



**HAL**  
open science

## **Groupe Scientifique sur le Confort d'Été, Rapport final**

Bruno Peuportier, Jean-Robert Millet, Jean-Baptiste Videau, Sébastien Prévot, Christian Cardonnel, Jean-Alain Bouchet, Bassam Moujalled, Thierry Salomon, Francis Allard

### ► To cite this version:

Bruno Peuportier, Jean-Robert Millet, Jean-Baptiste Videau, Sébastien Prévot, Christian Cardonnel, et al.. Groupe Scientifique sur le Confort d'Été, Rapport final. Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB), 84 avenue Jean Jaures BP2, 77447 Marne-la-Vallée cedex 2. 2011. hal-04264722

**HAL Id: hal-04264722**

**<https://hal.science/hal-04264722>**

Submitted on 30 Oct 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Public Domain

# Groupe Scientifique sur le Confort d'Eté

## Rapport final

*Jean-Robert Millet, Jean-Baptiste Videau (CSTB), Bruno Peuportier (Armines), Christian Cardonnel, Sébastien Prévot (Cardonnel Ingénierie), Jean-Alain Bouchet, Bassam Moujalled (CETE), Thierry Salomon (Izuba Energies), Francis Allard (LEPTIAB)*

Toute reproduction, même partielle, devra mentionner le ou les auteurs.

Il comporte 79 pages

Client : DHUP  
Responsable : David Delaune

DECEMBRE 2011

ESE/DE/PEB-2011.044R

## SOMMAIRE

<b>1. LOT N°1 : DEFINITION D'UN INDICATEUR DE CONFORT D'ETE .....</b>	<b>3</b>
1.1 Objectifs .....	3
1.2 Bases de travail .....	3
1.3 Ce qui n'a pas été retenu .....	3
1.4 Principe de calcul du nouvel indicateur .....	3
1.5 Utilisation des conventions de la RT2012 (1ère étape) .....	4
1.6 Caractérisation de l'inconfort chaud (2ème étape).....	5
1.7 Calcul de la température de confort chaud (3ème étape) .....	6
1.8 Correction de la température opérative (4ème étape) .....	6
1.9 calcul de l'indicateur (5ème étape).....	7
1.9.1 Calage de la zone de confort.....	7
1.9.2 Calcul du pourcentage d'insatisfaits au-delà de cette zone de confort.....	7
1.9.3 Calcul de l'indicateur d'inconfort froid .....	8
1.9.4 Intégration .....	8
1.9.5 l'exigence réglementaire .....	8
1.10 Exemples de résultats.....	9
1.10.1 Sinusoïde - faible amplitude .....	9
1.10.2 Sinusoïde - forte amplitude .....	9
1.10.3 Cas réel de Maison individuelle .....	10
<b>2. LOT N°2 : EVOLUTION DES METHODES.....</b>	<b>12</b>
2.1 Liste des systèmes .....	12
2.1.1 Systèmes « passifs » .....	12
2.1.2 Systèmes Aérauliques.....	14
2.1.3 Systèmes hydrauliques .....	18
<b>3. LOT N°3 : SIMULATIONS EN EVOLUTION LIBRE .....</b>	<b>21</b>
3.1 Cas ASHRAE-BEsttest .....	21
3.1.1 Descriptif du bâtiment .....	21
3.1.2 Sélection des cas test .....	22
3.1.3 Résultats principaux .....	22
3.1.4 Résultats détaillés .....	23
3.2 Maison Inca.....	35
3.2.1 Descriptif du bâtiment .....	35
3.2.2 Résultats principaux .....	40
<b>4. CONCLUSION .....</b>	<b>46</b>
<b>5. ANNEXES.....</b>	<b>48</b>
5.1 Contribution CSTB lot n°1 - mai 2010.....	48
5.1.1 Indicateur actuel de confort d'été .....	48
5.1.2 Contexte-contraintes .....	48
5.1.3 Données Th-BCE 2012 disponibles.....	49
5.1.4 Fiche algorithme indicateurs de confort.....	52
5.1.5 Exemple de scénarios d'occupation : en bureaux.....	62
5.2 Etat de l'art des indicateurs de confort / Cardonnel Ingénierie / lot n°1 - juillet 2010	67
5.3 Reflexions CETE Méditerranée lot n°1 - juillet 2010 .....	71
5.3.1 Pourquoi changer le critère Tic < Ticref ? .....	72
5.3.2 Une expression performentielle basée sur la caractérisation des ambiances thermiques en saison chaude.....	72
5.3.3 Des conventions communes pour les calculs C, Bbio, CTE.....	74
5.3.4 Comment choisir un nouvel indicateur ?.....	74
5.3.5 (pour mémoire : à développer après le lot 1) Éléments pour construire le niveau de l'exigence .....	80
5.4 Contribution CETE de l'Ouest lot n°1 - juillet 2011 .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
5.4.1 Présentation CETE de l'Ouest B.Moujalled : comparaison entre les normes NF EN 7730, NF EN 15251, Ashrae 55 .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
5.5 Contribution CSTB Lot n°1 - novembre 2011 .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
5.6 e	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>

## **1. LOT N°1 : DEFINITION D'UN INDICATEUR DE CONFORT D'ETE**

### **1.1 OBJECTIFS**

L'objectif de ce livrable est d'introduire une exigence de confort d'été se substituant à la TIC actuelle, avec le cahier des charges suivant :

- ✓ Lisibilité de l'indicateur
- ✓ Indicateur calculé au fil du temps lors du calcul annuel actuel des Th BCE
- ✓ Sans modification des données conventionnelles existantes
- ✓ Permettant de prendre en compte l'intensité et la durée de l'inconfort ressenti et pas simplement le dépassement d'un seuil
- ✓ Respectant les zones de confort actuel hors période d'été

### **1.2 BASES DE TRAVAIL**

On s'appuie dans ce qui suit sur deux normes relatives au confort thermique :

- 1) La norme ISO 7730 définit les conditions de confort thermique en ambiances thermiques modérées correspondant aux situations rencontrées dans les bâtiments (travail industriel exclu). Elle est basée sur un modèle de thermorégulation du corps humain permettant d'objectiver la sensation de confort à partir des paramètres d'ambiance (température, humidité et vitesse de l'air, température radiante moyenne) et de l'occupant (vêtue et activité). Du fait que certains paramètres physiologiques du sujet ne sont pas pris en compte (le poids par exemple) et d'aspects socioculturels, la sensation de confort (PMV) est calculé sur un base statistique, et ensuite exprimée en pourcentage prévisible d'insatisfaits (Predicted Percentage of Dissatisfied PPD)
- 2) La norme ISO 7730 a été complétée pour les bâtiments en climatisation naturelle par la norme EN 15251 basé sur un certain nombre d'hypothèses complémentaires (possibilité d'ajuster sa vêtue par exemple) sur la base d'enquêtes de terrain. Elle définit des zones de confort en prenant en compte les températures extérieures des jours précédent ; notons qu'elle ne permet de définir précisément les conditions d'ambiance ou de vêtue correspondantes.

### **1.3 CE QUI N'A PAS ETE RETENU**

La valeur de la température maximale ne répond pas au cahier des charges et apparaît qui plus est totalement impertinent du fait d'un effet couperet ;

Le nombre de degrés-heure ne permet pas de bien prendre en compte les conditions climatiques auxquelles le bâtiment est assujetti et est de plus difficile à interpréter.

C'est pourquoi ces deux indicateurs non pas été retenus.

### **1.4 PRINCIPE DE CALCUL DU NOUVEL INDICATEUR**

L'indicateur de confort d'été proposé s'articule autour de la notion de pourcentage statistique d'insatisfaits.

En cumulant les pourcentages d'insatisfaits en dehors d'une zone de confort, l'indicateur permet de représenter l'intensité de l'inconfort, de tenir compte du ressenti des occupants et se traduit simplement par une durée statistique d'inconfort.

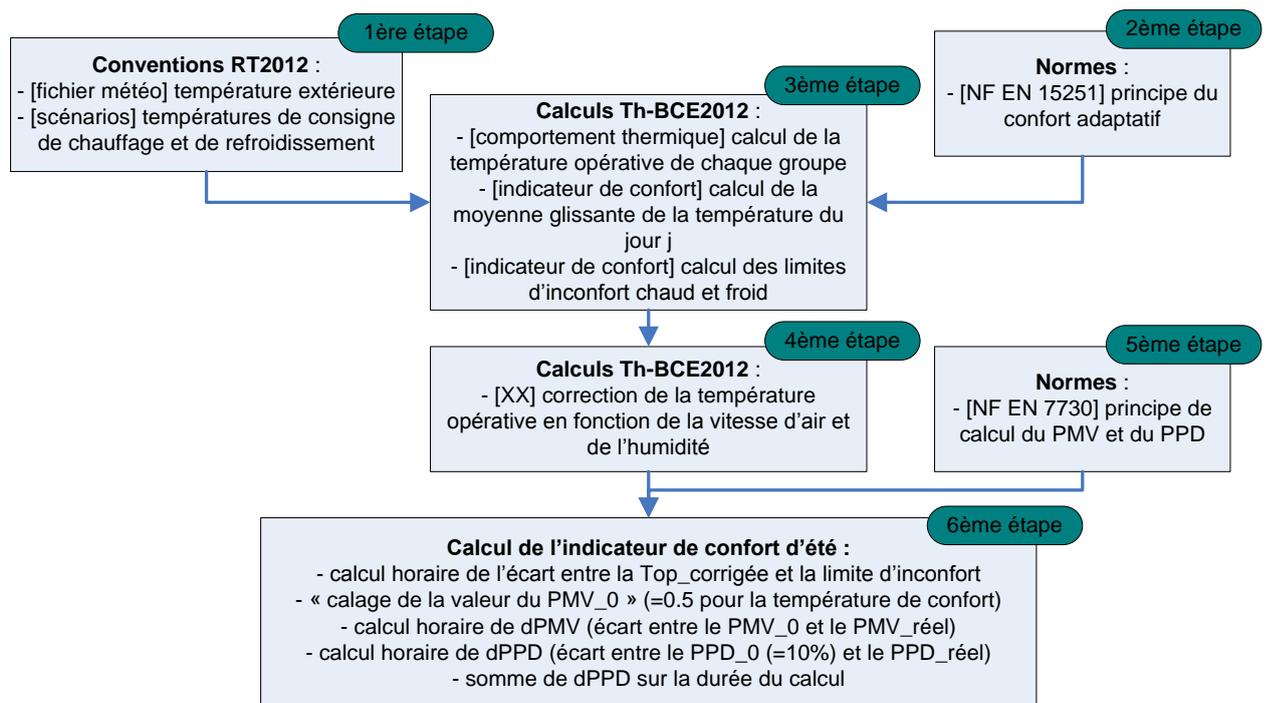
Exemple :

Considérons que sur une journée chaude de durée d'occupation de 8 heures on a les pourcentages d'insatisfaits en dehors de la zone de confort suivants, heure par heure donné dans le tableau suivant

Extrait d'une période d'occupation	11h00	12h00	13h00	14h00	15h00	16h00	17h00	18h00
Insatisfaction (%)	0	0	0	10%	20%	10%	0	0
Durée d'inconfort				3 heures				
Durée d'inconfort pondérée par le ressenti de l'inconfort (= durée pondérée par le degré insatisfaction)				0,4 heures équivalentes				

La durée totale d'inconfort pour cette journée est de 3 heures mais la durée d'inconfort pondérée par le degré d'insatisfaction sera de 0.4 heures. L'exigence réglementaire s'appuyant sur cet indicateur se présentera comme un nombre d'heures d'insatisfaction à ne pas dépasser (à caler en fonction des types de bâtiment, des zones géographiques,...).

Les étapes de calcul dans le moteur Th-BCE 2012 sont les suivantes :



### 1.5 UTILISATION DES CONVENTIONS DE LA RT2012 (1ERE ETAPE)

Les fichiers météorologiques donnant la température extérieure horaire sont ceux de la RT2012.

Les températures de consigne en chauffage et en refroidissement sont issues des scénarios d'occupation conventionnels de la RT2012. 32 scénarios d'occupation sont décrits dans la méthode de calcul Th-BCE 2012. Les températures de consigne de ces derniers peuvent être regroupées en 4 catégories :

	Chauffage			Refroidissement		
	normal	arrêt moins de	arrêt plus de	normal	arrêt moins de	arrêt plus de
Températures de consigne	19	16	7	28	30	30
	21	18	7	26	30	30
	19	16	7	26	30	30
	15	7	7	26	30	30

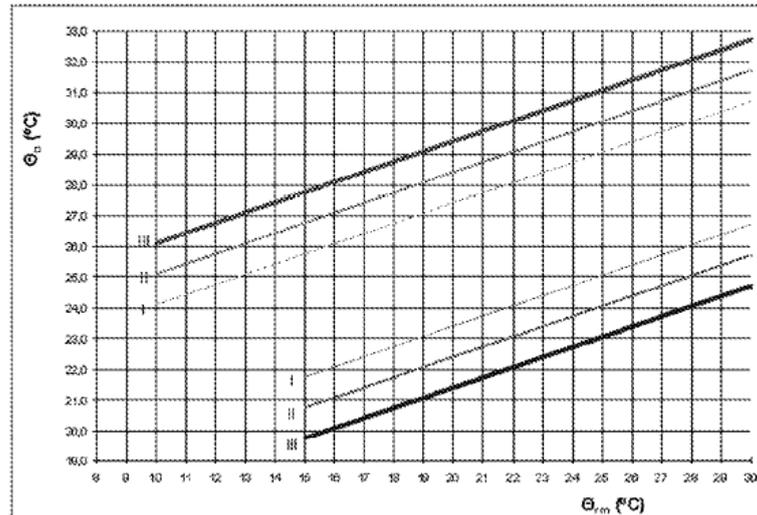
Les températures en gras sont les températures de consigne en occupation.

Les températures de consigne (à chaque pas de temps) en chauffage et en refroidissement sont notées  $\theta_{i\_ch}(h)$  et  $\theta_{i\_fr}(h)$ .

### 1.6 CARACTERISATION DE L'INCONFORT CHAUD (2EME ETAPE)

La zone de confort, ajustée en période d'été en fonction de la température extérieure des jours précédents pour le confort adaptatif (EN 15251) est déjà définie dans les règles Th-BCE 2012. Elle est utilisée pour le calcul des périodes de chauffage ou de refroidissement.

Les limites de la zone de confort, dépendantes de la température extérieure moyenne glissante des jours précédents sont représentées sur le graphique suivant :



#### Légende

$\theta_m$  Température extérieure en moyenne glissante journalière °C

$\theta_o$  Température opérative °C

Trois niveaux de confort d'ambiance sont définis dans la norme (C1, C2 et C3) correspondant à un niveau d'exigence de plus en plus faible. Selon l'usage de la zone dans laquelle se trouve le groupe, l'une ou l'autre des catégories est choisie :

USAGE de la zone au sens des scénarios	Valeur de <i>Cat_amb</i>
Bâtiments à usage d'habitation	3
Autres usages	1

Autrement dit, pour les bâtiments à usage d'habitation :

$$\theta_{op\_llm} \text{ du confort adaptatif} = 0.33 * \theta_{rm}(j) + 22.8 \quad (1)$$

Pour les autres usages,

$$\theta_{op\_llm} \text{ du confort adaptatif} = 0.33 * \theta_{rm}(j) + 20.8 \quad (2)$$

### 1.7 CALCUL DE LA TEMPERATURE DE CONFORT CHAUD (3EME ETAPE)

Calculée à chaque pas de temps, la température de confort chaud est le maximum entre la température de consigne (§1.5) et la température de limite de la zone de confort (§1.6).

$$\theta_{op\_conf\_ch}(h) = \theta_{op\_inc\_max}(h) = \max(\theta_{op\_llm} \text{ du confort adaptatif} ; \theta_{il\_fr}(h)) \quad (3)$$

$\theta_{op\_inc\_max}(h)$  est la notation actuelle de la RT, que l'on propose de conserver

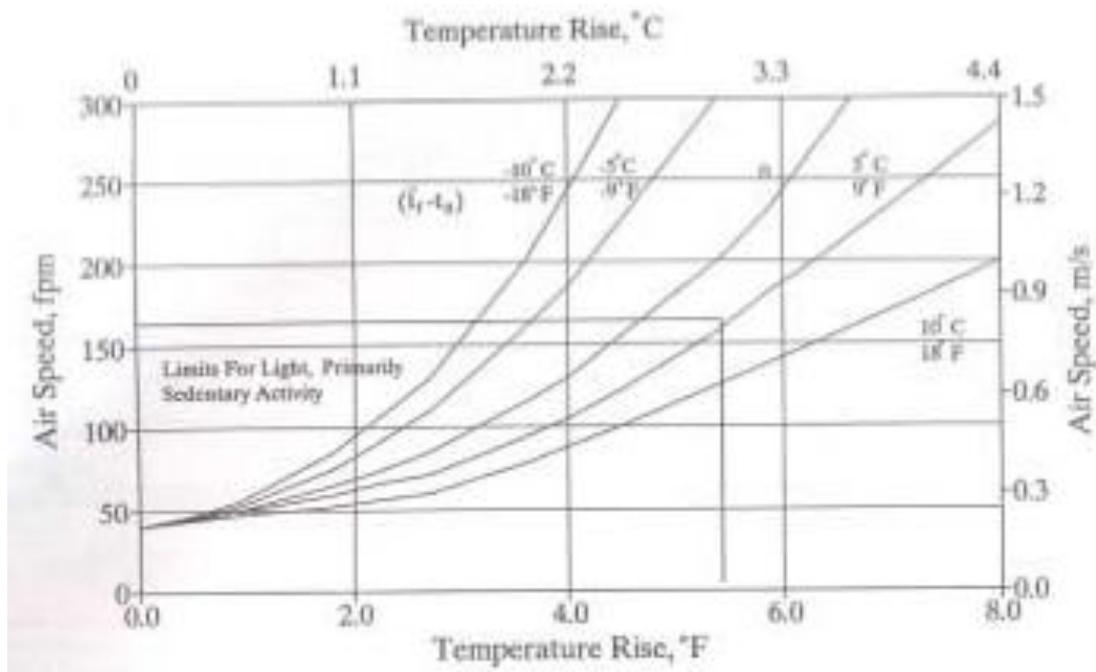
Par ailleurs, à chaque pas de temps, le moteur Th-BCE 2012 calcule la température opérative de chaque groupe  $\theta_{op}(h)$ .

### 1.8 CORRECTION DE LA TEMPERATURE OPERATIVE (4EME ETAPE)

En présence de brasseur d'air ou de systèmes à humidification directe, la température opérative du groupe est corrigée.

Le principe de correction est présenté ci-après, la formulation restant à définir :

#### **Impact du brasseur d'air**



Compte-tenu des conditions d'application de la norme, il semble légitime de considérer une valeur limite basse de vitesse d'air, à définir.

### Impact de l'humidité

Par hypothèse, dans la norme NF EN 7730, l'humidité relative est de 50%. On calcule l'impact sur la température opérative en fonction de  $(HR_{50\%}-HR)$ .

### Correction sur la température opérative

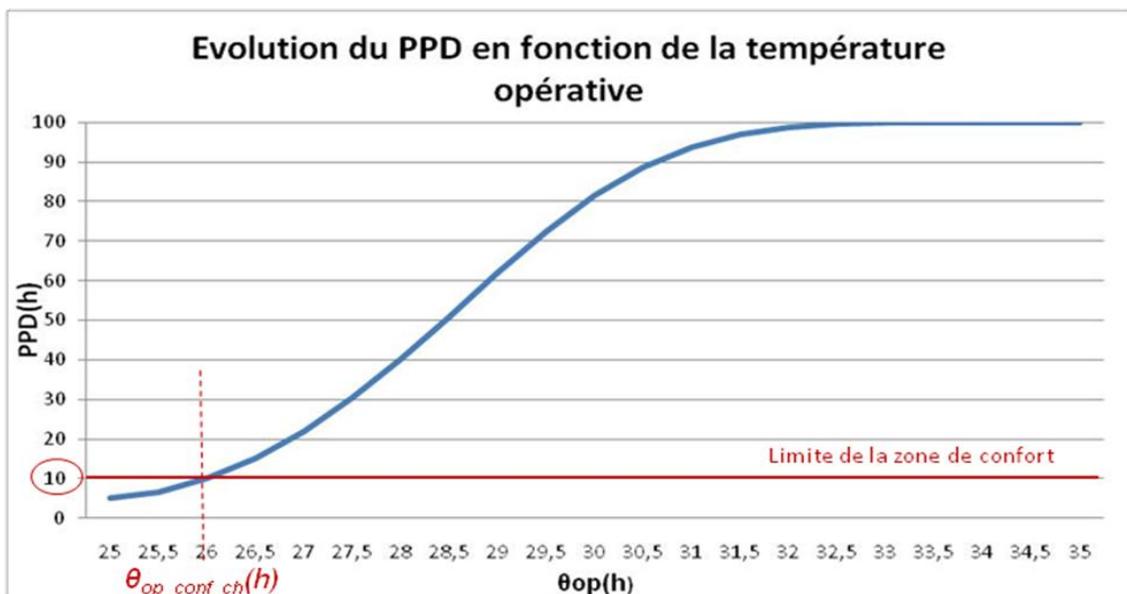
La température opérative est ainsi corrigée

$$\theta_{op}(h) = \theta_{op}(h) + \Delta\theta_{op}^{BA}(h) + \Delta\theta_{op}^{HR}(h) \quad (4)$$

## 1.9 CALCUL DE L'INDICATEUR (5EME ETAPE)

### 1.9.1 CALAGE DE LA ZONE DE CONFORT

A  $\theta_{op\_conf\_ch}(h)$ , PPD est supposé égal à 10% (limite de la zone de confort)

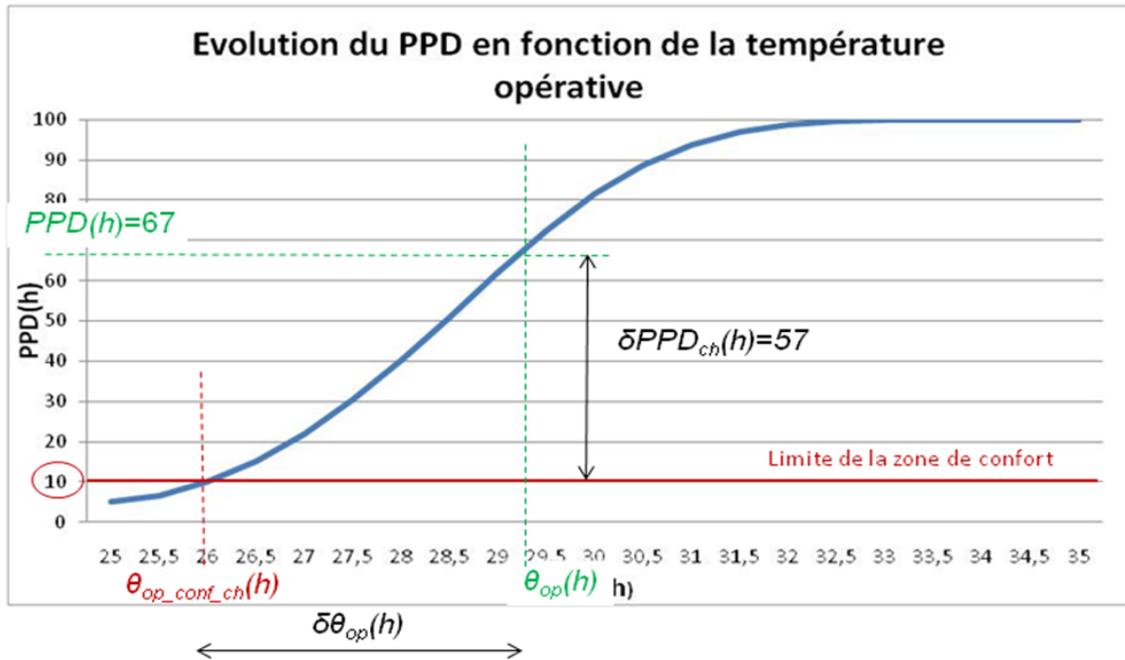


Le PMV et du PPD dépendent de la vêtture et de l'activité de l'occupant. Or, dans la méthode Th-BCE 2012, le comportement de l'occupant est décrit de manière purement conventionnelle. Dans le calcul de l'indicateur de confort d'été, les conventions sont les suivantes :

- MET=1.0 (soit 58 W/m<sup>2</sup>)
- CLO=0.5
- V<sub>air</sub>=0,2m/s

### 1.9.2 CALCUL DU POURCENTAGE D'INSATISFAITS AU-DELA DE CETTE ZONE DE CONFORT

A partir de l'écart entre la température opérative du groupe et la température limite d'inconfort  $\delta\theta_{op}(h)$  et via le PMV (norme NF EN 7730), on calcule le pourcentage d'insatisfaits en dehors de la zone de confort :  $\delta PPD_{ch}(h)$ .



### 1.9.3 CALCUL DE L'INDICATEUR D'INCONFORT FROID

Sur le même principe que l'indicateur d'inconfort chaud, l'indicateur d'inconfort froid est calculé au fil du temps. Par contre, la température de limite de confort  $\theta_{op\_conf\_fr}(h)$  est supposée égale à la température de consigne de chauffage des scénarios de la RT2012,  $\theta_{ii\_ch}(h)$ .

L'indicateur froid sera présenté comme indicateur pédagogique, donc non soumis à exigence.

### 1.9.4 INTEGRATION

Les pourcentages d'insatisfaits en dehors de la zone de confort  $\delta PPD_{ch}(h)$  (resp.  $\delta PPD_{fr}(h)$ ), calculés au pas de temps horaire, sont intégrés sur la période d'application de la norme 15251, c'est-à-dire les journées pour lesquelles la température de confort est supérieure à de la température de consigne en refroidissement pour les raisons suivantes :

- 1) C'est une des conditions d'application de la norme ;
- 2) Elle permet de définir la saison d'observation indépendamment du bâtiment étudié (hormis les points de consignes en chaud mais qui sont déterminés par catégorie d'usage) et peut ainsi permettre de caler les exigences par rapport à une référence absolue ;
- 3) En dehors de cette période, la température extérieure est suffisamment basse pour que l'occupant puisse améliorer son confort si besoin est par ouverture des baies ;
- 4) En période d'occupation

### 1.9.5 L'EXIGENCE REGLEMENTAIRE

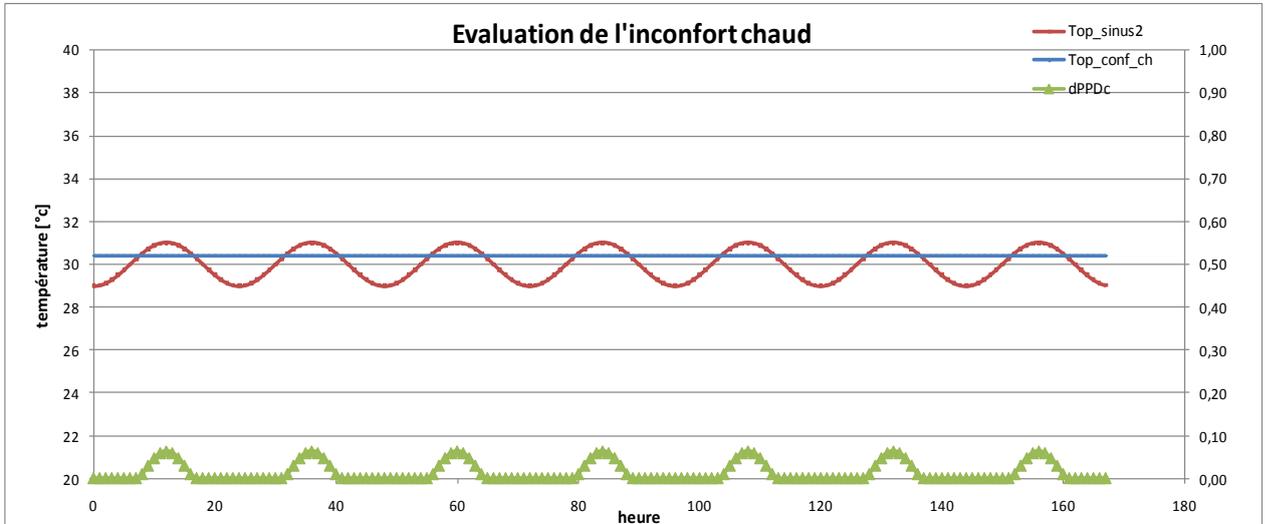
L'exigence de la RT2012 porte sur l'indicateur chaud intégré sur la période d'observation :

$$INDICATEUR = \int_{periode\_ch} \delta PPD_{ch}(h) \quad (5)$$

## 1.10 EXEMPLES DE RÉSULTATS

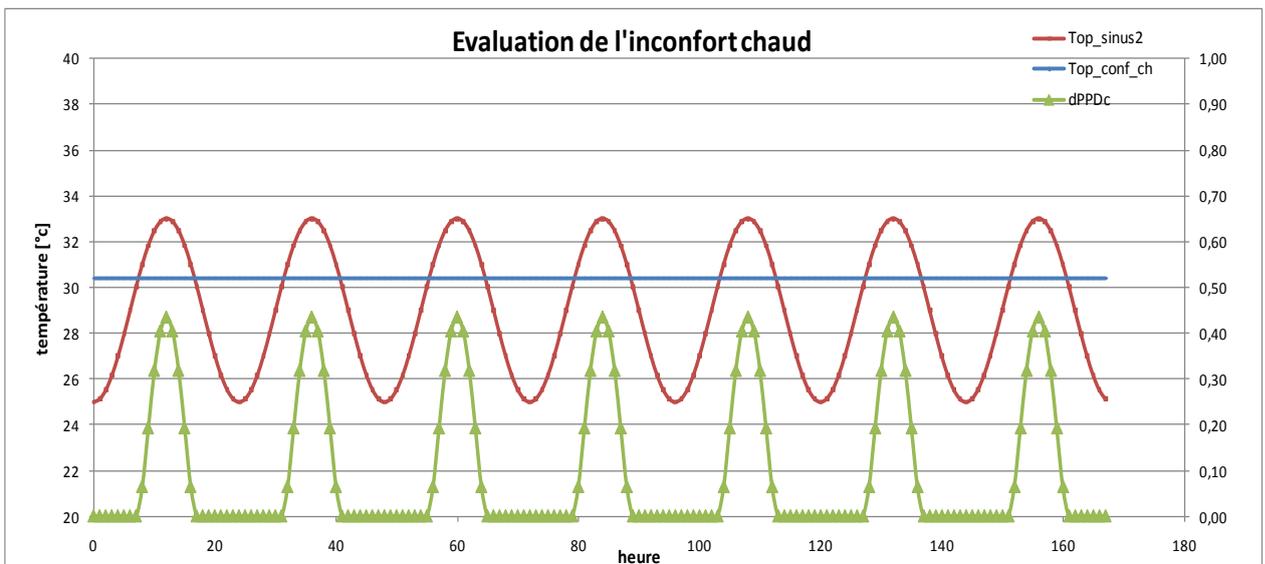
Les indicateurs sont calculés sur la période d'occupation. Dans les exemples présentés, le nombre d'heures durant lesquelles il y a inconfort est donné à titre indicatif.

### 1.10.1 SINUSOÏDE - FAIBLE AMPLITUDE



INDICATEUR_OCC	Nb d'heures pendant lesquelles il y a inconfort
2,51	63,00

### 1.10.2 SINUSOÏDE - FORTE AMPLITUDE

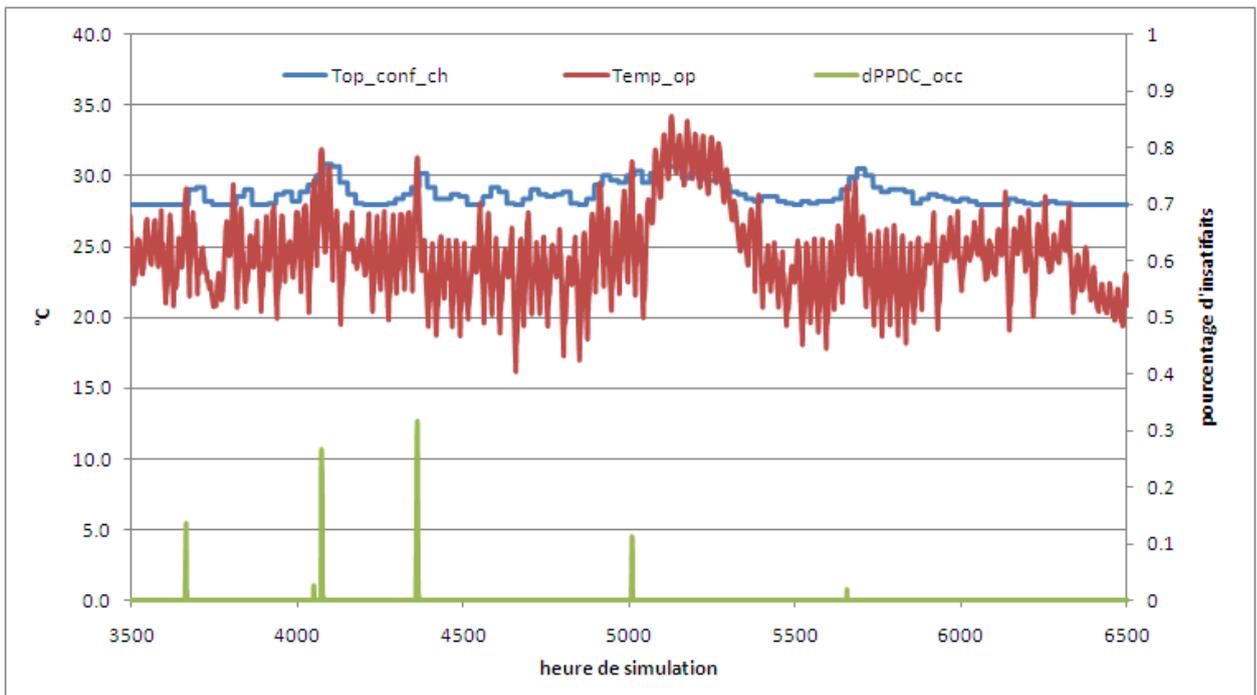


INDICATEUR_OCC	Nb d'heures pendant lesquelles il y a inconfort
16,74	63,00

L'intensité de l'inconfort est bien prise en compte dans l'indicateur puisque pour une même durée pendant laquelle on observe des insatisfaits (63 heures), la durée d'inconfort statistique est liée à l'intensité de l'inconfort.

### 1.10.3 CAS REEL DE MAISON INDIVIDUELLE

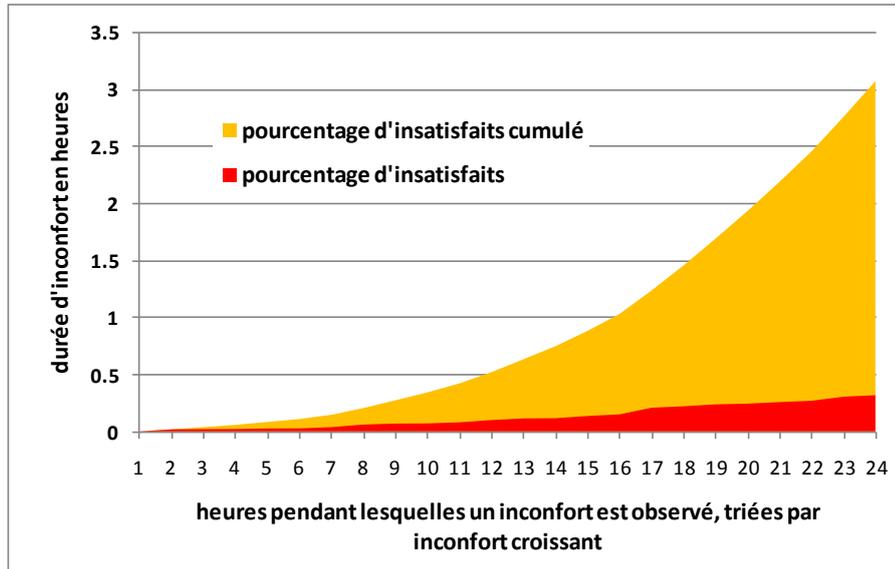
On a appliqué la procédure à une simulation annuelle de maison individuelle. Les résultats sont les suivants



INDICATEUR_OCC	Nb d'heures pendant lesquelles il y a inconfort
3,08	24

La période durant laquelle le pourcentage d'insatisfaits est important (autour du 5200<sup>ème</sup> pas de temps) correspond, dans cet exemple, à une période de vacances (ouverture des baies impossible). Ainsi ces pourcentages d'insatisfaits ne sont pas comptabilisés dans l'indicateur final.

La lecture du graphe ci dessus ne permettant pas d'observer le détail heure par heure, on a tracé sur toutes les heures où un inconfort est observé en occupation, et par ordre croissant d'inconfort, le pourcentage d'insatisfait, et le pourcentage cumulé. Pour une heure donnée, le pourcentage d'insatisfaits correspond donc à la durée moyenne d'insatisfaction. La somme sur toutes les heures permet (courbe cumulée) de retrouver la valeur Indicateur\_Occ (exprimé en heure) indiqué ci-dessous.



## 2. LOT N°2 : EVOLUTION DES METHODES

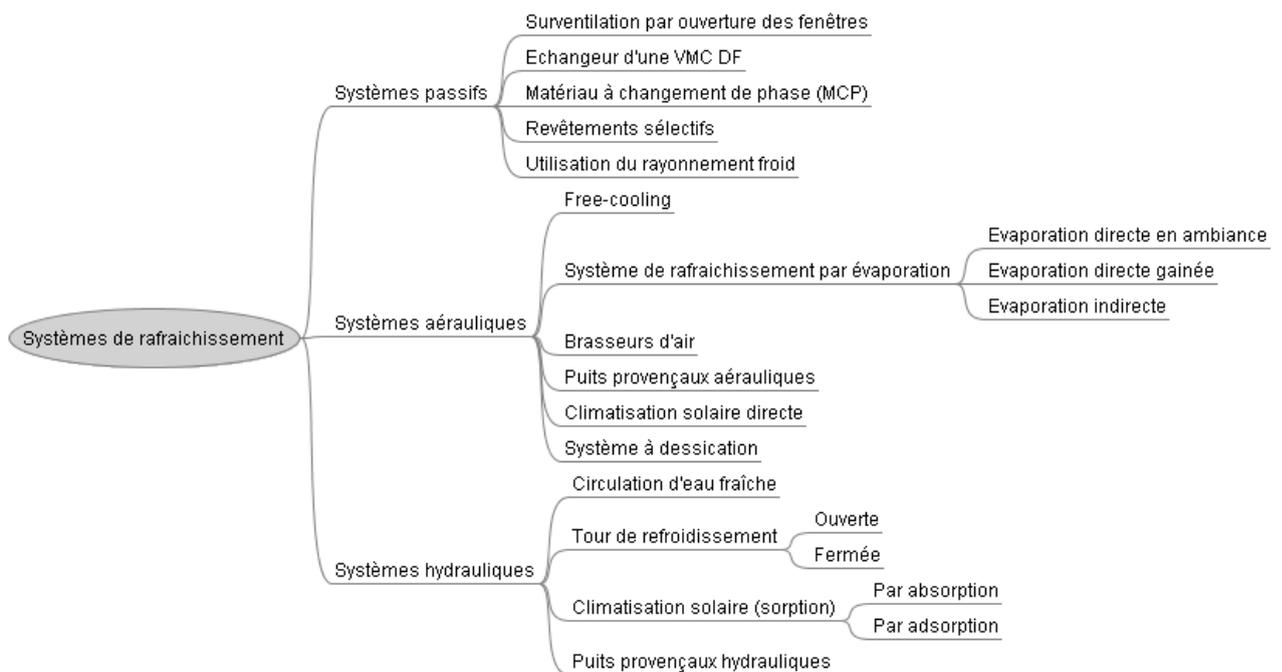
### 2.1 LISTE DES SYSTÈMES

L'objectif de ce lot est de lister les systèmes contribuant à améliorer le confort d'été et ayant une faible consommation d'énergie (incluant les auxiliaires de distribution).

Il est clair que ces systèmes complètent une bonne conception du bâti (protections solaires, inertie, orientation, masques,...). Ils ne sont pas tous en mesure de maintenir une température intérieure inférieure ou égale à la température de consigne de refroidissement.

Les systèmes de rafraîchissement sont regroupés en trois catégories :

- systèmes « passifs » (ne consomment pas d'énergie) ;
- systèmes aérauliques (systèmes de rafraîchissement d'air) ;
- systèmes hydrauliques (produisent de l'eau glacée).



**Figure 1 : systèmes de rafraîchissement**

#### 2.1.1 SYSTEMES « PASSIFS »

Ces systèmes ne consomment pas d'énergie en phase utilisation. Il s'agit d'éléments de l'enveloppe ou appartenant aux équipements qui contribuent grâce à leurs caractéristiques intrinsèques ou par action de l'occupant à l'amélioration du confort d'été.

##### 2.1.1.1 *Surventilation par ouverture des fenêtres*

Le modèle est présent dans les règles Th-BCE 2012. Le calcul du débit massique dû à l'ouverture des fenêtres, inspiré de la norme NF EN 15242, dépend de la vitesse du vent, du caractère traversant ou non du groupe, des phénomènes de tirage thermique, de la différence de température intérieure/extérieure et de constantes aérodynamiques.

La gestion de l'ouverture peut être manuelle ou automatique et dépend des périodes d'occupation ainsi que des températures intérieures et extérieures.

Par hypothèse dans les règles Th-BCE 2012 (arrêté méthode du 20 juillet 2011), l'ouverture des baies est gérée indépendamment des protections mobiles. Autrement dit, le ratio de fermeture des protections mobiles n'impacte pas le débit par ouverture des baies calculé.

#### **2.1.1.2 Echangeur d'une VMC Double flux**

La ventilation mécanique double-flux possède un échangeur qui permet de récupérer les calories/frigories de l'air extrait et ainsi préchauffer/pré-refroidir l'air soufflé dans le bâtiment.

Utilisé en journée pour rafraichir l'air soufflé, l'échangeur peut être bypassé en été, lorsque la température est plus fraîche à l'extérieur qu'à l'intérieur.

Le système est courant, il y a de nombreux retours d'expérience et le modèle est présent dans Th-BCE 2012.

#### **2.1.1.3 Matériau à Changement de Phase (MCP)**

En période de forte chaleur, lorsque la température intérieure dépasse leur point de fusion, les MCP absorbent de l'énergie en fondant. Ce stockage d'énergie par changement de phase permet de limiter l'augmentation de la température intérieure en vue de maintenir un certain niveau de confort. Cette énergie est restituée au local ultérieurement lorsque la température intérieure diminue en dessous du point de solidification. Une sur-ventilation nocturne est souvent mise en place pour accélérer le processus de solidification.

Toutefois, s'ils contribuent à limiter la surchauffe du bâtiment en été, les MCP ne peuvent pas être considérés comme des systèmes de rafraichissement à part entière.

#### **2.1.1.4 Les revêtements sélectifs**

Pour réduire les apports solaires par les parois opaques d'un bâtiment, ces dernières peuvent être recouvertes de revêtements sélectifs pour l'absorption et l'émission. Ces revêtements de paroi ont le même aspect que d'autres revêtements dans le visible mais sont très réfléchissants dans le proche infrarouge. Cela réduit le rayonnement solaire transmis au bâtiment et limite sa surchauffe.

Ces produits sont au stade de développement. A noter que ce type de revêtement (mais avec des propriétés d'absorption et d'émission inversés) est utilisé pour les capteurs solaires, pour lesquels les retours d'expérience sont déjà plus nombreux. Dans cette configuration, ils sont conçus pour absorber le rayonnement solaire au maximum (coefficient d'absorption proche de 1) et leur état de surface est tel qu'ils piègent les rayonnements infrarouges qui sont émis lors de l'échauffement. Le coefficient d'émissivité est alors beaucoup plus faible que pour une peinture noire classique, et le rendement du capteur est nettement meilleur.

Cependant, leur place serait dans les règles Th-Bât et non dans les règles Th-BCE.

#### **2.1.1.5 Des systèmes utilisant le rayonnement froid vers la voûte céleste**

« Une surface située au sol échange par rayonnement infrarouge, ou GLO avec les surfaces environnantes : le ciel (la voûte céleste) et le sol (une hypothèse classique consiste à considérer sa température égale à celle de l'air). L'échange fait intervenir l'émissivité ( $\epsilon_{GLO}$ ) de la surface. Le flux (W) ainsi échangé avec le ciel par m<sup>2</sup> de surface (S1) inclinée d'un angle  $\theta$ , s'exprime ainsi, après calcul des facteurs de forme :

$$\Phi_{GLO} = \epsilon_{1,GLO} \cdot \sigma \cdot \left( \frac{1 + \cos \theta}{2} \right) \cdot (T_1^4 - T_{ciel}^4)$$

La température de la voûte céleste est en permanence inférieure à la température extérieure (7°C de moins en moyenne à Chambéry). Elle s'en rapproche à mesure que le ciel est couvert par les nuages et inversement.

Une surface au sol (pour une température inférieure à celle du ciel) aura donc tendance à être refroidie par le rayonnement GLO émis vers la voûte céleste (l'échange avec le sol étant en comparaison faible puisque les températures de surface sont plus proches de la température de l'air). Cette source présente, du fait de la température du ciel, un potentiel thermique de rafraîchissement pour les périodes où un besoin de froid apparaît (mi-saison, été). Bien que peu utilisée, cette source est néanmoins à l'origine de dispositifs techniques pouvant l'exploiter (radiateur métallique nocturne, toiture diode), notamment en climat sec et chaud où le potentiel est plus important. »

[Potentiel énergétique lié à l'environnement climatique en regard des besoins en énergie d'un bâtiment / Wurtz, Serrat, Tittlein]

## **2.1.2 SYSTEMES AERAIQUES**

### **2.1.2.1 Free-cooling**

Le free-cooling consiste à utiliser un système de ventilation mécanique spécifique ou une centrale de traitement d'air pour créer un débit de surventilation en été la nuit. Le bâtiment bénéficie donc du rafraîchissement nocturne. Une bonne gestion est nécessaire pour passer ou non, en fonction des conditions intérieure et extérieure, à un débit plus important.

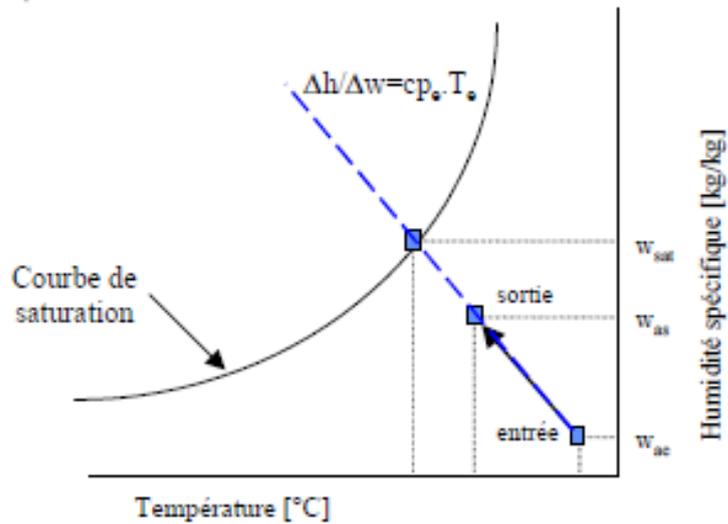
Le free-cooling est relativement facile à mettre en œuvre et a été éprouvé.

Un modèle de free-cooling est intégré aux règles Th-BCE mais certains principes de gestion-régulation pourraient être améliorés.

### **2.1.2.2 Système de rafraîchissement à évaporation directe**

« Ce type de système fait évaporer de l'eau pour refroidir l'air. Le système requiert l'utilisation d'un humidificateur qui permet d'humidifier l'air. On distingue plusieurs types de climatisation par évaporation directe :

- **L'évaporation directe en ambiance.** De l'eau est pulvérisée directement dans les locaux à rafraîchir. De ce fait, on augmente l'humidité de l'air mais l'évaporation de l'eau refroidit l'air. Ce système est intéressant dans des régions de basse hygrométrie moyenne et dans des locaux très ventilés ;
- **L'évaporation directe gainée** consiste à insérer un humidificateur dans une centrale de traitement d'air. La solution conduit à humidifier le local, ce qui peut être incompatible avec son utilisation ou au contraire favorable dans d'autres cas où cet effet est recherché. » [IEA, annexe 28]



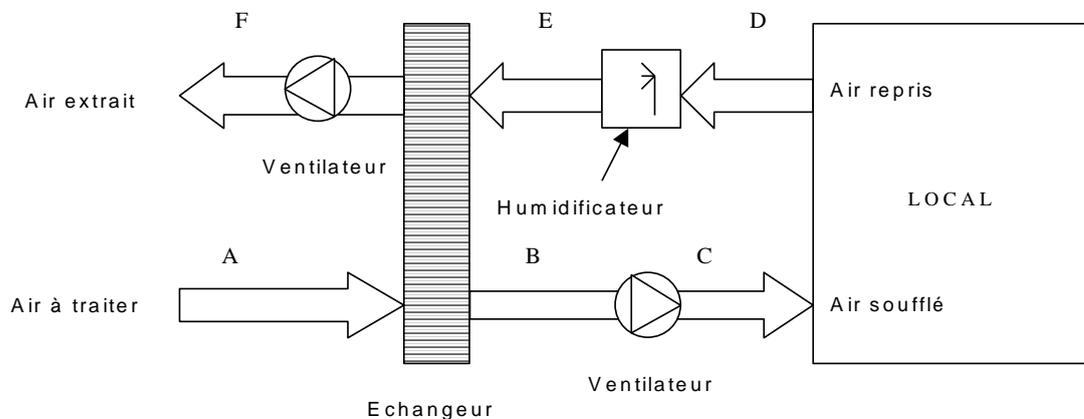
**Figure 2 : Représentation de la pulvérisation d'eau dans l'air dans le diagramme de l'air humide**

Ce système a l'avantage de peu consommer d'énergie. Cependant, il est intéressant si l'air intérieur n'est pas trop humide. Plus l'air est humide, plus son potentiel de rafraîchissement est faible.

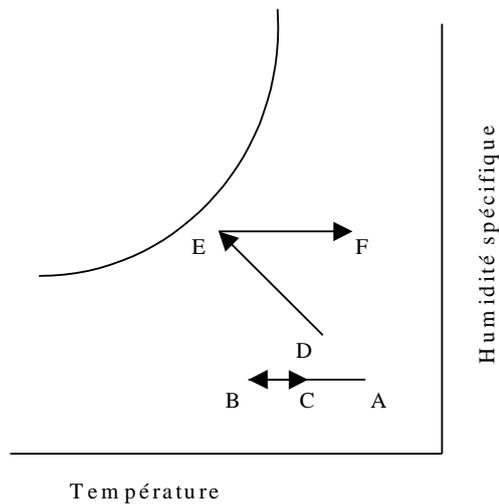
Le modèle d'humidification dans les centrales de traitement d'air (par vapeur ou pulvérisation d'eau) est déjà présent dans les règles Th-BCE 2012 mais la gestion est la même en été et en hiver.

### 2.1.2.3 Système de rafraîchissement à évaporation indirecte

Le schéma ci-dessous présente un système évaporatif indirect complété par une batterie de refroidissement et une batterie de chauffage.



**Figure 3 : Schéma de principe d'un système évaporatif indirect**



**Figure 4 : Représentation de l'évolution de l'air neuf et extrait dans un diagramme de l'air humide**

L'humidité de l'air du local n'est pas impactée par ce système. Selon les travaux de l'Annexe 28, (« Low Energy Cooling »), de l'Agence Internationale de l'Énergie, ce système présente un potentiel de développement en France.

#### **2.1.2.4 Puits provençaux**

Les performances globales des puits climatiques dépendent beaucoup du bon dimensionnement du système, ainsi que de la performance et de la gestion des ventilateurs. Pour compenser les pertes de charges des tuyauteries, les ventilateurs doivent être suffisamment puissants. Le gain thermique apporté par le puits climatique ne compense pas toujours la consommation électrique des ventilateurs.

De plus, des problèmes sanitaires peuvent apparaître suite à une mauvaise mise en œuvre.

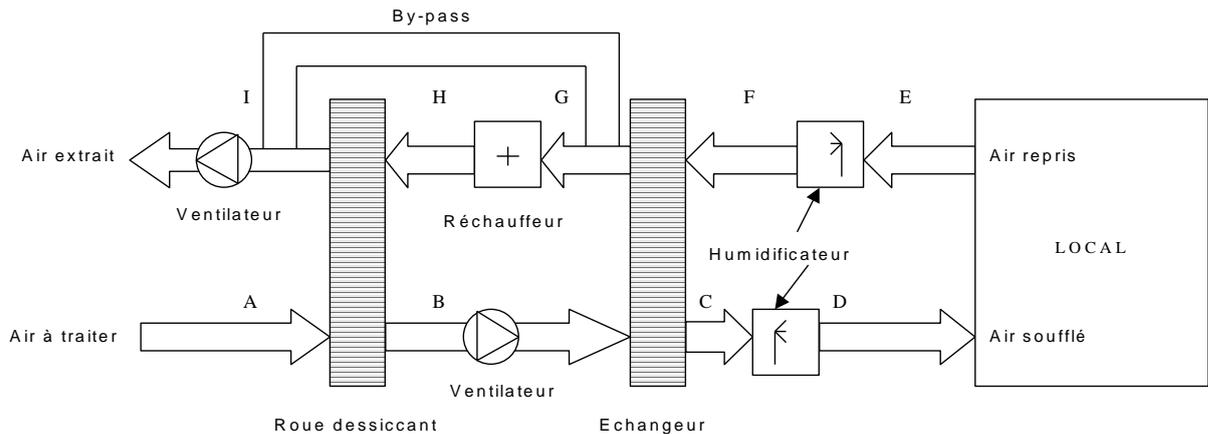
Un modèle de puits climatique est intégré dans les règles Th-BCE 2012 (échangeur géothermique) ainsi qu'un principe de gestion-régulation du puits climatique avec possibilité de bypass.

#### **2.1.2.5 La climatisation solaire directe**

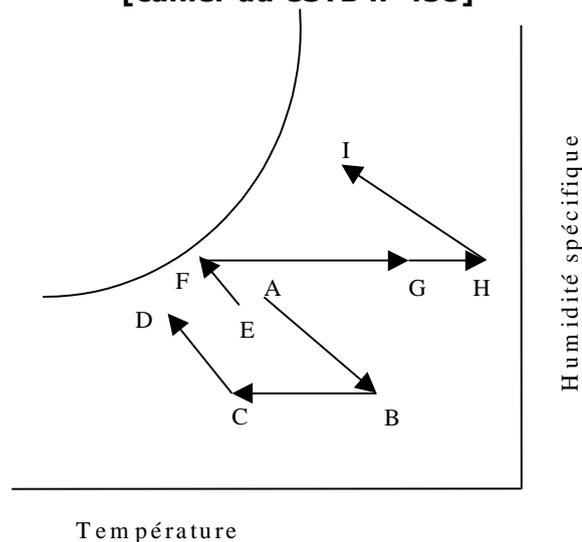
Il s'agit de coupler un climatiseur avec des capteurs solaires photovoltaïques. L'électricité produite par les capteurs est utilisée pour faire fonctionner le compresseur.

#### **2.1.2.6 Les systèmes à dessiccation**

Le système à dessiccation consiste à déshumidifier l'air extérieur pour pouvoir le refroidir ensuite par évaporation d'eau.



**Figure 5 : Schéma de principe d'un système de climatisation par dessiccation [cahier du CSTB n°438]**



**Figure 6 : Représentation de l'évolution de l'air neuf et extrait dans un diagramme de l'air humide [cahier du CSTB n°438]**

L'air extérieur passe dans une roue à dessiccation qui adsorbe la vapeur d'eau. L'adsorption d'eau s'accompagne d'un réchauffement de l'air. Celui-ci est refroidi dans un échangeur de chaleur par l'air intérieur préalablement refroidi par humidification. Ensuite, il est refroidi dans un humidificateur à eau liquide. La roue à dessiccation doit être régénérée par chauffage pour pouvoir désorber l'eau adsorbée. La déshumidification peut être aussi bien liquide que solide. La technologie la plus courante aujourd'hui utilise des roues à dessiccation rotatives, avec du silica-gel ou du chlorure de lithium comme matériau de sorption.

Dans le cas de la climatisation solaire, la source d'énergie pour la régénération est solaire.

### 2.1.2.7 Brasseurs d'air

Contrairement aux précédents systèmes, les brasseurs d'air n'influent pas sur les caractéristiques de l'air ambiant (température, humidité) mais sur la sensation de confort grâce à la création d'une vitesse d'air dans les zones d'occupation. Beaucoup utilisés dans les DOM-TOM, ils améliorent le confort en favorisant le rafraîchissement cutané.



**Figure 7 : un brasseur d'air**

Il ressort de l'étude [CSTB-ADEME, 2001] que la température de confort d'une personne dans une ambiance où la vitesse d'air est de 1 m/s est supérieure d'environ 4°C par rapport à une ambiance en air calme (vitesse de vent  $\sim 0,2$  m/s).

L'efficacité des brasseurs d'air dépend aussi de leur mise en œuvre. Certaines règles d'intégration doivent être respectées. Par exemple, lorsque le volume disponible entre le plafond et les pales décroît, le débit d'air brassé diminue et les vitesses d'air baissent. Le brasseur d'air perd alors en efficacité. Par contre, les pales doivent aussi se trouver à une hauteur suffisante du sol pour des questions de sécurité.

Le taux de brassage, rapport du volume brassé au volume de la pièce situé sous les pales, doit être d'environ 200 vol/h en préférant des brasseurs avec des diamètres importants pour éviter les vitesses d'air excessives.

### **2.1.3 SYSTEMES HYDRAULIQUES**

Les systèmes ci-dessous produisent de l'eau glacée.

#### **2.1.3.1 Circulation d'eau fraîche**

« Le système consiste à réaliser une boucle de canalisation d'eau prélevée dans une source d'eau fraîche naturelle locale. On distingue les systèmes où l'eau provient de nappes phréatiques qui nécessitent le forage de 2 puits pour prélever et évacuer l'eau, des systèmes où l'eau provient de la mer, de rivières ou d'un lac. En été, l'eau pompée circule dans un échangeur thermique et peut refroidir directement les locaux ou être utilisée pour refroidir le condenseur d'un groupe frigorifique. Le cycle est inversé en hiver, la chaleur prélevée sur l'eau servant à préchauffer l'air pour le bâtiment. » [IEA]

Les retours d'expérience existent mais la mise en œuvre de tels systèmes est complexe.

#### **2.1.3.2 Tour de refroidissement (ouvertes ou fermées)**

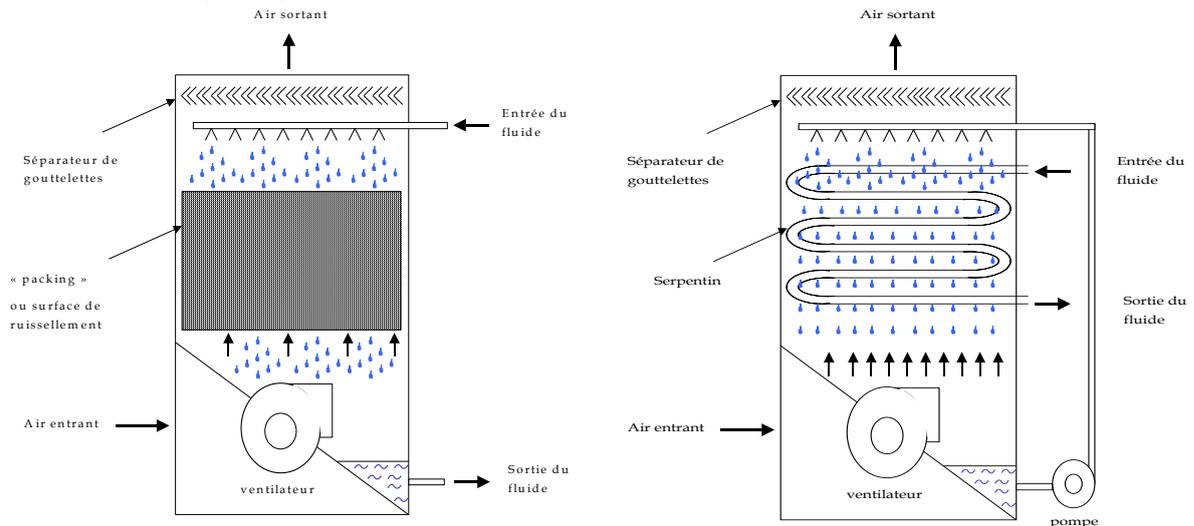
« Une tour de refroidissement est un échangeur de chaleur spécifique dans lequel l'eau de refroidissement est amenée au contact de l'air ambiant pour transférer la chaleur de l'eau vers l'air ambiant. Le refroidissement se produit par évaporation directe d'une partie de l'eau de refroidissement. Des plafonds froids couplés à une tour de refroidissement humide permettent d'évacuer la chaleur des locaux en grande partie par rayonnement (>50%).

On trouve deux types de système :

- Les tours de refroidissement **ouvertes** où le contact est direct entre le fluide caloporteur et l'air ambiant.

- Les tours de refroidissement **fermées, sèches ou humides**, où il y a contact indirect entre les deux fluides à travers les parois d'un échangeur. » [IEA]

Les schémas de principe sont les suivants :



Tour aéroréfrigérante humide ouverte      Tour aéroréfrigérante humide fermée  
**Figure 8 : technologies de tours de refroidissement utilisables [cahiers du CSTB n°438]**

De tels systèmes consomment une quantité importante d'eau, quelles que soient les conditions d'exploitation. Tous les circuits fermés sont généralement moins efficaces, consomment davantage d'électricité en raison de ventilateurs plus puissants et augmentent l'investissement initial par rapport à une tour de refroidissement ouverte.

La mise en œuvre des tours de refroidissement est également complexe. Un modèle de tour de refroidissement est décrit dans les règles Th-BCE mais n'est utilisé que comme source froide de machine frigorifique.

### 2.1.3.3 La climatisation solaire (sorption)

« Les machines à **absorption solaire** utilisent un cycle d'absorption. Ce dernier fonctionne de la même manière que le cycle à compression : seul le compresseur mécanique est remplacé par un compresseur thermochimique, contenant un mélange de deux constituants : le réfrigérant et un solvant qui interagit très fortement avec le réfrigérant (en général, on utilise une solution de Bromure de Lithium). La compression mécanique est alors remplacée par la chaleur produite par les capteurs solaires qui, via un « générateur », permet au réfrigérant de se libérer sous forme de vapeur. Le refroidissement du condenseur nécessite en général une tour de refroidissement humide.

Dans les machines à **adsorption solaire**, un matériau solide adsorbant est utilisé. La machine comprend deux compartiments remplis d'adsorbant, un évaporateur et un condenseur. L'adsorbant permet à l'eau de s'évaporer à basse pression. La chaleur solaire permet de régénérer l'adsorbant solaire. Les systèmes disponibles sur le marché utilisent l'eau comme réfrigérant et le silica-gel comme adsorbant. » [IEA]

### 2.1.3.4 Puits hydrauliques

Le principe est proche de celui des puits provençaux (cf. §2.1.2.4). Grâce à un collecteur fonctionnant avec de l'eau glycolée, la chaleur géothermique est collectée et l'énergie qu'elle contient est transmise à l'air soufflé dans le bâtiment via un échangeur de chaleur thermique.

Par rapport aux puits provençaux, ils présentent en plus l'avantage d'être facile d'installation (plus de pentes à respecter, de regard...) et d'être plus hygiénique car l'échangeur est facilement accessible et nettoyable.

### 3. LOT N°3 : SIMULATIONS EN EVOLUTION LIBRE

De manière similaire à l'étude concernant les besoins bioclimatiques, les cas tests ont été choisis de manière à disposer de résultats issus de plusieurs logiciels. Les cas considérés dans la norme CEN n'ont cependant pas été considérés car le calcul effectué en monozone induit l'hypothèse d'échanges négligeables entre la pièce étudiée et le reste du bâtiment. Dans le cas de locaux chauffés ou climatisés, cette hypothèse est envisageable (avec certaines réserves). Dans le cas d'une évolution libre, cette hypothèse n'est pas réaliste : la pièce étudiée, orientée à l'ouest, évolue de manière différente par rapport au local opposé à la façade, et une pièce située sous la toiture a un comportement thermique spécifique. L'étude a alors porté sur la norme Ashrae et les maisons INCAS.

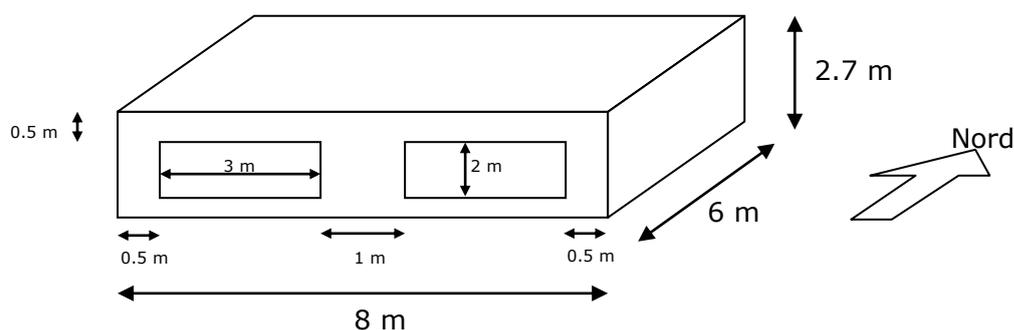
#### 3.1 CAS ASHRAE-BESTTEST

##### 3.1.1 DESCRIPTIF DU BATIMENT

La méthode de test définie dans la norme ANSI/ASHRAE 140-2001 est basée sur la procédure NREL/IEA BESTEST, qui spécifie des protocoles pour évaluer les capacités techniques et les limites d'application des codes de calcul des performances thermiques des bâtiments et des équipements.

Le test consiste à simuler une série de cas, et les résultats sont comparés à ceux d'autres logiciels du même type (par exemple TRNSYS, DOE-2, SERIRES).

Les différents cas sont décrits brièvement ci-dessous. Le cas de base correspond à un bâtiment de plain pied de surface au sol égale à  $48 \text{ m}^2$ , de faible inertie (murs et sol légers) et parallélépipédique ( $8 \text{ m} \times 6 \text{ m} \times 2.7 \text{ m}$ ) avec  $12 \text{ m}^2$  de fenêtres orientées au sud. Le bâtiment est chauffé à  $20^\circ\text{C}$  et refroidi à  $27^\circ\text{C}$ , il est situé dans un climat sec et chaud (les données climatiques sont fournies avec la norme). La résistance thermique des murs est de  $1.94 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ , le taux de renouvellement d'air est de 0.5 volume par heure, les apports internes de chaleur sont de  $200 \text{ W}$  (60% radiatifs et 40% convectifs).



La sensibilité d'un logiciel est étudiée en faisant varier différents paramètres : l'orientation des fenêtres, la présence d'occultations, la température fixée par le thermostat, la ventilation nocturne, l'inertie thermique, l'ajout d'une véranda, les propriétés radiatives des murs, les infiltrations d'air et les apports internes de chaleur. Un scénario sans chauffage (évolution libre des températures) est également étudié, ce qui est le plus adapté à la présente étude.

Les différents cas en évolution libre sont synthétisés dans la liste ci-dessous.

- cas 600FF : cas de base
- cas 650FF : ventilation de nuit à 13.14 volume par heure entre 18h et 7h
- cas 900FF et 950FF : = cas 600 et 650 avec des murs lourds (10 cm de parpaings du côté intérieur) et une dalle béton (d'épaisseur 8 cm)
- cas 960 : = cas 600 avec une véranda accolée ( $8 \text{ m} \times 2 \text{ m} \times 2.7 \text{ m}$ ), les 2 fenêtres du cas 600 sont déplacées au niveau de la façade sud de la véranda, le taux de renouvellement d'air de la véranda est de 0.5 volume par heure, il n'y a pas d'échange

d'air entre la véranda et l'autre zone, la véranda est de forte inertie (10 cm de parpaings du côté véranda dans les murs, dalle béton de 8 cm d'épaisseur)

### 3.1.2 SELECTION DES CAS TEST

La série finalement considérée dans cette étude concerne le croisement entre inertie et ventilation nocturne (cas 600FF, 650FF, 900FF et 950FF) et la véranda (cas 960).

### 3.1.3 RESULTATS PRINCIPAUX

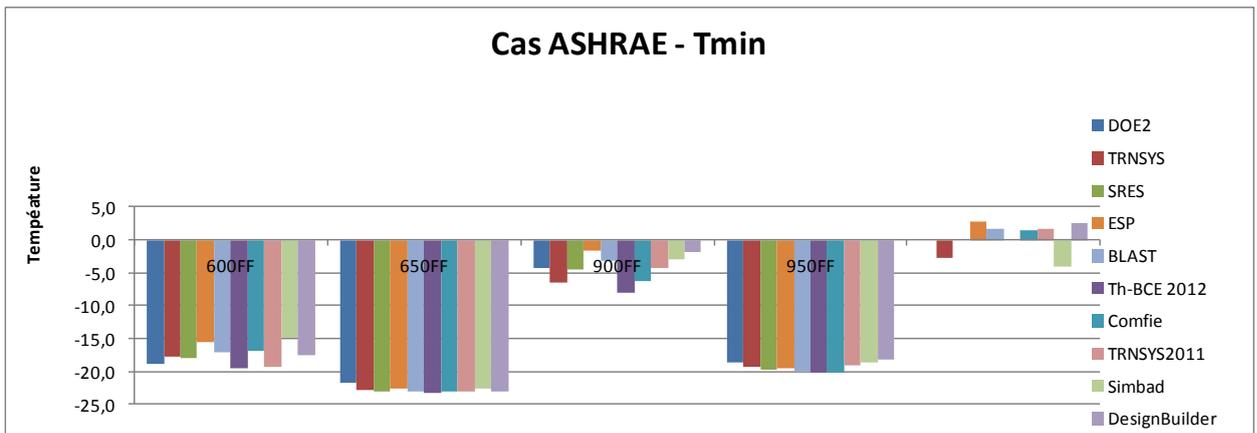
Les températures min/max/moy des jours le plus froid et le plus chaud ont été évaluées à l'aide des différents outils.

#### Températures minimales et maximales des cas ASHRAE

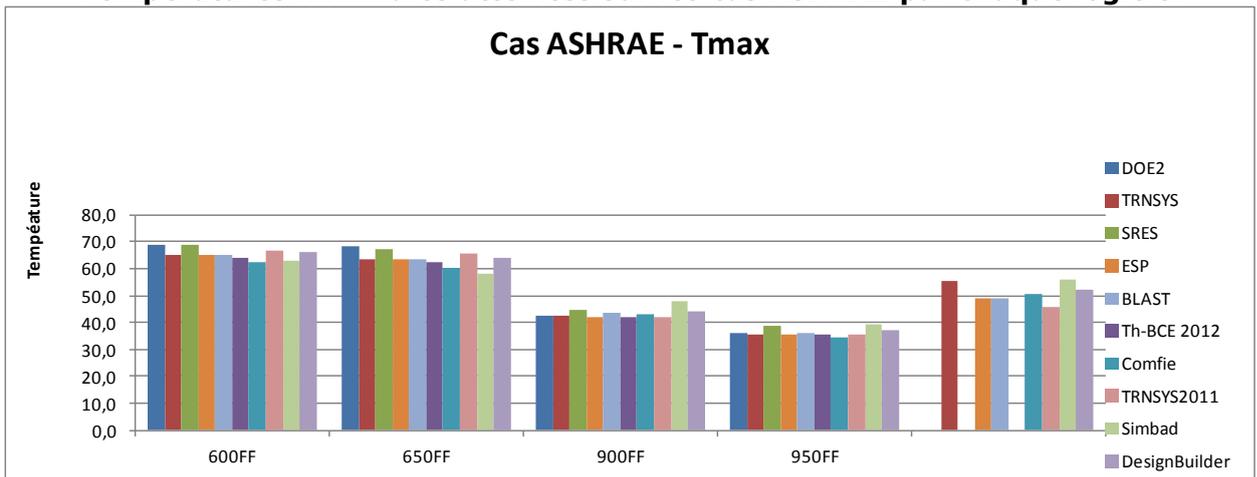
	Températures min/max en °C														
	Case 600FF			Case 650FF			Case 900FF			Case 950FF			Case 960		
	Tmin	Tmax	Tmoy	Tmin	Tmax	Tmoy	Tmin	Tmax	Tmoy	Tmin	Tmax	Tmoy	Tmin	Tmax	Tmoy
DOE2	-18,8	69,0	24,6	-21,6	68,2	19,1	-4,3	42,7	24,7	-18,6	35,9	14,3	3,9	49,0	
TRNSYS	-17,8	65,3	24,5	-22,8	63,7	18,0	-6,4	42,5	24,5	-19,3	35,7	14,5	-2,8	55,3	
SRES	-18,0	68,6	25,9	-23,0	67,0	19,6	-4,5	44,8	25,7	-19,7	38,5	14,3	3,1	51,0	
ESP	-15,6	64,9	25,1	-22,6	63,2	18,2	-1,6	41,8	25,5	-19,5	35,5	14,1	2,7	48,9	27,5
BLAST	-17,1	65,1	25,4	-23,0	63,5	18,7	-3,2	43,4	25,9	-20,0	36,2	14,3	1,6	48,9	27,7
Th-BCE 2012	-19,4	63,8	25,5	-23,3	62,6	19,0	-8,1	41,9	25,4	-20,1	35,6	13,9	-	-	-
Comfie	-16,8	62,6	25,0	-23,1	60,0	16,7	-6,3	42,9	24,9	-20,3	34,5	13,4	1,5	50,7	27,3
TRNSYS2011	-19,3	66,5	24,3	-23,1	65,4	19,3	-4,3	42,1	24,5	-19,1	35,6	14,9	1,7	45,9	25,4
Simbad	-14,9	62,8	28,0	-22,5	58,2	18,0	-3,0	47,6	28,0	-18,7	39,1	16,0	-4,1	55,7	30,1
DesignBuilder	-17,5	65,9	26,5	-23,0	64,1	19,8	-1,8	43,9	26,7	-18,2	37,0	16,0	2,6	52,4	29,6

#### Jours de l'année auxquels apparaissent les températures minimales et maximales des cas ASHRAE

	Dates auxquelles apparaissent les températures extrêmes (jj/mm)														
	Case 600FF			Case 650FF			Case 900FF			Case 950FF			Case 960		
	Tmin	Tmax	Tmoy	Tmin	Tmax	Tmoy	Tmin	Tmax	Tmoy	Tmin	Tmax	Tmoy	Tmin	Tmax	Tmoy
DOE2	4-janv.	17-oct.	-	4-janv.	2-sept.	-	4-janv.	17-oct.	-	4-janv.	2-sept.	-			4-janv.
TRNSYS	4-janv.	17-oct.	-	4-janv.	17-oct.	-	4-janv.	17-oct.	-	4-janv.	2-sept.	-			4-janv.
SRES	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			-
ESP	4-janv.	17-oct.	-	4-janv.	17-oct.	-	4-janv.	17-oct.	-	4-janv.	2-sept.	-	6-févr.	17-oct.	4-janv.
BLAST	4-janv.	16-oct.	-	4-janv.	2-sept.	-	4-janv.	16-oct.	-	4-janv.	2-sept.	-	6-févr.	16-oct.	4-janv.
Th-BCE 2012	4-janv.	16-oct.	-	4-janv.	16-oct.	-	4-janv.	2-sept.	-	4-janv.	2-sept.	-	-	-	4-janv.
Comfie	4-janv.	17-oct.	-	4-janv.	16-oct.	-	4-janv.	17-oct.	-	4-janv.	2-sept.	-	4-janv.	17-oct.	4-janv.
TRNSYS2011	4-janv.	17-oct.	-	4-janv.	17-oct.	-	4-janv.	17-oct.	-	4-janv.	2-sept.	-	4-janv.	17-oct.	4-janv.
Simbad	4-janv.	16-oct.	-	4-janv.	17-oct.	-	4-janv.	2-sept.	-	4-janv.	2-sept.	-	4-janv.	17-oct.	4-janv.
DesignBuilder	4-janv.	17-oct.	-	4-janv.	17-oct.	-	4-janv.	2-sept.	-	4-janv.	2-sept.	-	6-févr.	17-oct.	4-janv.



### Températures minimales atteintes sur les cas ASHRAE par chaque logiciel



### Températures maximales atteintes sur les cas ASHRAE par chaque logiciel

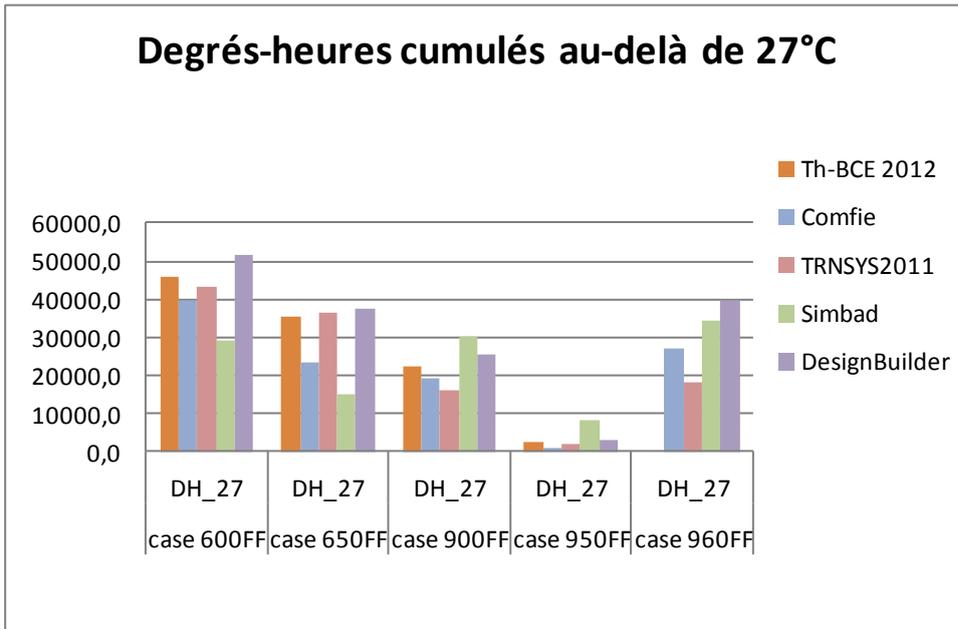
## 3.1.4 RESULTATS DETAILLES

### 3.1.4.1 Les degrés-heures

Les degrés-heures cumulés au-delà de 27°C sont les suivants.

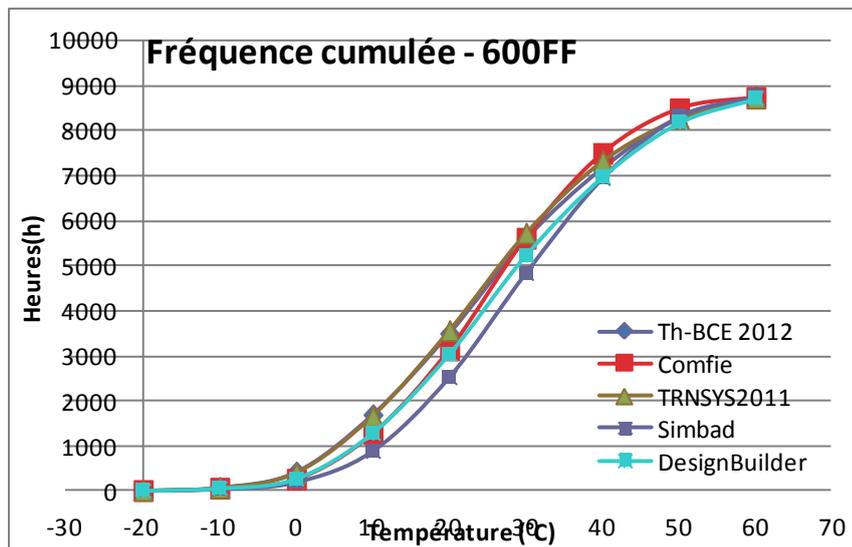
#### Degrés-heures au-dessus de 27°C

Degrés-heures cumulés au-delà de 27°C					
	case 600FF	case 650FF	case 900FF	case 950FF	case 960FF
	DH_27	DH_27	DH_27	DH_27	DH_27
Th-BCE 2012	45815,0	35369,5	22639,5	2710,4	
Comfie	39531,1	23709,6	19360,7	1261,4	27045,2
TRNSYS2011	43520,6	36371,0	16056,0	1893,0	18003,0
Simbad	28986,0	14980,0	30408,0	8103,0	34269,0
DesignBuilder	51824,9	37649,9	25716,8	3199,7	39464,4

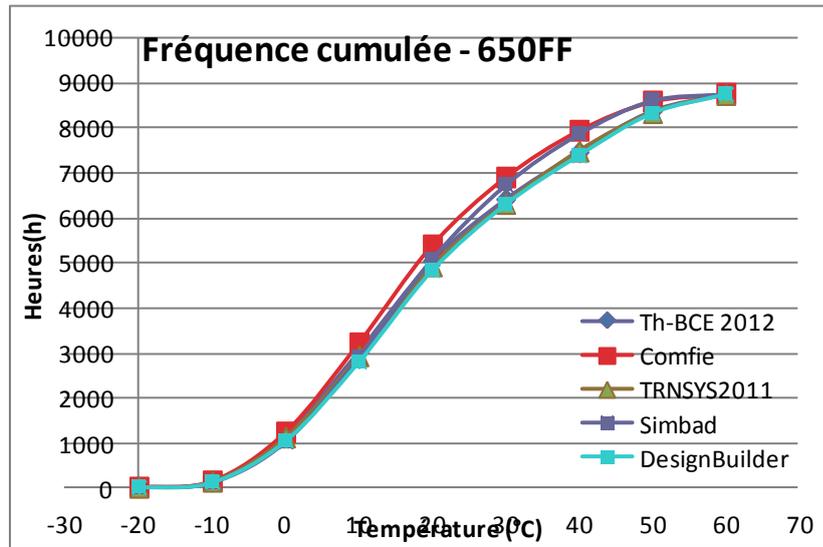


### 3.1.4.2 L'histogramme des fréquences cumulées

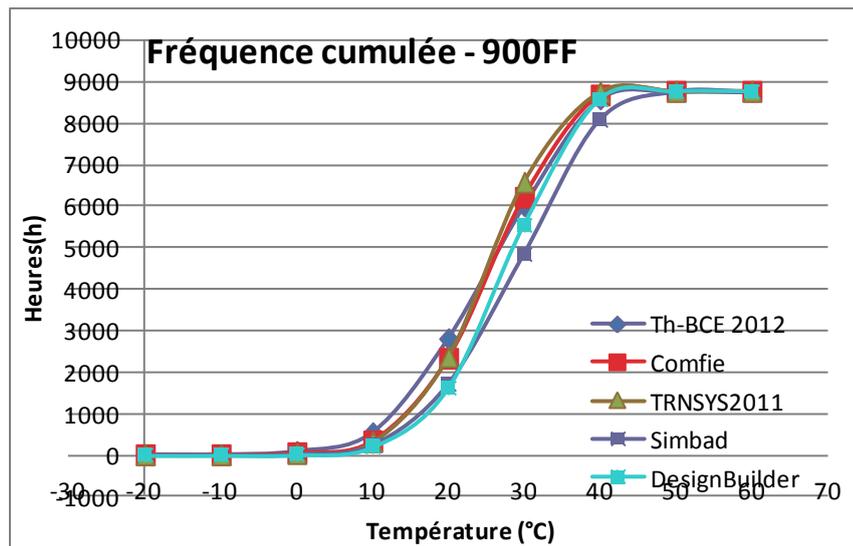
#### Cas 600FF



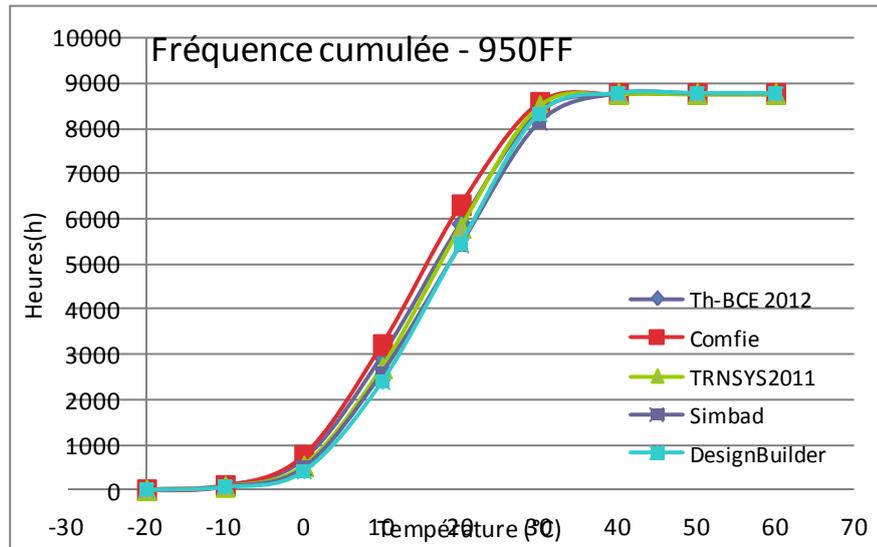
Fréquence cumulée de Ti du cas 600FF

**Cas 650FF**

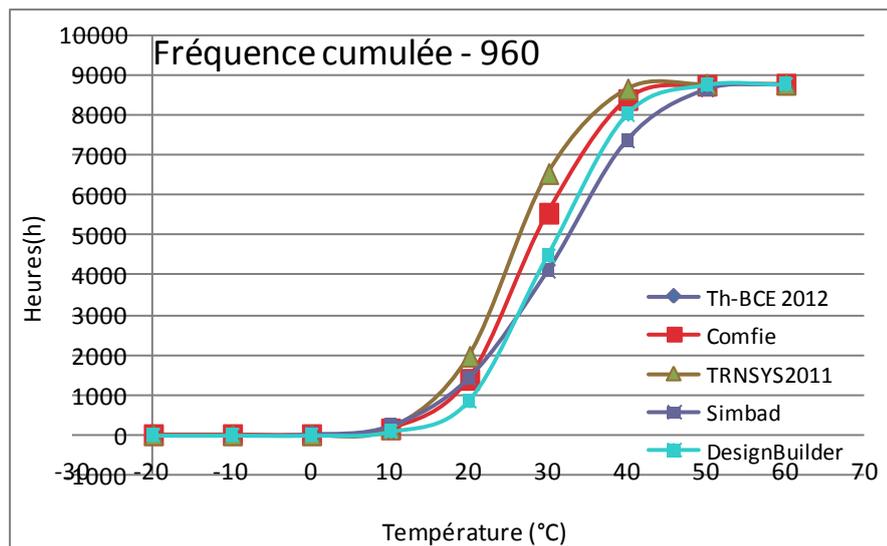
Fréquence cumulée de Ti du cas 650FF

**Cas 900FF**

Fréquence cumulée de Ti du cas 900FF

**Cas 950FF**

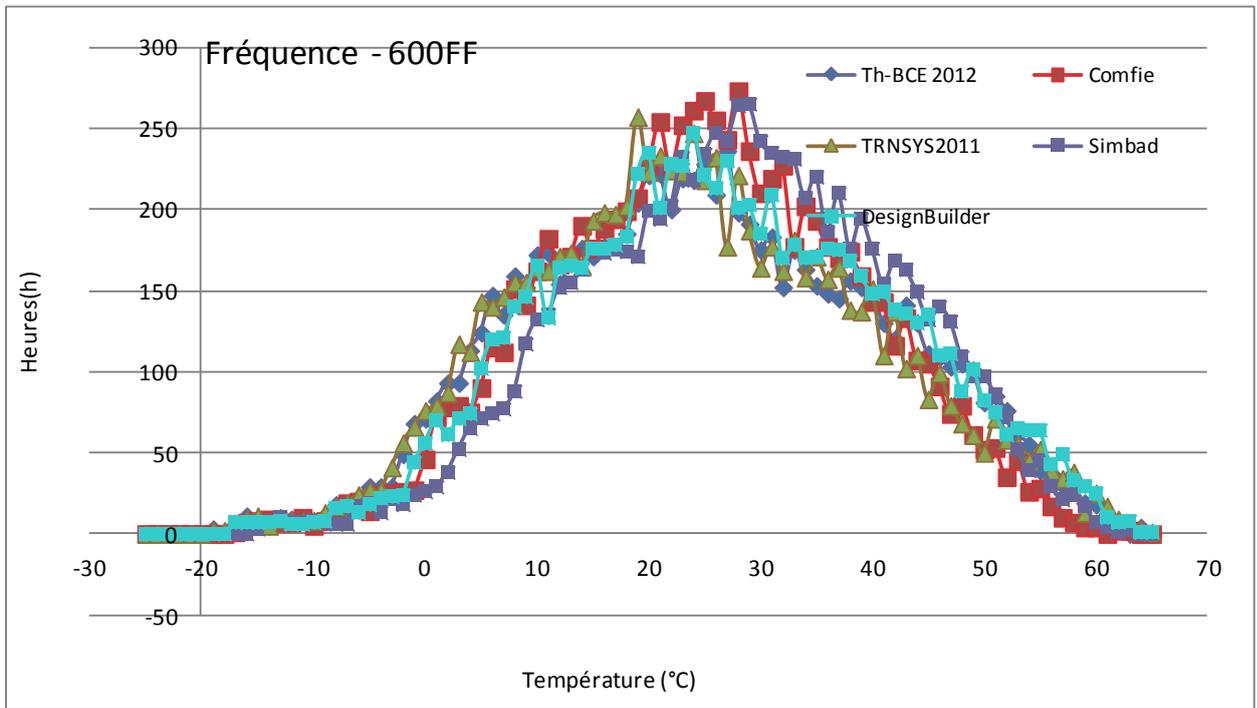
Fréquence cumulée de Ti du cas 950FF

**Cas 960**

Fréquence cumulée de Ti du cas 960

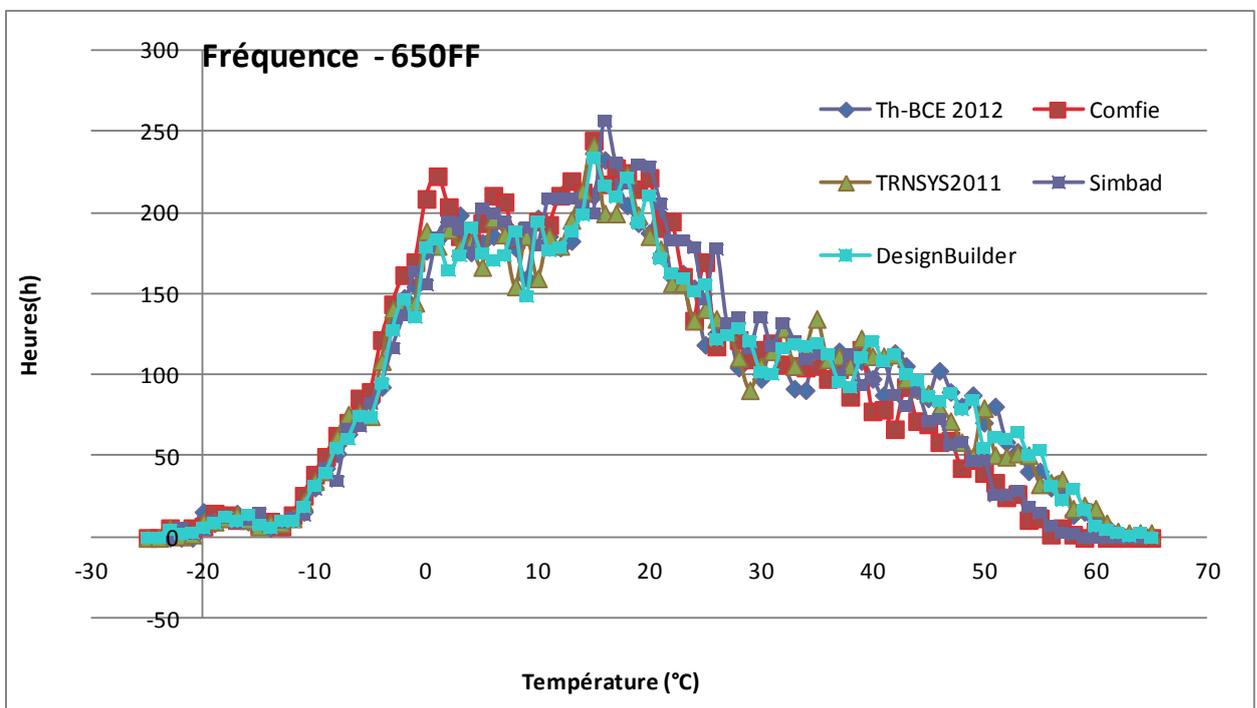
### 3.1.4.3 L'histogramme des fréquences

#### Cas 600FF

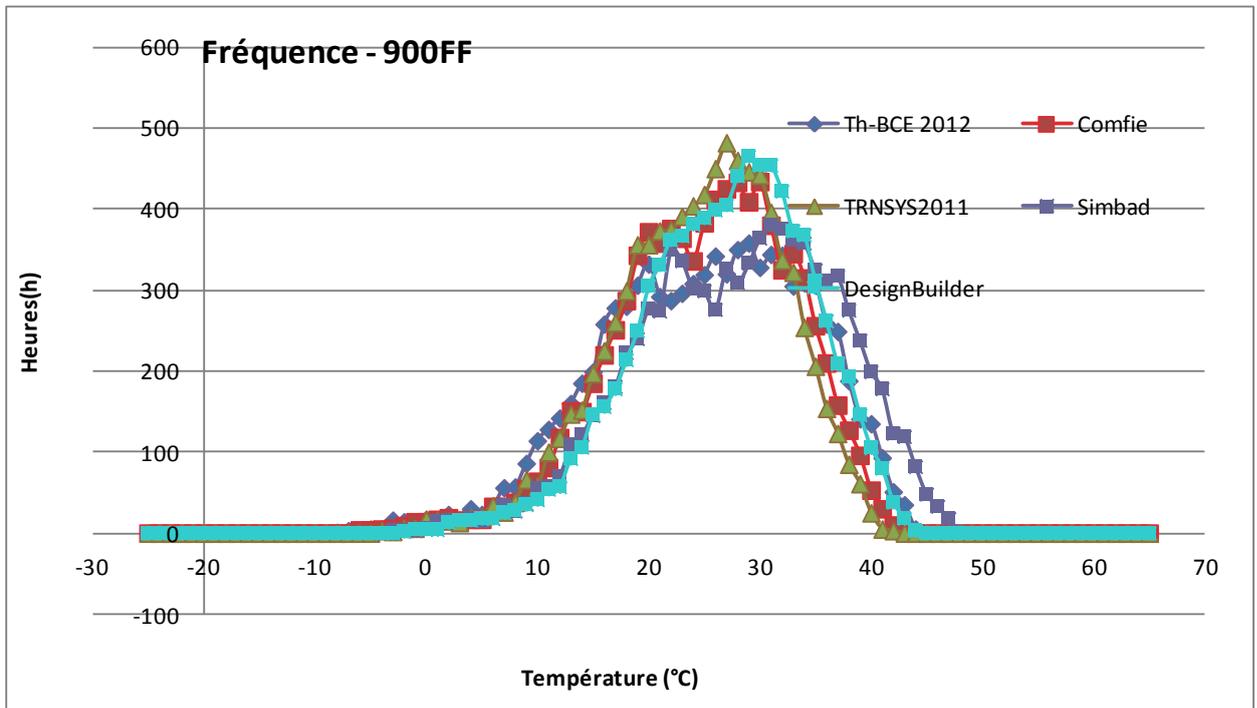


Fréquence de Ti du cas 600FF

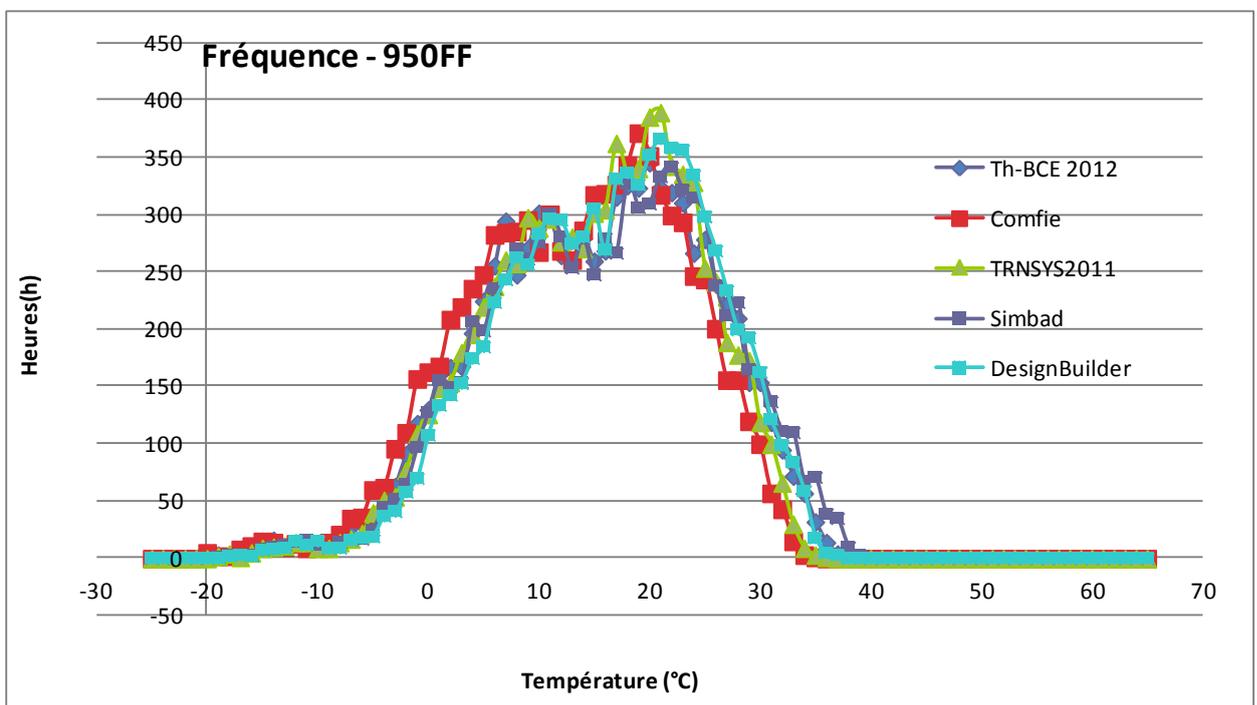
#### Cas 650FF



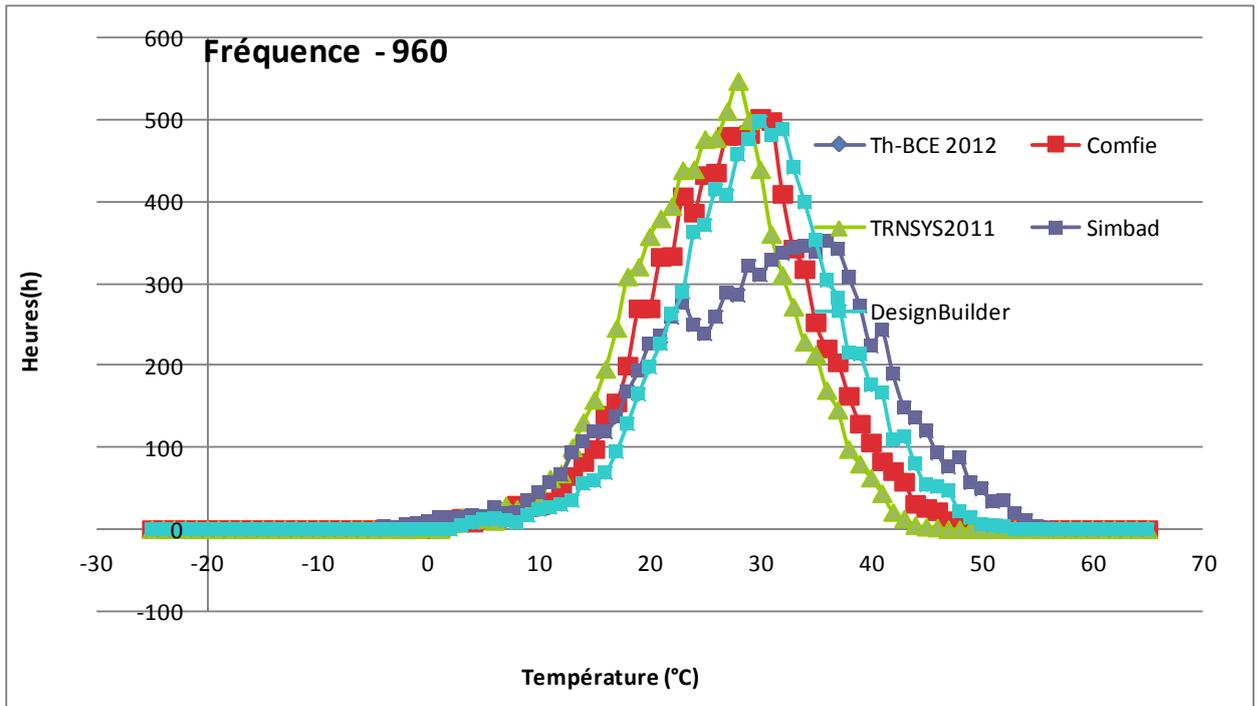
Fréquence de Ti du cas 650FF

**Cas 900FF**

Fréquence de Ti du cas 900FF

**Cas 950FF**

Fréquence de Ti du cas 950FF

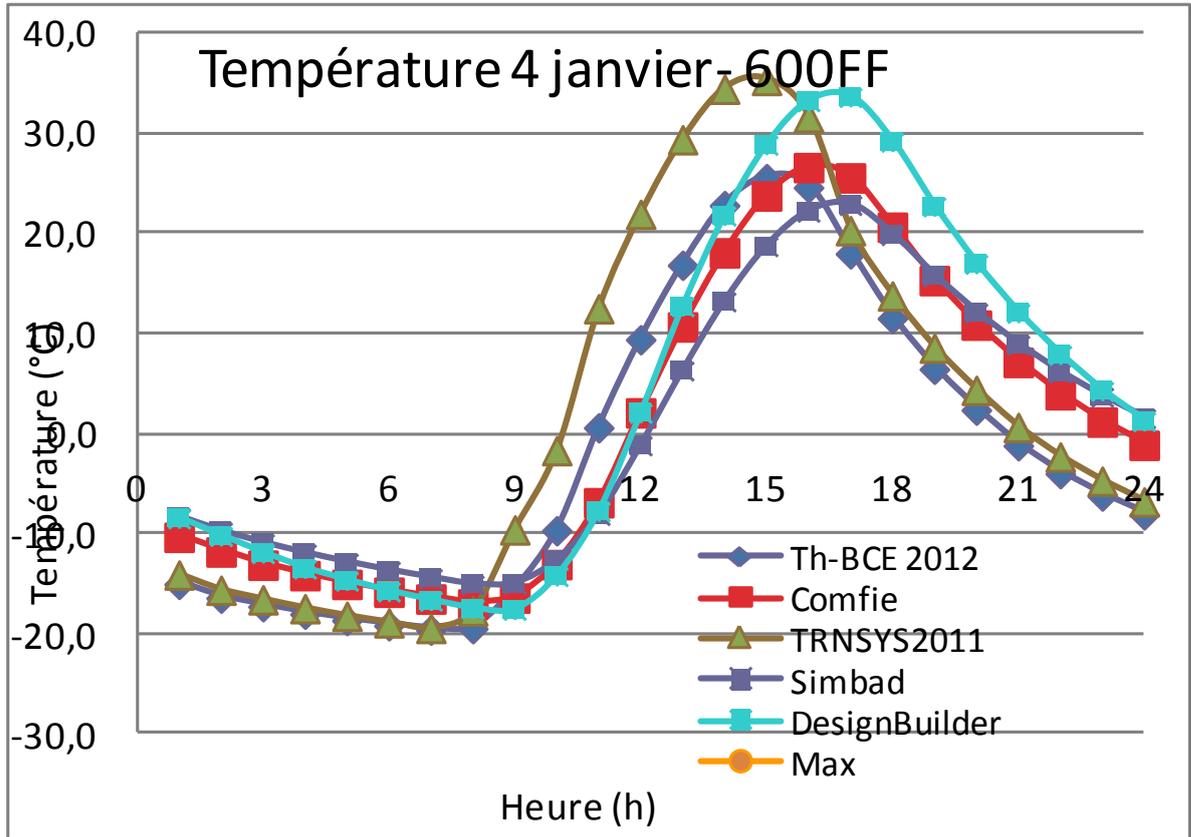
**Cas 960**

Fréquence de Ti du cas 960

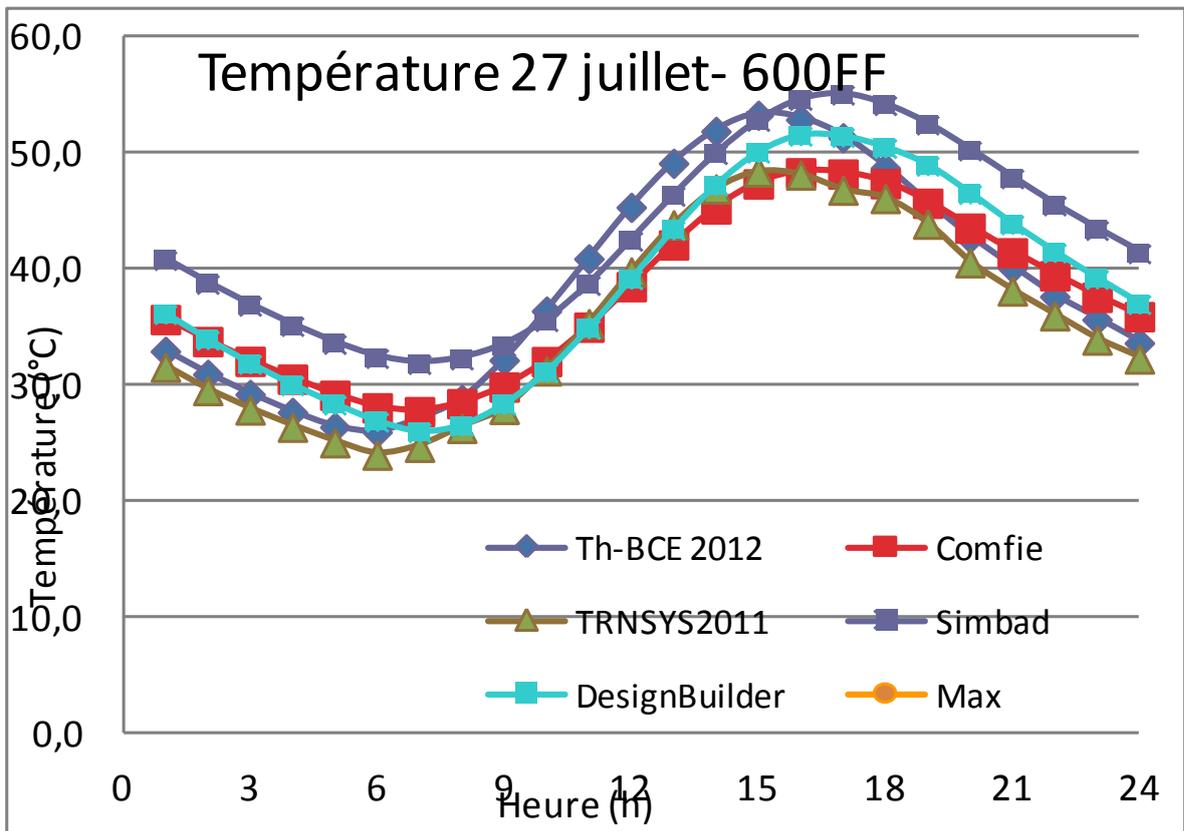
**3.1.4.4 Les profils de température**

Les profils de température obtenus sur une journée froide (4 janvier) et une journée chaude (27 juillet) sont les suivants.

**Cas 600FF**

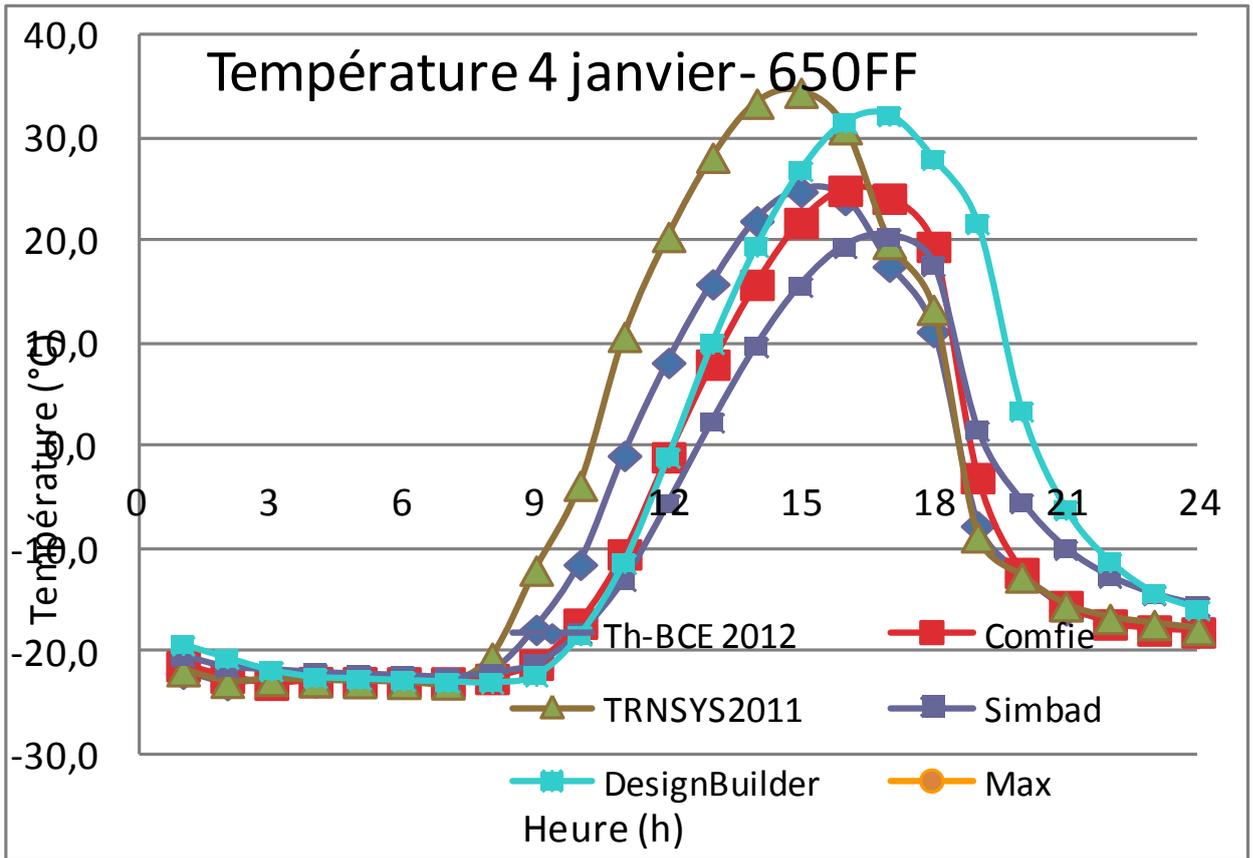


Profil de température du cas 600FF, journée froide

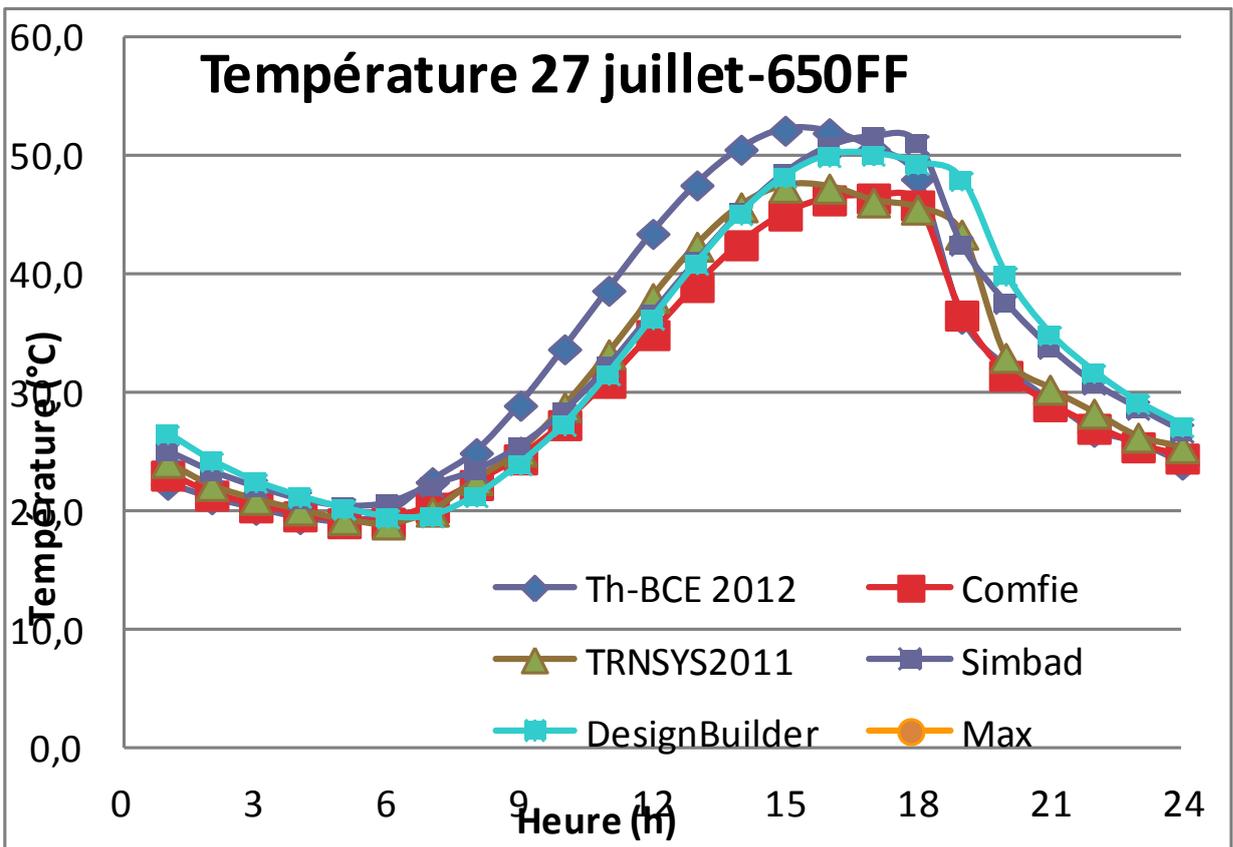


Profil de température du cas 600FF, journée chaude

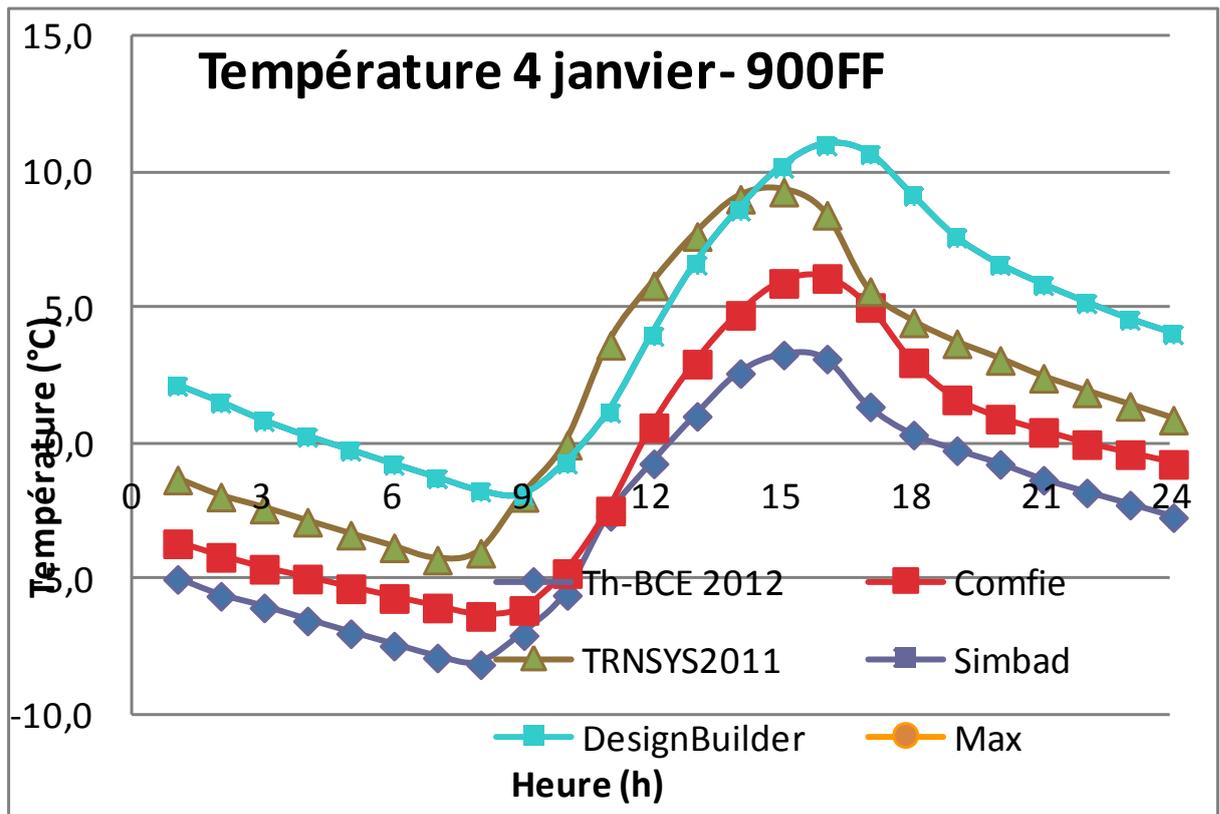
**Cas 650FF**



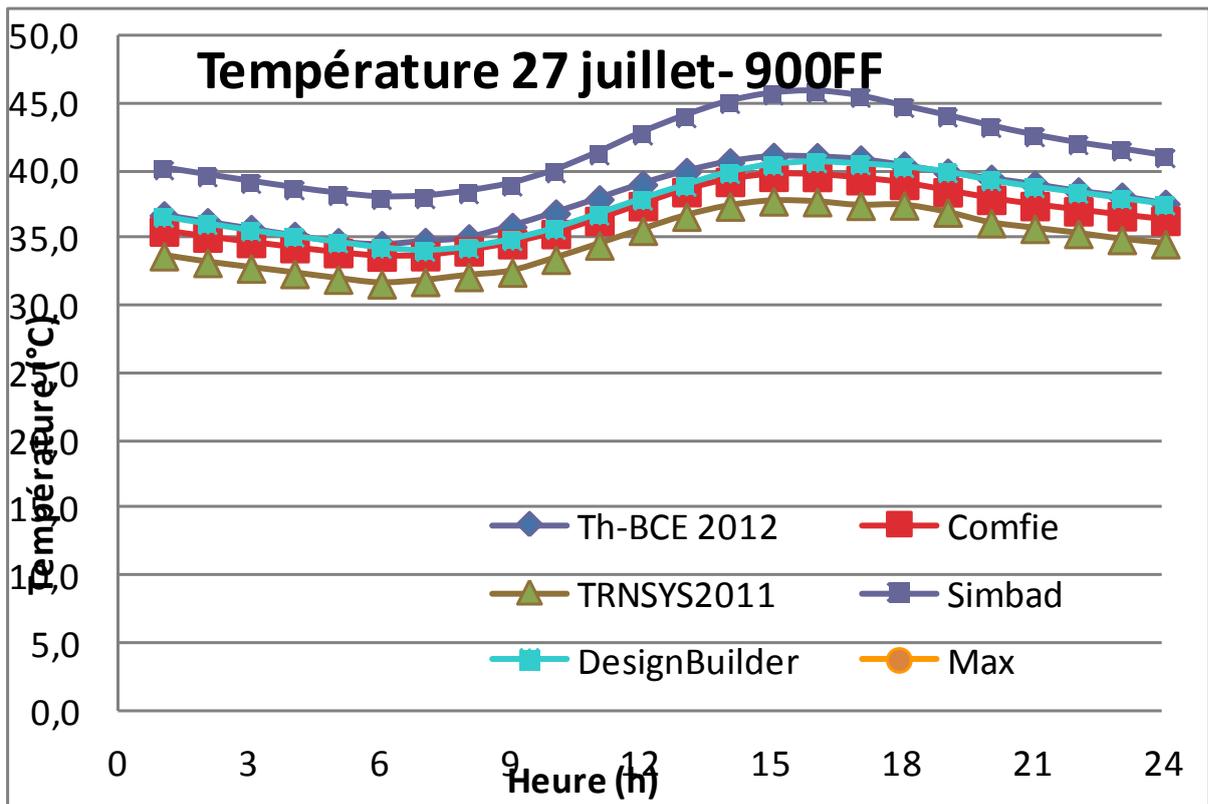
Profil de température du cas 650FF, journée froide



Profil de température du cas 650FF, journée chaude

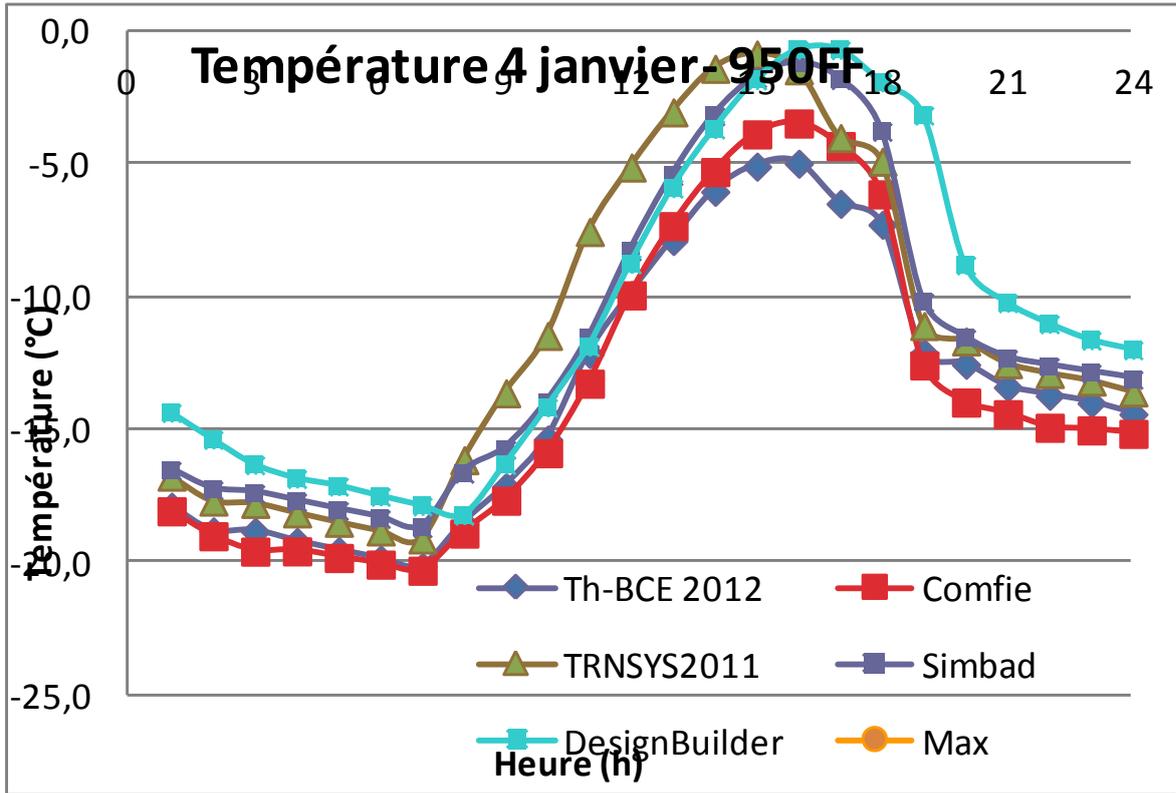
**Cas 900FF**

Profil de température du cas 900FF, journée froide

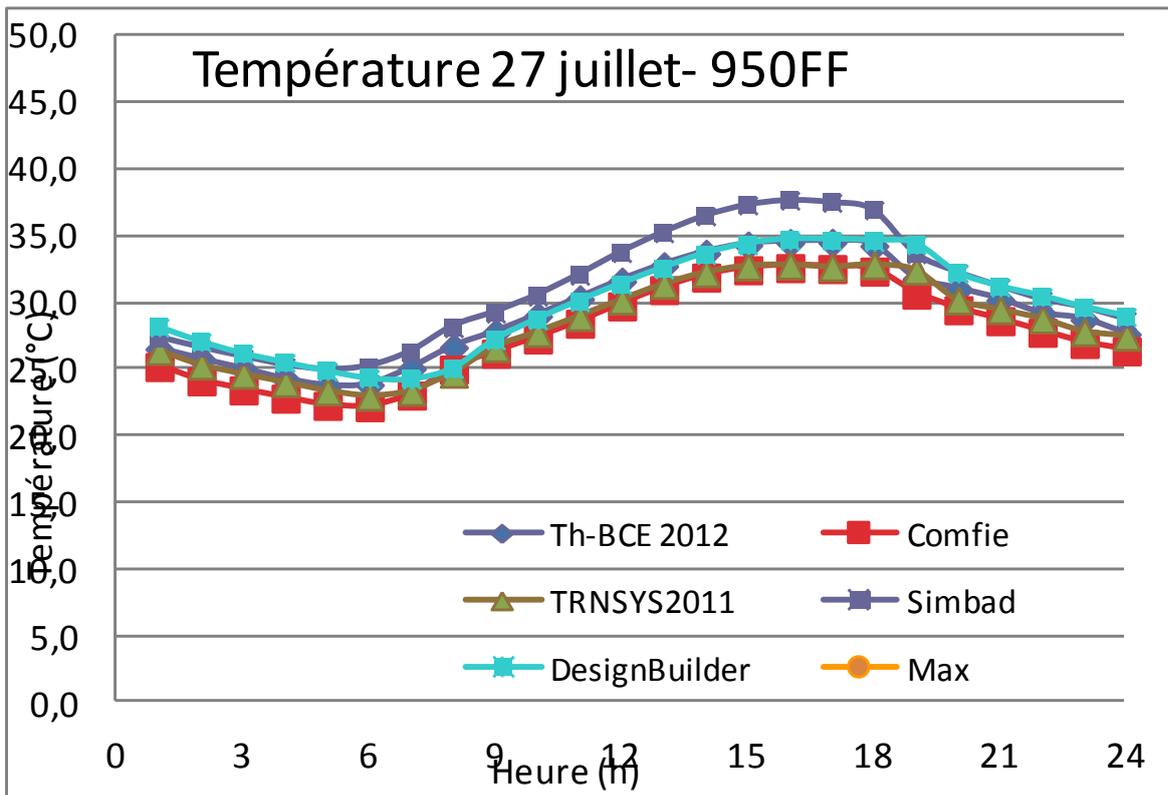


Profil de température du cas 900FF, journée chaude

**Cas 950FF**

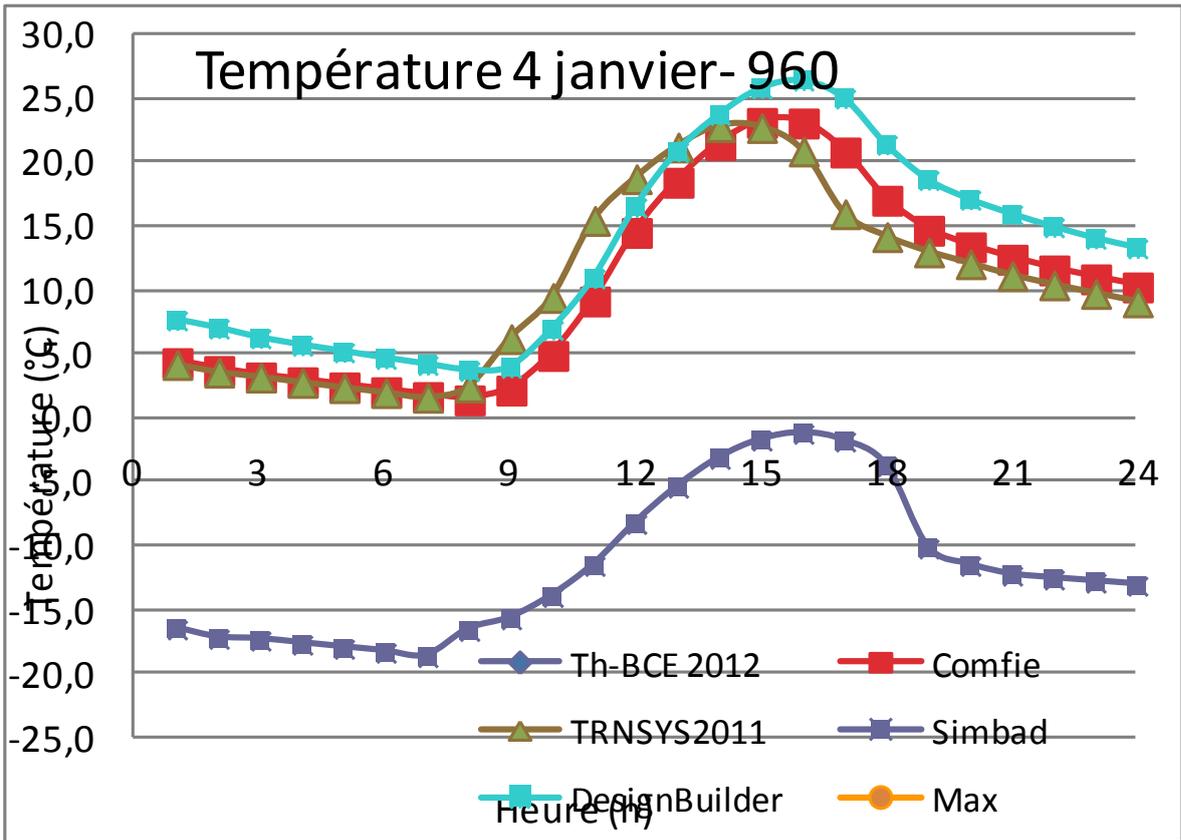


Profil de température du cas 950FF, journée froide

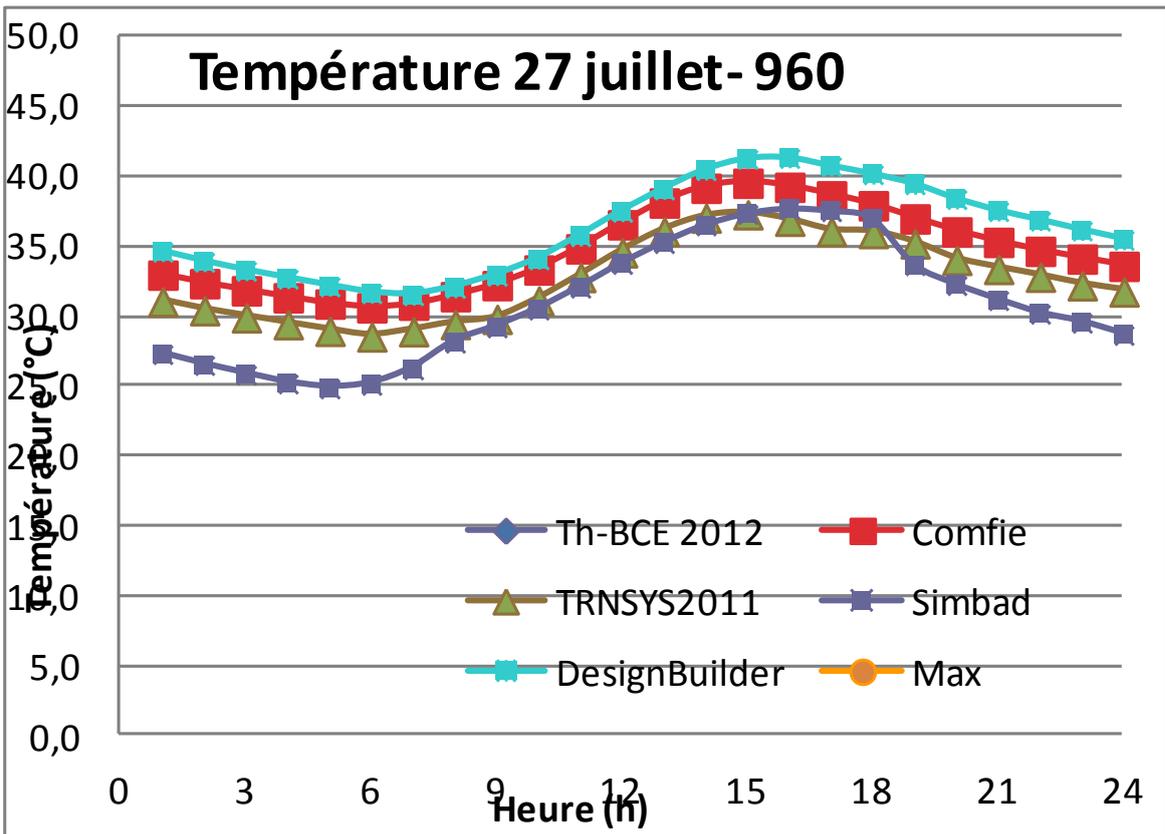


Profil de température du cas 950FF, journée chaude

**Cas 960**



Profil de température du cas 960, journée froide



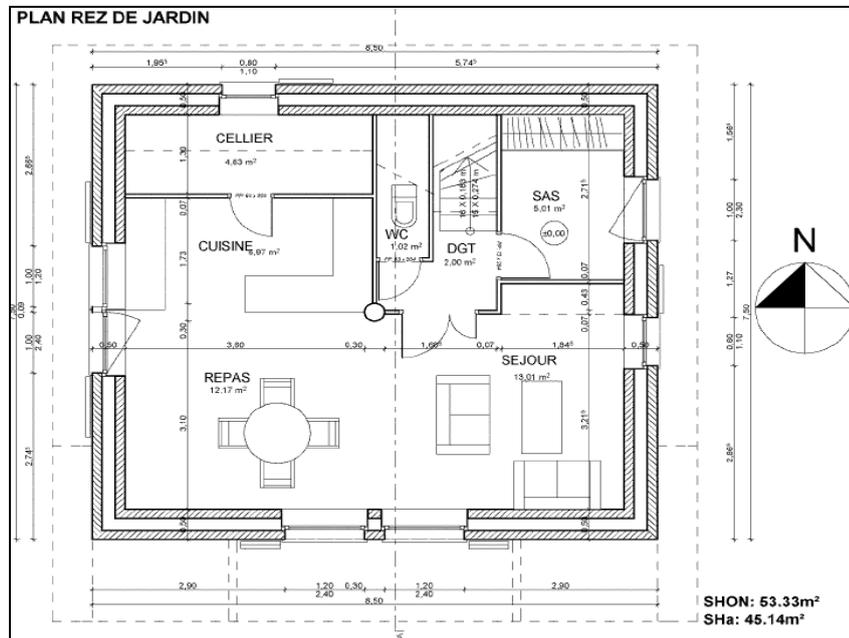
Profil de température du cas 960, journée chaude

### 3.2 MAISON INCAS

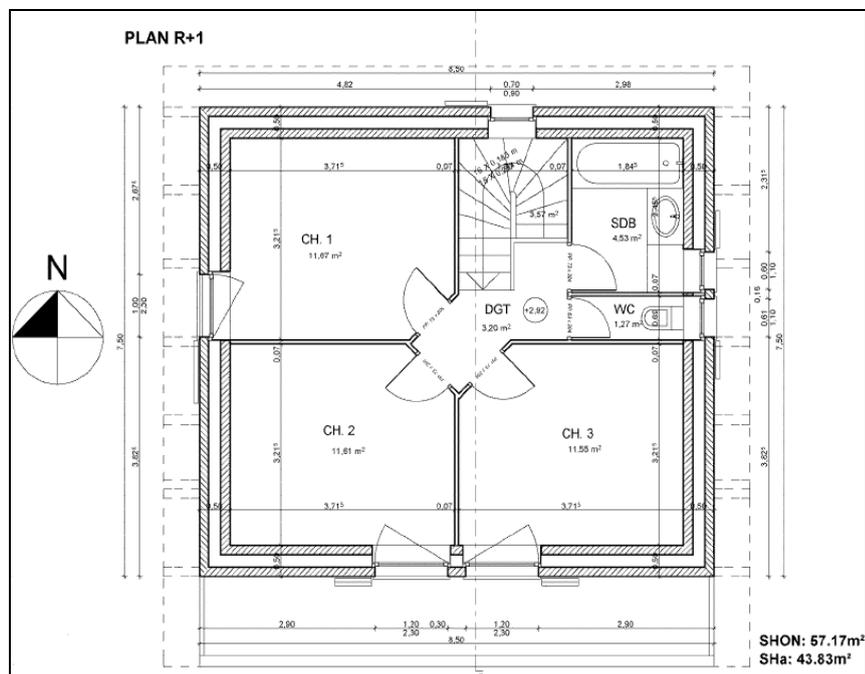
Le descriptif du bâtiment est celui utilisé pour le calcul des besoins de chaud et de froid (cf. contrat « Modèles et outils de calcul de Thermique »). Les hypothèses spécifiques au calcul de confort d'été sont **surlignées en vert** (si besoin est, elles remplacent les hypothèses précédentes).

#### 3.2.1 DESCRIPTIF DU BATIMENT

Il s'agit d'une maison d'environ 110 m<sup>2</sup> habitable, située près de Chambéry.



**Tableau 16 : Plan du rez de jardin**



**Tableau 17 : Plan du 1er étage**

Le bâtiment est une maison sur deux étages et dont la disposition est la suivante :

- ✓ rez de jardin : salon, salle à manger, coin cuisine, cellier et sas ;
- ✓ 1<sup>er</sup> étage : 3 chambres + salle de bain.

La maison est orientée au sud, de dimension extérieure 7.50 m × 8.50 m. La hauteur du 2<sup>ème</sup> étage est de 2.40 m, alors que celle du 1<sup>er</sup> étage est de 2.70 m afin de pouvoir installer le faux plafond.

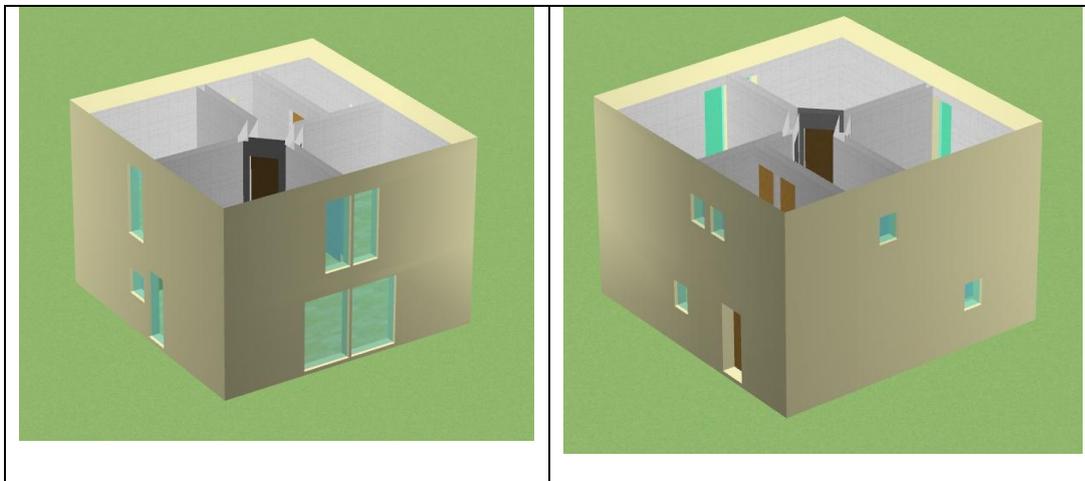
Le mode constructif est de type « double mur » en béton avec isolant au milieu, et dalles en béton.

Le plancher donne sur un vide sanitaire. Le 1<sup>er</sup> étage possède un balcon côté sud, et la toiture déborde légèrement.

On considère le comble bien ventilé et à la température extérieure. Les apports solaires par le plancher haut seront pris en compte.

Les masques proches (arbres, bâtiment voisins) sont supposés négligeables.

Les figures ci-dessous donnent une vue 3D de l'esquisse du bâtiment (le balcon ainsi que le débord de toiture ne sont pas représentés).



**Tableau 18 : Vue 3D de l'esquisse de la maison (à gauche : vues sud et ouest ; à droite : vue nord et est)<sup>1</sup>**

### Composition des parois

La composition des parois est indiquée dans le tableau ci-dessous. Les coefficients de transfert thermique U des 3 types de paroi en contact avec l'extérieur sont les suivants :

- ✓ mur extérieur : 0.15 W/m<sup>2</sup>/K ;
- ✓ plancher bas : 0.11 W/m<sup>2</sup>/K ;
- ✓ combles : 0.11 W/m<sup>2</sup>/K.

Le bâtiment possède une inertie lourde puisque le plancher intermédiaire est constitué de 22 cm de béton plein, que le plancher bas est isolé par l'extérieur, et qu'une moitié du double mur est à l'intérieur de l'isolant.

<sup>1</sup> Images obtenues à partir du logiciel Alcyone.

**Tableau 19 : caractéristiques des parois de la maison INCAS**

Type de paroi	Matériau	Épaisseur (cm)	Conductivité (W/m/K)	Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	Chaleur spécifique (J/kg/K)	Coefficient U (W/m <sup>2</sup> /K)
Mur extérieur (épaisseur : 50 cm)	Béton	15	0,74	800	648	0.15
	Laine de verre semi rigide	20	0,035	12	840	
	Béton	15	0,74	800	648	
Plancher bas (épaisseur : 45 cm)	Polystyrène extrudé	25	0,029	15	880	0.11
	Hourdis	16	1,23	1300	648	
	Béton lourd	4	1,75	2400	880	
Combles (épaisseur : 41 cm)	Laine de verre semi rigide	40	0,035	12	840	0.11
	Plâtre gypse	1	0,42	1200	837	
Plancher intermédiaire (épaisseur : 22 cm)	Béton plein	22	1,75	2400	880	-
Cloisons intérieures (épaisseur : 4.5 cm)	Plâtre gypse	1,5	0,42	1200	837	-
	Lame d'air	1,5	0,09	1	1224	
	Plâtre gypse	1,5	0,042	1200	837	

Les émissivités des parois sont prises égales à 0,90, et les coefficients d'absorption à 0,60.

### Menuiseries

Les menuiseries sélectionnées (vitrage + cadre) sont de deux types, comme l'indique le tableau ci-dessous.

**Tableau 20 : caractéristiques thermiques des menuiseries de la maison INCAS**

Type de vitrage	Coefficient de transfert thermique U <sub>w</sub> (W/m <sup>2</sup> /K)	Facteur solaire (-)	Taux d'ouverture (%)
Double Vitrage peu émissif, lame argon, cadre PVC	1.3	0.54	85
Triple Vitrage peu émissif, lame argon, cadre PVC	0.86	0.44	85

La disposition de ces types de vitrage peut s'effectuer en fonction de l'orientation de la paroi, comme l'indique le tableau ci-dessous

**Tableau 21 : caractéristiques géométriques des menuiseries de la maison INCAS**

Orientation	Menuiserie	Hauteur	Largeur	Surface	Type
Sud	Porte fenêtre séjour (×2)	2.25	1.20	5.4	Double Vitrage
	Porte fenêtre chambres 1 <sup>er</sup> étage (×2)	2.25	1	4.5	Double Vitrage
Ouest	Fenêtre cuisine	1.25	1	1.25	Double Vitrage
	Porte fenêtre repas	2.25	1	2.25	Double Vitrage
	Porte fenêtre chambre	2.25	1	2.25	Double Vitrage
Est	Fenêtre séjour	1.25	0.80	1	Double Vitrage
	Fenêtre sanitaires (×2)	1.10	0.6	1.32	Double Vitrage
Nord	Fenêtre cellier	1.10	0.80	0.88	Triple Vitrage

Le taux d'ouverture est d'environ 24 % pour la façade sud, 16 % pour la façade ouest, 6 % pour la façade est et 2 % pour la façade nord.

Les menuiseries seront équipées de stores extérieurs ou de volets à battants pour protéger du soleil l'été. Les simulations en période d'été supposeront d'autre part que les fenêtres sont ouvertes la nuit pour rafraîchir le bâtiment (voir § sur le renouvellement d'air).

La façade est possède une porte (2.25 m × 1m) ayant comme coefficient de transfert thermique 0.8 W/m<sup>2</sup>/K.

#### Masques intégrés

Les masques intégrés concernent les vitrages de la façade sud. Dans la comparaison décrite dans la communication publiée au CIFQ<sup>2</sup>, ils correspondent au rez-de-chaussée au balcon, de largeur 1m et à 0,2 m au dessus des fenêtres, et à l'étage à la toiture, de largeur 0.9m et à 0,1m au dessus des fenêtres.

<sup>2</sup> Adrien BRUN, Clara SPITZ, Etienne WURTZ, ANALYSE DU COMPORTEMENT DE DIFFÉRENTS CODES DE CALCUL DANS LE CAS DE BÂTIMENTS À HAUTE EFFICACITÉ ÉNERGETIQUE IX<sup>ème</sup> Colloque Interuniversitaire Franco-Québécois sur la Thermique des Systèmes 18-20 mai 2009, Lille

### Ponts thermiques

D'après les calculs de ponts thermiques effectués par le CSTB, nous retenons un coefficient de 0.16 W/m/K appliqué sur le périmètre du plancher bas. Afin de prendre en compte d'autres ponts thermiques résiduels (vitrages par exemple), cette valeur est arrondie à 0.20 W/m/K.

### Infiltrations d'air et Renouvellement d'air

Le débit de renouvellement d'air est supposé constant et égal à 2 volumes / heure (incluant le débit dû aux infiltrations). Il n'y a pas d'échangeur de la ventilation double flux.

### Scénarios d'usage

La température de la maison INCAS est en évolution libre.

Le scénario d'occupation correspond à une famille de 4 personnes, ayant une activité extérieure chaque jour de la semaine :

- ✓ 2 personnes présentes de 17 heures à 18 heures ;
- ✓ 4 personnes présentes de 18 heures à 8 heures.

Si l'on suppose un dégagement de chaleur total de 80 W par personne, cela donne 1690 kWh par an d'apport par les occupants (il est supposé que la maison est occupée tout au long de l'année).

Le scénario de puissance dissipée par les appareils électriques (électroménager, audiovisuel, informatique et éclairage) suppose l'utilisation d'appareils économes (classe A, consommations de veille minimale). La puissance dissipée dans la totalité de la maison est donné dans le tableau ci-dessous. Ce scénario aboutit à des apports annuels de 1600 kWh.

Heure	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
P (W)	20	20	20	20	20	20	510	410	20	20	20	20
Heure	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
P(W)	20	20	20	20	20	410	410	630	710	510	490	20

Les apports internes (personnes et matériels) seront dissipés sous forme à moitié convective, à moitié radiative.

### Sollicitations météorologiques

La station météorologique correspond à la ville de Chambéry :

- Longitude : -5.88° ;
- Latitude : 45.65 ° ;
- Altitude : 270 m.

Le fichier météo est de format type 'TRY'<sup>3</sup>, et donne les températures extérieures ainsi que l'ensoleillement moyennés sur 10 années. Les DJU valent 2976 degrés.jours, et le rayonnement annuel sur un plan horizontal est de 1367 kWh/m<sup>2</sup>.

Les masques proches éventuels (bâtiment, arbres) sont supposés inexistantes. Le masque lointain (profil montagneux) a cependant été mesuré, comme indiqué dans le tableau ci-dessous.

Azimut (degrés)	-180	-170	-166	-149	-123	-121	-110	-97	-80	-69	-62	-50	
Hauteur (degrés)	2	3	2	1	8	8	9	10	10	10	6	2	
Azimut (degrés)	18	31	42	50	58	90	128	131	148	160	163	170	180
Hauteur (degrés)	-	6	7	10	14	16	14	14	8	5	4	0	2

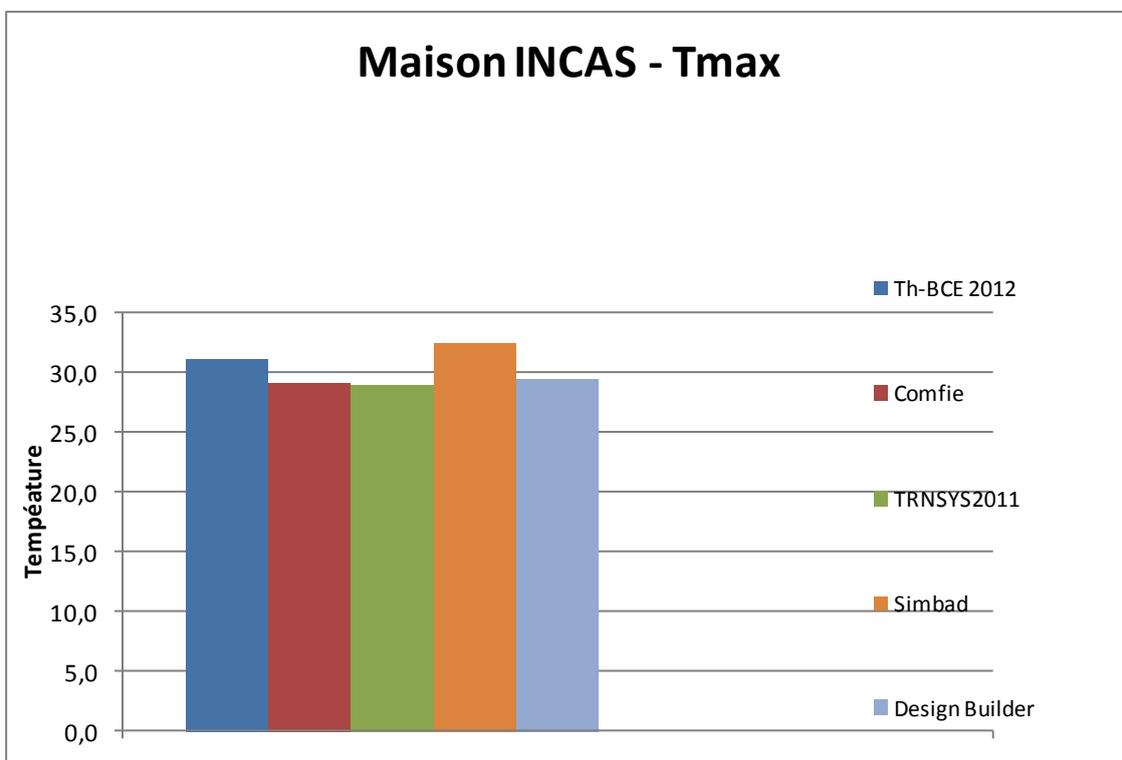
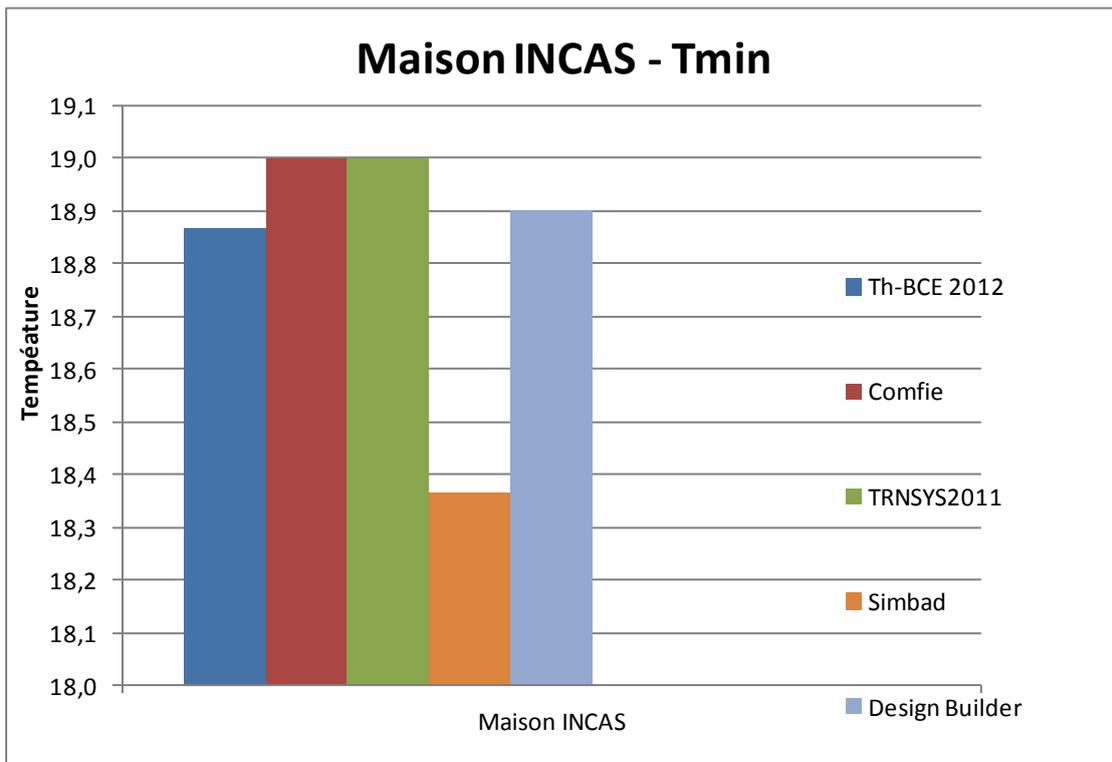
### 3.2.2 RESULTATS PRINCIPAUX

Les températures min/max/moy des jours le plus froid et le plus chaud ont été évaluées à l'aide des différents outils.

#### Températures minimales et maximales des maisons INCAS (rez-de-chaussée)

	Températures op min/max en °C		
	Maison INCAS		
	Tmin	Tmax	Tmoy
Th-BCE 2012	18,9	31,2	21,9
Comfie	19,0	29,2	20,5
TRNSYS2011	19,0	29,0	20,3
Simbad	18,4	32,5	23,0
Design Builder	18,9	29,5	20,5

<sup>3</sup> H. LUND, Short Reference Years and Test Reference Years for E.E.C. Countries, E.E.C. contract ESF-029-DK, 1985



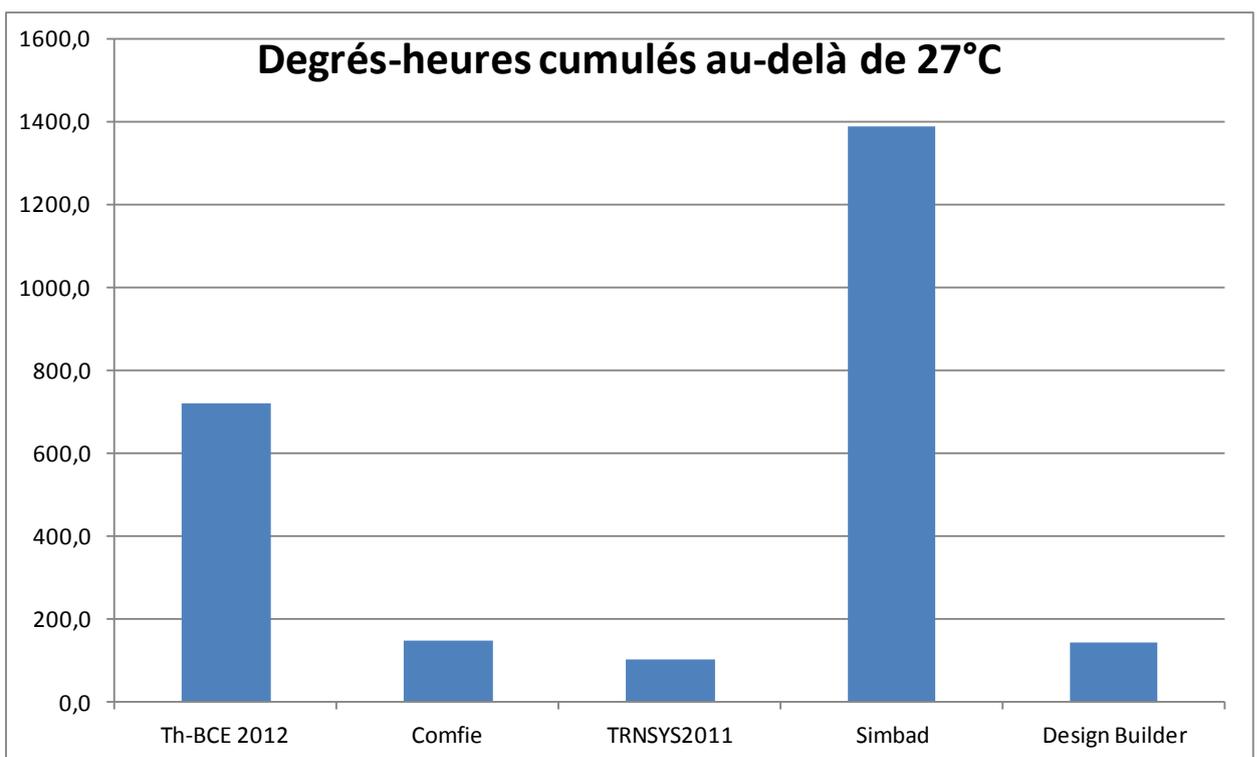
### 3.2.3 RESULTATS DETAILLES

#### 3.2.3.1 Les degrés-heures

Les degrés-heures cumulés au-delà de 27°C ont été calculés.

**Degrés-heures au-dessus de 27°C**

	Degrés-heures cumulés au-delà de 27°C
	Maison INCAS
	DH_27
<i>Th-BCE 2012</i>	719,5
<i>Comfie</i>	144,9
<i>TRNSYS2011</i>	98,5
<i>Simbad</i>	1390,0
<i>Design Builder</i>	142,4

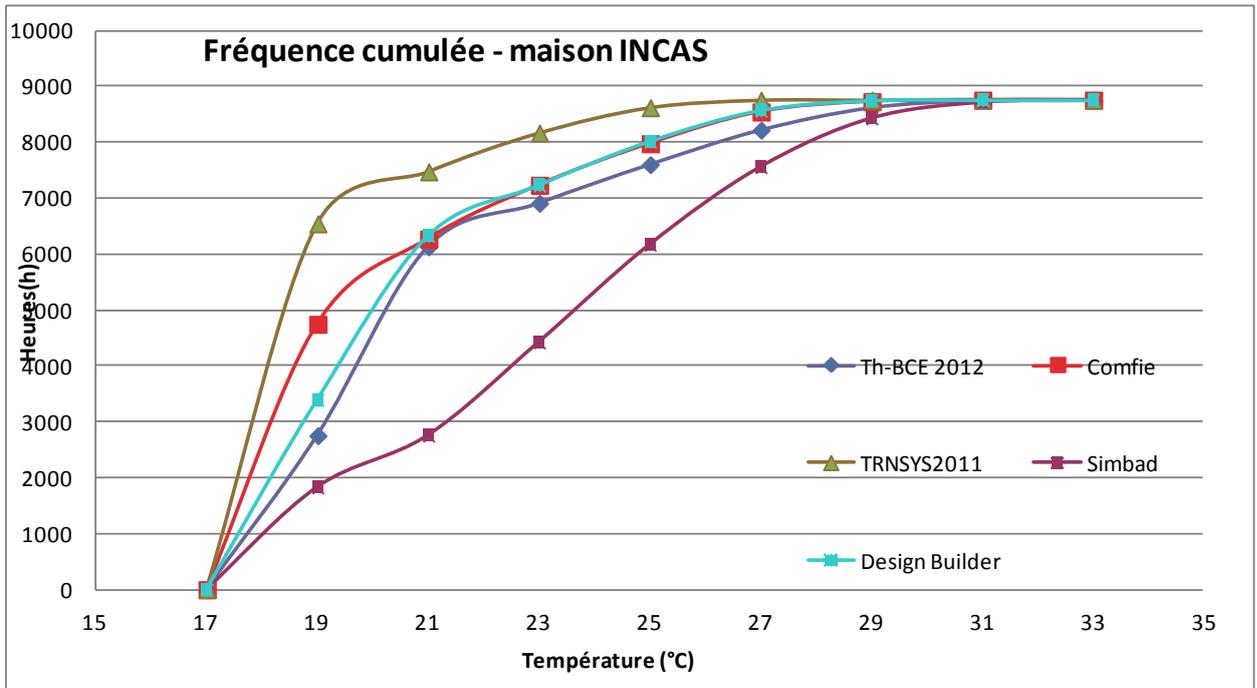


Ces résultats confirment ceux obtenus par le LOCIE<sup>4</sup> : En utilisant les mêmes entrées (en particulier en ce qui concerne les coefficients de transfert convectif), le modèle COMFIE donne des résultats proches de ceux obtenus avec les deux références internationales, TRNSYS et Energy Plus (interface Design Builder). Les autres outils français, CODYBA (développé au CETHIL) et SPARK (développé au LOCIE) s'écartent davantage de ces résultats.

---

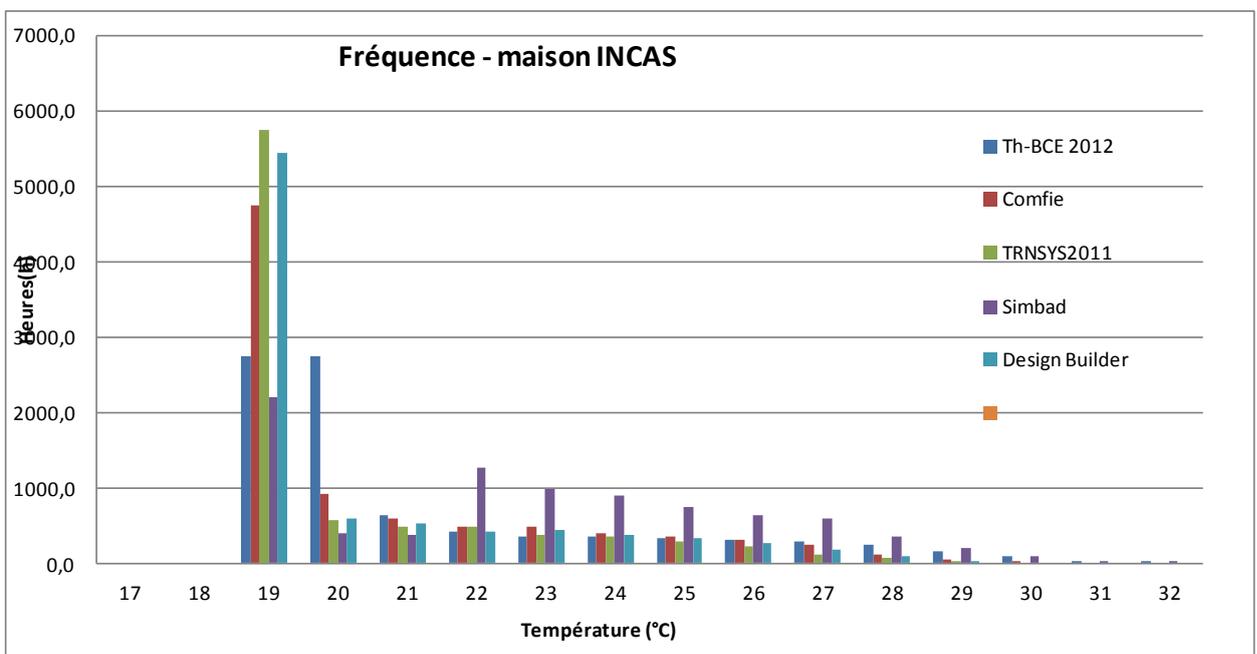
<sup>4</sup> Adrien BRUN, Clara SPITZ, Etienne WURTZ, ANALYSE DU COMPORTEMENT DE DIFFÉRENTS CODES DE CALCUL DANS LE CAS DE BÂTIMENTS À HAUTE EFFICACITÉ ÉNERGETIQUE IXème Colloque Interuniversitaire Franco-Québécois sur la Thermique des Systèmes 18-20 mai 2009, Lille

**3.2.3.2 L'histogramme des fréquences cumulées**



Fréquence cumulée de Ti de la maison INCAS

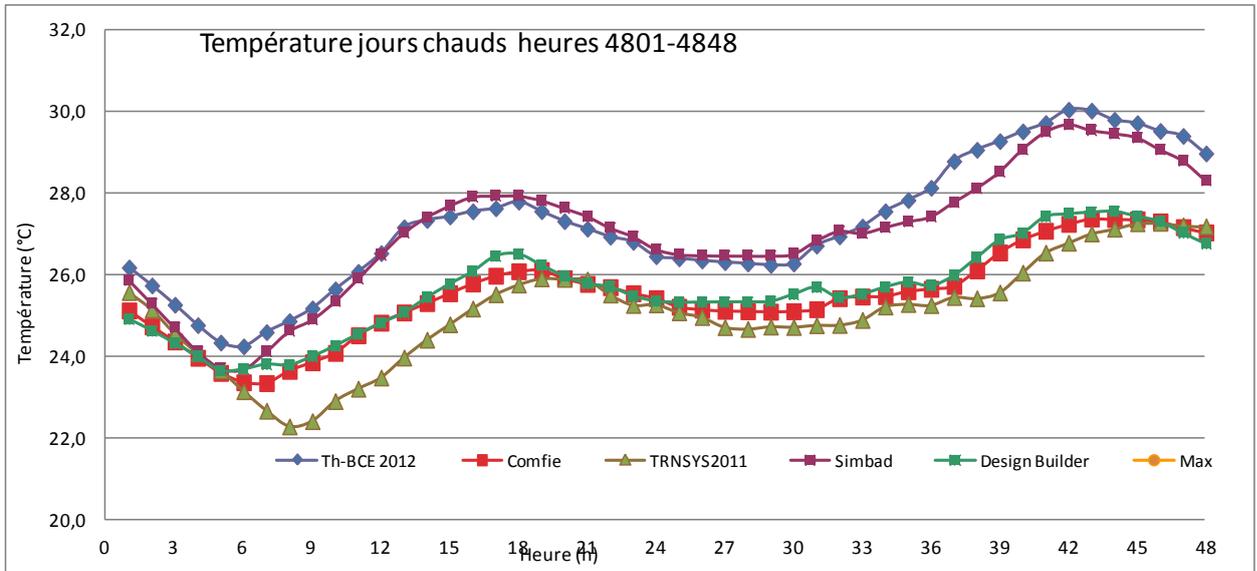
**3.2.3.3 L'histogramme des fréquences**



Fréquence de Ti de la maison INCAS

### 3.2.3.4 Profil de température

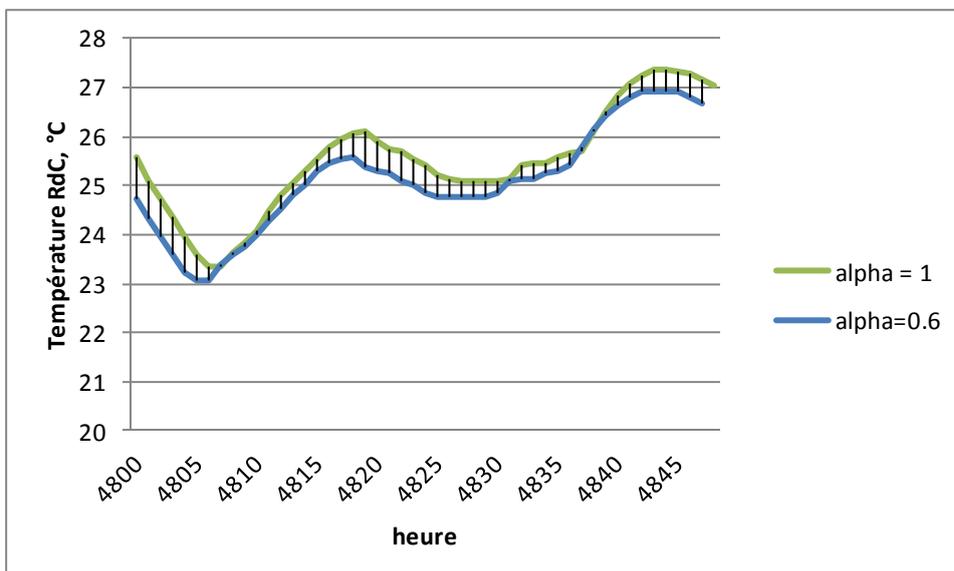
Le profil de température calculé par les différents outils sur 2 jours d'été, utilisés dans l'article de Brun/Spitz/Wurtz, à savoir les 20 et 21 juillet (heures 4801 à 4848) est le suivant.

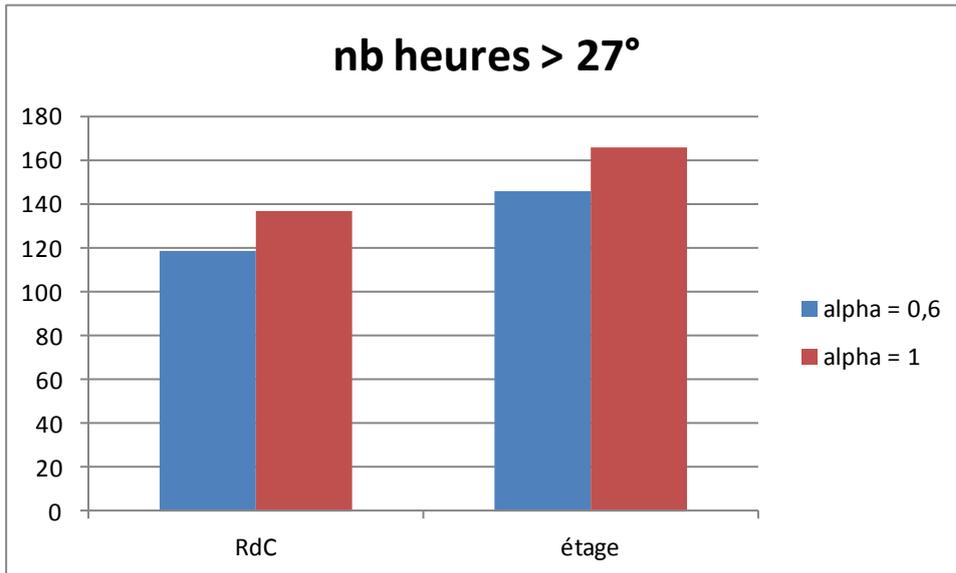


Profil de température de la maison INCAS (2 jours d'été)

### 3.2.4 MODELISATION DES APPORTS SOLAIRES NETS

Les modèles Th-BCE et SIMBAD ne prennent pas en compte le fait qu'une partie des apports solaires est réfléchi par les parois intérieures et ressort par les baies. Afin d'évaluer l'influence de ce phénomène sur les niveaux de température, une simulation a été effectuée avec des facteurs d'absorption égaux à 1, en comparaison à la valeur initiale de 0,6 (logiciel Pleiades+Comfie). Les résultats sont les suivants dans le cas des maisons INCAS.

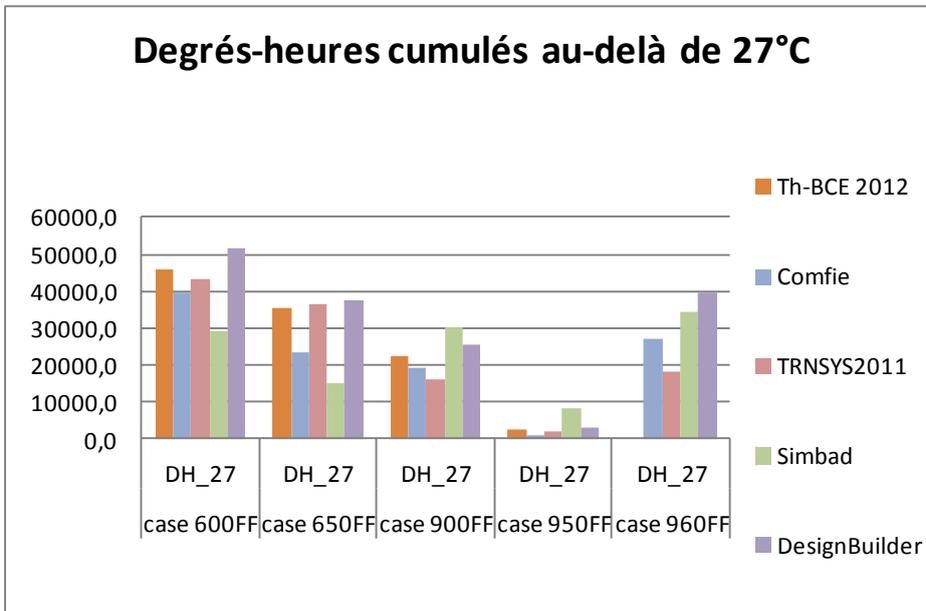




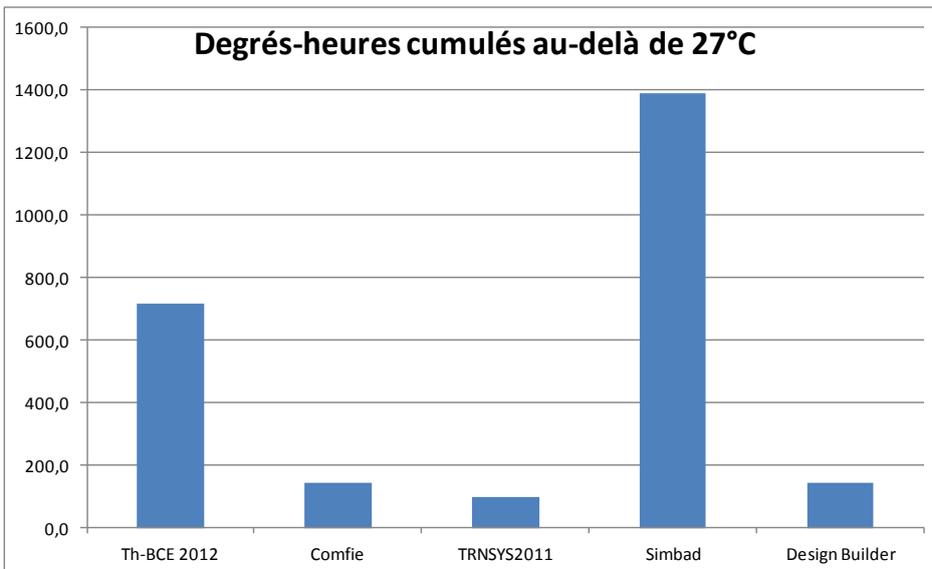
Dans cette étude de cas, considérer les apports solaires bruts (alpha = 1) au lieu des apports nets augmente les températures de l'ordre d'un demi degré en période chaude, et le nombre d'heures d'inconfort de l'ordre de 15%. Cette hypothèse simplificatrice ne semble donc pas pouvoir expliquer à elle seule les valeurs très élevées obtenues avec Th-BCE (le facteur solaire des vitrages avait été réduit de 10% pour obtenir les résultats figurant dans ce rapport) et SIMBAD.

## CONCLUSION

Les tests menés sur les cas ASHRAE ont montré une certaine cohérence sur la sensibilité des différents outils à deux paramètres de conception essentiels concernant le confort d'été : l'inertie thermique et la sur-ventilation nocturne, cf. le graphe ci-dessous montrant les degrés-heures d'inconfort (base 27) pour différentes configurations<sup>5</sup>. La configuration bizona (avec véranda) n'a pas été traitée par le modèle Th-BCE.



Ces tests correspondent à des bâtiments peu isolés. Des tests ont alors été menés sur une maison de la plate forme INCAS de l'INES, qui correspond davantage au niveau de performance de la RT 2012. Les résultats obtenus sont les suivants.



Les résultats sont assez proches entre les modèles Energy Plus (interface Design Builder), TRNSYS et Comfie. L'indicateur d'inconfort est nettement plus élevé dans le cas de Th-BCE et Simbad. En surestimant l'inconfort, le calcul réglementaire actuel risque de pénaliser la conception bioclimatique, tirant parti d'apports solaires par les baies vitrées pour réduire les besoins de chauffage mais aussi d'une forte inertie et d'une sur-ventilation nocturne pour maintenir un niveau de confort maximal.

<sup>5</sup> Pour mémoire : les cas 600 et 650 sont à faible inertie, 900 et 950 à forte inertie, 650 et 950 avec sur-ventilation nocturne, 960 correspond à une véranda.

La méthode Th-BCE a été modifiée en cours de test afin de prendre en compte la part des apports solaires réfléchi par les parois et ressortant par les baies, ainsi que la variation du facteur solaire des vitrages en fonction de l'angle d'incidence du rayonnement. Une réduction du facteur solaire de 10% a été appliquée, ce qui semble élevé : l'étude de sensibilité menée sur ce paramètre montre une influence de l'ordre de 15% sur les degrés-heures d'inconfort, et qu'il ne peut donc pas à lui seul expliquer l'écart constaté entre les modèles. Il serait utile de savoir si cette modification de Th-BCE a des conséquences sur le calcul des besoins bioclimatiques et des consommations.

Les fichiers météo utilisés dans le moteur de calcul Th-BCE sont maintenant disponibles, ce qui pourrait permettre de mener des comparaisons sur un échantillon plus important de bâtiments.

## 4. ANNEXES

### 4.1 CONTRIBUTION CSTB LOT N°1 - MAI 2010

Cette note a pour objectif de décrire les éléments du moteur de calcul Th-BCE 2012 (à la date du 20 mai 2011) intervenant ou pouvant intervenir dans le calcul du nouvel indicateur de confort d'été.

#### 4.1.1 INDICATEUR ACTUEL DE CONFORT D'ETE

Dans le moteur de calcul Th-C-E 2005 et dans le moteur de calcul Th-BCE 2012 dans sa version actuelle, une température intérieure conventionnelle ( $T_{ic}$ ) est calculée. Il s'agit de la température opérative maximale obtenue en été au cours d'une séquence chaude conventionnelle. Elle est ensuite comparée à une température intérieure conventionnelle de référence.

Autrement dit, on vérifie que

$$T_{ic} \leq T_{ic_{réf}}$$

Cette exigence nécessite la description d'un bâtiment de référence, ce qui n'est pas en cohérence avec les exigences absolues que sont le  $B_{bio_{max}}$  et le  $C_{ep_{max}}$ .

#### 4.1.2 CONTEXTE-CONTRAIINTES

##### 4.1.2.1 Catégorie CE1/CE2

Par définition, dans l'arrêté du 26 octobre 2010, la catégorie CE1 ou CE2 d'un local est définie comme suit : un local est de catégorie CE2 s'il est muni d'un système de refroidissement et si l'une des conditions suivantes est respectée :

- Simultanément, le local est situé dans une zone à usage d'habitation, ses baies sont exposées au bruit BR2 ou BR3, et le bâtiment est construit en zone climatique H2d ou H3 à une altitude inférieure à 400 m ;
- Simultanément, le local est situé dans une zone à usage d'enseignement, ses baies sont exposées au bruit BR2 ou BR3, et le bâtiment est construit en zone climatique H2d ou H3 à une altitude inférieure à 400 m ;
- Le local est situé dans une zone à usage de bureaux, et ses baies sont exposées au bruit BR2 ou BR3 ou ne sont pas ouvrables en application d'autres réglementations ;
- Le local est situé dans une zone à usage de bureaux, et le bâtiment est construit soit en zones climatiques H1c ou H2c à une altitude inférieure à 400m, soit en zones climatiques H2d ou H3 à une altitude inférieure à 800m ;

Les autres locaux sont de catégorie CE1.

Une zone ou une partie de zone est de catégorie CE2 si tous les locaux autres qu'à occupation passagère qu'elle contient sont de catégorie CE2. Elle est de catégorie CE1 dans les autres cas.

L'exigence de confort d'été ne s'applique pas aux zones ou parties de zones composées uniquement de locaux de catégorie CE2.

#### **4.1.2.2 Zone climatique**

Il a été retenu, pour la réglementation thermique, une segmentation géographique de huit zones climatiques, chacune ayant ces propres données climatiques (vitesse de vent, températures extérieures,...).

L'altitude du projet est également un paramètre d'entrée des règles Th-BCE 2012.

#### **4.1.2.3 Segmentation géographique du bâtiment**

(cf. lot n°2 du contrat Bbio)

Le modèle bâti est structuré en trois niveaux : le bâtiment est composé de zones, elles-mêmes composées de groupes. L'essentiel des calculs est effectué au niveau du groupe.

- L'objet bâtiment n'est utilisé que pour des informations générales (climat par exemple).
- La zone correspond à un ensemble de groupe de même type d'utilisation (générant en particulier les scénarios d'occupation et d'apports internes). La zone correspond également à un ensemble de groupes non étanches entre eux.

Les calculs de débits d'air au travers de l'enveloppe (défauts d'étanchéité et entrées / sorties d'air spécifiques) sont réalisés à ce niveau. Deux groupes de locaux de même type d'occupation et manifestement étanches entre eux (c'est par exemple le cas s'ils sont physiquement indépendants dans un même bâtiment) doivent donc faire l'objet de deux zones différentes.

La "frontière" de calcul pour la zone en termes de ventilation est celle correspondant à la barrière d'étanchéité maximale, correspondant en général à la barrière d'isolation maximale. On propose donc pour le cas des espaces tampons d'effectuer le calcul des débits au niveau de l'interface espace tampon/espace chauffé.

- Un groupe est une partie du bâti pour lequel on peut considérer que les températures intérieures sont suffisamment homogènes pour le calcul des consommations d'énergie (ou de confort d'été) ne soit pas sensiblement affecté par l'impact de cette hypothèse.

A ce titre doivent être regroupés dans des groupes différents :

- Les locaux correspondants à des scénarios de présence différents ;
- Les locaux en refroidissement par systèmes spécifiques et ceux en évolution libre ;
- Les espaces tampons non chauffés, ou chauffés à des températures de consigne sensiblement différentes des locaux d'usage principaux.

#### **4.1.3 DONNEES TH-BCE 2012 DISPONIBLES**

Ce paragraphe liste les données (d'entrée ou de sortie du moteur Th-BCE 2012) potentiellement ou nécessairement utiles pour le calcul du futur indicateur de confort d'été.

##### **4.1.3.1 Les scénarios d'occupation**

Le comportement de l'occupant est décrit de manière conventionnelle dans les règles Th-BCE 2012 pour chacun des 32 usages entrant dans le champ d'application de la

réglementation thermique. Le scénario ainsi défini est lié à une zone et comporte les éléments suivants.

Par zone :

- températures de consigne de chaud (en occupation, en inoccupation courte, en inoccupation longue)
- températures de consigne en refroidissement (en occupation, en inoccupation courte, en inoccupation longue)
- scénarios de chauffage (modulation pour les heures de la semaine + modulation pour les semaines de l'année)
- scénarios de refroidissement (modulation pour les heures de la semaine + modulation pour les semaines de l'année)
- scénarios d'éclairage (modulation pour les heures de la semaine + modulation pour les semaines de l'année)
- scénarios de ventilation (modulation pour les heures de la semaine + modulation pour les semaines de l'année)

Chaque zone est découpée en local. Chacun dispose de ces propres valeurs et de ces propres scénarios d'apports internes (sensibles et latents). Les apports internes sensibles et latents dus aux occupants sont distingués de ceux dus aux équipements. Les apports internes dus à l'éclairage ne sont pas inclus.

Par local, on retrouve :

- les ratios de surface de chaque local
- les valeurs d'apports internes sensibles et latents par occupant
- le scénario d'apports internes sensibles et le scénario d'apports latents par les occupants
- les valeurs d'apports internes sensibles et latents pour les équipements
- le scénario d'apports internes sensibles et le scénario d'apports latents par les équipements

Un exemple de scénario de la RT2012 est donné ci-dessous.

#### **4.1.3.2 Les températures du groupe**

Le moteur Th-BCE 2012 calcule, à chaque pas de temps (c'est-à-dire chaque heure) la température d'air  $\theta_i$ , la température radiante moyenne  $\theta_{rm}$ , la température opérative  $\theta_{op}$ ,... de chaque groupe.

La température d'air provient du modèle de comportement thermique d'un groupe (réseau 5RC). La température opérative et la température radiante moyenne sont déduites de la température d'air et de la température secondaire  $\theta_s$  ainsi que des coefficients d'échange radiatif et convectif.

#### **4.1.3.3 L'humidité de l'air**

De même que pour les températures, le modèle hydrique du moteur Th-BCE calcule l'humidité absolue du groupe à chaque pas de temps. Elle sera notée  $\omega_{i,g}$ .

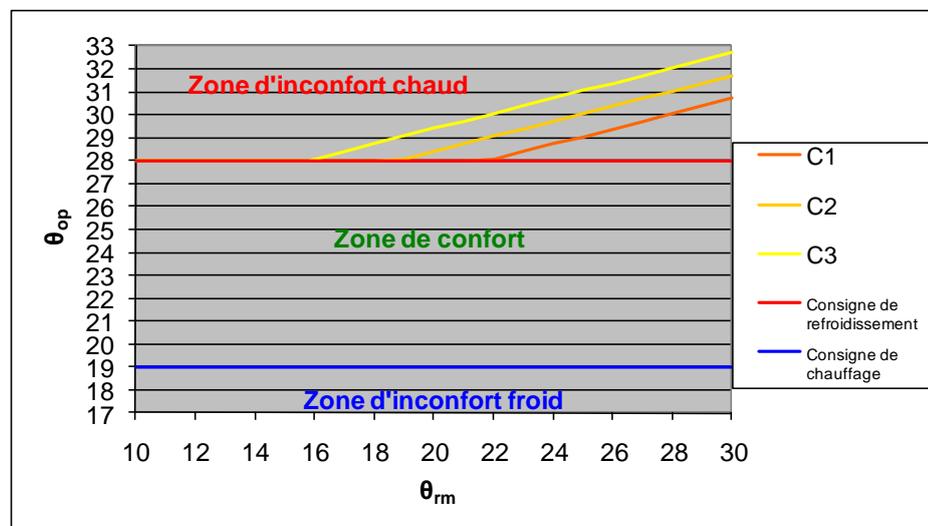
Elle dépend de l'humidité de l'air extérieur, des apports internes d'humidité, du type d'émetteur, etc.

#### 4.1.3.4 Les indicateurs de confort

La notion d'inconfort thermique est utilisée pour déterminer le début des périodes de chauffage et de refroidissement.

Pour cela, le moteur de calcul Th-BCE calcule à chaque pas de temps un indicateur d'inconfort (0 en situation de confort / 1 en situation d'inconfort) permettant de savoir si la température opérative du groupe se trouve dans l'intervalle de confort des occupants. Ce calcul est basé sur le principe du confort évolutif décrit dans la norme NF EN 15251.

Le groupe est en inconfort froid si la température opérative en évolution libre est inférieure à la température de consigne de chauffage, en occupation. Pour mesurer l'inconfort chaud, le graphique suivant est utilisé :



L'évolution de la température opérative d'inconfort maximale en fonction de la température moyenne glissante du jour y est représentée.

A partir de ces indicateurs (inconfort : oui/non), le moteur Th-BCE 2012 évalue le nombre d'heures d'inconfort (en chaud et en froid) ainsi que les degrés-heures d'inconfort.

Les débuts des saisons de chauffage et de refroidissement sont pilotés par ces degrés-heures d'inconfort ainsi calculés : la saison de chauffage commence si la moyenne glissante du nombre de degrés-heures d'inconfort froid sur 4 semaines dépasse 40°C.h.

(La fiche algorithme est détaillée ci-dessous)

#### 4.1.4 FICHE ALGORITHME INDICATEURS DE CONFORT

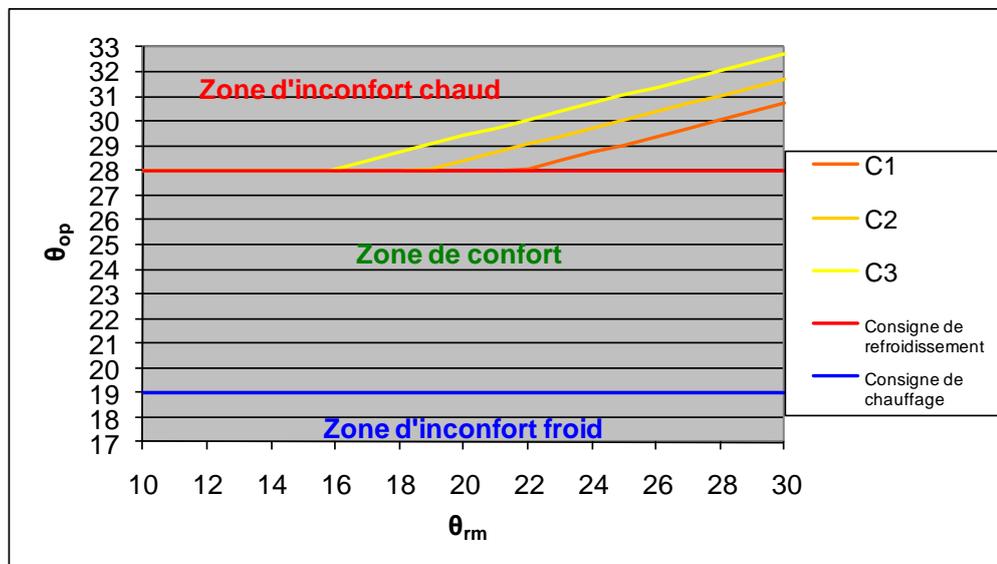
##### 4.1.4.1 Introduction

Le présent composant a pour objectif de déterminer à chaque pas si la température opérative intérieure du groupe se trouve dans l'intervalle correspondant au confort des occupants.

La limite basse de cet intervalle correspondant à la température de consigne de chauffage telle que définie dans les scénarios de la zone d'appartenance du groupe.

La limite haute de cet intervalle peut-être prendre des valeurs différentes selon qu'on considère la situation d'un groupe refroidi par un système de climatisation ou rafraîchi par surventilation naturelle. Dans ce deuxième cas de surventilation naturelle, 3 catégories d'ambiance intérieure échelonnées sont distinguées : la limite haute en température, notée  $\theta_{op\_inc\_max}$ , est alors dépendante de la moyenne glissante de la température extérieure  $\theta_{rm}$  pour le jour j.

Ci-dessous une représentation des différentes zones de températures opératives en fonction de  $\theta_{rm}$  pour des températures de consigne classiques de 19°C et 28°C.



**Tableau 1: Confort et inconfort thermique de l'occupant**

Les sorties de la présente fiches sont de deux natures : indicateurs d'inconfort d'une part, et écarts aux limites de température d'inconfort d'autre part.

#### 4.1.4.2 Nomenclature

Le Tableau 2 donne la nomenclature des différentes variables du modèle de calcul.

Dans toute la suite de la fiche, on notera  $h$  le pas de temps de simulation, et  $j$  le jour de simulation correspondant.

##### Entrées du composant

	Nom	Description	Unités
Zone	$I_{HJ}$	Heure du jour.	h
	$\{\theta_{ei}(h)\}_{j-1}$	Valeurs des températures extérieures sur l'ensemble du jour précédent.	°C
	$i_{occ\_zone}(h)$	Indicateur traduisant l'occupation au temps $h$ : <i>1</i> : en occupation <i>0</i> : en inoccupation	Ent
	$\theta_{ich}(h)$	Température de consigne de chauffage du groupe au pas de temps $h$ .	°C
	$\theta_{ifrr}(h)$	Température de consigne de refroidissement du groupe au pas de temps $h$ .	°C
	$\theta_{op,moy(0;0)}(h)$	Température intérieure opérative moyenne ressentie, du groupe considéré, à puissances des systèmes nulles, au pas de temps $h$ .	°C

##### Paramètres intrinsèques

Nom	Description	Unités	Min	Max	Conv
$\Delta\theta_{op\_inc\_C1}$	Paramètres conventionnels intervenant dans la définition de				2
$\Delta\theta_{op\_inc\_C2}$	$\theta_{op\_inc\_max}$ , en catégorie d'ambiance 1, 2 et 3.	°C	$-\infty$	$+\infty$	3
$\Delta\theta_{op\_inc\_C3}$					4

##### Sorties

	Nom	Description	Unités
Groupe	$i_{inconf\_cons,ch}(h)$	Indicateur d'inconfort froid déterminé par rapport à la température de consigne de chauffage $\theta_{ich}$ . <i>1</i> : occupation, inconfort froid, <i>0</i> : occupation, pas d'inconfort froid,	Ent

-1: *inoccupation.*

Indicateur d'inconfort chaud déterminé par rapport à la température de consigne de refroidissement  $\theta_{iifr}$ .

$i_{inconf\_cons,fr}(h)$       1: *occupation, inconfort chaud,*      Ent  
    0 : *occupation, pas d'inconfort chaud,*  
    -1: *inoccupation.*

Indicateur d'inconfort chaud déterminé par rapport au seuil d'inconfort en catégorie d'ambiance 1.

$i_{inconf\_C1,fr}(h)$       1: *occupation, inconfort chaud,*      Ent  
    0 : *occupation, pas d'inconfort chaud,*  
    -1: *inoccupation.*

Indicateur d'inconfort chaud déterminé par rapport au seuil d'inconfort en catégorie d'ambiance 2.

$i_{inconf\_C2,fr}(h)$       1: *occupation, inconfort chaud,*      Ent  
    0 : *occupation, pas d'inconfort chaud,*  
    -1: *inoccupation.*

Indicateur d'inconfort chaud déterminé par rapport au seuil d'inconfort en catégorie d'ambiance 3.

$i_{inconf\_C3,fr}(h)$       1: *occupation, inconfort chaud,*      Ent  
    0 : *occupation, pas d'inconfort chaud,*  
    -1: *inoccupation.*

$\Delta\theta_{op\_inc\_cons,ch}(h)$       Ecart à la température de consigne de refroidissement en situation d'inconfort chaud.      °C

$\Delta\theta_{op\_inc\_cons,fr}(h)$       Ecart à la température de consigne de chauffage en situation d'inconfort froid.      °C

$\Delta\theta_{op\_inc\_C1,fr}(h)$       Ecart à la température de confort, en situation d'inconfort froid, et en catégorie d'ambiance 1, 2 et 3      °C

$\Delta\theta_{op\_inc\_C2,fr}(h)$

$\Delta\theta_{op\_inc\_C3,fr}(h)$

$Nbh_{inc\_cons,ch}$	Nombre d'heures d'inconfort froid (en période d'occupation) déterminé par rapport à la température de consigne de chauffage $\theta_{iich}$ .	h
$Nbh_{inc\_cons,fr}$	Nombre d'heures d'inconfort chaud en période d'occupation déterminé par rapport à la température de consigne de chauffage $\theta_{iifr}$ .	h
$Nbh_{inc\_C1,fr}$	Nombre d'heures d'inconfort chaud en période d'occupation déterminé par rapport au seuil d'inconfort en catégorie d'ambiance 1, 2 et 3.	h
$Nbh_{inc\_C2,fr}$		
$Nbh_{inc\_C3,fr}$		
$DH_{inc\_cons,ch}$	Nombre de degrés-heures d'inconfort froid en période d'occupation déterminé par rapport à la température de consigne de chauffage $\theta_{iich}$ .	K.h
$DH_{inc\_cons,fr}$	Nombre de degrés-heures d'inconfort chaud en période d'occupation déterminé par rapport à la température de consigne de chauffage $\theta_{iifr}$ .	K.h
$DH_{inc\_C1,fr}$	Nombre de degrés-heures d'inconfort chaud en période d'occupation déterminé par rapport au seuil d'inconfort en catégorie d'ambiance 1, 2 et 3	K.h
$DH_{inc\_C2,fr}$		
$DH_{inc\_C3,fr}$		

### Variables internes

Nom	Description	Unités	Min	Max	Conv
$\theta_{rm}(j)$	Température extérieure moyenne journalière glissante valable au jour j.	°C	$-\infty$	$+\infty$	-
$\theta_{rm}(j-1)$	Température extérieure moyenne journalière glissante valable au jour j-1.	°C	$-\infty$	$+\infty$	-
$\theta_{ei,moy}(j)$	Température moyenne extérieure journalière valable au jour j (calculée sur l'ensemble des températures horaires du jour j-1).	°C	$-\infty$	$+\infty$	-
$\theta_{op\_inc\_max\_C1}(h)$	Seuil de température opérative d'inconfort chaud en catégorie d'ambiance 1, 2 et 3.	°C	$-\infty$	$+\infty$	-
$\theta_{op\_inc\_max\_C2}(h)$					
$\theta_{op\_inc\_max\_C3}(h)$					

**Tableau 2 : Nomenclature du modèle**

#### 4.1.4.3 Description mathématique

##### - Inconfort froid

On considère que l'état d'inconfort froid est atteint lorsque la température opérative moyenne ressentie par les occupants, à puissances des systèmes nulles, devient inférieure à la température de consigne de chauffage  $\theta_{ich}$  pour le groupe.

La notion d'inconfort ne concerne que les périodes d'occupation du groupe.

Si  $i_{occ\_zone}(h) = 1$ ,

Si  $\theta_{op,moy(0;0)}(h) < \theta_{ich}(h)$  (en occupation et en inconfort froid), alors,

$$i_{inconf,ch}(h) = 1$$

Sinon, (en occupation mais sans inconfort froid) (6)

$$i_{inconf,ch}(h) = 0$$

Sinon, (en inoccupation)

$$i_{inconf,ch}(h) = -1$$

##### - Inconfort chaud

On considère que l'état d'inconfort chaud est atteint lorsque la température opérative moyenne ressentie par les occupants, à puissances des systèmes nulles, devient supérieure à une valeur seuil.

Ce seuil maximal peut être déterminé par deux méthodes différentes :

- Soit il est égal à la température de consigne de refroidissement  $\theta_{ifrr}(h)$  du groupe au pas de temps considéré,
- Soit il est calculé en prenant en compte les aspects psychosociologiques (capacité d'agir manuellement sur les conditions intérieures, « mémoire » thermique...), l'adaptation de la vêtue et le possible impact des vitesses de circulation d'air. La méthode employée pour tenir compte de ces facteurs exploite la moyenne glissante journalière des températures extérieures  $\theta_{rm}(j)$ , et fait appel à une classification du groupe en catégorie d'ambiance thermique (1, 2 ou 3), telle que définie dans la norme NF EN 15251. Cette méthode donne ainsi lieu à 3 calculs de seuil maximal de confort, différant d'une constante.

La présente fiche réalise les tests pour les quatre situations, et renvoie donc quatre informations différentes sur l'inconfort chaud.

#### ▪ Calculs intermédiaires pour l'inconfort chaud en surventilation naturelle

Dans un premier temps, on calcule  $\theta_{rm}(j)$ , la moyenne glissante au jour  $j$  de la température extérieure. Cette moyenne est calculée au premier pas de temps du jour  $j$  ( $h$  tel que IHJ=1) et reprise pour l'ensemble des autres pas de temps du jour.

Si  $j = 1$ ,

Si  $j = 1$ ,

$$\theta_{rm}(j) = 0$$

Sinon,

$$\theta_{ei,moy}(j) = \frac{\sum \theta_{ei}(h)}{24}$$

$$\theta_{rm}(j) = 0.8 \times \theta_{rm}(j-1) + 0.2 \times \theta_{ei,moy}(j)$$

(7)

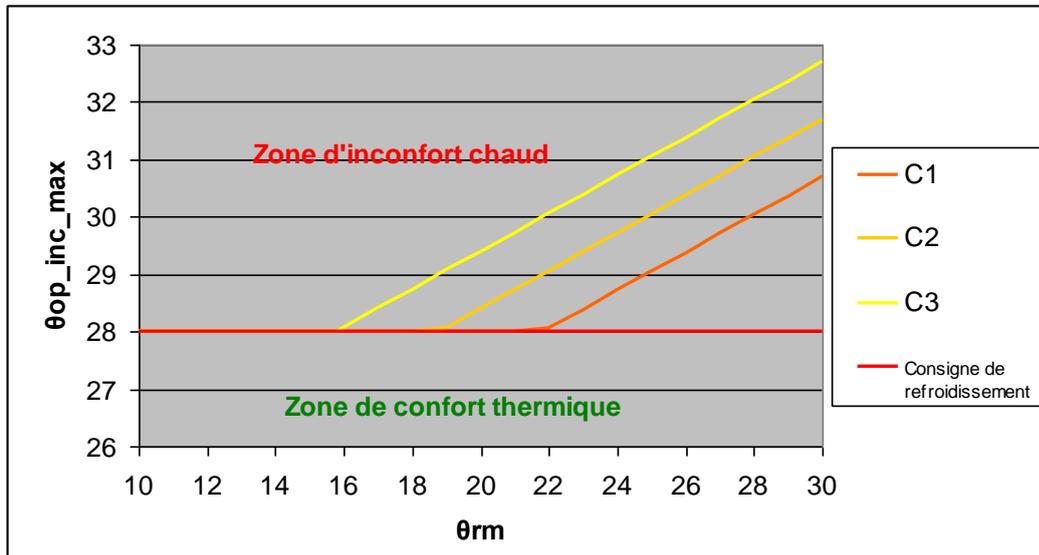
Dans un second temps, on détermine les valeurs de  $\Delta\theta_{op\_inc}$  à utiliser dans le calcul des  $\theta_{op\_inc\_max}$ , seuil d'inconfort maximal de température opérative ressentie pour les trois catégories d'ambiance. Les formules de calcul des  $\theta_{op\_inc\_max}$  sont les suivantes :

$$\theta_{op\_inc\_max\_C1}(h) = \text{MAX} (\theta_{iifr}(h); 0.33 \times \theta_{rm}(j) + 18.8 + \Delta\theta_{op\_inc\_C1})$$

$$\theta_{op\_inc\_max\_C2}(h) = \text{MAX} (\theta_{iifr}(h); 0.33 \times \theta_{rm}(j) + 18.8 + \Delta\theta_{op\_inc\_C2}) \quad (8)$$

$$\theta_{op\_inc\_max\_C3}(h) = \text{MAX} (\theta_{iifr}(h); 0.33 \times \theta_{rm}(j) + 18.8 + \Delta\theta_{op\_inc\_C3})$$

Ci-dessous une représentation graphique de l'évolution de  $\theta_{op\_inc\_max}$  en fonction de  $\theta_{rm}$ , pour une température de consigne de refroidissement de 28°C.



**Tableau 3: Limite haute de la zone de confort thermique en fonction des catégories d'ambiance**

▪ **Test par rapport aux critères d'inconfort chaud**

Si  $i_{occ\_zone}(h) = 1$ , alors, (en occupation)

Si  $\theta_{op,moy(0;0)}(h) > \theta_{iifr}(h)$ ,

(9)

$i_{inconf\_cons,fr}(h) = 1$

Sinon,

$$i_{inconf\_cons,fr}(h) = 0$$

$$\text{Si } \theta_{op,moy(0;0)}(h) > \theta_{op\_inc\_max\_C1}(h),$$

$$i_{inconf\_C1,fr}(h) = 1$$

*Sinon,*

$$i_{inconf\_C1,fr}(h) = 0$$

$$\text{Si } \theta_{op,moy(0;0)}(h) > \theta_{op\_inc\_max\_C2}(h),$$

$$i_{inconf\_C2,fr}(h) = 1$$

*Sinon,*

$$i_{inconf\_C2,fr}(h) = 0$$

$$\text{Si } \theta_{op,moy(0;0)}(h) > \theta_{op\_inc\_max\_C3}(h),$$

$$i_{inconf\_C3,fr}(h) = 1$$

*Sinon,*

$$i_{inconf\_C3,fr}(h) = 0$$

*Sinon, (en inoccupation)*

$$i_{inconf\_cons,fr}(h) = -1$$

$$i_{inconf\_C1,fr}(h) = -1$$

$$i_{inconf\_C2,fr}(h) = -1$$

$$i_{inconf\_C3,fr}(h) = -1$$

#### - **Calcul des écarts aux critères d'inconfort**

Les écarts aux critères d'inconfort ne sont non-nuls que lorsque les conditions d'inconfort chaudes ou froides sont remplies. Ces écarts servent de base à la définition des périodes d'autorisation de chauffage et de refroidissement.

$$\Delta \theta_{op\_inc\_cons\_ch}(h) = i_{inconf\_cons\_ch} \times \frac{i_{inconf\_cons\_ch} + 1}{2} \times \left| \theta_{iich}(h) - \theta_{op,moy(0;0)}(h) \right| \quad (10)$$

$$\Delta \theta_{op\_inc\_cons\_fr}(h) = i_{inconf\_cons\_fr} \times \frac{i_{inconf\_cons\_fr} + 1}{2} \times \left| \theta_{iifr}(h) - \theta_{op,moy(0;0)}(h) \right| \quad (11)$$

$$\Delta \theta_{op\_inc\_C1,fr}(h) = i_{inconf\_C1,fr} \times \frac{i_{inconf\_cons,ch} + 1}{2} \times \left| \theta_{op\_inc\_max\_C1}(h) - \theta_{op,moy(0;0)}(h) \right|$$

$$\Delta \theta_{op\_inc\_C2,fr}(h) = i_{inconf\_C2,fr} \times \frac{i_{inconf\_cons,ch} + 1}{2} \times \left| \theta_{op\_inc\_max\_C2}(h) - \theta_{op,moy(0;0)}(h) \right|$$

$$\Delta \theta_{op\_inc\_C3,fr}(h) = i_{inconf\_C3,fr} \times \frac{i_{inconf\_cons,ch} + 1}{2} \times \left| \theta_{op\_inc\_max\_C3}(h) - \theta_{op,moy(0;0)}(h) \right|$$

### - Calcul du nombre d'heures d'inconfort

Le nombre d'heures d'inconfort est calculé pour les cinq critères d'inconfort. La variable  $Nbh$  est incrémentée de 1 à chaque pas de temps durant lequel l'occupant est en inconfort.

#### En inconfort froid :

Initialisation :  $Nbh_{inc\_cons,ch} = 0$

A chaque pas de temps  $h$ ,

- si  $i_{inconf\_cons,ch}(h) = 1$

$$Nbh_{inc\_cons,ch} = Nbh_{inc\_cons,ch} + 1$$

- sinon  $(i_{inconf\_cons,ch}(h) = 0 \text{ ou } -1)$

$$Nbh_{inc\_cons,ch} = Nbh_{inc\_cons,ch}$$

(12)

#### En inconfort chaud :

Initialisation :  $Nbh_{inc\_cons,fr} = 0$

$$Nbh_{inc\_C1,fr} = 0$$

$$Nbh_{inc\_C2,fr} = 0$$

$$Nbh_{inc\_C3,fr} = 0$$

A chaque pas de temps  $h$ ,

- si  $i_{inconf\_cons,fr}(h) = 1$

$$Nbh_{inc\_cons,fr} = Nbh_{inc\_cons,fr} + 1$$

- sinon  $(i_{inconf\_cons,fr}(h) = 0 \text{ ou } -1)$

$$Nbh_{inc\_cons,fr} = Nbh_{inc\_cons,fr}$$

(13)

A chaque pas de temps  $h$ ,

$$- \text{si } i_{\text{inconf\_C1,fr}}(h) = 1$$

$$Nbh_{\text{inc\_C1,fr}} = Nbh_{\text{inc\_C1,fr}} + 1$$

$$- \text{sinon } (i_{\text{inconf\_C1,fr}}(h) = 0 \text{ ou } -1)$$

$$Nbh_{\text{inc\_C1,fr}} = Nbh_{\text{inc\_C1,fr}}$$

A chaque pas de temps  $h$ ,

$$- \text{si } i_{\text{inconf\_C2,fr}}(h) = 1$$

$$Nbh_{\text{inc\_C2,fr}} = Nbh_{\text{inc\_C2,fr}} + 1$$

$$- \text{sinon } (i_{\text{inconf\_C2,fr}}(h) = 0 \text{ ou } -1)$$

$$Nbh_{\text{inc\_C2,fr}} = Nbh_{\text{inc\_C2,fr}}$$

A chaque pas de temps  $h$ ,

$$- \text{si } i_{\text{inconf\_C3,fr}}(h) = 1$$

$$Nbh_{\text{inc\_C3,fr}} = Nbh_{\text{inc\_C3,fr}} + 1$$

$$- \text{sinon } (i_{\text{inconf\_C3,fr}}(h) = 0 \text{ ou } -1)$$

$$Nbh_{\text{inc\_C3,fr}} = Nbh_{\text{inc\_C3,fr}}$$

### - **Calcul de la somme des degrés-heures d'inconfort**

Cette somme exprime les écarts entre la température d'inconfort et la température réelle du groupe sans systèmes de chauffage ni de refroidissement (températures en évolution libre), sur l'ensemble des pas de temps de l'année (8760 heures ici).

#### **En inconfort froid :**

$$DH_{\text{inc\_cons, ch}} = \sum_h \Delta \theta_{\text{op\_inc\_cons, ch}}(h) \quad (14)$$

#### **En inconfort chaud :**

$$DH_{\text{inc\_cons, fr}} = \sum_h \Delta \theta_{\text{op\_inc\_cons, fr}}(h) \quad (15)$$

$$DH_{inc\_C1,fr} = \sum_h \Delta \theta_{op\_inc\_C1,fr}(h)$$

$$DH_{inc\_C2,fr} = \sum_h \Delta \theta_{op\_inc\_C2,fr}(h)$$

$$DH_{inc\_C3,fr} = \sum_h \Delta \theta_{op\_inc\_C3,fr}(h)$$

Note : les résultats fournissent le nombre de degrés-heures d'inconfort en période d'occupation, les écarts de températures étant nuls en période d'inoccupation.

**4.1.5 EXEMPLE DE SCENARIOS D'OCCUPATION : EN BUREAUX**

ZONE																								
<b>nom de la zone</b>		Immeuble de bureaux voir typologie																						
<b>températures de consigne</b>		ch	fr																					
normal		19	26																					
arrêt moins de 48 h		16	30																					
arrêt plus de 48 h		7	30																					
<b>occupation</b>		scenario horaire occupation = 1 ; inoccupation = 0																						
jour V / heure >	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>vacances &gt; 1 : tableau ci dessus ; inoccupation = 0</b>		Ce calendrier est basé sur une année commençant un Lundi																						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12												
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1												
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1												
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1												
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1												
5			1		1			1				1												
<b>Chauffage</b>		scenario horaire Température de consigne chaud > normal : 1 ; réduc de moins de 48 h: 0 ; réduction de plus de 48 h : -1																						
jour V / heure >	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
6	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
7	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
<b>vacances 1 : tableau ci dessus ; -1 : réduc de plus de 48 h</b>																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12												
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1												
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1												
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1												
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1												
5			1		1			1				1												
<b>Refroidissement</b>		scenario horaire Température de consigne froid > normal : 1 ; réduc de moins de 48 h: 0 ; réduction de plus de 48 h : -1																						
jour V / heure >	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
6	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
7	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
<b>vacances 1 : tableau ci dessus ; -1 : réduc de plus de 48 h</b>																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12												
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1												
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1												
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1												
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1												
5			1		1			1				1												
<b>ventilation</b>		scenario horaire ventilation > fonctionnement = 1 ; arrêt ou valeur min = 0																						
jour V / heure >	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>vacances &gt; 1 : tableau ci dessus ; arrêt ou valeur min = 0</b>																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12												
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1												
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1												
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1												
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1												
5			1		1			1				1												

éclairage jour V / heure >	scenario horaire eclaireage > fonctionnement = 1 ; arrêt ou valeur min = 0																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

	vacances > 1 : tableau ci dessus ; arrêt ou valeur min = 0											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5			1		1			1				1

0 unité m² surface utile  
1,25 L/semaine/unité nombre de litres d'eau à 40°C puisés par semaine et par unité

Besoins d'ECS jour/semaine	Clé de répartition horaire des besoins d'ECS (compris entre 0 et 1)																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,03	0,03	0,03	0,01	0,01	0,03	0,03	0,03	0,01	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,03	0,03	0,03	0,01	0,01	0,03	0,03	0,03	0,01	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,03	0,03	0,03	0,01	0,01	0,03	0,03	0,03	0,01	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,03	0,03	0,03	0,01	0,01	0,03	0,03	0,03	0,01	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,03	0,03	0,03	0,01	0,01	0,03	0,03	0,03	0,01	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

semaine/mois	ratio correctif de la semaine (0 à 1)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	1	1	1	1	1	1	0,5	1	1	1	1
2	1	1	1	0,5	1	1	1	0,5	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	0,5	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	0,5	1	1	1	0,5
5			1		1			1				1

**Local N°1**

nom du local Bureau standard voir typologie  
Rat\_I 0,6

**taux d'occupation**

occupant 0,1 Noccnom valeur pour l'heure maximale de l'année  
90 W/Nocc Chaleur moyenne dégagée par un occupant  
0,06 kg/h/Nocc Humidité dégagée par un occupant

jour V / heure >	ratio Nocc moy/Noccnom valeur comprise entre 0 et 1 (= 0 en inocc)																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,57	1	1	1	0,57	0,57	1	1	1	0,57	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0,57	1	1	1	0,57	0,57	1	1	1	0,57	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0,57	1	1	1	0,57	0,57	1	1	1	0,57	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0,57	1	1	1	0,57	0,57	1	1	1	0,57	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0,57	1	1	1	0,57	0,57	1	1	1	0,57	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

semaine/mois	facteur correctif de la semaine (0 à 1)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	1	1	1	1	1	1	0,5	1	1	1	1
2	1	1	1	0,5	1	1	1	0,5	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	0,5	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	0,5	1	1	1	0,5
5			1		1			1				1

**Apports de chaleur hors occupants et éclairage**

m² unité par ex surface du local  
16 Watts/unité valeur pour l'heure maximale de l'année

jour V / heure >	ratio apports apports nominaux (compris entre 0 et 1)																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,55	1	1	1	1	1	1	1	1	0,55	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
2	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,55	1	1	1	1	1	1	1	1	0,55	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
3	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,55	1	1	1	1	1	1	1	1	0,55	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
4	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,55	1	1	1	1	1	1	1	1	0,55	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
5	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,55	1	1	1	1	1	1	1	1	0,55	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
6	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
7	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11

semaine/mois	ratio correctif de la semaine (0 à 1)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	1	1	1	1	1	1	0,5	1	1	1	1
2	1	1	1	0,5	1	1	1	0,5	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	0,5	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	0,5	1	1	1	0,5
5			1		1			1				1



semaine/mois	facteur correctif de la semaine (0 à 1)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
2	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0
5			1		1			1			1	

**Apports d'humidité hors occupants et éclairage**

m<sup>2</sup> unité m<sup>2</sup> en résidentiel, nombre de lits, nombres de douches  
 0 kg/h/unité valeur pour l'heure maximale de l'année

jour V / heure >	ratio apports apports nominaux (compris entre 0 et 1)																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,25	0,5	0,5	0,25	0,25	0,5	0,5	0,5	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,25	0,5	0,5	0,25	0,25	0,5	0,5	0,5	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,25	0,5	0,5	0,25	0,25	0,5	0,5	0,5	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,25	0,5	0,5	0,25	0,25	0,5	0,5	0,5	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,25	0,5	0,5	0,25	0,25	0,5	0,5	0,5	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

semaine/mois	facteur correctif de la semaine (0 à 1)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
2	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0
5			1		1			1			1	

**Local N°3**

nom du local **Circulation Accueil** voir typologie  
 Rat\_l **0,26** ratio par défaut surface utile du local/surface utile du groupe peut-être nul si niveau P dans typologie. La somme des Ratgd du groupe est égale à 1

**taux d'occupation**

occupant **0** Noccnom valeur pour l'heure maximale de l'année  
**90** W/Nocc Chaleur moyenne dégagée par un occupant  
**0,06** kg/h/Nocc Humidité dégagée par un occupant

jour V / heure >	ratio Nocc moy/Nocc nom valeur comprise entre 0 et 1 (= 0 en innocc)																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

semaine/mois	facteur correctif de la semaine (0 à 1)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	1	1	1	1	1	1	0,5	1	1	1	1
2	1	1	1	0,5	1	1	1	0,5	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	0,5	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	0,5	1	1	1	0,5
5			1		1			1			1	

**Apports de chaleur hors occupants et éclairage**

m<sup>2</sup> unité par ex surface du local  
 0 Watts/unité valeur pour l'heure maximale de l'année

jour V / heure >	ratio apports apports nominaux (compris entre 0 et 1)																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

semaine/mois	facteur correctif de la semaine (0 à 1)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	1	1	1	1	1	1	0,5	1	1	1	1
2	1	1	1	0,5	1	1	1	0,5	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	0,5	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	0,5	1	1	1	0,5
5			1		1			1			1	

**Apports d'humidité hors occupants et éclairage**

m<sup>2</sup> unité m<sup>2</sup> en résidentiel, nombre de lits, nombres de douches  
 0 kg/h/unité valeur pour l'heure maximale de l'année

		ratio apports apports nominaux (compris entre 0 et 1)																							
jour V / heure >		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

		facteur correctif de la semaine (0 à 1)											
semaine/mois		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	1	1	1	1	1	1	0,5	1	1	1	1	1
2	1	1	1	0,5	1	1	1	0,5	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	0,5	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	0,5	1	1	1	1	0,5
5			1		1			1			1		

**Local N°4**

nom du local Sanitaires collectifs voir typologie  
 Rat\_l 0,03 ratio par défaut surface utile du local/surface utile du groupe  
 peut-être nul si niveau P dans typologie. La somme des Ratgd du groupe est égale à 1

**taux d'occupation**

occupant 0 Noccnom valeur pour l'heure maximale de l'année  
 90 W/Nocc Chaleur moyenne dégagée par un occupant  
 0,06 kg/h/Nocc Humidité dégagée par un occupant

		ratio Nocc moy/Nocc nom valeur comprise entre 0 et 1 (= 0 en innocc)																							
jour V / heure >		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

		facteur correctif de la semaine (0 à 1)											
semaine/mois		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	1	1	1	1	1	1	0,5	1	1	1	1	1
2	1	1	1	0,5	1	1	1	0,5	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	0,5	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	0,5	1	1	1	1	0,5
5			1		1			1			1		

**Apports de chaleur hors occupants et éclairage**

m<sup>2</sup> unité par ex surface du local  
 0 Watts/unité valeur pour l'heure maximale de l'année

		ratio apports apports nominaux (compris entre 0 et 1)																							
jour V / heure >		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

		ratio correctif de la semaine (0 à 1)											
semaine/mois		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	1	1	1	1	1	1	0,5	1	1	1	1	1
2	1	1	1	0,5	1	1	1	0,5	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	0,5	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	0,5	1	1	1	1	0,5
5			1		1			1			1		

Apports d'humidité hors occupants et éclairage																								
m <sup>2</sup> unité		m <sup>2</sup> en résidentiel, nombre de lits, nombres de douches																						
0 kg/h/unité		valeur pour l'heure maximale de l'année																						
ratio apports apports nominaux (compris entre 0 et 1)																								
jour V / heure >	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ratio correctif de la semaine (0 à 1)																								
semaine/mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12												
1	1	1	1	1	1	1	1	0,5	1	1	1	1												
2	1	1	1	0,5	1	1	1	0,5	1	1	1	1												
3	1	1	1	1	1	1	1	0,5	1	1	1	1												
4	1	1	1	1	1	1	1	0,5	1	1	1	0,5												
5			1		1			1			1													

## 4.2 ETAT DE L'ART DES INDICATEURS DE CONFORT / CARDONNEL INGENIERIE / LOT N°1 - JUILLET 2010

On retrouve dans la littérature de nombreuses références aux critères de confort dans le bâtiment. Parmi ces références, se trouvent des textes réglementaires (RT 2005, ...), des textes normatifs, des descriptifs techniques et des publications scientifiques. Sont exposées ci-dessous différentes références, ainsi que les critères de confort d'été qu'elles proposent.

Apparaissent en premier lieu trois normes sur les critères de confort, la norme « standard 55 » de l'ASHRAE, la NF ISO 7730 et la NF EN 15 251, cette dernière étant déjà citée dans la RT 2012.

### 1) La norme « standard 55 » de l'ASHRAE

La norme « standard 55 » de l'ASHRAE a été mise à jour en 2010 de façon à intégrer de nouveaux paramètres de calcul. Elle permet de définir les conditions thermiques internes acceptables pour une majorité d'occupants.

### 2) La norme NF ISO 7730

Cette norme définit l'indice PPD (pourcentage prévisible d'insatisfaits, de l'anglais *predicted percentage dissatisfied*), qui estime le pourcentage de personnes en situation d'inconfort au sein d'une certaine ambiance. Le PPD peut être déterminé en fonction du PMV.

Elle définit aussi le PMV (vote moyen prévisible, de l'anglais *predicted mean vote*) qui estime la valeur moyenne d'un groupe important de personnes exprimant leur sensation thermique sur une échelle à 7 niveaux. Ce PMV est basé sur le bilan thermique du corps humain, avec comme hypothèse de travail que la production interne du corps est égale à la perte de chaleur vers l'extérieur. Le PMV est calculé à partir des variables suivantes :

- le métabolisme énergétique en W/m<sup>2</sup>,
- la puissance mécanique utile en W/m<sup>2</sup>,
- l'isolement thermique du vêtement en m<sup>2</sup>.K/W,
- le facteur de surface du vêtement,

- la température de l'air en °C,
- la température moyenne de rayonnement en °C,
- la vitesse relative de l'air en m/s,
- la pression partielle de la vapeur d'eau en Pa,
- le coefficient d'échange de chaleur par convection en  $W/m^2.K$ ,
- la température de la surface externe du vêtement en °C.

La norme aborde aussi bien les conditions stationnaires et non stationnaires, sachant que les fluctuations des ambiances thermiques des bâtiments ne sont pas toujours maîtrisables dans les limites recommandées.

Une méthode d'évaluation à long terme du confort thermique est aussi proposée par la norme. Différentes catégories de confort thermique général peuvent être définies comme des plages de valeurs des indices PMV et PPD. Dès lors, une température opérative optimale peut être définie et autour d'elle une plage acceptable de confort thermique.

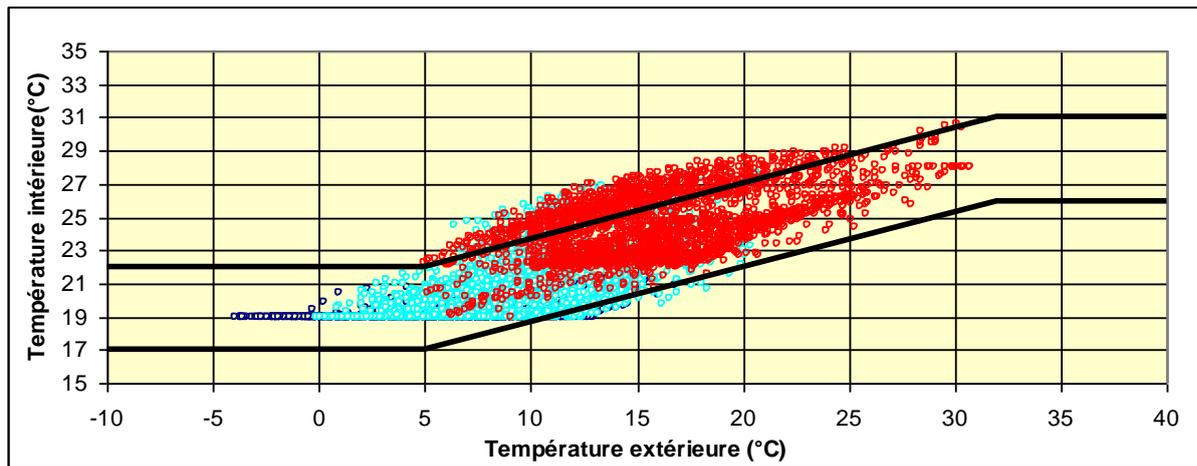
### 3) La norme NF EN 15 251

Cette norme définit différentes catégories de critères d'ambiance intérieure, mais ne les impose pas, ceux-ci relevant de spécifications nationales ou contractuelles. Parmi ceux-ci on trouve :

- les indicateurs simples, relatifs à l'ensemble du bâtiment. Si 95% du volume du bâtiment satisfait le critère mis en place, alors le bâtiment satisfait le critère,
- les critères horaires : la performance du bâtiment peut être évaluée en calculant le nombre d'heures effectif ou en % de temps pendant lequel le critère est respecté ou non,
- les critères des degrés-heures au niveau de l'ambiance thermique,
- les critères de confort thermique global comme le PMV.

Les températures intérieures acceptables pour la conception de bâtiments non climatisés sont présentées sur la figure suivante :





### 5) Le confort adaptatif

La théorie du confort adaptatif se distingue en intégrant deux nouvelles composantes :

- l'adaptation climatique,
- la capacité d'interaction.

La situation de confort d'un occupant dépendra donc de son acclimatation et de ses habitudes. Entreront en jeu le comportement de l'individu, sa physiologie et son état psychologique.

### 6) L'humidex

Cet indicateur est utilisé au Canada en météorologie. Il est calculé à partir de la température et de l'humidité de l'air. Par rapport au confort, les indices humidex sont les suivants :

- de 20 à 29 : sensation de bien être,
- de 30 à 39 : sensation de malaise plus ou moins grande,
- de 40 à 45 : sensation de malaise généralisée,
- 46 et plus : danger physique.

Le tableau ci-dessous donne la valeur de l'humidex en fonction de la température en °C (verticalement) et de l'humidité relative en % (horizontalement) :

	100	95	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20
43													56	54	51	49	47
42												56	54	52	50	48	46
41											56	54	52	50	48	46	44
40										57	54	52	51	49	47	44	43
39									56	54	53	41	49	47	45	43	41
38							57	56	54	52	51	49	47	46	43	42	40
37					58	57	55	53	51	50	49	47	45	43	42	40	
36			58	57	56	54	53	51	50	48	47	45	43	42	40	38	
35		58	57	56	54	52	51	49	48	47	45	43	42	41	38	37	
34	58	57	55	53	52	51	49	48	47	45	43	42	41	39	37	36	
33	55	54	52	51	50	48	47	46	44	43	42	40	38	37	36	34	
32	52	51	50	49	47	46	45	43	42	41	39	38	37	36	34	33	
31	50	49	48	46	45	44	43	41	40	39	38	36	35	34	33	31	
30	48	47	46	44	43	42	41	40	38	37	36	35	34	33	31	31	
29	46	45	44	43	42	41	39	38	37	36	34	33	32	31	30		
28	43	42	41	41	39	38	37	36	35	34	33	32	31	29	28		
27	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	29	28	28		
26	39	38	37	36	35	34	33	32	31	31	29	28	28	27			
25	37	36	35	34	33	33	32	31	30	29	28	27	27	26			
24	35	34	33	33	32	31	30	29	28	28	27	26	26	25			
23	33	32	32	31	30	29	28	27	27	26	25	24	23				
22	31	29	29	28	28	27	26	26	24	24	23	23					
21	29	29	28	27	27	26	26	24	24	23	23	22					
	100	95	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20

Source : <http://www.meteo.org/phenomen/humidex.htm>

#### 4.3 REFLEXIONS CETE MEDITERRANEE LOT N°1 - JUILLET 2010

Cette note de travail porte sur la construction d'un nouvel indicateur de performance thermique d'été des bâtiments non climatisés. Elle vise à apporter la réflexion du CETE Méditerranée sur ce sujet, à mémoriser la démarche collective au sein du comité scientifique et à argumenter les choix à prendre par le Ministère.

Date modification	Contenu
14 mars 2011	Initialisation (note interne pôle climat chaud du CETE Méd.)
15 mars 2011	Mise à jour suite réunion du GS du 15 mars 2011 (note interne CETE Méd)
06 juin 2011	Mise à jour suite réunion du GS du 1 juin 2011 (V1 pour GS)
12 juillet 2011	Mise à jour suite réunion du GS du 7 juillet 2011 ( <a href="#">modifs en</a>

	bleu)

Cette note de travail porte la construction d'un nouvel indicateur de performance thermique d'été des bâtiments non climatisés. Elle vise à apporter la réflexion du CETE Méditerranée sur ce sujet, à mémoriser la démarche collective au sein du comité scientifique et à argumenter les choix à prendre par le Ministère.

#### 4.3.1 POURQUOI CHANGER LE CRITERE TIC < TICREF ?

Les règles actuelles de thermique d'été présentent les problèmes suivants :

1) **Des résultats en Tic non réalistes** car souvent trop élevés (32-35°C) du fait des conventions de calculs utilisées. La conséquence est de faire apparaître les bâtiments non climatisés plus inconfortables qu'ils ne le seront.

2) **Un critère « Tic » non représentatif de la saison chaude** Le non réalisme du critère « Tic » conduit à s'interroger naturellement sur d'autres critères que les « 3 heures les plus chaudes de la journée type chaude ». Se pose en effet la question de la représentativité de la Tic pour caractériser le niveau d'inconfort d'un bâtiment (ou partie de bâtiment), tout le long d'une saison d'été. Il convient aussi de s'interroger sur le critère de température résultante sèche comme représentative des sensations thermiques.

3) **un niveau de confort dépendant de forme architecturale** : l'expression relative à des facteurs solaires de référence sans tenir compte des surfaces des parois opaques et des baies conduit à des variations du Tic pour une même situation (climat, bruit)

4) **un mode d'expression hétérogène vis à vis du C et du Bbio** : L'exigence en Tic est relative à la Ticref alors que l'exigence sur le C et le Bbio sont exprimés en valeur absolue

→ Ces éléments conduisent redéfinir un critère de confort thermique qui puisse représenter l'inconfort d'un bâtiment en saison chaude des bâtiments de type « CE1 » (qu'ils soient climatisés ou non)

#### 4.3.2 UNE EXPRESSION PERFORMENTIELLE BASEE SUR LA CARACTERISATION DES AMBIANCES THERMIQUES EN SAISON CHAUDE

La future exigence de confort thermique d'été de la RT 2012 devra être performentielle (satisfaction d'un besoin et non pas obligation de moyen ou de moyens équivalents à une référence) :

##### 1) Une exigence réglementaire sous forme de performance CTEbat < CTEmax

L'exigence de limitation de l' « inconfort thermique d'été » doit être basée sur une performance globale qualifiant l'ambiance thermique et non sur une combinaison de moyens à mettre en œuvre ou équivalents à des moyens de référence.

**Il convient cependant de se garder la possibilité d'une approche mixte « performance à atteindre ou mise en œuvre de moyens maximums » pour élaborer la future exigence.** En effet si l'on bâtit l'exigence sur un niveau de performance, il faudra soit décliner ce niveau de confort selon les différentes situations (usage, climats, bruit/calme, traversant/non traversant....) ce qui ne se justifie pas au regard de la recherche d'une équité dans la protection contre l'inconfort que l'on est en

droit d'attendre pour les usagers, soit ne pas le décliner (sauf climat qui peut se justifier comme l'exigence en C) ce qui conduit à être laxiste sur les situations courantes ou à rendre obligatoire la climatisation dans de nombreux cas. C'est en particulier le cas des bâtiments d'habitation exposés au bruit de type CE1 qui pourraient être de type CE2 s'ils étaient climatisés (droit à la climatisation non utilisé).

Le principe, s'il était adopté, serait le suivant :

Les bâtiments/groupes qui mettent en œuvre des moyens maximums (à définir : pas de baie horizontales, facteurs solaires de toutes les baies < 0,10, surface baies < ....., inertie au moins moyenne, surventilation > 4 V/h, ...) seraient réputés conformes à l'exigence de confort d'été sans recours au calcul.

Le domaine d'application de cette règle est à préciser au vu des résultats sur les études de cas.

Cette approche permet alors de fixer des seuils d'inconfort plus faibles sans compromettre l'applicabilité de la RT

- Il faut décrire maintenant ces moyens maxi pour alimenter les simulations du groupe utilisateur.

## 2) l'exigence doit être indépendante de la forme architecturale

Le niveau de performance à atteindre qui sera fixé ultérieurement ne dépendra alors que des variables externes à la conception architecturale (climat, usage, bruit extérieur, ...). (idem pour la règle sur les « moyens maxis »)

## 3) une exigence de limitation de l'inconfort thermique en saison chaude

Le principe général n'est pas d'apporter un confort thermique en toutes circonstances mais de veiller à 2 objectifs complémentaires :

Objectif principal : l'inconfort thermique apporté **tout le long de la saison d'été** doit être limité pour le rendre supportable en terme de fatigue voir de baisse de la concentration (bureaux, enseignement). Cette exigence réglementaire a pour finalité de bâtir un patrimoine qui ne sera pas climatisé en post-équipement.

Objectif induit : les ambiances thermiques **en temps de canicule** ne doivent pas comporter de risque sanitaire. Bien que le niveau conventionnel de performance thermique d'été ne soit pas établi sur la base d'une séquence météorologique de canicule (ex : canicule 2003), les moyens mis en œuvre pour satisfaire la limitation de l'inconfort thermique tout le long de la saison (objectif principal) **contribuent fortement à rendre sûres les ambiances thermiques en temps de canicule**. C'est la raison pour laquelle, il n'est pas demandé dans le cadre de la RT2012 des moyens préventifs de climatisation. On notera que la RT2012 utilise une météo conventionnelle qui a été élaborée par les services de la météorologie nationale à partir des mesures des dernières années dont l'année de canicule 2003.

Objectif induit : les bâtiments CE1 climatisés peuvent être occupés en cas d'arrêt de la climatisation (panne, délestage, réduction des charges, ...). En effet le développement de la climatisation ne peut être maîtrisé que si l'on s'intéresse aux caractéristiques passives des bâtiments. Certaines caractéristiques importantes en thermique d'été comme l'inertie thermique, l'exposition ou le taux d'ouverture des baies doivent être mises en oeuvre dès la conception du bâti.

## 3) l'exigence doit être contrôlable

Comme dans la RT 2012 actuelle, il faut veiller à ce que les données d'entrée du calcul soient vérifiables

Nota : les conventions d'usage du bâtiment et le climat seront fixées dans les ThBCE. Seules la situation géographique et le type d'usage sont à contrôler.

#### 4.3.3 DES CONVENTIONS COMMUNES POUR LES CALCULS C, BBIO, CTE

La priorité est donnée à la cohérence Bbio/C/CTE. Ainsi les scénarii d'occupation et la météo des 8 zones climatiques RT2012 sont inchangés.

Il en résulte que la **caractérisation du confort thermique à travers la RT2012 est purement conventionnel : il est ni contractuel ni non prédictif**

Comme pour le C il est intéressant de développer dans le cadre de l'outil réglementaire des tests de sensibilité sur le comportement (scénario pessimiste/optimiste) et sur la météo (qualification d'une surchauffe augmentée de + 1°C par translation des résultats horaires obtenus avec la météo type ?) ainsi que de produire des données « pédagogiques » qui permettront d'interpréter les résultats.

- voir évolution du fichier XML

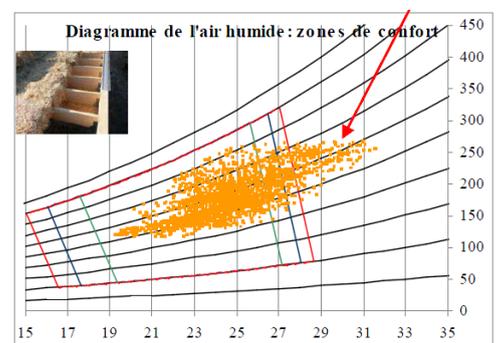
Au delà de l'outil réglementaire, le cœur de calcul peut être utilisé par les développeur pour faire des simulations des conditions spécifiques à leur projet (utilisation, climat). Ainsi les fichiers de la canicule 2003 pourraient être utilisés pour dimensionner les équipements de rafraîchissement

#### 4.3.4 COMMENT CHOISIR UN NOUVEL INDICATEUR ?

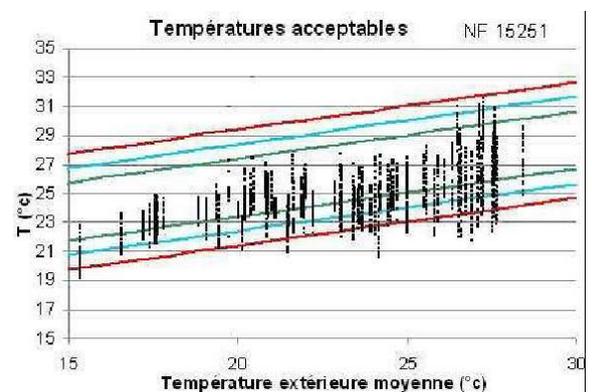
L'indicateur doit répondre aux critères suivants :

##### Critère 1 : l'indicateur doit être bâti sur la norme NF EN ISO 15251

La norme NF EN ISO 7730 spécifie des critères pour la saison de chauffage (saison froide/hiver) et pour la saison de rafraîchissement (saison chaude/été). Cependant ces critères visent principalement le dimensionnement des systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation et caractérise des ambiances stables (contrôlées) Ils ne sont pas directement utilisables pour une évaluation sur l'année entière de l'ambiance thermique intérieure. Des résultats récents ont montré que les attentes des occupants peuvent être différentes suivant que les bâtiments sont à ventilation naturelle ou climatisés.



La norme EN NF 15251 (annexe A) apporte une meilleure réponse en intégrant l'adaptation physiologique des usagers à l'épisode climatique



	PMV	Nb d'heures
Catégorie IV-	[-2;-0,7]	0
Catégorie III-	[-0,7;-0,5]	0
Catégorie II-	[-0,5;-0,2]	0
Catégorie I	[-0,2;+0,2]	238
Catégorie II+	[+0,2;+0,5]	1 342
Catégorie III+	[+0,5;+0,7]	133
Catégorie IV+	[+0,7;+2]	125

exemple : nombre d'heures occupées selon les catégories de confort de la norme EN NF 15251

La norme propose 4 niveaux d'ambiances (I, II, III et IV) identifiés par 3 seuils hauts que l'on note C1, C2 et C3 (ch note CSTB). Le seuil C2 est considéré comme la limite haute d'un confort « normal » en saison chaude.

### Critère 1-1 : Pour simplifier l'approche réglementaire, l'indicateur ne prendra pas en compte l'activité

Les seuils C1, C2 et C3 issus de l'annexe A de la norme EN NF 15251 ont été établit pour une activité sédentaire de 1,2 met (type bureau) mais pas au delà (ex : activité sportive<sup>6</sup>). Ils ont de plus été établit pour des usages permettant aux occupants d'adapter librement leur vêtue (pas de contraintes vestimentaires), ce qui n'est pas le cas de certains usages (ex banque). **La norme ne prend pas non plus en compte les périodes de sommeil (position allongé, literie, activité spécifique de sommeil).**

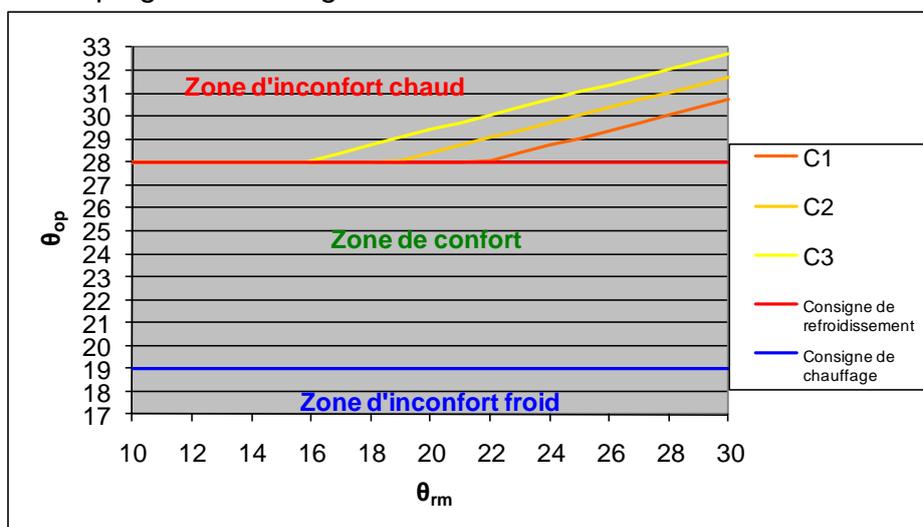
Nota : Il est possible prendre en compte l'activité dans la détermination des valeurs cible à respecter.

### Critère 1-2 : l'indicateur doit être cohérent avec les températures de consigne en chaud et en froid

L'indicateur ne peut pas considérer l'ambiance comme inconfortable dans la plage conventionnelle dans laquelle il n'y a pas de besoins de froid dans le calcul du Bbio et du C :

- Seuil froid : 26°C (28°C pour habitation)

Le graphique suivant (source CSTB) illustre la combinaison de la norme EN NF 15251 et des plages de consigne des ThBCE.



La question est plus délicate pour le seuil bas « d'inconfort froid ».

<sup>6</sup> Pour les activités de sport on peut aussi considérer le public comme usager principal

- 1) les résultats observés dans l'application de la norme EN NF 15251 montrent que les seuils bas dans les périodes de forte chaleur ( $\theta_m > 27^\circ\text{C}$ ) sont mieux acceptés que ce que prévoit la norme. Les Hollandais dans leur réglementation 2006 utilisent un seuil plus bas (droite de faible pente)
- 2) le seuil de  $19^\circ\text{C}$  ne correspond pas à une ambiance mais à une consigne de base à laquelle il convient de rajouter le coefficient spatial (stratification) et le coefficient temporaire (finesse de la régulation) soit 0,5 à  $3^\circ\text{C}$
- 3) le modèle RT 2012 intègre une saisonnalité dans les besoins de chaud. Une ambiance **peut ainsi tomber en dessous du seuil de  $19^\circ$  sans enclenchement du chauffage**, ce qui conduit à survaloriser l'efficacité des systèmes de rafraîchissement non contrôlés
- 4) les heures en inconfort froid, si elles ont lieu doivent être comptabilisées dans le critère « inconfort » : ce ne peut pas être une simple information sans force réglementaire

Trois approches ont été identifiées :

- 1) approche « bridage des systèmes » : introduire dans le modèle de calcul une valeur plancher en température opérative en dessous de laquelle, les systèmes de rafraîchissement non automatisés ne fonctionnent plus. Les heures d'inconfort froid disparaissent
- 2) approche « inconfort froid » : identifier l'inconfort froid et cumuler cet inconfort avec les heures d'inconfort chaud. Les systèmes sont alors considérés de manière conventionnelle comme étant en fonctionnement
- 3) approche mixte : introduire dans le modèle de calcul un bridage des systèmes de rafraîchissement en dessous de  $\theta_{rm}$  de  $16^\circ\text{C}$  (courbe C3) et cumuler les heures d'inconfort froid et chaud

### **Critère 1-3 : l'indicateur doit intégrer l'absence de mouvements d'air lorsque les fenêtres sont fermées sauf s'il y a des brasseurs d'air**

L'annexe A de la norme 15251 précise que « *Les limites de températures ne s'appliquent que lorsque les conditions thermiques dans les espaces sont régulées d'abord par les occupants en ouvrant et fermant les fenêtres* »

Il est nécessaire de prendre en compte l'absence de mouvement d'air en particulier le cas des fenêtres fermées pour raisons d'isolation au bruit. Cela accentue le niveau calculé d'inconfort des bâtiments exposés au bruit en particulier les locaux de sommeil qui ne bénéficient pas de ventilation thermique nocturne mais cela correspond mieux à la réalité.

Dans les situations de fenêtre fermée (absence de mouvement d'air), il est utile de valoriser les brasseurs d'air de manière simple. Pour cela on cherchera à qualifier les brasseurs d'air par leur débit et leur surface d'impact.

**Pour simplifier l'approche il est préférable de corriger la température opérative qu'introduire une correction de l'indicateur d'inconfort.** ~~L'indicateur brut doit pouvoir être corrigé à la hausse pour les heures sans mouvement d'air (pas d'ouverture des fenêtres et pas de brasseur). On notera que le différentiel de  $1^\circ\text{C}$  entre chaque classe correspond d'après la norme à un passage de 0,8 m/s (fenêtre ouverte) à 0,5 m/s (faible mouvement) : lorsqu'il n'y a pas de mouvement d'air ( $< 0,15$  m/s) le différentiel est de 2 classes ( $2^\circ\text{C}$ )~~

- Mode de qualification des brasseurs d'air à préciser (ex  $\Sigma Q/Sh$ )
- Dans les situations d'absence de mouvement d'air (fenêtre fermées, pas de brasseur d'air) déterminer le facteur de correction de la température opérative selon le modèle proposé dans la norme EN NF 15251
- Dans les situations de fenêtres fermées, introduire un facteur de correction de la température opérative selon la qualification des brasseurs d'air (en cohérence avec correction précédente)

#### **Critère 1-4 En cas d'injection d'eau dans l'ambiance (brumisation), l'indicateur doit intégrer l'hygrométrie de l'air**

Le rafraîchissement direct par brumisation (+murs d'eau ?) d'espaces non confinés (baies ouvertes) contribue directement au confort thermique sous une autre forme que l'apport de froid mais pose des problèmes d'intégration dans le modèle de calcul (inertie hygroscopique) et peut engendrer des pathologies du bâti si elles ne sont pas pilotées par rapport à cette préoccupation. La norme NF 15251 n'intègre pas l'hygrométrie dans le confort adaptatif et la norme EN ISO 730 n'intègre pas la problématique des hygrométries trop faibles. **Cependant l'absence de prise en compte de l'inconfort par humidité excessive conduit à sur valoriser ces systèmes s'ils n'étaient évalués que sur la base de la température opérative.**

- Dans le cas d'injection d'humidité dans l'ambiance, le mode de correction de la température opérative est à préciser.

#### **Critère 2 : l'indicateur doit prendre en compte la durée de l'exposition à l'inconfort en saison chaude.**

Comme indiqué ci dessus, l'inconfort s'inscrit dans la durée. De plus l'exposition à l'inconfort n'existe que si le bâtiment (groupe) est occupé. Il en résulte des durées différentes selon les usages car les bâtiments ne sont pas occupés en permanence (ex enseignement, périodes de vacances d'été).

- Nous proposons que la durée d'exposition à l'inconfort soit **relativisée à la durée annuelle d'occupation** (ex : CTE < 1%). En positionnant le curseur sur une échelle relative **nous gagnons en lisibilité** et nous offrons une possibilité d'exprimer de manière simple des performances supérieures pour des labels ou des démarches environnementales. **Ce point peut être traité plus tard en fonction des résultats obtenus sur les simulations.**

#### **Critère 3 : l'indicateur doit prendre en compte l'intensité de l'inconfort**

L'inconfort a des degrés d'intensité en relation directe avec le dépassement du seuil de confort adaptatif. Être exposé à 30° pour un seuil à 28°C est moins intense qu'être exposé à 31°C. La question posée pour une même durée d'occupation est celle de l'équivalente entre durée et intensité. De plus compte tenu des pointes horaires dues aux apports internes, il n'est pas souhaitable de placer une limite absolue à ne jamais dépasser au niveau horaire. C'est sur ce critère que l'on attend une expression réglementaire simple et réaliste. Nous voyons plusieurs pistes :

- Piste 1 : exprimer l'exigence en degré heure d'inconfort par rapport à un seuil unique Cx (Cx = C2 ou C3) en considérant comme linéaire l'inconfort avec le

dépassement du seuil d'inconfort (cela suppose un seuil assez élevé). Cette approche pose le problème de la correction vis à vis du taux d'occupation (un bâtiment peu occupé sera plus confortable qu'un bâtiment occupé en permanence)

- Piste 2 : exprimer l'exigence en degré heure d'inconfort par rapport à plusieurs seuils  $C_x$  que l'on additionne et ramener ces degréheures aux heures annuelles d'occupation. L'expression reste en pourcentage de temps d'occupation mais la valeur est pondérée par rapport à l'intensité (CTE = 1% signifie le seuil de confort est dépassé de 1°C en moyenne pendant 1% du temps d'occupation)
- Piste 3 : idem piste 2 avec pondération selon coefficients donnés dans une table en fonction de l'usage du bâtiment : **trop compliqué**
- Piste 4 : (*vue en réunion le 7 juillet*) exprimer l'exigence en « exposition insatisfaisante » par rapport à un seuil unique de confort adaptatif. L'exposition insatisfaisante pendant les heures d'occupation est déterminée par un taux d'insatisfaction de manière homogène avec la formule du PPD de la norme 7730. L'unité serait des heuresx%insatisfaction / heures d'occupation soit des % La difficulté est d'adapter la loi d'équivalence entre « sensation de chaleur en milieu régulé et % de « personnes insatisfaites » de l'ambiance régulée de la norme 7730 à une règle conventionnelle d'équivalence entre « dépassement du seuil de confort adaptatif » et « exposition insatisfaisante » (quelle relation y a-t-il entre taux d'usager insatisfaits d'une ambiance contrôlée trop chaude et le taux d'usagers insatisfaits de la non obtention d'un confort adaptatif d'une ambiance non contrôlée ?).
- Piste 5: à rechercher

Nota : les insatisfactions « froid sont à ajouter à l'indicateur

Un travail d'analyse de ces différentes pistes est à mener.

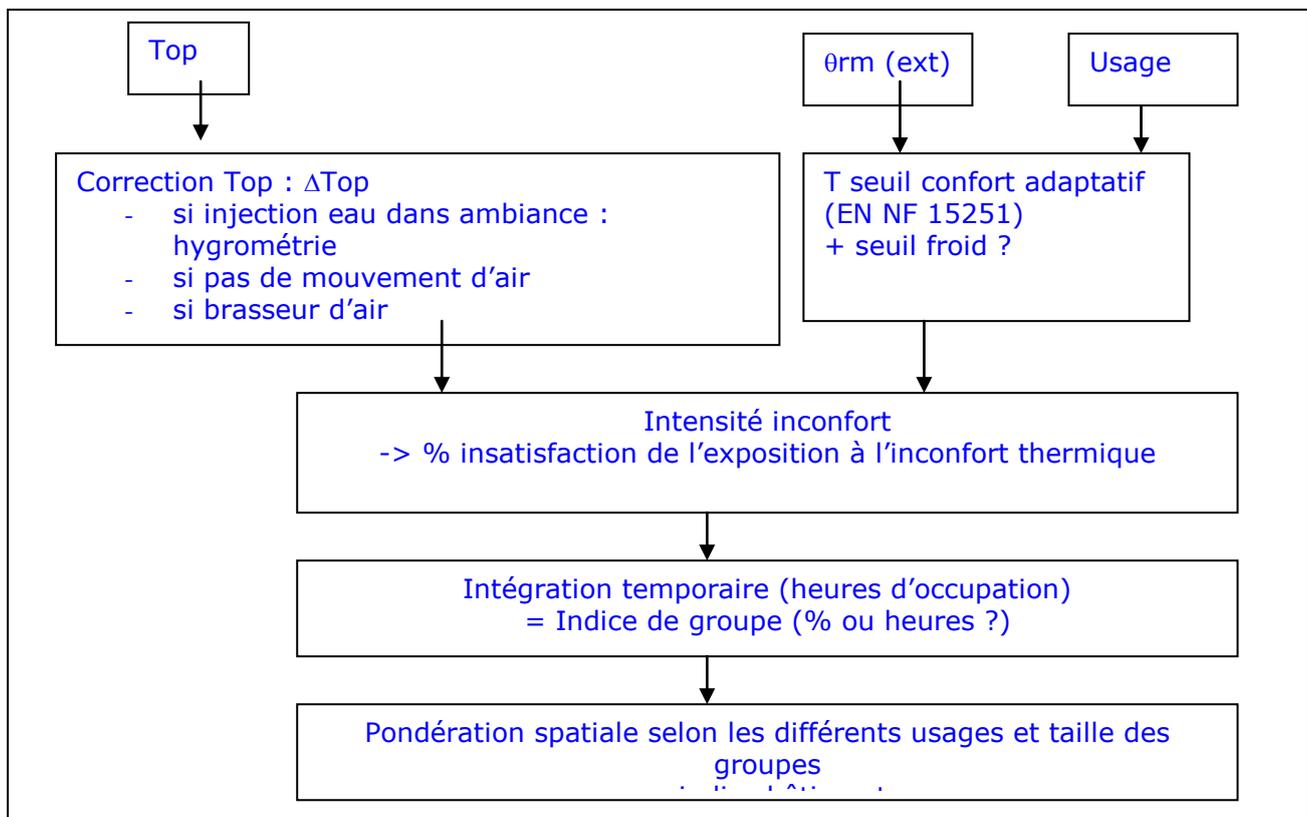
#### **Critère 4 : l'indicateur doit intégrer la diversité des lieux d'occupation d'un même groupe :**

L'occupation d'un groupe au sens de la RT est par nature variable dans le temps lorsque l'on se situe à l'échelle des locaux (ex : séjour plutôt le jour, chambre plutôt la nuit, façade sud/façade nord). Le découpage d'un groupe en locaux avec prise en compte des transferts par les parois internes n'est pas envisageable dans une approche réglementaire car elle induit un travail important de caractérisation pour les BET. Le découpage d'un groupe en locaux sans caractérisation des transferts par les parois et les portes conduit à surévaluer les niveaux d'inconfort. C'est la raison pour laquelle la RT 2000 puis la RT2005 n'avaient pas imposé le calcul par niveau mais avait retenu le principe de l'inertie thermique la plus faible des niveaux concernés par un même groupe.

Dans le cas général le niveau de « confort moyen » d'un groupe est représentatif des locaux du groupe dans son ensemble dès lors que les échanges internes sont élevés. Le Bbio n'intègre pas au sein d'un même groupe, la recherche de l'adéquation entre les usages des locaux (charges internes) et leur situation au sein du bâtiment (superposition avec apports solaires en façade et déperditions des locaux aveugles). L'approche thermique d'été des nouvelles règles devrait aller plus loin car le sujet est plus sensible. Lorsque viendra le moment de fixer les niveaux d'exigence, il faudra cependant à veiller à ce que le découpage du groupe ne conduise pas à fixer des niveaux trop élevés en surchauffe pour « faire passer » tel local.

- A minima, des groupes situés dans des zones à usage différents ou des zones à même usage mais ne constituant pas de continuum au sein du bâtiment sont à calculer de manière indépendante.
- A minima l'inertie thermique d'un groupe est la plus faible des inerties des niveaux concernés par un même groupe
- Dans quels cas faut-il imposer un découpage du groupe ? Su plancher > 1000 m2 avec cloisonnement internes ?

*Nota : un calcul par local (ou partie de groupe) avec une agrégation du résultat au niveau du groupe par une pondération surfacique ne paraît pas envisageable car trop complexe.*



#### **Critère 4 : l'indicateur doit être compréhensible:**

Le remplaçant de la Tic doit être compris comme un affinement de l'exigence. Cela est rendu possible par l'expérience acquise par le milieu professionnel depuis la RT2000 qui a introduit pour la première une exigence de performance thermique d'été. Il peut être exprimé en valeur adimensionnelle comme le Bbio.

- Propositions de nom :
  - **CTE = Coefficient de Thermique d'Eté**
  - ITE = Indice d'inconfort thermique d'Eté
- Peut-on établir a priori une échelle de performance ou faut-il attendre les travaux du groupe utilisateur ?

*Rappel historique : La RT 2000 a introduit une exigence de performance sur la base d'un calcul conventionnel sur une méthode unique. Cela a permis d'abandonner les modes de justification par la mesure in situ (réglementation bruit des infra structures de transport) totalement inefficace ou par simulation thermique dynamique avec conventions de calcul non encadrées.*

#### **4.3.5 (POUR MEMOIRE : A DEVELOPPER APRES LE LOT 1) ÉLÉMENTS POUR CONSTRUIRE LE NIVEAU DE L'EXIGENCE**

##### **4.3.5.1 Un équilibre entre confort passif insuffisant et recours à la climatisation**

Il convient de rechercher un équilibre entre une protection limitée uniquement aux ambiances thermiques excessives (faibles contraintes réglementaires) et le recours à la climatisation (forte contrainte réglementaire). En effet lorsque la contrainte réglementaire est trop forte, les moyens classiques de protection solaire et d'inertie moyenne ne suffisent plus à atteindre l'objectif rendant l'approche passive non applicable dans certains cas (fortes surfaces de fenêtres, exposition au bruit, ...). Lorsqu'un bâtiment CE1 non climatisé peut être classé CE2, il aura recours à la climatisation. Est-ce que l'on recherche ?

Lorsque la contrainte réglementaire est trop faible, nous avons les effets de la post climatisation qui échappe à la réglementation.

Par ailleurs, il peut être demandé à titre d'information de calculer le niveau d'inconfort thermique conventionnel si le bâtiment de type CE2 (donc climatisé) ne l'était pas. Cela peut inciter à avoir recours à la filière passive (les résultats peuvent ils être favorables dans certains cas limites ?)

##### **4.3.5.2 Les bâtiments exposés au bruit**

Le renforcement des niveaux d'isolation de l'enveloppe et l'augmentation des surfaces vitrées induits par le Bbio de la RT2012 conduisent à durcir les exigences en thermique d'été des bâtiments non climatisés exposés au bruit.

En effet, si l'isolation des toitures et des parois ensoleillées induit une réduction de la charge solaire plus importante que la réduction de l'évacuation de la chaleur par conduction, il n'en est pas de même des bâtiments exposés au bruit pour lesquels l'effet thermos est augmenté du fait de l'absence d'évacuation de la chaleur par la ventilation thermique d'été.

La suppression de la valeur relative Ticref, implique une révision des conventions sur l'ouverture des baies exposées au bruit si l'on autorise la construction en zone de bruit sans climatisation en zone H3.