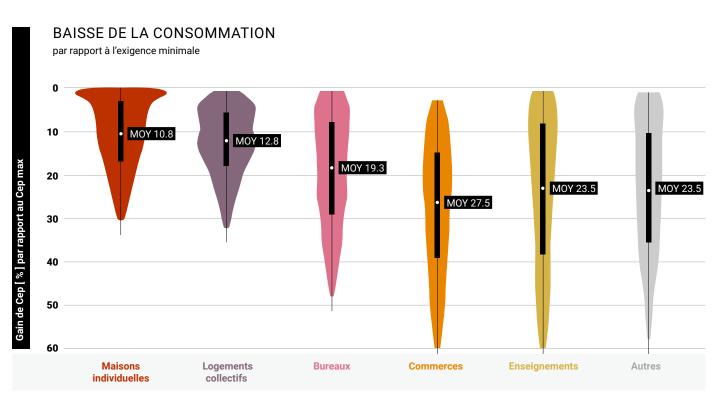
LE CEP ET LA CONSOMMATION CONVENTIONNELLE

Le Coefficient d'énergie primaire ou Cep, reflète la consommation énergétique modélisée à l'aide du cœur de calcul Th-BCE pour les cinq postes de consommation considérés dans la RT 2012 : le chauffage, le refroidissement, l'eau chaude sanitaire, l'éclairage et les auxiliaires (pompes et ventilateurs). Le Cep représente la consommation conventionnelle d'un projet. Il est exprimé en kWh d'énergie primaire consommés par m² de SHONRT. Une exigence de consommation maximale sur le Cep est intégrée dans la RT 2012.

les logements sont celles qui se rapprochent le plus des exigences : elles n'y sont inférieures que de 10,8% à 12,8% pour les logements individuels collectifs. Dans le tertiaire, la baisse par rapport aux exigences est plus marquée : de 19,3% pour les bâtiments de bureaux, elle peut atteindre à 27,5% pour les commerces.









PERFORMANCE BIOCLIMATIQUE

La performance énergétique conventionnelle d'un bâtiment repose sur deux principaux piliers : la performance du bâti, ou **performance bioclimatique**, et la **performance des systèmes énergétiques**. Suite à l'entrée en vigueur des différentes règlementations thermiques, la performance moyenne de l'enveloppe des bâtiments s'est largement accrue. Ainsi, à titre

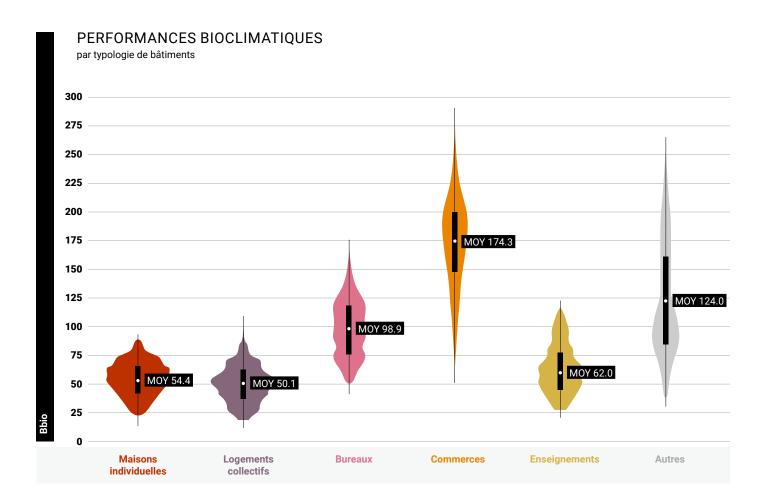
LE BBIO

Le Bbio, ou Besoin Bioclimatique, est l'une des trois exigences de la RT 2012. Ce coefficient caractérise le besoin en énergie des composantes liées à la conception du bâti (chauffage, refroidissement et éclairage). Il est indépendant des systèmes énergétiques mis en œuvre. Son optimisation dépend donc de paramètres intrinsèques au bâti (compacité, isolation, éclairage naturel, ...). Il est sans unités.

d'exemple, la performance thermique des murs des logements a été améliorée d'un facteur 8 au cours des 50 dernières années. Un travail sur la compacité du bâti ou sur les apports solaires permet également d'optimiser les performances bioclimatiques.

Avec les niveaux d'exigence élevés de la RT 2012, on observe une performance thermique du bâti assez homogène pour les logements, avec un Bbio de l'ordre de 50 à 55. Pour les bâtiments tertiaires, on observe une différence importante entre les bâtiments d'enseignements, avec un niveau de Bbio proche de celui des logements, et les autres typologies, pour lesquelles le Bbio est plus élevé.







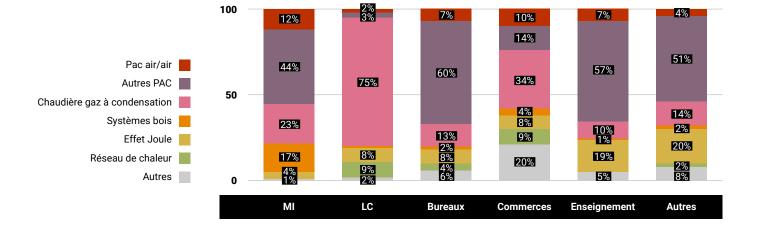
PRINCIPAUX SYSTÈMES ÉNERGÉTIQUES

Les principaux systèmes énergétiques concernés par la RT 2012 sont les systèmes de chauffage, de refroidissement, de production d'eau chaude sanitaire ou de ventilation.

Les principaux systèmes de chauffage sont les **chaudières gaz à condensation**, les **pompes à chaleur (PAC)**. Les **inserts bois** sont quasi-exclusivement mis en œuvre dans les logements individuels, et en particulier dans les logements individuels isolés. On observe par ailleurs une prédominance des chaudières gaz à condensation dans les logements, et en particulier dans les logements collectifs, où 75% des logements en sont équipés. Dans le tertiaire, les pompes à chaleur, notamment les PAC réversible prédominent. Toutes technologies confondues, les PAC équipent environ les deux tiers des bureaux et des commerces, un quart des bâtiments d'enseignement et la moitié des autres bâtiments tertiaires. Le chauffage à effet joule direct reste utilisé dans l'ensemble des typologies de bâtiments, ou il équipe au moins 4% des bâtiments, et jusqu'à un bâtiment sur cinq pour les commerces et les autres bâtiments. A l'inverse, le réseau de chaleur est un mode de chauffage significatif uniquement pour les logements collectifs et les bâtiments d'enseignement.

Répartition des différents

SYSTÈMES DE CHAUFFAGE

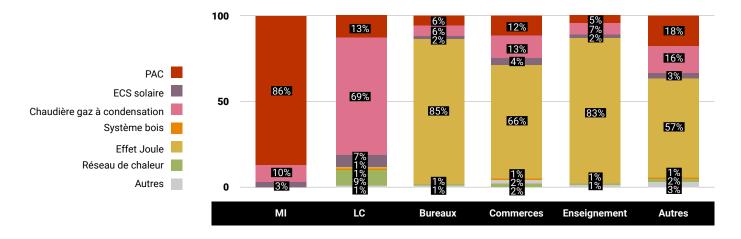




Avec la forte baisse des consommations de chauffage, la part de l'eau chaude sanitaire (ECS) dans la consommation conventionnelle a fortement augmenté. Pour ce poste de consommation, les systèmes énergétiques majoritaires sont très marqués par la catégorie de bâtiment. Si les PAC air/eau sont largement majoritaires pour les logements individuels et équipent plus de quatre logements sur cinq, les logements collectifs restent majoritairement équipés de chaudières à condensation (dans 69% des cas). Pour le tertiaire, ou les consommations relatives sont moindres, l'effet joule prédomine très largement.

Répartition des différents

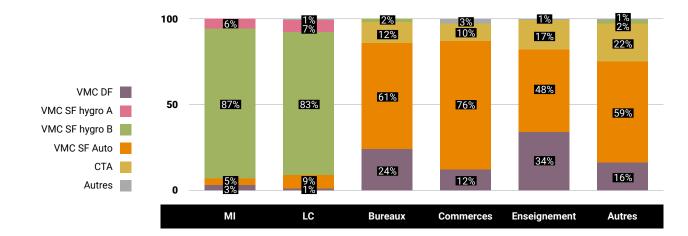
MODES DE PRODUCTION D'ECS



Concernant les systèmes de ventilation, les systèmes de ventilation mécanique contrôlée simple flux (VMC SF) prédominent : VMC SF hygro B dans les logements (dans plus de 80% des cas), VMC SF Automatique au dans le tertiaire. Si la quasi-totalité des logements sont équipés de VMC SF hygrothermique, les centrales de traitement d'air à débit d'air constant et les VMC double flux sont couramment utilisés dans le tertiaire, et en particuliers dans les bâtiments de bureaux ou d'enseignement.

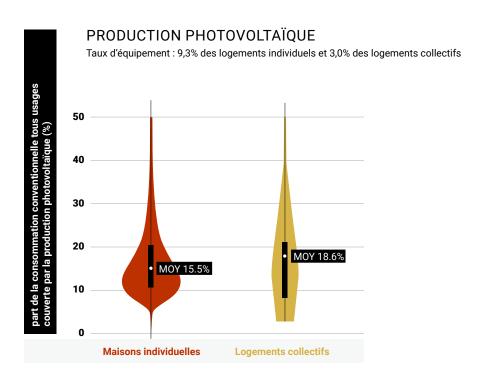
Répartition des différents

SYSTÈMES DE VENTILATION





Concernant le solaire photovoltaïque, ci-dessous est présentée la part de la consommation conventionnelle (hors production énergétique) couverte par la production photovoltaïque, pour les logements l'ayant mis en œuvre. Le taux de recours au photovoltaïque (en pourcentage du nombre de bâtiments de la catégorie) est de 9,3% pour les logements individuels et de 3,0% pour les logements collectifs.



Les bâtiments tertiaires ont en général moins recours au photovoltaïque : un peu plus de 1% des bâtiments d'enseignement et des bureaux en sont équipés (1,4% et 1,2%), contre des taux d'équipement inférieurs à 1% pour les commerces et autres bâtiments (0,6% et 0,7%). Par contre, les opérations ayant recours au photovoltaïque ont des niveaux de production importants : à titre d'exemple, pour les bureaux, la production photovoltaïque couvre en moyenne les deux tiers de la consommation conventionnelle.



SENSIBILITÉ DE LA PERFORMANCE THERMIQUE

INTRO

Les **résultats** présentés dans cette partie se basent sur une **re-simulation des modélisations thermiques des bâtiments neufs**, en faisant varier les principaux paramètres de la performance énergétique afin d'analyser la sensibilité des procédés constructifs à ces évolutions, à savoir :

Les conditions d'occupation : les conditions d'occupation (température intérieure, heures de présence ou d'absence, gestion des ouvertures non mécaniques,...) impactent fortement la consommation énergétique d'un bâtiment. Dans cette étude, nous avons analysé l'impact d'une variation de la température de consigne, généralement considéré comme le principal facteur d'occupation influençant la consommation énergétique.

La performance de l'enveloppe et des générateurs de chauffage : les performances prévues au stade de la conception des bâtiments peuvent être différentes de celles effectivement constatées à l'issue du chantier : malfaçons, manque d'entretien, baisse de la performance dans le temps,... les raisons sont multiples. Il s'agit donc ici d'aborder les enjeux de sensibilité de la performance énergétique à une moindre performance de l'enveloppe ou des systèmes.

Les aléas climatiques: les conditions climatiques conventionnelles, moyennées sur le passé, ne permettent pas d'aborder la sensibilité à des aléas climatiques ou à des conditions climatiques futures. Il s'agit donc ici d'analyser l'impact sur les consommations ou le confort de climats extrêmes observés ces dernières années.



Ces re-simulations massives ont été rendues possibles par l'exploitation des **outils experts développés par le CSTB**, et en particulier :

COMETH WRAPPER

Cet outil, basé sur le moteur de calcul règlementaire ThBCE, permet de faire varier un à un l'ensemble des paramètres conventionnels afin d'analyser l'impact de l'évolution de ces paramètres. Il est notamment exploité dans l'outil SEDexpress qui permet de réaliser en ligne des modélisations thermiques paramétrables. Il a été mobilisé afin de faire varier les paramètres d'occupation ou de climat, mais également les performances des systèmes ou de l'enveloppe ;

PYCOMETH

Cet outil permet de réaliser des re-simulations massives de modélisations thermiques, afin d'étudier l'impact d'un paramètre (température de consigne, développement d'un système constructifs particulier, ...) sur un ensemble de bâtiments représentatifs. Il a été mobilisé pour l'ensemble des analyses réalisées dans cette seconde partie ;

MEREEN

Cet outil capitalise depuis 2005 les données climatiques réelles sur plusieurs centaines de stations météo. Il a été mobilisé pour caractériser les aléas climatiques passés afin d'en analyser l'impact d'un sur les consommations et le confort thermique;

Pour plus de lisibilité, les graphiques sont exprimés sur un critère, l'impact sur la consommation conventionnelle ou Cep. Les figures suivantes sont donc exprimées en pourcentage de variation par rapport à la consommation conventionnelle totale : si l'on avait considéré l'impact sur l'augmentation de la consommation conventionnelle de chauffage seule, les impacts auraient été plus marqués. Seul l'impact sur le confort d'été est caractérisé avec une autre unité, la durée d'inconfort en été statistique (Dies) . Par ailleurs, les analyses ci-dessous sont présentées uniquement en variation relative et non absolue ; il faut donc garder en mémoire qu'une variation relative élevée peut avoir un impact limité si le niveau de consommation initial est faible. Enfin, nous avons uniquement considéré deux catégories de bâtiments : les logements d'un côté et les bâtiments tertiaire de l'autre.



IMPACT DE LA TEMPÉRATURE INTÉRIEURE

Pour les bâtiments de logements, une augmentation de la température de consigne en occupation de 1 degré entraine une augmentation moyenne de 8,1% de la consommation conventionnelle totale. Cette hausse est un peu moins marquée pour les bâtiments tertiaires, avec une hausse

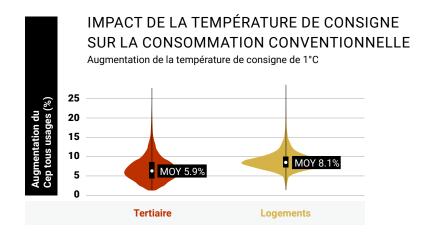
moyenne de 5,9% de la consommation conventionnelle totale.

CONDITIONS D'OCCUPATIONS CONVENTIONNELLES

Dans la RT 2012, les conditions d'occupations sont fixées par convention. De manière à pouvoir comparer la performance intrinsèque des différentes solutions constructives, les températures intérieures en occupation ou hors occupation, les apports de chaleur des occupants ou les heures d'occupation sont ainsi définies de manière conventionnelles pour chaque typologie de bâtiment. Parmi ces conventions, la température de consigne des équipements de chauffage est fixée à 19 degrés. Attention toutefois à ne pas la confondre avec la température intérieure considérée, qui dépend également de la capacité de régulation des systèmes de chauffage et est supérieure à la température de consigne.

Ce moindre impact pour les bâtiments tertiaire s'explique notamment par la place plus importante des autres postes de consommation dans la consommation conventionnelle (comme l'éclairage), qui ne sont pas impactés par une modification de la température de consigne.

La forte dispersion de l'impact d'une augmentation de la température de consigne sur la consommation conventionnelle, en particulier pour les bâtiments tertiaires, montre bien l'impact des choix de conception sur la sensibilité de la performance énergétique à une modification des conditions d'occupation.





IMPACT DE LA PERFORMANCE DE L'ENVELOPPE OU DES GÉNÉRATEURS DE CHAUFFAGE

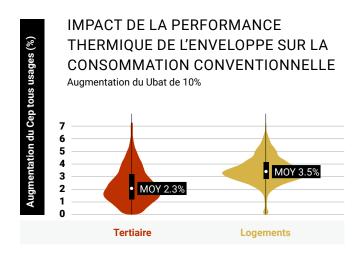
Des défauts de mise en œuvre, de maintenance ou d'utilisation peuvent conduire à une dégradation des performances de l'enveloppe ou des systèmes de chauffage. Ainsi, nous avons réalisé une analyse de sensibilité de la consommation conventionnelle totale à quatre paramètres reflétant une dégradation des conditions de fonctionnement :

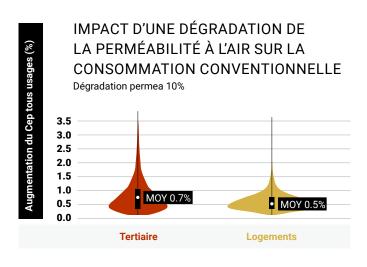
- pour l'enveloppe : une dégradation de 10% de la performance thermique de l'enveloppe et (baisse du Ubat, le coefficient de déperdition moyen au travers des parois de l'enveloppe) ou une augmentation de 10% de la perméabilité à l'air;
- pour les systèmes : un arrêt de l'intermittence ou une dégradation de 10% du rendement des générateurs de chauffage ;

A noter : les résultats sont présentés ici pour des dégradations forfaitaires des performances, et les analyses n'intègrent pas la probabilité d'occurrence ni l'ampleur des dégradations potentielles.

Les impacts sur les consommations conventionnelles sont indiqués dans les graphiques cidessous. Concernant la **performance de l'enveloppe**, une dégradation de 10% de la perméabilité à l'air a un impact limité sur les consommations conventionnelles. Cependant, une baisse de la performance thermique de l'enveloppe a plus d'impact sur la consommation conventionnelle (en moyenne 2.3% pour le tertiaire et 3.5% pour le logement).

Là encore, la forte dispersion de l'impact de la performance thermique de l'enveloppe ou du rendement des systèmes montrent l'**importance des choix de conception** quant à la robustesse des solutions constructives.

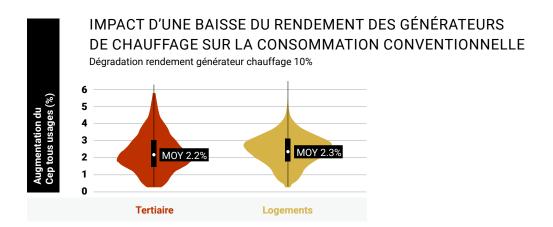


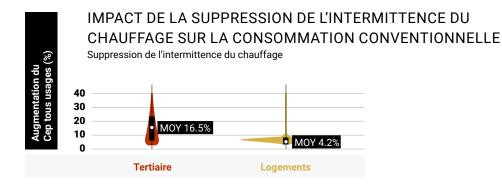




Concernant les **systèmes**, un arrêt de l'intermittence du chauffage a un impact modéré et peu variable dans le logement (en moyenne 4.2%). En revanche, l'**impact est beaucoup plus marqué dans le tertiaire**, avec une augmentation moyenne de 16.5% des consommations conventionnelles, et une très forte variabilité. Ceci est notamment dû aux durées d'occupation plus faibles dans le tertiaire. A titre d'exemple, la durée d'utilisation conventionnelle annuelle d'un logement est d'environ 6 000 heures, contre environ 1 500 pour un bâtiment de bureaux.

Par ailleurs, une baisse de 10% des rendements des générateurs de chauffage a un impact assez similaire pour les logements et pour les bâtiments tertiaires : augmentation moyenne de 2.2% ou 2.3% des consommations, avec une très forte variabilité en fonction des solutions constructives retenues.





Là encore, la forte dispersion de l'impact de la performance thermique de l'enveloppe ou du rendement des systèmes montrent l'importance des choix de conception quant à la robustesse des solutions constructives.



IMPACT DES ALÉAS CLIMATIQUES

Nous avons analysé dans cette partie l'impact d'un hiver rigoureux ou d'un été particulièrement chaud sur les consommations conventionnelles ou sur la durée de l'inconfort thermique en été. Il s'agit ici de caractériser la sensibilité de la performance thermique du parc à ces aléas climatiques, qui pourraient s'avérer plus fréquents dans le futur.

Pour ces simulations nous avons considéré comme climat les années 2010 (année froide) ou 2015 (année chaude), soit **l'hiver et l'été les plus extrêmes** recensés entre 2005 et 2017. Les

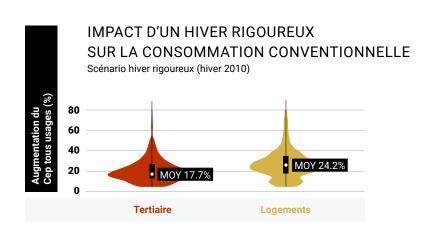
CONDITIONS CLIMATIQUES CONVENTIONNELLES

Les conditions climatiques de la règlementation thermique sont construites pour chaque zone climatique à partir de 15 ans de 1994 à 2008. L'année type est construite à partir d'un tirage de données mesurées sur les années 1994 à 2008, selon la procédure donnée par la norme 15927-4. Ainsi, si le climat moyen actuel est bien caractérisé, les évènements climatiques plus intenses-pic de chaleur, vague de froid, ...-sont peu considérés car lissés dans cette moyenne. Par ailleurs, la définition de ces conditions climatiques repose sur une analyse de la situation historique, et ne tient donc pas compte des évolutions du climat à moyen ou long terme.

données de l'année 2018, qui a connu un été particulièrement chaud, n'étaient pas disponibles au moment de la réalisation de ces travaux. Pour l'année froide, nous avons évalué l'impact de ce climat froid sur la consommation conventionnelle. Pour l'année chaude, nous avons évalué à la fois l'impact du climat chaud sur l'inconfort d'été (en utilisant l'indicateur Dies) et sur la consommation liée au refroidissement. En effet, le taux de bâtiments climatisés est actuellement limité et une forte sensibilité pourrait entrainer à terme une augmentation du taux d'équipements de climatisation et avoir un effet rebond important sur la consommation énergétique du parc¹.

Les résultats montrent une **grande sensibilité de la consommation conventionnelle aux climats froids**. En effet, avec un hiver comparable à celui connu en 2010, les consommations conventionnelles augmentent en moyenne de 17,7% pour les bâtiments tertiaires 24,2% pour les logements. Là encore, on observe une forte disparité suivant les modes constructifs et les zones climatiques.

1. A peine 5% du parc de logements est actuellement équipé de climatiseurs et ce taux pourrait monter, selon l'Ademe, à plus de 50% en 2050.





Pour caractériser l'impact des étés relativement chauds, nous avons analysé la Dies, reflétant l'inconfort thermique ressenti par les occupants, pour les bâtiments non climatisés. Le nombre d'heures d'inconfort thermique augmente en moyenne très fortement avec un climat comparable à l'été 2015.

En effet, le nombre d'heures en inconfort climatique fait plus que tripler pour les logements, la Dies passant en moyenne de 14,1 à 53,5 heures d'inconfort statistique. Pour le tertiaire, ou le nombre d'heures d'inconfort est généralement plus élevé du fait d'une utilisation diurne, on observe une hausse de la Dies de 80,7 à 125,8 heures d'inconfort statistique. Ceci est particulièrement important pour la zone climatique H3 (pourtour méditerranéen et Corse), où le nombre d'heures en inconfort thermique l'été est multiplié par plus de deux pour les bâtiments tertiaires et près de cinq pour les logements.

DIES ET LE CONFORT D'ÉTÉ

Dies (Durée d'Inconfort en Été Statistique) est un indicateur statistique de l'inconfort thermique lié à une trop forte température. Elle prend en compte à la fois la durée et l'intensité de l'inconfort chaud ressenti par les occupants. Elle est basée sur le confort adaptatif pour l'évaluation de l'inconfort hygrothermique, c'està-dire qu'elle tient également compte du taux d'hygrométrie en plus de la température intérieure. Elle est exprimée en heures d'inconfort.

La forte dispersion de l'inconfort thermique statistique que l'on observe en climat chaud pour les bâtiments non climatisés reflète bien l'importance des choix faits en conception sur le confort thermique des occupants.

Par ailleurs, l'analyse présentée ici porte uniquement sur l'inconfort thermique. Or, une situation d'inconfort thermique aiguë peut avoir des impacts importants sur la santé des occupants au-delà du seuil d'exposition critique qui, selon l'OMS, est fixé à une température d'air supérieure à 31°C. Cet impact n'a pas été étudié dans le cadre de cette analyse mais celui-ci sera certainement encore plus impacté par la prise en compte d'un climat chaud.

