

**ANNEXE (Arrêté du 3 mars 2023 TREL2303031A)**  
**MODALITES DE PRISE EN COMPTE DES SYSTEMES DE CHAUDIERES**  
**NUMERIQUES DE TYPE QB DANS LA REGLEMENTATION THERMIQUE POUR**  
**LES BATIMENTS EXISTANTS**

<b>1. Définition du systeme .....</b>	<b>1</b>
1.1 Description du concept .....	1
1.2 Principe de fonctionnement et caractéristiques .....	1
1.3 Contraintes d'installation .....	2
<b>2. Champ d'application .....</b>	<b>3</b>
<b>3. Méthode de prise en compte dans les calculs pour la partie non directement modélisable.....</b>	<b>4</b>
3.1 Usages .....	4
3.2 Performance minimale des ballons de stockage .....	4
3.3 ECS base ballon .....	4
3.3.1 Généralités .....	4
3.3.2 Description mathématique du post-traitement .....	5
3.4 ECS distribution intergroupe .....	8
3.4.1 Généralités .....	8
3.4.2 Description mathématique du post-traitement .....	10

## **1. Définition du systeme**

### **1.1 Description du concept**

Qarnot computing propose des produits permettant de recycler la chaleur fatale informatique sous forme de chaleur utile. En plus du radiateur numérique QH•1 (ex. Q.rad) qui a obtenu un titre V système en mai 2019, Qarnot propose maintenant une chaudière numérique permettant de chauffer directement de l'Eau Chaude Sanitaire (ECS), en captant la chaleur dégagée par les processeurs informatiques.

Le système proposé par Qarnot computing représente une rupture dans le monde des data center, ces usines numériques qui sont la face cachée des services informatiques à distance, ou sur le "cloud", liés entre autres à la croissance exponentielle de l'utilisation d'Internet. Ces data centers consomment des quantités importantes d'électricité, environ 9% en France d'après EDF, dont près de 40% sont dédiés au refroidissement des machines informatiques. Non seulement la chaleur est perdue mais elle nécessite en plus une consommation électrique supplémentaire pour l'évacuer.

Qarnot computing propose à travers la chaudière numérique de type QB un moyen de capter et de valoriser cette chaleur fatale produite par les équipements informatiques, en la valorisant sous forme d'Eau Chaude Sanitaire. En effet, au lieu de déplacer la chaleur (beaucoup de perte, coûts d'ingénierie et investissement important, modèle non répliquable à grande échelle...), Qarnot propose de déplacer un morceau de data center (en l'espèce la chaudière numérique de type QB) au sein des bâtiments où la chaleur sera utile. En effet, l'idée est de déplacer les données qui seront traitées par les équipements informatiques intégrés à la chaudière numérique de type QB et qui produiront localement l'ECS nécessaire.

La chaudière numérique de type QB est un générateur de puissance qui est destiné à assurer la base de chauffage nécessaire à l'ECS, être associé à un générateur d'appoint, et ensuite être couplée avec un ballon tampon ou être utilisé en retour de bouclage.

### **1.2 Principe de fonctionnement et caractéristiques**

La chaudière numérique de type QB est un générateur d'eau chaude, grâce à la chaleur dégagée par des processeurs informatiques, soit des CPU, éventuellement des GPU ou n'importe quel autre type de processeurs, lors des calculs. Cette chaleur est un déchet pour l'informatique, il est donc nécessaire de l'évacuer, ici le choix est d'utiliser l'eau comme liquide caloporteur. Cette eau est

ainsi chauffée. La chaudière numérique de type QB a été conçue pour chauffer de l'eau chaude sanitaire et le chauffage hydraulique, et n'importe quelles utilisations industrielles. Néanmoins, la présente demande porte uniquement sur le chauffage de l'Eau Chaude Sanitaire.

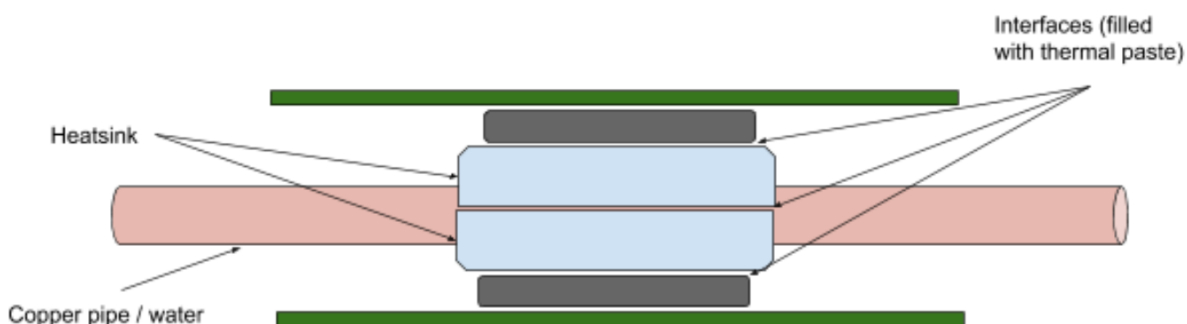
La chaudière numérique de type QB contient des serveurs informatiques et peut fournir une puissance qui dépend du matériel informatique installé, jusqu'à plusieurs kW par modules selon les configurations. Les performances en termes de température et de puissance dépendent du matériel informatique utilisé. L'appoint et les éventuels circulateurs ne sont pas intégrés à la chaudière numérique de type QB qui est parfaitement passive. La chaudière numérique de type QB est uniquement une source de puissance.



**Figure 1 :** Chaudière numérique de type QB

Pour fonctionner les chaudières numériques de type QB doivent être connectées à l'électricité, à l'eau et à un réseau informatique opéré par Qarnot. En pied d'immeuble, il est nécessaire de disposer d'une baie informatique faisant le lien avec l'accès internet et qui pilotera l'envoi des calculs informatiques sur la ou les chaudières, comme dans le cas des radiateurs. Il est possible d'associer plusieurs modules en série ou en parallèle, ou série parallèle en fonction des installations.

L'eau circule en direct, sans circuit primaire / secondaire, le processeur est directement plaqué contre un dissipateur en aluminium qui enserre en sandwich un tuyau en cuivre.



**Figure 2 :** Principe de chauffage ECS direct de la chaudière numérique de type QB

Le système fonctionne sur un mode de puissance défini à priori. La puissance de chauffe est garantie jusqu'à une certaine température d'entrée dépendante du débit. La puissance peut être pilotée à distance. L'ensemble du système est supervisé à distance, en continu.

La chaudière numérique de type QB peut être connectée à un ballon de stockage avec échangeur ou intégré dans d'autres modes de fonctionnement comme en réchauffeur de boucle par exemple. Il peut être complété par un système d'appoint.

### 1.3 Contraintes d'installation

La chaudière numérique de type QB s'installe comme une chaudière électrique, sur une prise électrique suffisamment puissante.

Il est également nécessaire de connecter la chaudière numérique de type QB à la connexion internet permettant d'acheminer les calculs nécessaires à la génération de chaleur. Cette connexion est mise en place de manière autonome, dédiée à l'installation de Qarnot computing, via un réseau mis en place spécifiquement. Pour ce faire il est indispensable d'utiliser un réseau câblé Ethernet / RJ45 dédié, ou éventuellement une fibre optique.

Ce réseau spécifique répond à un cahier des charges contraignant : il est constitué d'un point d'entrée pour piloter l'installation connecté à internet par fibre optique obligatoirement permettant un accès haut débit.

Les utilisations envisagées portent sur l'Eau Chaude Sanitaire collective dans le cadre de cette demande de Titre V.

L'idée est de fonctionner en continu, à débit constant, pour assurer la base des besoins selon les configurations. En complément, il s'agira d'ajouter un appoint par rapport aux configurations standards pour assurer les besoins au-delà de la base. Les configurations standards sont uniquement indicatives dans la mesure où le bureau d'étude est évidemment impliqué dans la conception du circuit hydraulique qui pourra intégrer la chaudière numérique de type QB dans des conditions optimales de fonctionnement (techniques et économiques) pour elle-même et pour le bâtiment.

Un Avis Technique a été validé, y compris suivi en conditions opérationnelles. Cet ATec fait actuellement l'objet d'une mise à jour.

## **2. Champ d'application**

La chaudière numérique de type QB peut être déployée sur tout type de bâtiment, pour la production d'Eau Chaude Sanitaire collective. Suivant la liste indiquée dans la Méthode de calcul Th-CE de l'existant, voici les types de zone inclus dans le champ d'application en lien avec l'outil développé :

- Établissements sanitaires avec hébergement
- Logements (bâtiments d'habitation)
- Hôtellerie et autres hébergements
- Locaux où il n'est pas possible pour des raisons de conservation des objets entreposés de laisser dériver sensiblement la température
- Établissements sanitaires sans hébergement
- Enseignement
- Bureaux
- Salles de spectacle, de conférence
- Commerces
- Restauration plusieurs repas par jour
- Locaux non compris dans une autre catégorie
- Etablissements sportifs
- Stockage
- Industrie
- Transport
- Restauration un repas par jour

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

#### 3.1 Usages

Dans le cadre de la présente demande de Titre 5 post-traitement pour la chaudière numérique de type QB, l'objectif est de couvrir deux usages liés à l'Eau Chaude Sanitaire :

- Le chauffage de base du ballon
- Le réchauffage de la boucle de distribution d'ECS au niveau du retour

Les deux usages couvrent uniquement le domaine de l'ECS mais ne couvrent pas le domaine du chauffage. Les modélisations et les calculs sont présentés dans deux outils Excel mis à disposition sur un site internet dont l'adresse est indiquée sur le site du ministère chargé de la construction et visent à considérer une prise en compte de la chaleur produite par la chaudière numérique de type QB comme de la chaleur fatale.

Les applications sont présentées dans deux outils Excel de post-traitement différents.

#### 3.2 Performance minimale des ballons de stockage

Pour appliquer le présent Titre 5, les performances minimales des ballons de stockage en termes de constante de refroidissement  $Cr$  sont définies par le calcul de la valeur par défaut indiquée dans la méthode Th-BCE 2012 au tableau 215, soit selon les formules suivantes :

$$Cr_{max} = 1000 * \frac{Q_{pr}}{\Delta T * V_{tot}} \quad \text{Eq. (1)}$$

Avec  $\Delta T = 45K$  (valeur figée dans le moteur)

Et, selon la norme NF EN 15332,

$$Q_{pr} = 0,189 * V_{tot}^{0,55} \quad \text{Eq. (2)}$$

Soit, selon le tableau 86 du paragraphe 15.5.1 de la méthode Th-CEex :

$$Cr_{max} = 4,2 * V_{tot}^{-0,45} \quad \text{Eq. (3)}$$

#### 3.3 ECS base ballon

##### 3.3.1 Généralités

La chaudière numérique de type QB est défini comme un générateur d'ECS électrique numérique, s'assimilant à un générateur d'ECS à énergie principale électrique (effet joule)

Elle peut chauffer l'eau à des températures supérieures à 55°C (zone de modulation de puissances). La méthode de prise en compte de la chaudière numérique en tant que base ballon dans la RTex repose sur un post-traitement des résultats obtenus à l'issue d'une simulation avec le moteur de calcul de la RTex du bâtiment, nommée la simulation de départ dans la suite du document.

Cette simulation de départ est réalisée en considérant comme système de production d'ECS un ballon de stockage alimenté par un générateur effet joule.

En situation réelle, la chaudière numérique de type QB est utilisée en tant que générateur principal d'ECS et est systématiquement associée à un appoint (chaudière gaz dans la plupart des cas).

Nous pouvons déterminer cette part d'appoint ECS à l'aide des besoins ECS et de l'énergie fournie par le ballon de base effet joule issus des données de sortie calculées lors de la simulation de départ.

L ou les générateurs d'ECS peuvent être remplacés par autant de chaudières numériques de type QB que l'on souhaite dans le bâtiment concerné.

A l'issue de la simulation de départ, l'applicateur du Titre V doit récupérer dans les sorties calculées associées au bâtiment ou zone couverte par les chaudières numériques :

- la consommation annuelle d'ECS en énergie primaire du bâtiment ou de la zone couverte,  $Cep\_ECS\_initial$ , en kWhEP/(an.m<sup>2</sup>SHON), en distinguant :
  - o la consommation annuelle en énergie primaire du bâtiment ou de la zone couverte du ou des générateurs d'ECS à remplacer par les modules de chaudière numérique de type QB,  $Cep\_ECS\_gen\_QB \cdot 1$ , en kWhEP/(an.m<sup>2</sup>SHON),
  - o la consommation annuelle en énergie primaire du bâtiment ou de la zone couverte des autres générateurs (appoints, etc.) qui ne seront pas remplacés par les modules de chaudière numérique de type QB,  $Cep\_ECS\_autres\_gen$ , en kWhEP/(an.m<sup>2</sup>SHON),
- la consommation annuelle totale en énergie primaire du bâtiment ou de la zone couverte,  $Cep\_total\_initial$ , en kWhEP/m<sup>2</sup>SHON.an,
- A titre informatif, la consommation annuelle en énergie primaire du bâtiment ou de la zone couverte pour chaque autre poste,  $Cep\_autres\_postes$ , en kWhEP/(an.m<sup>2</sup>SHON)

Le post-traitement des résultats est ensuite réalisé via un outil au format tableur dont :

- les entrées principales sont :
    - o les caractéristiques de la chaudière numérique de type QB nécessaires au post-traitement
- Remarque** : comme pour le Titre V RT2012, il est demandé de conserver la possibilité de modifier les valeurs des puissances renseignées dans l'outil excel de la chaudière numérique de type QB1 ainsi que les températures accessibles. En effet, si elles sont connues pour la chaudière numérique de type QB actuelle, Qarnot computing effectue régulièrement des mises à jour des composants numériques utilisés dans la chaudière numérique de type QB, de manière à améliorer la performance globale du produit. Le matériel informatique utilisé a un impact sur la puissance globale et les températures de fonctionnement.
- o les données de sorties issues de la simulation de départ nécessaires au post-traitement
- les sorties principales sont :
    - o la consommation annuelle d'ECS en énergie primaire du bâtiment corrigée pour la prise en compte de la chaudière numérique,  $Cep\_ECS\_corrige$ , en kWhEP/(an.m<sup>2</sup>SHON).
    - o la consommation annuelle totale en énergie primaire du bâtiment corrigée pour la prise en compte de la chaudière numérique,  $Cep\_total\_corrige$ , en kWhEP/(an.m<sup>2</sup>SHON).

Ainsi, à partir du  $Cep\_ECS\_corrige$  obtenu et en remplaçant le  $Cep\_ECS(initial)$  par ce dernier, on en déduit la consommation conventionnelle globale en énergie primaire du bâtiment dans les résultats de la simulation de départ, soit :

$$CEP_{total\_corrige} = CEP_{total\_initial} - CEP_{ECS\_initial} + CEP_{ECS\_corrige} \quad \text{Eq. (4)}$$

### 3.3.2 Description mathématique du post-traitement

Le paragraphe ci-dessous décrit en détail le contenu de l'outil au format tableur aboutissant au calcul de  $Cep\_ECS\_corrige$ .

La méthode repose sur un calcul direct du  $Cep_{ECS\_corrige}$  à l'aide des résultats d'une simulation de départ avec le moteur Th-CEex et des données d'entrée de la chaudière numérique. Cette méthode se décompose en 3 étapes :

- Simulation initiale à l'aide du moteur Th-CEex puis report des résultats nécessaires au post-traitement sur l'outil Excel
- Renseigner les données d'entrée liées au projet et à la chaudière numérique de type QB
- Calcul direct du  $Cep_{ECS}$  corrigé à l'aide des données récoltées précédemment, puis du  $Cep_{total}$  corrigé selon l'équation (4)

### 3.3.2.1 Paramètres

Nom	Description	Unité	Conv
<b>Paramètres généraux du projet</b>			
Zone climatique	Zone climatique du projet (H1a... ; H3)	Menu	
Altitude	Classe d'altitude du projet : <i>0 - Inférieur ou égale à 400 m</i> <i>1 - Entre 400 et 800 m</i> <i>2 - Supérieure à 800 m</i>	Menu	
Usage_zone	Usage de la zone équipée de chaudières numériques	Menu	
$A_z$	Surface utile ou habitable de la zone	$m^2$	
SHON	Surface Hors Œuvre Nette de la zone	$m^2$	
<b>Paramètres de la chaudière numérique</b>			
$N_{chaudiere\_num}$	Nombre de chaudières numériques installées dans le bâtiment	Entier	1
$Pnom\_chaudiere$	Puissance thermique nominale de la chaudière numérique	kW	2,5
$Paux\_chaudiere$	Puissance électrique des auxiliaires dédiés à la chaudière numérique	W	0
$\Theta_{max\_Pmax}$	Puissance électrique absorbée du radiateur numérique en mode veille englobant routeur, capteurs et alimentation associée	$^{\circ}C$	60
$\Theta_{max}$	Température de la source aval maximale de fonctionnement de la chaudière numérique	$^{\circ}C$	70
$t\_fonc$	Temps de fonctionnement annuel de la chaudière numérique de type QB	h	8760
<b>Données issues du calcul initial avec le moteur Th-CEex</b>			
Besoins_ECS ( $Q_w + Q_{w,d}$ )	Energie requise totale en énergie finale pour l'ECS	$kWh_{EF}.m^{-2}.an^{-1}$	
$Cep_{ECS}$	Consommation annuelle d'ECS en énergie primaire de la zone	$kWh_{EP}.m^{-2}.an^{-1}$	
$Cep_{ECS\_gen\_QB}$	Consommation annuelle en énergie primaire du ou des générateurs d'ECS à remplacer par les chaudières numériques de type QB	$kWh_{EP}.m^{-2}.an^{-1}$	

EF_ECS_gen_QB	Energie finale fournie par le générateur ECS à remplacer par les chaudières numériques de type QB	kWhEF.m <sup>-2</sup> .an <sup>-1</sup>
Cep_ECS_autres_gen	Consommation annuelle en énergie primaire du ou des autres générateurs d'ECS qui ne seront pas remplacés (appoints, etc.)	kWhEP.m <sup>-2</sup> .an <sup>-1</sup>
Cep_autres_postes	Consommations annuelles en énergie primaire pour chaque poste autre que l'ECS	kWhEP.m <sup>-2</sup> .an <sup>-1</sup>
Cep_total	Consommation annuelle totale en énergie primaire de la zone	kWhEP.m <sup>2</sup> .an <sup>-1</sup> <sub>1</sub>

### Données de sortie

EF_ECS_appoint	Energie finale à fournir par le générateur d'appoint ECS	kWhEF.m <sup>-2</sup> .an <sup>-1</sup>
Cep_ECS_autres_gen	Consommation annuelle en énergie primaire du ou des autres générateurs d'ECS qui ne seront pas remplacés (appoints, etc.)	kWhEP.m <sup>-2</sup> .an <sup>-1</sup>
Qcons	Consommation horaire de l'installation de chaudières numériques	Wh
Cep_ECS_QB	Consommation annuelle d'ECS en énergie primaire de l'installation de chaudières numériques	kWhEP.m <sup>2</sup> .an <sup>-1</sup> <sub>1</sub>
Cep_ECS_corrige	Consommation annuelle d'ECS totale corrigée en énergie primaire	kWhEP.m <sup>2</sup> .an <sup>-1</sup> <sub>1</sub>
Cep_total_corrige	Consommation annuelle totale corrigée en énergie primaire	kWhEP.m <sup>2</sup> .an <sup>-1</sup> <sub>1</sub>

### 3.3.2.2 Simulation initiale à l'aide du moteur de calcul Th-CEex

La première étape de la présente méthode est de réaliser la simulation de départ, c'est-à-dire la simulation initiale à l'aide du moteur de calcul Th-CEex.

La chaudière numérique de type QB est défini comme un générateur d'ECS électrique numérique, s'assimilant à un générateur d'ECS à énergie principale électrique (effet joule).

Ainsi, cette simulation initiale doit être réalisée en considérant comme système de production d'ECS un ballon de stockage alimenté par un ou plusieurs générateurs effet joule classiques.

Il est également possible de réaliser la simulation de départ avec d'autres systèmes d'ECS plus efficaces que l'effet joule, en considérant que ce seront ces derniers qui seront remplacés par une installation de chaudières numériques de type QB. Cependant, cette installation devra être plus ou moins conséquente selon le type de système d'ECS remplacé.

Une fois cette simulation réalisée, l'application du Titre V doit reporter les résultats de cette dernière dans l'outil Excel prévu à cet effet, dont obligatoirement le Cep\_ECS et le Cep\_total.

L'application peut également, indépendamment des systèmes installés autres que l'effet joule en base ballon, déterminer la part d'appoint ECS à partir des besoins ECS totaux annuels et de l'énergie finale annuelle fournie par l'effet joule issus des résultats obtenus, et ce de la manière suivante :

$$EF_{ECS\_appoint} = Besoins_{ECS} - EF_{ECS\_gen\_QB} \quad \text{Eq (5)}$$

Nous avons également la relation suivante :

$$CEP_{ECS\_autres\_gen} = CEP_{ECS} - CEP_{ECS\_gen\_QB} \quad \text{Eq (6)}$$

### 3.3.2.3 Données d'entrée du projet et de la chaudière numérique de type QB

La deuxième étape de la méthode est de renseigner les données d'entrée du projet et de la chaudière numérique, dont obligatoirement celles nécessaires au calcul, à savoir :

- SHON
- N\_chaudiere\_num
- Paux\_chaudiere
- t\_fonc

### 3.3.2.4 Calcul direct du Cep\_ECS corrigé et du Cep\_total corrigé

La dernière étape de cette présente méthode est de réaliser le calcul direct du Cep\_ECS corrigé et du Cep\_total corrigé à l'aide des informations récoltées précédemment.

La puissance des auxiliaires de circulation devra être calculée au niveau de sa contribution réelle, sous forme d'énergie électrique.

Ce paramètre est à saisir dans l'outil de calcul de ce présent Titre V, s'il n'est pas déjà pris en compte par ailleurs.

La totalité de l'énergie thermique fournie correspond à de la chaleur fatale produite par le système informatique et récupérée pour le chauffage de l'eau, par conséquent ne doit pas être comptabilisée.

L'énergie électrique consommée (en énergie finale) par les auxiliaires doit en revanche être comptabilisée.

Cette dernière s'exprime de la façon suivante :

$$Q_{cons} = N_{chaudiere\_num} \times P_{aux} \quad \text{Eq (7)}$$

Ensuite, à partir du calcul précédent, nous pouvons déterminer la consommation d'ECS annuelle en énergie primaire de l'installation de chaudières numériques, et ce de la manière suivante :

$$CEP_{ECS\_QB} = Q_{cons} \times 2.58 \times \frac{t_{fonc}}{1000 * SHON} \quad \text{Eq (8)}$$

A partir du calcul précédent, nous pouvons en déduire la consommation d'ECS annuelle totale corrigée en énergie primaire :

$$CEP_{ECS\_corrigé} = CEP_{ECS\_QB} + CEP_{ECS\_autres\_gen} \quad \text{Eq (9)}$$

Ainsi, on en déduit le calcul de la consommation totale annuelle en énergie primaire de la chaudière numérique :

$$CEP_{total\_corrigé} = CEP_{total\_initial} - CEP_{ECS\_initial} + CEP_{ECS\_corrigé} \quad \text{Eq (10)}$$

## 3.4 ECS distribution intergroupe

### 3.4.1 Généralités

Dans la RTex, la méthode de prise en compte de la chaudière numérique de type QB définie en tant que réchauffeur de boucle placée en fin de bouclage repose sur un post-traitement des résultats obtenus à l'issue d'une simulation avec le moteur de calcul de la RTex du bâtiment, nommée la simulation de départ dans la suite du document.



Cependant, le réchauffage de boucle n'est pas modélisé en RTex et ne peut donc être défini dans les paramètres d'entrée (comme cela est possible en RT2012). La simulation de départ est donc réalisée en considérant n'importe quel type de production d'ECS avec une distribution intergroupe associée devant obligatoirement être bouclée.

Ainsi, quels que soient les paramètres du projet étudié, ce dernier devra être caractérisé par un réseau intergroupe ECS bouclé sans réchauffeur de boucle pour la simulation de départ.

Le ou les générateurs d'ECS peuvent être remplacés par autant de chaudières numériques de type QB que l'on souhaite dans le bâtiment concerné.

A l'issue de la simulation de départ, l'application du Titre V doit récupérer les sorties calculées associées au bâtiment ou zone couverte par les chaudières numériques :

- la consommation annuelle d'ECS en énergie primaire du bâtiment ou de la zone couverte, Cep\_ECS, en kWhEP/(an.m<sup>2</sup>SHON), en distinguant :
  - o la consommation annuelle d'électricité ECS en énergie primaire du bâtiment ou de la zone couverte, Cep\_ECS\_elec, en kWhEP/(an.m<sup>2</sup>SHON),
  - o la consommation annuelle de bois ECS en énergie primaire du bâtiment ou de la zone couverte, Cep\_ECS\_bois, en kWhEP/(an.m<sup>2</sup>SHON),
  - o la consommation annuelle ECS des autres types d'énergie en énergie primaire du bâtiment ou de la zone couverte, Cep\_ECS\_autres\_energies, en kWhEP/(an.m<sup>2</sup>SHON),
- A titre informatif, la consommation annuelle de chaque autre poste en énergie primaire du bâtiment ou de la zone couverte, Cep\_autres\_postes, en kWhEP/(an.m<sup>2</sup>SHON).

Le post-traitement des résultats est ensuite réalisé via un outil au format tableur dont :

- les entrées principales sont :
  - o les caractéristiques de la chaudière numérique de type QB nécessaires au post-traitement

**Remarque** : comme pour le Titre V RT2012, il est demandé de conserver la possibilité de modifier les valeurs des puissances renseignées dans l'outil excel de la chaudière numérique de type QB ainsi que les températures accessibles. En effet, si elles sont connues pour la chaudière numérique de type QB actuelle, Qarnot computing effectue régulièrement des mises à jour des composants numériques utilisés dans la chaudière numérique de type QB, de manière à améliorer la performance globale du produit. Le matériel informatique utilisé a un impact sur la puissance globale et les températures de fonctionnement.

- o les données de sorties issues de la simulation de départ nécessaires au post-traitement
- les entrées principales sont :
  - o la consommation annuelle d'ECS en énergie primaire du bâtiment corrigée pour la prise en compte de la chaudière numérique, Cep\_ECS\_corrige, en kWhEP/(an.m<sup>2</sup>SHON).
  - o la consommation annuelle totale en énergie primaire du bâtiment corrigée pour la prise en compte de la chaudière numérique, Cep\_total\_corrige, en kWhEP/(an.m<sup>2</sup>SHON).

Ainsi, à partir du Cep\_ECS\_corrige obtenu et en remplaçant le Cep\_ECS\_initial par ce dernier, on en déduit la consommation conventionnelle globale en énergie primaire du bâtiment dans les résultats de la simulation de départ, soit :

$$CEP_{total\_corrigé} = CEP_{total\_initial} - CEP_{ECS\_initial} + CEP_{ECS\_corrigé} \quad \text{Eq (11)}$$

### 3.4.2 Description mathématique du post-traitement

Le paragraphe ci-dessous décrit en détail le contenu de l'outil au format tableur aboutissant au calcul du Cep\_ECS corrigé et du Cep\_total corrigé.

La méthode repose sur un calcul en plusieurs étapes du Cep\_ECS corrigé en considérant un réchauffeur de boucle « virtuel » à l'aide des résultats d'une simulation de départ avec le moteur Th-CEex et des données d'entrée de la chaudière numérique et du réseau intergroupe ECS bouclé.

Cette méthode se décompose en 6 étapes :

1. Renseigner les données d'entrée liées au projet, à la chaudière numérique et au réseau intergroupe bouclé, en particulier celles qui sont indispensables au calcul de l'outil (le paramètre d'entrée « Type\_distribution\_ecs » doit être fixé à la valeur 3, soit « production collective avec réseau bouclé »)
2. Simulation initiale à l'aide du moteur Th-CEex puis report des résultats sur l'outil Excel, avec notamment :
  - Les besoins totaux en ECS en énergie finale (besoins ECS + pertes de distribution intergroupe ECS)
  - Les consommations annuelles en énergie primaire dont obligatoirement la consommation annuelle d'ECS en énergie primaire (en distinguant celles liées à l'électricité, au bois et aux autres énergies) et la consommation annuelle totale en énergie primaire
3. A partir des besoins totaux en ECS et de la méthode Th-CEex, calcul intermédiaire des pertes de distribution intergroupe ECS du réseau bouclé et on en déduit les besoins horaires en ECS
4. Comme le réchauffeur de boucle n'est pas modélisé en RTex, nous considérons un réchauffeur de boucle « virtuel » dont la puissance électrique serait égale aux pertes de distribution intergroupe ECS précédemment calculées (tout comme cela est le cas dans la méthode Th-BCE de la RT2012). Ainsi, avec cette hypothèse, nous considérons que le réchauffeur de boucle « virtuel » compense toutes les pertes de distribution du réseau bouclé intergroupe ECS.
5. Recalcul des consommations annuelles en énergie primaire pour l'ECS après impact de la consommation du réchauffeur de boucle « virtuel »
6. A partir du cas avec réchauffeur de boucle « virtuel » défini précédemment, calcul du Cep\_ECS corrigé à l'aide des données d'entrée de la chaudière numérique de type QB et du Cep\_total corrigé selon l'équation (9)

### 3.4.2.1 Paramètres

Nom	Description	Unité	Conv
<b>Paramètres généraux du projet</b>			
Zone climatique	Zone climatique du projet (H1a... ; H3)	Menu	
Altitude	Classe d'altitude du projet : 0 - Inférieur ou égale à 400 m 1 - Entre 400 et 800 m 2 - Supérieure à 800 m	Menu	
Usage_zone	Usage de la zone équipée de chaudières numériques	Menu	
A <sub>z</sub>	Surface utile ou habitable de la zone	m <sup>2</sup>	
SHON	Surface Hors Œuvre Nette de la zone	m <sup>2</sup>	
<b>Paramètres de la chaudière numérique</b>			
N_chaudiere_num	Nombre de chaudières numériques installées dans le bâtiment	Entier	
Pnom_chaudière	Puissance thermique nominale de la chaudière numérique	kW	
Paux_chaudière	Puissance électrique des auxiliaires dédiés à la chaudière numérique	W	0
Theta_max_Pmax	Puissance électrique absorbée du radiateur numérique en mode veille englobant routeur, capteurs et alimentation associée	°C	60
Theta_max	Température de la source aval maximale de fonctionnement de la chaudière numérique	°C	70
t_fonc	Temps de fonctionnement annuel de la chaudière numérique	h	8760
<b>Paramètres du réseau intergroupe bouclé d'ECS</b>			
Ratio_ECS	Taux de couverture des besoins de l'ECS par ce réseau	-	
Type_distribution_ECS	Type de distribution intergroupe ECS : 3 : Production collective avec réseau bouclé (valeur obligatoire)	Menu	
Lvc	Longueur totale du réseau ECS en volume chauffé : -1 : calcul automatique	m	
NbN	Nombre de niveaux ECS	-	
Pcirc_ECS	Puissance du circulateur ECS : -1 : calcul automatique		

## Données issues du calcul initial avec le moteur Th-CEex

Besoins_ECS ( $Q_w + Q_{w,d}$ )	Energie requise totale en énergie finale pour l'ECS	$\text{kWh}_{EF} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{an}^{-1}$
$Q_w$	Besoins horaires en ECS	$\text{kWh}_{EF} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{an}^{-1}$
$Q_{w,d}$	Pertes de distribution du réseau intergroupe bouclé	$\text{kWh}_{EF} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{an}^{-1}$
Cep_ECS	Consommation annuelle totale d'ECS en énergie primaire de la zone	$\text{kWh}_{EP} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{an}^{-1}$
Cep_ECS_elec	Consommation annuelle totale d'électricité en ECS en énergie primaire de la zone	$\text{kWh}_{EP} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{an}^{-1}$
Cep_ECS_bois	Consommation annuelle totale de bois en ECS en énergie primaire de la zone	$\text{kWh}_{EP} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{an}^{-1}$
Cep_ECS_autres_energies	Consommation annuelle totale des autres énergies en ECS en énergie primaire de la zone	$\text{kWh}_{EP} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{an}^{-1}$
Cep_autres_postes	Consommations annuelles des autres postes en énergie primaire de la zone	$\text{kWh}_{EP} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{an}^{-1}$
Cep_total	Consommation en énergie primaire totale de la zone	$\text{kWh}_{EP} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{an}^{-1}$

### Données de sortie intermédiaires

$W_{\text{rechauf\_boucle}}$	Consommation électrique du réchauffeur de boucle « virtuel »	$\text{kWh}_{EF} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{an}^{-1}$
$\text{Cep}_{ECS\_elec}^{\text{rechauf\_boucle}}$	Consommation annuelle d'électricité ECS en énergie primaire avec réchauffeur de boucle « virtuel »	$\text{kWh}_{EP} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{an}^{-1}$
$\text{Cep}_{ECS\_bois}^{\text{rechauf\_boucle}}$	Consommation annuelle de bois ECS en énergie primaire avec réchauffeur de boucle « virtuel »	$\text{kWh}_{EP} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{an}^{-1}$
$\text{Cep}_{ECS\_autres\_energies}^{\text{rechauf\_boucle}}$	Consommation annuelle d'ECS des autres énergies en énergie primaire avec réchauffeur de boucle « virtuel »	$\text{kWh}_{EP} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{an}^{-1}$
$\text{Cep}_{total}^{\text{rechauf\_boucle}}$	Consommation annuelle totale en énergie primaire avec réchauffeur de boucle « virtuel »	$\text{kWh}_{EP} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{an}^{-1}$

### Données de sortie finales

$Q_{\text{cons}}$	Consommation horaire en énergie finale de la chaudière numérique	Wh
Cep_ECS_corrige	Consommation annuelle d'ECS en énergie primaire corrigée	$\text{kWh}_{EP} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{an}^{-1}$
Cep_total_corrige	Consommation annuelle totale en énergie primaire corrigée	$\text{kWh}_{EP} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{an}^{-1}$

### 3.4.2.2 Données d'entrée du projet, de la chaudière numérique et du réseau ECS intergroupe bouclé

La première étape de la méthode est de renseigner les données d'entrée du projet, de la chaudière numérique, dont obligatoirement celles nécessaires au calcul, à savoir :

- SHON
- N\_chaudiere\_num
- Pnom\_chaudiere
- Paux\_chaudiere
- t\_fonc
- Ratio\_ECS
- Lvc

**Remarque importante :** Il est nécessaire d'avoir une puissance annuelle fournie par les chaudières numériques de type QB suffisamment importante pour compenser au minimum les pertes annuelles de distributions ECS.

Si cette condition n'est pas respectée, un message d'erreur sera renvoyé dans l'outil d'application du Titre V.

### 3.4.2.3 Simulation initiale à l'aide du moteur de calcul Th-CEex

La deuxième étape de la présente méthode est de réaliser la simulation de départ, c'est-à-dire la simulation initiale à l'aide du moteur de calcul Th-CEex.

Cette simulation de départ peut être réalisée en considérant tout type de production d'ECS et d'installation en chaudière numériques de type QB voulue.

Une fois cette simulation réalisée, l'applicateur du Titre V doit reporter les résultats de cette dernière dans l'outil Excel prévu à cet effet.

### 3.4.2.4 Calcul intermédiaire des pertes de distribution du réseau d'ECS intergroupe bouclé

La troisième étape de cette présente méthode est de réaliser le calcul intermédiaire des pertes de distribution du réseau d'ECS intergroupe bouclé à partir des données issues de la simulation de départ et grâce notamment à la méthode Th-CEex.

Tout d'abord, nous reprenons le paramètre *Besoins\_ECS* dont la valeur est obtenue lors de la simulation de départ.

Ce paramètre s'exprime de la manière suivante :

$$Besoins_{ECS} = Q_w + Q_{w,d} \quad \text{Eq (12)}$$

Avec :

- $Q_w$  : Besoins horaires en ECS
- $Q_{w,d}$  : Pertes de distributions

La méthode de calcul des paramètres  $Q_w$  et  $Q_{d,w}$  est décrite au sein de la méthode Th-CEex de la RTex, respectivement aux paragraphes 8.1 et 8.2.

L'objectif de cette partie est de déterminer la valeur du paramètre  $Q_{d,w}$  à l'aide du paragraphe 8.2 de la méthode Th-CEex et de la formule précédente.

D'après le paragraphe 8.2 de la méthode Th-CEex, le paramètre  $Q_{d,w}$  s'exprime de la façon suivante :

$$Q_{d,w} = Q_{d,w\_ind,vc} + Q_{d,w\_ind,hvc} + Q_{d,w\_col,vc} + Q_{d,w\_col,hvc} \quad \text{Eq (13)}$$

Avec :

- $Q_{d,w\_ind}$  : pertes de la distribution individuelle (en volume chauffé et hors volume chauffé)
- $Q_{d,w\_col}$  : pertes de la distribution collective (en volume chauffé et hors volume chauffé)

Lorsque la distribution intergroupe ECS est un réseau bouclé (c'est-à-dire  $Type\_distribution\_ECS = 3$ ), chaque terme s'exprime de la manière suivante :

$$\begin{aligned} Q_{d,w\_ind,vc} &= 0.5 \times R_{dist\_ECS} \times Q_w \\ Q_{d,w\_ind,hvc} &= 0 \end{aligned} \quad \text{Eq (14)}$$

$$\begin{aligned} Q_{d,w\_col} &= 0.14 \times Q_w \\ Q_{d,w\_col,vc} &= 0.8 \times Q_{d,w\_col} \\ Q_{d,w\_col,hvc} &= 0.2 \times Q_{d,w\_col} \end{aligned} \quad \text{Eq (15)}$$

En injectant les équations (8) et (9) dans l'équation (7), nous obtenons la formule suivante :

$$Q_{d,w} = Q_w * (0.14 + 0.5 \times R_{dist\_ECS}) \quad \text{Eq (16)}$$

Ainsi, en injectant l'équation (10) dans l'équation (6) et après manipulation des termes, nous obtenons l'expression de  $Q_w$  suivante :

$$Q_w = \frac{Besoins\_ECS}{1.14 + 0.5 \times R_{dist\_ECS}} \quad \text{Eq (17)}$$

Avec :

$$R_{dist\_ECS} = \frac{L_{vc}}{A_z} \quad \text{Eq (18)}$$

Si  $L_{vc} = -1$  (calcul automatique) :

$$L_{vc} = 0.2 \times A_z \times Rate_{ECS} \quad \text{en résidentiel et en hébergement} \quad \text{Eq (19)}$$

$$L_{vc} = 0.05 \times A_z \times Rate_{ECS} \quad \text{pour les autres usages}$$

Pour le calcul automatique de  $P_{circ\_ECS}$ , se référer au paragraphe 8.4.3. de la méthode Th-CEex de la RTex.

### 3.4.2.5 Modélisation d'un réchauffeur de boucle « virtuel »

Pour rappel, contrairement à la RT2012, le réchauffeur de boucle n'est pas modélisé dans la méthode Th-CEex de la RTex.

En reprenant le modèle du réchauffeur de boucle de la RT2012, nous pouvons considérer dans la présente méthode un réchauffeur de boucle « virtuel » dont la consommation électrique annuelle est égale aux pertes annuelles de distribution d'ECS en volume chauffé et hors volume chauffé, soit  $Q_{d,w}$ .

Nous avons la relation suivante :

$$W_{rechauf\_boucle} = Q_{d,w} \quad \text{Eq (20)}$$

Nous obtenons donc le cas initial avec un réchauffeur de boucle « virtuel » comme il pourrait être défini en RT2012.

Par ce raisonnement et cette équation, nous considérons que le réchauffeur de boucle virtuel apporte uniquement l'énergie nécessaire permettant de compenser les pertes annuelles de distributions d'ECS.

Par conséquent, dans la suite du présent modèle, nous allons considérer que l'installation de chaudières numériques utilisée en tant que réchauffeur de boucle peut uniquement compenser les pertes annuelles de distributions d'ECS, quelle que soit l'énergie annuelle fournie par cette installation.

### 3.4.2.6 Calcul des consommations annuelles en énergie primaire avec réchauffeur de boucle

L'objectif de cette partie est de redéfinir les différentes consommations annuelles d'ECS en énergie primaire en prenant en compte l'énergie électrique finale apportée par le réchauffeur de boucle « virtuel » modélisé et l'énergie réduite finale en conséquence du générateur ECS utilisée.

Pour passer de l'énergie finale considérée (égale à celle apportée par le réchauffeur de boucle) à l'énergie primaire, nous utilisons les coefficients de conversion en énergie primaire définis dans la méthode Th-CEex. Ceux-ci sont les suivants :

Type d'énergie	Coefficients de transformation en énergie primaire
Electricité et production d'électricité à demeure	2.58
Bois (ou biomasse)	0.6
Energie fournie par un réseau de chaleur et/ou de froid	1
Autres énergies	1

**Tableau 1** : Coefficients conventionnels de transformation en énergie primaire

En s'appuyant sur les informations exposés ci-dessus, les différents Cep avec réchauffeur de boucle s'expriment de la manière suivante :

$$CEP_{ECS\_elec\_rechauf\_boucle} = CEP_{ECS\_elec} + W_{rechauf\_boucle} \times 2.58 \quad \text{Eq (21)}$$

Si  $CEP_{ECS\_bois} = 0$  :

$$CEP_{ECS\_bois\_rechauf\_boucle} = 0 \quad \text{Eq (22)}$$

Sinon :

$$CEP_{ECS\_bois\_rechauf\_boucle} = CEP_{ECS\_bois} - W_{rechauf\_boucle} \times 0.6$$

Si  $CEP_{ECS\_autres\_energies} = 0$  :

$$CEP_{ECS\_autres\_energies} = 0 \quad \text{Eq (23)}$$

Sinon :

$$CEP_{ECS\_autres\_energies\_rechauf\_boucle} = CEP_{ECS\_autres\_energies} - W_{rechauf\_boucle} \times 1$$

Ainsi, on en déduit les consommations ECS et totale annuelles en énergie primaire :

$$CEP_{ECS\_rechauf\_boucle} = CEP_{ECS\_elec\_rechauf\_boucle} + CEP_{ECS\_bois\_rechauf\_boucle} + CEP_{ECS\_autres\_energies\_rechauf\_boucle} \quad \text{Eq (24)}$$

$$CEP_{total\_rechauf\_boucle} = CEP_{total} - CEP_{ECS} + CEP_{ECS\_rechauf\_boucle} \quad \text{Eq (25)}$$

### 3.4.2.7 Calcul final du Cep\_ECS corrigé et du Cep\_total corrigé

La dernière étape de cette présente méthode est de réaliser le calcul direct du Cep\_ECS corrigé et du Cep\_total corrigé à l'aide des informations récoltées précédemment.

La puissance des auxiliaires de circulation devra être calculée au niveau de sa contribution réelle, sous forme d'énergie électrique.

Ce paramètre est à saisir dans l'outil de calcul de ce présent Titre V.

Comme pour l'usage en ECS base ballon, la totalité de l'énergie thermique fournie correspond à de la chaleur fatale produite par le système informatique et récupérée pour le chauffage de l'eau, par conséquent ne doit pas être comptabilisée. L'énergie électrique consommée par les auxiliaires doit en revanche être comptabilisée.

Si cette énergie fournie ne permet pas au minimum de compenser les pertes annuelles de distributions d'ECS, le Titre V n'est pas applicable et l'outil d'application de ce dernier enverra un message d'erreur.

Cette dernière s'exprime de la façon suivante :

$$Q_{cons} = N_{chaudiere\_num} \times P_{aux} \quad \text{Eq (26)}$$

Ensuite, à partir du calcul précédent, nous pouvons déterminer les consommations d'ECS annuelle en énergie primaire en électricité, bois et autres énergies de la chaudière numérique, et ce de la manière suivante :

$$CEP_{ECS\_elec\_corrigé} = CEP_{ECS\_elec} + Q_{cons} \times 2.58 \times \frac{t_{fonc}}{1000 * SHON} \quad \text{Eq (27)}$$

$$CEP_{ECS\_bois\_corrigé} = CEP_{ECS\_bois\_rechauf\_boucle} \quad \text{Eq (28)}$$

$$CEP_{ECS\_autres\_energies\_corrigé} = CEP_{ECS\_autres\_energies\_rechauf\_boucle} \quad \text{Eq (29)}$$

On en déduit donc le calcul de la consommation ECS totale annuelle en énergie primaire en prenant en compte les consommations annuelles d'ECS énergie primaire par type d'énergie corrigées :

$$CEP_{ECS\_corrigé} = CEP_{ECS\_elec\_corrigé} + CEP_{ECS\_bois\_corrigé} + CEP_{ECS\_autres\_energies\_corrigé} \quad \text{Eq (30)}$$

Enfin, on en déduit le calcul de la consommation totale annuelle en énergie primaire en prenant en compte la consommation annuelle d'ECS énergie primaire corrigée :

$$CEP_{total\_corrigé} = CEP_{total\_rechauf\_boucle} - CEP_{ECS\_rechauf\_boucle} + CEP_{ECS\_corrigé} \quad \text{Eq (31)}$$