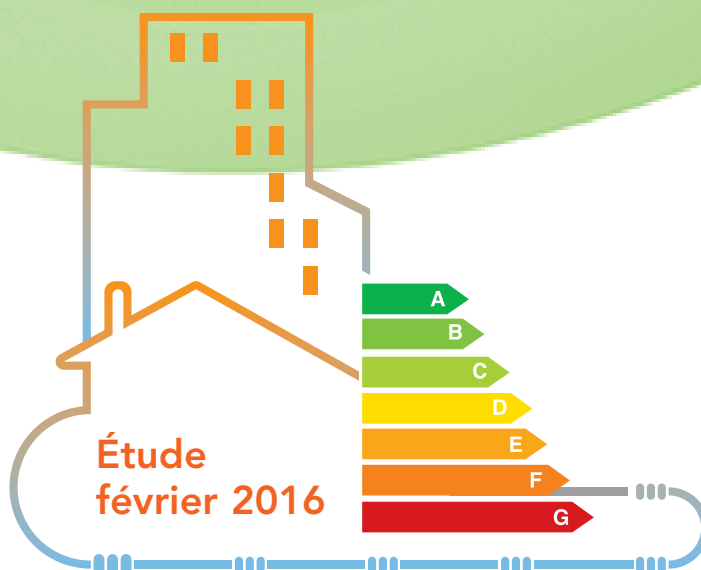




ASSOCIATION DES PROFESSIONNELLS
POUR LE CHAUFFAGE DURABLE

Bâtiments performants : confort ou inconfort pour les occupants ?

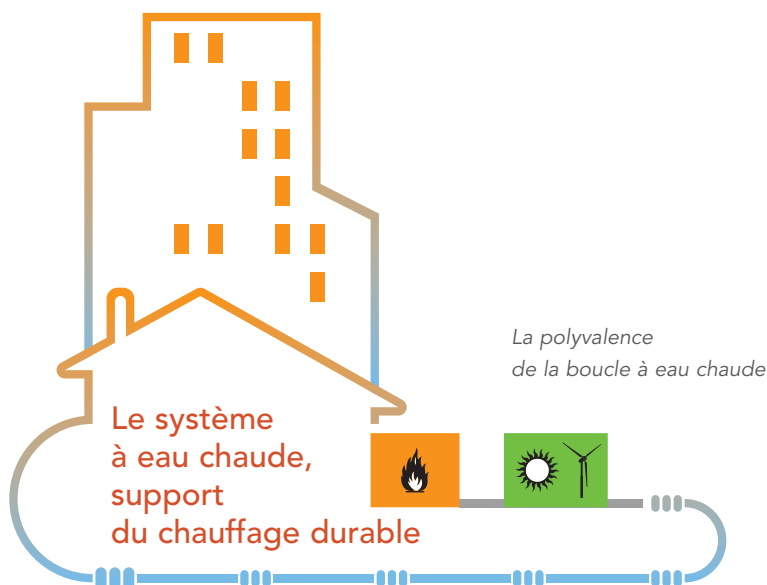


La polyvalence du système de chauffage à eau chaude

Le système de chauffage à eau chaude est porteur d'utilisation d'énergies renouvelables : bois, biogaz, géothermie, solaire thermique, biocombustibles. En tant que système évolutif, il permet d'intégrer des solutions performantes au fur et à mesure et d'améliorer la performance énergétique.

La boucle à eau chaude est un système performant avec des réductions d'émissions de CO₂ directement proportionnelles aux économies d'énergie. L'intégration d'un capteur solaire dans le système de la boucle à eau chaude permet d'obtenir 30% d'économie de CO₂, alors que l'utilisation d'une pompe à chaleur réduit de 50% les émissions de CO₂.

Les réseaux de chauffage urbain à eau chaude constituent un excellent vecteur pour les énergies renouvelables. Ils utilisent déjà plus de 20% d'énergies renouvelables pour chauffer 3 millions d'équivalents habitants et génèrent plus de 32% de la chaleur distribuée à partir de la cogénération.



Les matériels innovants économes

Basse température		^{Gain} CO ₂ /énergie 25 à 30%
Condensation		30 à 40%
Pompe à chaleur		> à 50%
Cogénération		35 à 40%

Les énergies renouvelables

Géothermie	
Aérothermie	
Solaire	
Bois - Biomasse	
Agrocombustibles	
Biocombustibles	

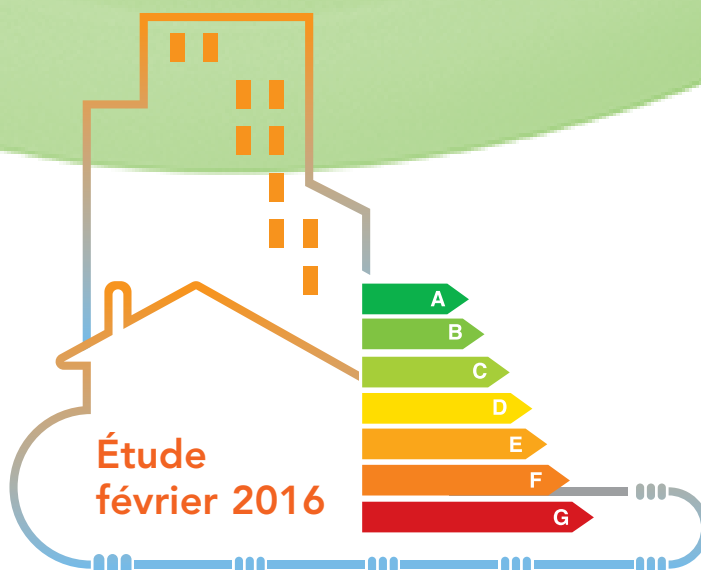
et demain...

Micro-cogénération
Pile à combustible
Hydrogène



ASSOCIATION DES PROFESSIONNELLS
POUR LE CHAUFFAGE DURABLE

Bâtiments performants : confort ou inconfort pour les occupants ?



Sommaire

1. Analyse issue des simulations thermiques dynamiques	4
2. Confirmation par les retours d'expérience	7
3. Insuffisance de la prise en compte du confort dans la réglementation thermique actuelle.....	8
Conclusions	8
Annexe 1 – Principaux critères permettant d'estimer le confort d'été.....	9
Annexe 2 – Etude du critère de confort réglementaire : la Tic.....	12
Conclusion	16

Introduction



La loi sur la transition énergétique pour la croissance verte fixe des objectifs ambitieux en matière de politique énergétique nationale à l'horizon 2050 :

division par quatre des émissions de gaz à effet de serre et réduction de 50% de la consommation d'énergie. Cette dynamique soutient le développement d'une économie efficace en énergie, notamment dans le secteur du bâtiment qui contribue à 43% des consommations énergétiques et à plus de 20% des émissions de gaz à effet de serre.

La performance des bâtiments représente ainsi un enjeu majeur dans le cadre du mouvement actuel de transition énergétique. Il se répercute notamment dans la construction de bâtiments neufs puisque, d'ici 2020, conformément à l'article 4-b de la loi du 3 août 2009, dite « loi Grenelle 1 », la réglementation thermique imposera que toutes ces nouvelles constructions soient passives ou à énergie positive. La loi de transition énergétique pour la croissance verte poursuit dans ce sens puisque son article 8 précise qu'un « *décret en Conseil d'Etat définira les exigences auxquelles doit satisfaire un bâtiment à énergie positive* ». La prochaine étape réglementaire, la RT 2020 devrait imposer aux bâtiments neufs d'être à énergie positive.

Pour Energies et Avenir, un tel niveau de performance ne peut être envisagé sans porter une attention toute particulière à la performance thermique du bâti. Si une telle évolution doit encore réduire les besoins de chauffage, il est légitime d'évaluer les conséquences sur les conditions de confort des occupants.

Aussi, Energies et Avenir a confié au Comité scientifique et technique des industries climatiques (COSTIC) une étude afin d'évaluer l'impact de plusieurs paramètres clés sur le confort des occupants dans des bâtiments performants à l'aide de simulations thermiques dynamiques et complétées par des retours terrain.

La présente étude sur l'analyse du confort des occupants dans les bâtiments performants vise donc à apporter une analyse, aussi précise que possible, permettant d'estimer le niveau d'exigence maximal pouvant être fixé dans la future RT 2020 au niveau des besoins bioclimatiques du bâtiment (indicateur « Bbio » de la RT 2012) tout en garantissant un niveau de confort acceptable pour les occupants tant au niveau du confort thermique que de la qualité d'air intérieur du bâtiment.

Hervé THELINGE
Président d'Énergies et Avenir

1] Analyse issue des simulations thermiques dynamiques

Il a été fait le choix d'effectuer les simulations thermiques dynamiques à Carpentras (zone H2d) ainsi qu'à Trappes (zone H1a) et La Rochelle (zone H2b).

Les simulations thermiques dynamiques se sont appuyées sur des bâtiments réels ayant fait l'objet d'un suivi instrumenté – ce qui a permis notamment la vérification de la cohérence des résultats obtenus. Afin d'être représentatifs de l'habitat neuf, les bâtiments respectent les exigences de la Règlementation Thermique 2012 en termes de performance thermique du bâti.

Les principales caractéristiques des bâtiments retenus sont :

- pour la maison individuelle une surface habitable de 105 m² avec 1 étage ;
- pour le bâtiment collectif une surface habitable de 1 750 m² sur 3 étages. Le bâtiment est composé de 28 logements aux surfaces habitables comprises entre 40 et 94 m².

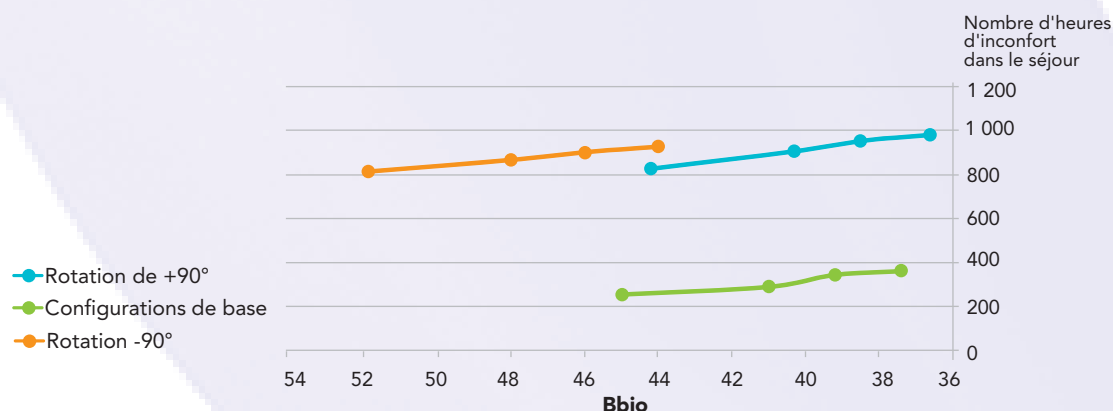
Les paramètres clés du confort thermique ont été étudiés, à savoir : l'inertie, les apports externes, l'orientation, les apports internes, le rafraîchissement par ventilation et le climat.

Il ressort de ces simulations que l'atteinte de conditions de confort estivales acceptables passent par :

→ Une bonne orientation du bâtiment

Le bâtiment doit être orienté de telle sorte que les apports solaires ne soient ni trop importants en été, ni trop faibles en hiver.

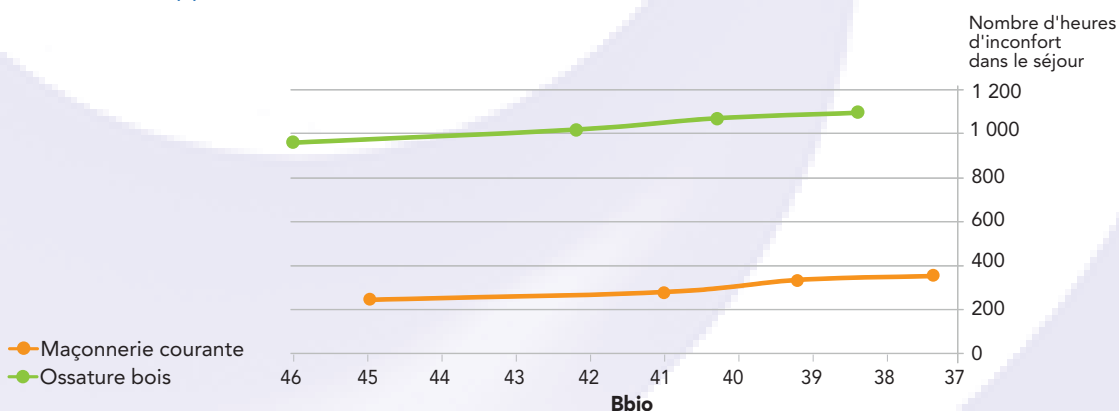
Dans ce contexte, l'orientation à privilégier est le sud, la hauteur solaire plus élevée en été permettant de réfléchir les rayons suivant une telle orientation. En revanche, l'orientation la plus défavorable est l'ouest. En été, la faible hauteur du soleil et l'apparition d'apports solaires en fin de journée contribuent fortement à la dégradation des conditions de confort.



→ Le choix d'une inertie adaptée à la zone climatique considérée

On constate que le choix d'une inertie plus importante permet une forte atténuation des températures intérieures.

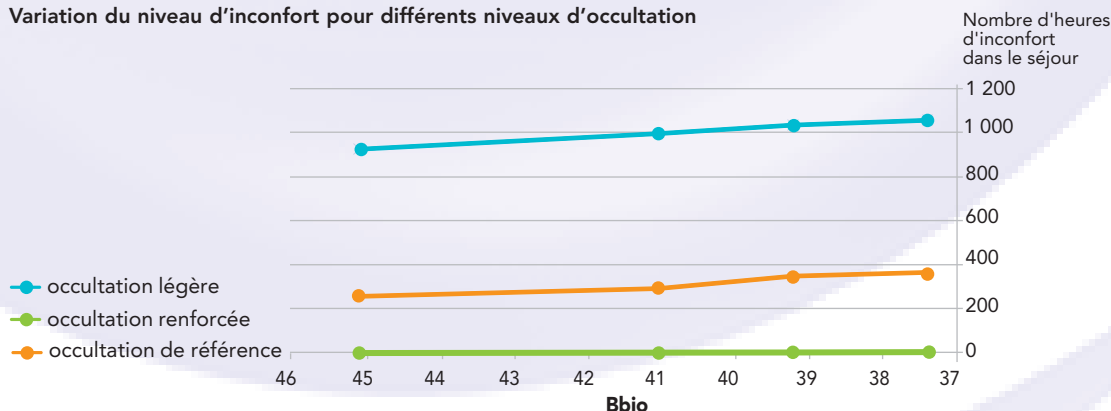
Ainsi, en zone H2d (Carpentras), il convient de privilégier une inertie lourde du bâti tout en veillant à ventiler suffisamment de façon à éviter l'accumulation d'apports internes dans les différentes parois. A contrario, une inertie plus légère peut suffire en zones H1a (Trappes) et H2b (La Rochelle).



→ Une bonne gestion des apports solaires

Outre l'inertie, les simulations ont mis en avant le fort impact d'une mauvaise gestion des occultations. Un niveau d'occultation bas aura pour conséquence un nombre d'heures d'inconfort élevé. A contrario, une gestion optimisée de l'occultation permettra de réduire considérablement l'inconfort. Ainsi, suivant l'efficacité de cette dernière, le niveau d'inconfort peut dépasser les 1000 heures ou être supprimé. Dès lors, il convient, en l'absence de protections solaires automatisées, d'être vigilant et de fermer les protections solaires la journée lorsque les locaux ne sont pas occupés.

Variation du niveau d'inconfort pour différents niveaux d'occultation

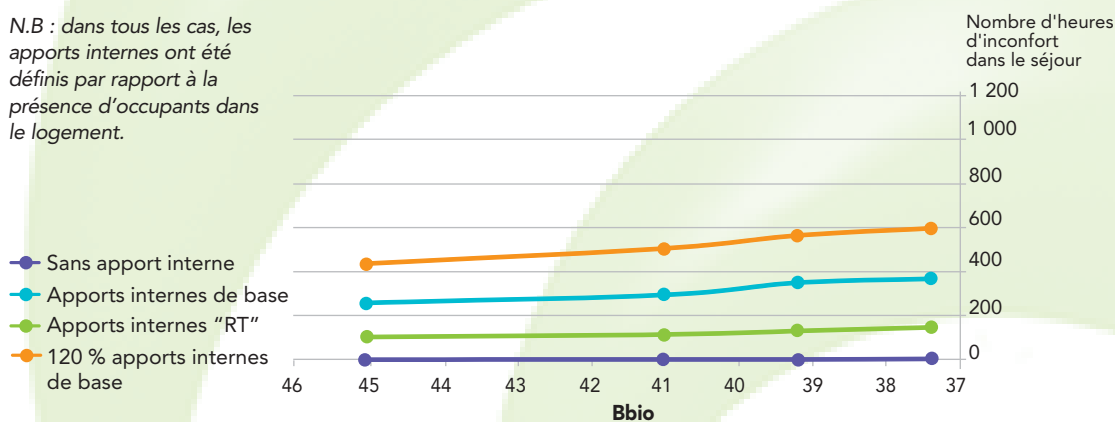


1] Analyse issue des simulations thermiques dynamiques

→ Une bonne gestion des apports internes

Les simulations ont montré qu'il était important de réduire la consommation des usages spécifiques, non pris en compte dans les cinq usages de la réglementation actuelle, dont les dégagements de chaleur sont importants. Cette réduction peut passer par la suppression des veilles des différents appareils (ce qui peut être réalisé au moyen d'une prise commandée ou d'une multiprise équipée d'un interrupteur) et la réduction de l'utilisation des plaques de cuisson et du four en cas de fortes chaleurs. De même, le choix d'un éclairage par des lampes basse consommation permet une réduction importante des apports.

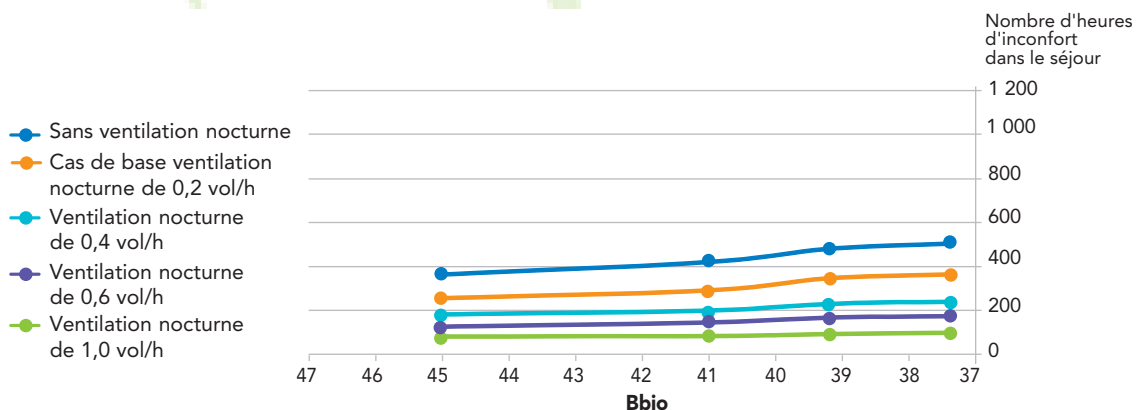
N.B : dans tous les cas, les apports internes ont été définis par rapport à la présence d'occupants dans le logement.



→ L'ouverture des fenêtres la nuit lorsque la température extérieure chute

Bien que l'impact de ce paramètre soit moins prononcé que les précédents, il est important de ventiler la nuit de façon à évacuer les apports stockés au cours de la journée. Il faut toutefois noter que ce type de ventilation dépend de la situation du bâtiment et notamment du risque d'intrusion. Dans le cas où une telle ventilation conduit à un risque d'effraction, il peut être envisagé de recourir à une ventilation mécanisée.

Tous ces facteurs ont une influence plus forte sur les conditions de confort en été que l'amélioration de la performance thermique du bâti aux niveaux actuels d'exigence.



2] Confirmation par les retours d'expérience

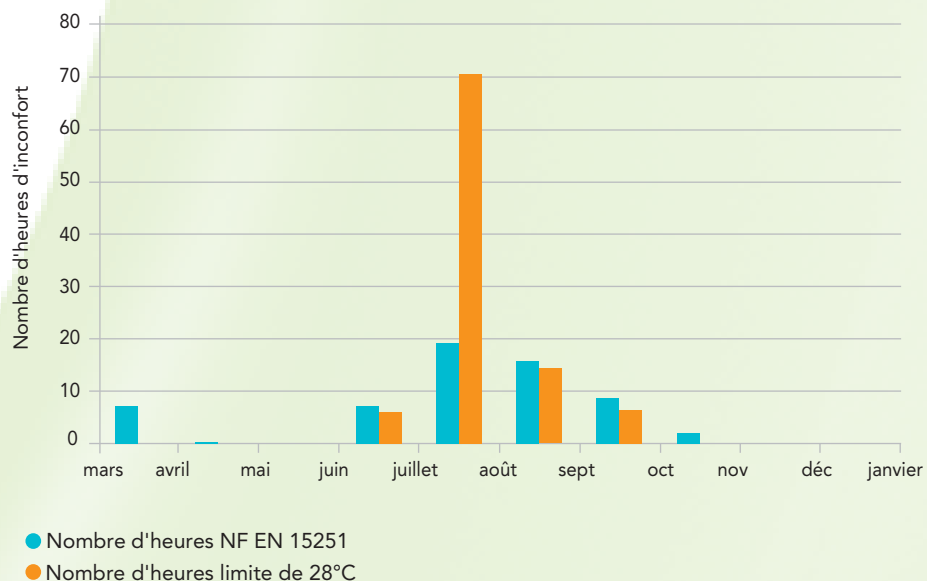
Les bâtiments étudiés ont été sélectionnés parmi une base de données de bâtiments faisant l'objet d'un suivi instrumenté par le COSTIC, permettant ainsi de les comparer aux résultats des simulations et d'en valider la teneur.

L'analyse a mis en avant des résultats proches de ceux obtenus au cours des simulations thermiques dynamiques. En effet, l'analyse des températures enregistrées dans les différents logements a montré un faible niveau d'inconfort pour les deux bâtiments.

De même, les enquêtes et les visites sur site (en maison individuelle) ont mis en avant :

- des problèmes de confort résultant de températures intérieures trop élevées en été;
- des conditions de confort satisfaisantes pour certains occupants.

Ces enquêtes soulignent à la fois la nature subjective du confort thermique – certains occupants pouvant être plus sensibles que d'autres à des pics de température – mais éventuellement aussi une meilleure gestion des dispositifs permettant de réduire les risques d'inconfort par certains occupants (ouverture des fenêtres la nuit, gestion des protections solaire, réduction des apports internes par une suppression des veilles...).



3] Insuffisance de la prise en compte du confort dans la réglementation thermique actuelle

Il a paru également intéressant d'évaluer la prise en compte du confort dans la réglementation actuelle.

Les différents calculs réglementaires effectués (annexe 2) ont mis en exergue un impact important des protections solaires sur le niveau de confort réglementaire.

En revanche, les autres paramètres étudiés (changement d'orientation, inertie et performance thermique du bâti) n'avaient pour leur part qu'un impact réduit sur les critères de confort – contrairement à ce qui a été observé lors des simulations thermiques dynamiques.

Les critères de confort réglementaire paraissent donc inadaptés pour rendre compte du confort thermique des occupants dans des bâtiments performants.

→ Conclusions

Les critères de confort de la réglementation thermique ne rendent pas compte des situations d'inconfort des bâtiments.

Energies et Avenir propose de revisiter ces critères de confort sur la base des dispositions relatives au confort adaptatif de la norme NF EN 15251) actuellement en révision* (prEN 16798-1) et que le confort devienne une réelle exigence de la future réglementation thermique afin de permettre à la maîtrise d'œuvre d'identifier les principaux facteurs d'inconfort et les solutions à mettre en œuvre.

*En effet, la norme NF EN 15251 était fondée sur une analyse dans le tertiaire et n'était pas adaptée aux conditions nocturnes du confort.

Annexe 1

Principaux critères permettant d'estimer le confort d'été

◀ L'étude du confort est complexe, ce dernier ne pouvant être défini de manière unanime. En effet, il dépend de nombreux paramètres aussi bien physiologiques que psychologiques qui rendent son interprétation subjective. Aussi, afin de faciliter son analyse, des critères de confort ont été élaborés. ▶

Cette partie présente les principaux critères de confort d'été décrits dans la littérature technique.

→ La température opérative

La seule température de l'air ambiant ne suffit pas à juger des conditions de confort thermique d'un occupant. En effet, il n'est pas rare que la proximité de parois froides ou chaudes – telles des vitres ou des murs mal isolés – influence notre perception de la température d'un local. Ceci résulte d'échanges par rayonnement entre notre corps et les surfaces qui nous entourent. Aussi, dans un but de synthétisation des sensations de confort ressenties par les occupants, une température regroupant influence des parois et température et vitesse de l'air a été définie : la température opérative.

Le plus souvent cette dernière se trouve exprimée sous la forme simplifiée suivante :

$$T_{op} = \frac{T_a + \bar{T}_r}{2} [C^{\circ}]$$

Avec :

- T_a : Température d'air [$^{\circ}C$],
- $\bar{T}_r$: Température moyenne des parois environnantes [$^{\circ}C$]
- T_{op} : Température opérative [$^{\circ}C$]

La température opérative est un critère simple pour l'évaluation du confort thermique en été. La plupart du temps, l'évaluation de l'inconfort suivant cet indicateur consiste à sommer un nombre d'heures de dépassement par rapport à une limite fixe.

Les limites les plus souvent rencontrées dans la littérature sont de 26 ou 28 $^{\circ}C$.

Annexe 1] Principaux critères permettant d'estimer le confort d'été



La norme NF EN 15251

L'approche adaptative du confort thermique est apparue suite à l'observation d'une absence de critère dédié spécifiquement aux bâtiments non-climatisés.

Le modèle est basé sur l'hypothèse que l'être humain n'est pas passif face à son environnement mais qu'il joue un rôle actif dans la création des conditions de confort. L'adaptation du confort thermique par les occupants peut ainsi avoir des origines :

- **Comportementale** : régulation consciente ou inconsciente du métabolisme, ajustement de la vêtue, ajustement de l'activité.
- **Psychologique** : attentes variables liées à l'environnement dans lequel se trouve le sujet.

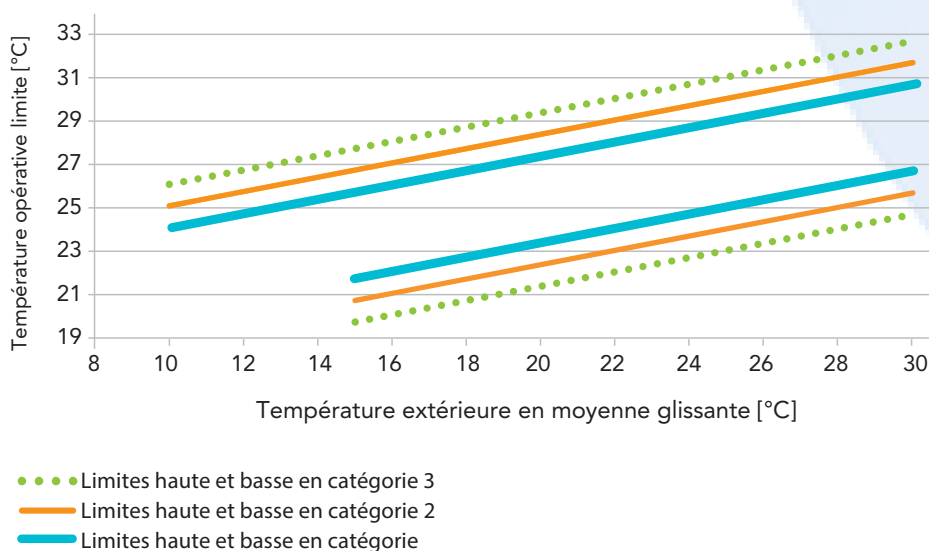
REMARQUE A partir de ce postulat et de mesures statistiques, une équation liant température de confort et température extérieure a été établie.

Prescriptions de confort thermique d'été de la norme NF EN 15251

Un algorithme permettant de calculer les températures opératives intérieures acceptables en fonction de la température extérieure en moyenne glissante – recalculée de façon continue en tenant compte de la température moyenne journalière de la veille – est présenté dans la norme.

L'application de cet algorithme donne les limites hautes et basses suivantes :

Limites de confort de la norme NF EN 15251 suivant les différentes catégories d'occupants





La Tic (Température intérieure conventionnelle)

La Tic (Température intérieure conventionnelle) est actuellement le critère de confort thermique réglementaire. Introduit dans les précédentes réglementations, le calcul de la Tic et la validation de cet indicateur de confort thermique se base sur la vérification de la condition suivante :

$$Tic < Tic_{réf} \text{ où la } Tic_{réf}$$

est la température intérieure conventionnelle calculée sur un bâtiment de référence.

Les caractéristiques du bâtiment de référence sont celles utilisées pour le calcul du Bbio du projet à l'exception de certaines caractéristiques dites de référence : inertie quotidienne et séquentielle, facteur solaire des baies vitrées, masques proches, la gestion des protections mobiles, le caractère traversant du logement, facteur de transmission lumineuse.

Les principaux facteurs permettant d'améliorer le confort thermique au sens réglementaire sont :

-  → l'inertie,
-  → le facteur solaire des baies vitrées.



Annexe 2

Etude du critère de confort réglementaire : la Tic

« Tic » est l'abréviation de « température intérieure conventionnelle ». Ce paramètre est un héritage de la précédente réglementation puisqu'il est le seul à faire appel à la notion de bâtiment de référence. En effet, l'atteinte d'un niveau de confort d'été satisfaisant au niveau réglementaire peut se résumer au respect de la condition suivante :

$Tic < Tic_{réf}$ où la $Tic_{réf}$ désigne la température intérieure conventionnelle de référence.

◀ D'une manière plus générale, la Tic est d'un point de vue réglementaire : «... la température opérative (correspondant à la sensation de l'occupant) maximale horaire calculée en période d'occupation pour un jour chaud d'été conventionnel, associée à une séquence chaude représentative ».

→ Principe de calcul de la Tic

Le calcul d'une Tic prend en compte différentes caractéristiques thermiques du bâtiment (inertie, isolation, etc.).

Afin de prendre en compte l'environnement extérieur, un fichier météo journalier type choisi parmi 10 zones géographiques est utilisé. Dans le cas d'un local situé à une altitude supérieure à 400m une « correction d'altitude » – diminution de la valeur horaire de la température extérieure – est effectuée.

◀ Sur la base de l'ensemble de ces données, un calcul de l'évolution des températures intérieures est mené. Il se déroule sur une période de 7 jours en commençant le lundi avec une température initiale de masse de 26°C.

Pour le secteur résidentiel, la Tic correspond à la valeur maximale de la température opérative du 7ème jour. Dans les autres cas, la température opérative maximale du 5ème jour est retenue.

Afin d'analyser le mode de calcul de cet indicateur, différentes simulations paramétriques ont été effectuées. Ces dernières ont notamment pour but d'analyser l'impact sur les valeurs de Tic obtenue de :

- la nature des protections solaires ;
- la performance thermique du bâti ;
- l'inertie ;
- l'orientation du bâtiment ;
- la zone climatique ;
- la position de l'isolant (intérieure/extérieure).

Ces études paramétriques se basent sur le cas de la maison individuelle. Le niveau d'isolation considéré pour ces simulations est celui du cas de base utilisé pour les simulations thermiques dynamiques pour la ville de Carpentras.

→ Impact sur la Tic de la nature des protections solaires

Afin de voir l'impact des protections solaires sur les valeurs de Tic obtenues, le choix a été fait de considérer :

- une protection solaire extérieure de facteur solaire égal à 0,022
- une protection solaire intérieure de facteur solaire égal à 0,43
- une absence de protection solaire.

Les valeurs de Tic obtenues pour ces 3 cas sont données dans le tableau suivant.

	Protection solaire extérieure	Protection solaire extérieure	Absence de protection solaire
Tic	26,0	29,3	29,4
Tic _{réf}		33,5	

Impact du type de protection solaire sur la Tic

Quel que soit le niveau d'occultation considéré, le critère de confort d'été de la réglementation thermique 2012 est validé. Par ailleurs, on observe que l'écart entre une menuiserie équipée de protection solaire intérieure et une menuiserie sans protection solaire est faible. Ce résultat apparaît logique puisque, dans les deux configurations, le rayonnement solaire pénètre dans le logement. Il peut même, suivant les cas, être défavorable de mettre en place une protection solaire intérieure du fait de la création d'une lame d'air chaud entre le vitrage et la protection.

Annexe 2] Etude du critère de confort règlementaire : la Tic

→ Impact sur la Tic de l'orientation du bâtiment

Par rapport à l'orientation initiale du bâtiment, les changements d'orientation suivants ont été considérés :

- une rotation du bâtiment de 90°
- une rotation du bâtiment de -90°

L'impact de ces changements d'orientation sur la Tic et la $T_{ic,ref}$ est présenté ci-dessous.

	Protection solaire extérieure	Protection solaire extérieure	Absence de protection solaire
Tic	26,0	26,0	26,0
$T_{ic,ref}$	33,5	33,7	33,4

Impact d'un changement d'orientation sur la Tic.

REMARQUE Pour le bâtiment considéré, le fait de modifier l'orientation du bâtiment n'a pas d'impact sur les valeurs de Tic obtenues. Par ailleurs, on observe une faible évolution des valeurs de $T_{ic,ref}$ obtenue.

→ Impact sur la Tic d'une amélioration de la performance thermique du bâti

Les niveaux de performance définis lors des simulations dynamiques ont été utilisés pour le calcul des températures intérieures conventionnelles. Les résultats sont présentés ci-dessous.

Structure maçonnerie courant (zone H2d)		
Niveaux de performance	Tic	$T_{ic,ref}$
1	26,0	33,5
2	26,0	
3	26,0	
4	26,0	
5	26,0	

Impact d'une amélioration de la performance thermique du bâti sur la Tic pour une structure en maçonnerie courante.

REMARQUE Le fait de modifier le niveau de performance du bâti n'a pas d'impact sur les valeurs de Tic obtenues.



Impact de l'inertie sur la Tic

Le calcul de la Tic a été effectué pour une structure ossature bois et suivant les 4 niveaux de performance du bâti définis lors des simulations thermiques dynamiques.

Structure ossature bois (zone H2d)		
Niveaux de performance	Tic	Tic _{réf}
1	29,1	33,5
2	29,0	
3	29,0	
4	29,0	

Impact d'une amélioration de la performance thermique du bâti sur la Tic pour une structure en ossature bois.

A l'instar des résultats obtenus pour une structure en maçonnerie courante, on observe que la variation du niveau d'isolation du bâti n'a pas d'impact sur les valeurs de Tic obtenues. Toutefois, le passage d'une structure en maçonnerie courante à une structure ossature bois a pour effet d'augmenter la Tic de 3°C. A noter que,

REMARQUE Quel que soit le niveau d'isolation considéré, la Tic reste inférieure à la Tic_{réf}.



Impact d'un changement de zone climatique sur la Tic

Les couples Tic/Tic_{réf} ont été calculés pour les zones climatiques H2b et H1a correspondant respectivement aux villes de La Rochelle et de Trappes.

	Carpentras (H2d)	La Rochelle (H2b)	Trappes (H2b)
Tic	26,0	26,9	26,0
Tic _{réf}	33,5	32,6	31,5

Impact du type d'isolation ITI/ITE sur la Tic.

Le passage d'une isolation thermique par l'extérieur à une isolation thermique par l'intérieur provoque une augmentation logique de la valeur de Tic obtenue. En effet, bien que le coefficient de transmission thermique du mur reste inchangé entre les deux calculs, le fait de positionner l'isolant à l'intérieur diminue l'inertie des murs extérieurs.



Conclusion

Les différents calculs réglementaires effectués ont mis en avant un impact important de l'inertie et des protections solaires sur les valeurs de Tic obtenues. Les autres paramètres étudiés (changement d'orientation, inertie et performance thermique du bâti) n'avaient pour leur part qu'un impact réduit sur la Tic – contrairement à ce qui a été observé lors des simulations thermiques dynamiques.

REMARQUE Pour l'ensemble des études paramétriques menées, la Tic restait validée.



Membres d'Énergies et Avenir

ACR

Syndicat des Automatismes du génie Climatique et de la Régulation

AFG

Association Française du Gaz

Alliance Solutions Fioul

Association pour l'utilisation performante du fioul domestique

CAPEB

Confédération de l'Artisanat et des Petites Entreprises du Bâtiment

CFBP

Comité Français du Butane et du Propane

Fedene

Fédération des services Énergie Environnement

FNAS

Fédération nationale des Négociants en Appareils Sanitaires, chauffage, climatisation et canalisation

Profluid

Association Française des pompes, des compresseurs et de la robinetterie

UECF-FFB

Union des entreprises de génie Climatique et Énergétique de France

UNCP-FFB

Union Nationale des Chambres Syndicales de Couverture et de Plomberie de France

UNICLIMA

Syndicat des industries thermiques, aérauliques et frigorifiques

Énergies et Avenir représente l'ensemble des professionnels des systèmes à eau chaude pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire. L'association rassemble les fournisseurs d'énergie, les organisations professionnelles du bâtiment, de l'exploitation maintenance et entretien, ainsi que les fabricants et distributeurs d'équipements. La filière dispose aujourd'hui d'un chiffre d'affaires de 90 milliards d'Euros et emploie 300 000 personnes en France. Il s'agit d'un gisement d'emplois de proximité et non délocalisables : ce système de chauffage requiert l'intervention de professionnels qualifiés pour en assurer l'installation et la maintenance (en moyenne, un emploi toutes les 200 installations).



ASSOCIATION DES PROFESSIONNELS
POUR LE CHAUFFAGE DURABLE

Energies et Avenir

8 terrasse Bellini

92807 Puteaux cedex

E-mail : contact@energies-avenir.org

www.energies-avenir.fr

