

ANNEXE

Modalités de prise en compte des systèmes Qrad de chauffage par recyclage de la chaleur fatale informatique dans la réglementation thermique 2012

1. Définition des systèmes

Le Radiateur numérique Qrad de la société QARNOT Computing est un radiateur permettant de recycler la chaleur fatale informatique sous forme de chaleur utile. Il s'apparente à un radiateur électrique dans lequel l'élément chauffant à effet joule est remplacé par des processeurs informatiques.

Il est piloté de façon à ajuster automatiquement la fréquence de ces processeurs pour atteindre et maintenir la température ambiante souhaitée par l'utilisateur. Le Radiateur numérique peut également être mis en veille manuellement par l'occupant.

Le Radiateur numérique est constitué des composants suivants (intégrés directement dans le radiateur) :

- Un ensemble comprenant les cartes mères et processeurs de calcul ;
- Un bloc d'alimentation ;
- Un routeur permettant de communiquer avec l'extérieur et envoyer les consignes du thermostat ;
- Des éléments chauffants électriques d'appoint par effet joule, visant à compléter la puissance transmise au local, dans les périodes où la puissance thermique des cartes mères est insuffisante ;
- Un ensemble de capteurs, constituant la partie « objet connecté » du radiateur.

2. Champ d'application

Le Titre V Radiateur numérique n'est applicable pour une zone de bâtiment donnée que si cette zone n'est pas climatisée au sens de la RT2012. Sous réserve de cette contrainte, le champ d'application du présent Titre V s'étend à l'ensemble des catégories d'usage de zone de bâtiment définies ci-dessous :

- Bâtiment à usage d'habitation - maison individuelle ou accolée
- Bâtiment à usage d'habitation - logement collectif
- Bureaux
- Établissement d'accueil de la petite enfance (crèche, halte-garderie)
- Enseignement primaire
- Enseignement secondaire (partie jour)
- Enseignement secondaire (partie nuit)
- Enseignement - université
- Bâtiment à usage d'habitation - établissement sanitaire avec hébergement
- Bâtiment à usage d'habitation - foyer de jeunes travailleurs

- Bâtiment à usage d'habitation - cité universitaire
- Hôpital (partie jour)
- Hôpital (partie nuit)
- Hôtel 0 1* et 2* (partie jour)
- Hôtel 0 et 1* (partie nuit)
- Hôtel 2* (partie nuit)
- Hôtel 3*, 4* et 5* (partie jour)
- Hôtel 3* (partie nuit)
- Hôtel 4* et 5* (partie nuit)
- Restauration scolaire - 1 repas / jour, 5j/7
- Restauration - 1 repas / jour, 5j/7
- Restauration - 2 repas / jour, 6j/7
- Restauration - 2 repas / jour 7j/7
- Restauration scolaire - 3 repas / jour, 5j/7
- Restauration commerciale en continue (18h/j 7j/7)
- Tribunal

Le Titre V peut être appliqué quelles que soient la zone climatique et l'altitude du projet.

3. Méthode de prise en compte dans les calculs pour la partie non directement modélisable

1. Principe general

Le radiateur numérique est pris en compte au travers :

- D'une saisie adaptée des paramètres du composant émetteur de chauffage de la méthode Th-BCE ;
- D'un algorithme de comptabilisation des consommations, intégré sous forme d'extension dynamique « Générateur » au moteur de calcul.

2. Saisie de l'émetteur de chauffage représentant le radiateur numérique

L'émetteur de chauffage correspondant au Radiateur numérique doit être paramétré de la façon suivante :

- Type_Emetteur_Chaud : 2) *Emetteurs muraux rayonnants ;*
- Classe_Variation_Spatiale : 4) *Classe B3 (émetteurs rayonnants autre que plancher) ;*
- Statut_Variation_Temporelle : 2) *Par défaut ;*
- Couple_Regulateur_Emetteur_Chaud : 0) *Couple régulateur/émetteur ne permettant pas un arrêt total de l'émission.*

3. Algorithme de prise en compte

L'algorithme de prise en compte du Radiateur numérique détermine à chaque pas de temps de la saison de chauffage quel mode de fonctionnement s'applique. Il en déduit ainsi les consommations électriques en énergie finale, qui seront comptabilisées ensuite dans le coefficient Cep_ch de la méthode Th-BCE.

Le Radiateur numérique peut fonctionner dans trois modes :

- **Mode veille** : le besoin de chauffage est nul, le Radiateur numérique bascule mode « veille ». Il consomme alors une quantité d'énergie résiduelle, correspondant à l'alimentation des capteurs et du routeur. Cette consommation est comptabilisée sur le poste chauffage, durant la saison de chauffage uniquement.
- **Mode cartes mère seules** : le besoin de chauffage peut être assuré par les cartes mère du Radiateur numérique, ainsi que les auxiliaires associés à leur fonctionnement (routeur, alimentation, capteurs), sans recours aux résistances électriques d'appoint. La consommation électrique des cartes mère est considérée comme gratuite, car associée à un processus de calcul utile.

Pour ce qui est du bloc d'alimentation, sa consommation est comptabilisée dans le poste chauffage, mais uniquement au-delà d'une fraction considérée comme irréductible et intrinsèque au processus de calcul numérique. Cette fraction irréductible correspond conventionnellement à une efficacité d'alimentation de référence de 95%.

La consommation du routeur et des capteurs sont comptabilisées intégralement dans le poste chauffage.

- **Mode cartes mère et résistances électriques d'appoint** : le besoin de chauffage ne peut pas être assuré par les cartes mère et auxiliaires seulement. Le traitement est le même que pour le mode « cartes mères seules », sauf que les résistances électriques d'appoint sont utilisées pour compléter la puissance fournie. Leurs consommations sont comptabilisées dans le poste chauffage.

Nomenclature

Le Tableau ci-après donne la nomenclature des différentes variables du modèle. Dans toute la suite du document, on notera h le pas de temps de simulation et j le jour de simulation.

Entrées du composant					
<i>Nom</i>	<i>Description</i>	<i>Unité</i>			
$\theta_{\text{aval(ch)}}(h)$	Température aval égale à la température d'air intérieur	°C			
$Q_{\text{req,ch}}(h)$	Besoin énergétique pour le chauffage des locaux au pas de temps h	Wh			
Paramètres intrinsèques du composant					
<i>Nom</i>	<i>Description</i>	<i>Unité</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Conv</i>
Pw_abs_Qrad_pc	Puissance maximale absorbée par le Radiateur numérique à pleine charge (ensemble des composants)	W	0	$+\infty$	
Pw_abs_CM_pc	Puissance maximale absorbée par les cartes mères seules	W	0	$+\infty$	
Pw_abs_veille	Puissance électrique absorbée du Radiateur numérique en mode veille englobant routeur, capteurs et alimentation associée	W	0	$+\infty$	
$\eta_{\text{alimentation}}$	Efficacité du bloc d'alimentation du Radiateur numérique	-	0	1	
β_{coupure}	Fraction de consommation non-valorisable lors des périodes de coupure de signal internet	%	0	100%	0,1%
Paramètres d'intégration du composant					
<i>Nom</i>	<i>Description</i>	<i>Unité</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Conv</i>
id _{fougen}	Mode de fonctionnement admis par le générateur : Chauffage : 1	Ent	0	6	1
id _{engen}	Identificateur de l'énergie principale : Électricité : 5	Ent	1	6	5
id _{fluide_aval}	Nature du fluide aval : Air : 2	Ent	1	2	2
R _{dim}	Nombre de générateur identique	Ent	1	$+\infty$	-

Sorties			
<i>Nom</i>	<i>Description</i>	<i>Unité</i>	
$Q_{fou}(h)$	Energie totale effectivement fournie par le générateur pour le mode sollicité.	Wh	
$\{Q_{cef}(h)\}$	Matrice des consommations par poste et par type d'énergie	Wh	
$P_{n,gen,ch}$	Puissance de chauffage maximale de l'ensemble des Radiateur numérique	W	
$Q_{rest,ch}(h)$	Energie restant à fournir (dépassant la puissance maximale du générateur)	Wh	
$\tau_{charge}(h)$	Taux de charge du générateur	-	
$\eta_{eff}(h)$	Efficacité du générateur en énergie finale	-	
$\Phi_{vc}(h)$	Pertes thermiques récupérables, émise vers le volume chauffé	Wh	
Variables internes			
<i>Nom</i>	<i>Description</i>	<i>Unité</i>	
P_{max}	Puissance thermique de chauffage maximale avec recours aux résistances électriques d'appoint	W	
$P_{max,CMseules}$	Puissance thermique de chauffage maximale sans recours aux résistances électriques d'appoint (cartes mères et auxiliaires associés seulement)	W	
W_{aux_0}	Consommation électrique pour une heure de fonctionnement en mode veille	Wh	
$W_{alimentation}(h)$	Consommation électrique de l'alimentation au pas de temps h	Wh	
$W_{appoint}(h)$	Consommation électrique de l'appoint au pas de temps h	Wh	
$Q_{CM}(h)$	Quantité d'énergie absorbée (= fournie) par les cartes mères seules au pas de temps h	Wh	
Constantes			
<i>Nom</i>	<i>Description</i>	<i>Unité</i>	<i>Valeur</i>
$\eta_{alimentation_ref}$	Efficacité de référence du bloc d'alimentation	-	0,95

Description Algorithmique

Les différentes étapes de l'algorithme sur un pas de temps sont présentées de manière séquentielle dans les paragraphes ci-dessous.

a. Calcul de la quantité d'énergie fournie

En premier lieu, on introduit $W_{aux,0}$ la consommation de l'ensemble du Radiateur numérique en mode veille incluant les capteurs, le routeur (mode veille) et l'alimentation (en mode veille) :

$$W_{aux,0} = R_{dim} \cdot Pw_{abs_veille} \quad (1)$$

La puissance thermique maximale dont on dispose est égale à la puissance maximale absorbée (appoint et auxiliaires compris) par l'ensemble des R_{dim} radiateurs Radiateur numérique identiques :

$$P_{max} = P_{n,gen,ch} = R_{dim} \cdot Pw_{abs_Qrad_pc} \quad (2)$$

De même, on définit une puissance maximale fournie par le mode sans appoint, comprenant les cartes mères, le routeur, la puissance d'auxiliaire de veille et de l'alimentation :

$$P_{max,CMseules} = W_{aux,0} + R_{dim} \cdot \frac{1}{\eta_{alimentation}} \cdot Pw_{abs_CM_pc} \quad (3)$$

Avec :

- $\eta_{alimentation}$, l'efficacité de l'alimentation,
- $Pw_{abs_CM_pc}$: puissance absorbée maximale des cartes mères.

La quantité d'énergie fournie par le générateur est plafonnée à cette puissance thermique maximale P_{max} , d'où :

$$Q_{fou}(h) = MIN(Q_{reqch}(h); P_{max}) \quad (4)$$

La quantité d'énergie restant à fournir au pas de temps suivant est égale à :

$$Q_{rest,ch}(h) = Q_{reqch}(h) - Q_{fou}(h) \quad (5)$$

b. Calcul de la quantité d'énergie consommée

En fonctionnement, l'intégralité de la puissance absorbée contribue à l'atteinte de la température de consigne. On note $Q_{CM}(h)$ la quantité d'énergie fournie par les cartes mères, qui est la composante de la consommation du Radiateur numérique qui n'est pas comptabilisée au niveau du calcul règlementaire.

- Si $Q_{fou}(h) \leq W_{aux,0}$, alors : mode veille

La consommation est égale à la consommation du mode veille :

$$Q_{cons}(h) = W_{aux,0} \quad (6)$$

Cette quantité d'énergie consommée est considérée comme non-récupérable, d'où :

$$\Phi_{vc}(h) = 0 (W) \quad (7)$$

- Sinon, si $Q_{fou}(h) \leq P_{max,CMseules}$, alors : mode cartes mère seules

Dans ce cas, le Radiateur numérique fonctionne sans recours à l'appoint : la puissance thermique cumulée des cartes mères et auxiliaires suffit à répondre au besoin de chauffage.

La quantité d'énergie fournie spécifiquement par les cartes mères, hors auxiliaires, $Q_{CM}(h)$ est calculée à partir de Q_{fou} et des autres contributions apportées par les auxiliaires (veille, alimentation, routeur) :

$$Q_{CM}(h) = MIN \left(R_{dim} \cdot Pw_{abs_CM_pc}; \eta_{alimentation} \cdot (Q_{fou}(h) - W_{aux,0}) \right) \quad (8)$$

La consommation associée à l'alimentation des cartes mère, notée $W_{alimentation}(h)$ est calculée à partir de l'efficacité de l'alimentation $\eta_{alimentation}$, en déduisant la consommation équivalente à celle de l'alimentation de référence $\eta_{alimentation_ref}$, fixée à 0,95 :

$$W_{alimentation}(h) = MAX \left(0; \frac{1}{\eta_{alimentation}} - \frac{1}{\eta_{alimentation_ref}} \right) \cdot Q_{CM}(h) \quad (9)$$

Et la consommation d'appoint est nulle :

$$W_{appoint}(h) = 0 Wh \quad (10)$$

- Sinon ($Q_{fou}(h) > P_{max,CMseules}$) : mode cartes mère et résistances électriques d'appoint

Dans ce dernier cas, les cartes mères fonctionnent à pleine charge, à la puissance absorbée $Pw_{abs_CM_pc}$, et l'appoint est sollicité. Ainsi :

$$Q_{CM}(h) = R_{dim} \cdot Pw_{abs_CM_pc} \quad (11)$$

Et $W_{alimentation}(h)$ est calculée selon l'équation (9).

Enfin, on comptabilise la consommation de l'appoint, correspondant à la quantité de chaleur fournie au-delà de la quantité fournie par les cartes mères et les auxiliaires $P_{max,CMseules}$:

$$W_{appoint}(h) = Q_{fou}(h) - P_{max,CMseules} \quad (12)$$

Au final, on additionne les consommations des différents composants du Radiateur numérique pour obtenir sa consommation Q_{cons} au pas de temps h . On ajoute à cette somme un terme proportionnel à $Q_{CM}(h)$ pour intégrer le risque d'absence de calcul disponible (coupure internet de plus de quelques heures). Pour cela, un taux $\beta_{coupure}$ forfaitaire de 0,1% est introduit :

$$Q_{cons}(h) = W_{aux,0} + W_{alimentation}(h) + W_{appoint}(h) + \beta_{coupure} \cdot Q_{CM}(h) \quad (13)$$

À l'issue du calcul, la matrice des consommations du générateur $\{Q_{cef}(h)\}$ est remplie dans la case correspondant au poste chauffage et à l'énergie principale « électricité ».