

ANNEXE

Modalités de prise en compte du système « AmièsPAC » dans la réglementation thermique pour les bâtiments existants

1. Définition du système

1.1 DESCRIPTION DU CONCEPT

Le système AmièsPAC est un système de production d'eau chaude sanitaire par un couplage pompe à chaleur et micro-cogénération.

Le générateur AmièsPAC est constitué de pompes à chaleur modulaires Air - Eau couplées à une micro-cogénération gaz à moteur à combustion interne.

1.2 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT ET CARACTERISTIQUES

Les unités thermodynamiques air eau du générateur hybride sont conçues pour capter les énergies fatales, c'est-à-dire toute les sources de chaleur perdues contenues dans les rejets de VMC et les fumées issues de la combustion des chaudières collectives gaz.

La pompe à chaleur assure le préchauffage de l'eau chaude à une température moyenne de 40°C et la micro-cogénération assure l'appoint à environ 60°C. La production d'énergie électrique du module de micro-cogénération est utilisée pour alimenter les pompes à chaleur modulaires.

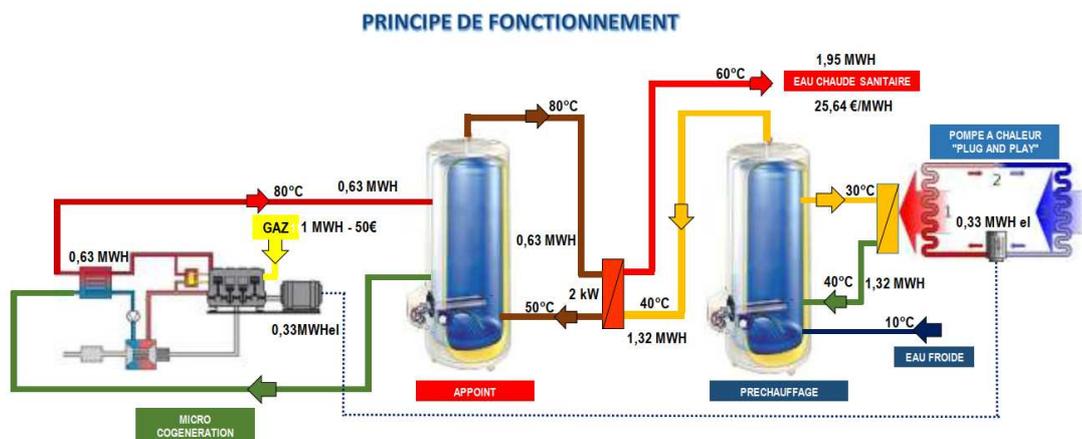


Figure 1 : principe de fonctionnement d'une AmièsPAC

Le Titre V est valable pour le système générateur d'eau chaude sanitaire issu de la combinaison d'une **micro-cogénération gaz** et d'une **pompe à chaleur air-eau** pour produire de l'eau à 60°C. Le générateur comporte :

- Une pompe à chaleur, qui préchauffe l'eau chaude sanitaire à 40°C. Celle-ci peut être constituée d'une ou de plusieurs unités thermodynamiques modulaires indépendantes AIR/EAU de puissance unitaire de 20 kW.
- Un ou plusieurs ballons de préchauffage, dont la température de stockage est de 40°C.
- Une micro ou mini-cogénération gaz, qui produit l'énergie électrique pour la pompe à chaleur et produit de l'eau chaude à 80°C, de puissances électriques entre 6 kW et 210 kW et de puissances thermiques entre 30 kW et 984 kW.
- Un ou plusieurs ballons primaires, qui stockent la chaleur produite par la cogénération entre 70° et 80°C.

- Un échangeur d'appoint, positionné entre les ballons de préchauffage et les ballons de stockage primaire, qui réchauffe de l'eau chaude sanitaire de 40 à 60°C, et dont les régimes de température pris en compte sont respectivement de 80/50°C au primaire et 10/60°C au secondaire
- Un module hydraulique, conçu pour faciliter les raccordements électriques et hydrauliques sur site, qui contient éléments électroniques et de plomberie usuels au bon fonctionnement des unités thermodynamiques, ballons.
- Un poste de traitement d'eau, qui assure protection contre les risques de corrosion, d'embouage et d'entartrage
- Un coffret de régulation et de télécommande.

Le générateur doit être connecté à un réseau ECS bouclé, dont les circulateurs sont à débit variable.

Si le générateur inclue la récupération sur fumées de chaudières, les chaudières sur lesquels les fumées sont récupérées doivent être de type classique ou à condensation avec un retour de température haute et un retour de température basse. La récupération de chaleur s'effectue sur le retour de température haut.

2. Champ d'application

Le Titre V AmiensPAC est applicable pour les types de bâtiment suivant :

- Bâtiment à usage d'habitation - logements collectifs
- Hébergement
- Etablissements sanitaires avec hébergement, avec blanchisserie ou sans blanchisserie
- Hôtellerie de 1 à 4*, avec ou sans blanchisserie

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

Le système AmiensPAC est modélisé par la méthode suivante. Suivant la configuration du système AmiensPAC du projet, la modélisation fait appel ou non à l'ensemble des éléments présentés.

3.1 NOMENCLATURE DU MODÈLE

Entrées – Valeurs opérés par d'autres modules				
Nom	Description	Unité	Intervalle	Def.
$\theta_{\text{eau froide}} (m)$	Température de l'eau froide de ville	°C		
$\theta_{\text{extérieure}}(m)$	Température extérieure	°C		
$V_{\text{uw}} (L)$	Volume mensuel puisé	L		

Paramètres du module				
Nom	Description	Unité	Intervalle	Def.
nbre_lgt	Nombre de logements de type T3 équivalents desservis, selon Th-CE ex	-	$[0, +\infty[$	-
SHAB	Surface habitable totale du projet	m ²	$[0, +\infty[$	-
Zone géographique	Zone géographique au sens de la RT Existant : H1a – H1b – H1c – H2a – H2b – H2c – H2d – H3			
Altitude	Altitude du projet	m	$[0, +\infty[$	-
$V_{\text{ballon PAC}}$	Volume du ballon de préchauffage (40°C) du côté de la PAC	L	$[0, +\infty[$	-

$Q_{pr_{ballon\ PAC}}$	Qpr du ballon de préchauffage (40°C) du côté de la PAC	kWh/24h	[0, +∞[-
$V_{ballon\ cogé}$	Volume du ballon de stockage (70°C) du côté de la mini-cogénération	L	[0, +∞[-
$Q_{pr_{ballon\ cogé}}$	Qpr du ballon de stockage (70°C) du côté de la mini-cogénération	kWh/24h	[0, +∞[-
$N_{unités\ thermo}$	Nombre d'unités thermodynamiques installées	-	[0, +∞[-
HeuresCreuses	Indique pour la PAC s'il y a prise en compte des heures creuses ou non	-	[0 ; 1]	-
Régulation_compresseur	Indique le mode de fonctionnement du compresseur : 0 – On/Off 1 – Inverter	-	[0 ; 1]	-
$Débit_{condenseur\ PAC}$	Débit au condenseur de la PAC	m ³ /h	[0, +∞[-
COP (35°C / 7°C)	Valeur du COP pour la machine PAC Air/Eau selon la norme EN14-511.	-	[0, +∞[-
$P_{abs} (35°C / 7°C)$	Valeur de la Puissance absorbée pour la machine PAC Air/Eau selon la norme EN14-511.	kW	[0, +∞[-
Type_échangeur	Indique le type d'échangeur : 0 – Ballon à serpentin 1 – Echangeur à plaque 2 – Ballon en bain marie	-	[0 ; 1 ; 2]	
$P_{ncogé}$	Puissance nominale thermique de la mini-cogénération	kW	[0, +∞[-
$R_{pn_cogé}$	Rendement thermique à pleine charge à 70°C du système de cogénération	%	[0, 100]	-
$R_{élec}$	Rendement électrique de la mini-cogénération en régime établi	%	[0, 100]	-
Q_{varep}	Débit d'air extrait par la VMC, selon Th-CE ex	m ³ /h	[0, +∞[-
H_T	Coefficient de déperdition par transmission entre le volume chauffé d'une part et l'extérieur, le sol et les locaux non chauffés d'autre part, selon Th-CE ex	W/K	[0, +∞[-
H_v	Coefficient de déperdition par renouvellement d'air du bâtiment, selon Th-CE ex	W/K	[0, +∞[-
$C_{chauffage}$	Consommation conventionnelle d'énergie pour le chauffage du bâtiment hors la consommation conventionnelle des auxiliaires de distribution et de génération de chaleur	kWh / m ² .an	[0, +∞[-

	pour le chauffage et hors la consommation conventionnelle des ventilateurs locaux pour le chauffage, selon Th-CE ex			
Rpn	Rendement des chaudières gaz sur PCI à 100% de charge pour une température d'eau de 70 °C, selon Th-CE ex	%	[0, 100]	-

Sorties				
Nom	Description	Unité	Intervalle	Def.
C _{ECS}	Consommation d'énergie primaire pour le poste ECS après prise en compte du système AmièsPAC, selon Th-CE ex	kWh EP / m ² SRT.an	[0, +∞[-
Gain	Gain en pourcentage par rapport au cas initial en mini-cogénération seule.	%	[0 , 100]	-

Variables internes				
Nom	Description	Unité	Intervalle	Def.
T _{ballon cogé}	Température de stockage du ballon de stockage situé du côté de la mini-cogénération	°C	[60 ;80]	-
θ _{amont}	Température de source amont de la PAC	°C	[0, +∞[-
C _{PAC}	Consommation d'énergie finale par la PAC pour le préchauffage à 40°C de l'ECS, selon le Titre V ECS Thermodynamique en RT-Ex.	kWh EF / m ² .an	[0, +∞[-
C _{cogé}	Consommation d'énergie finale par la mini-cogénération pour la production d'ECS à 70°C, selon le Titre V Mini-cogénération en RT-Ex.	kWh EF / m ² .an	[0, +∞[-
C _{cogé_f}	Consommation d'énergie finale de la mini-cogénération pour élever la température de l'eau de 40°C à 80°C .	kWh EF / m ² .an	[0, +∞[-
R_conv_ECS_cogé	Rendement moyen annuel conventionnel d'ECS, du Titre V mini-cogénération RT-Ex	%		
Qp0-cogé	Pertes à l'arrêt, du Titre V mini-cogénération RT-Ex	kW	[0, +∞[-
Qp0_30-cogé	Pertes à l'arrêt pour un écart de 30°C du système de cogénération, selon l'équation 1188 de la méthode Th-BCE	kW	[0, +∞[-
Dur_ECS	Durée annuelle de fonctionnement de l'ECS pour la mini-cogénération, selon Th-CE ex	h	[0, +∞[-

Dur_vac-ECS	Durée de fonctionnement de l'ECS ramenée à la durée annuelle de vacances, selon Th-CE ex	h	[0, +∞[-
$E_{cogé-ECS}$	Production électrique de la mini-cogénération, selon le Titre V Mini-cogénération en RT-Ex en production ECS, du Titre V mini-cogénération RT-Ex	kWh EF / m ² .an	[0, +∞[-
Part_cogé	Part des besoins ECS assurée par la cogénération	%	[0, 100]	-
$E_{fchauff}(m)$	Besoin en chauffage rapporté au mois pour atteindre une température ambiante de 20°C, selon Th-CE ex	kWh	[0, +∞[-
P_enfournée	Puissance de gaz nécessaire à la couverture du besoin de chauffage mensuel.	kW	[0, +∞[-
Volume_gaz_nat	Volume de gaz naturel PCS nécessaire pour obtenir P_enfournée	Nm ³	[0, +∞[-
Chaleur récupérable	Chaleur récupérable en PCI après combustion PCS des chaudières.	°C	[0, +∞[-
Rapport de dilution	Rapport de dilution entre le débit d'air requis par l'AmièsPAC et le débit d'extraction de la VMC.	%	[0, 100]	-
V _{Amiès total}	Débit d'air total en source amont le l'AmièsPAC.	m ³ /h	[0, +∞[-

Constantes				
Nom	Description	Unité	Intervalle	Def.
V _{AmièsPAC}	Débit d'air en source amont pour 1 unité thermodynamique	m ³ /h	-	4500
ρ_w	Masse volumique de l'eau	kg/L	-	1
C_w	Capacité calorifique massique de l'eau	Wh/(kg.K)	-	1,163
PCI	Pouvoir calorifique inférieur	kWh/Nm ³	-	10,2
PCS	Pouvoir calorifique supérieur	kWh/Nm ³	-	11,5
Rendement condenseur	Rendement du condenseur	%	-	90
Part_PAC	Part des besoins ECS assurée par la PAC (%)	%	-	0
T _{amb hors volume chauffé}	Température ambiante du système hors volume chauffé	°C	-	10
T _{ballon PAC}	Température de stockage du ballon de préchauffage situé du côté de la PAC	°C	-	40

3.2 PRINCIPE DE CALCUL

Le calcul des consommations énergétiques énergie primaire (kWh_{ep}/m².an) de l'ECS s'effectue de la façon suivante :

$$C_{ECS} = Part_{cogé} \times C_{cogé} + Part_{PAC} \times C_{PAC}$$

Avec

- $Part_{cog\acute{e}}$: part des besoins ECS assurée par la cogénération (%) ;
- $Part_{PAC}$: part des besoins ECS assurée par les PAC (%) ;
- $C_{cog\acute{e}}$: consommation d'énergie primaire de la cogénération, elles sont obtenues avec le calcul Th C-E ex ;
- C_{PAC} : consommation d'énergie primaire des PAC, elles sont constituées de l'énergie consommée par la pompe à chaleur et celles des auxiliaires (pompes évaporateur et condenseur).

3.2.1 Calcul de C_{PAC}

Pour déterminer la consommation énergétique des PAC, la méthode développée dans le Titre V système ECS thermodynamique de la RT ex est appliquée.

La consommation C_{PAC} est la consommation électrique des pompes à chaleur pour élever la température de l'eau de ville à 40°C. Elle intègre les pertes des ballons de stockage et n'intègre pas les consommations de la cogénération.

3.2.2 Calcul de $C_{cog\acute{e}}$

La consommation énergétique $C_{cog\acute{e}f}$ est la consommation de gaz de la cogénération pour élever la température de l'eau de 40°C à 80°C. Elle intègre les pertes de stockage du ballon primaire et les consommations pour compenser les pertes de distribution du bouclage ECS. Elle n'intègre pas les consommations des PAC.

La consommation $C_{cog\acute{e}}$ est déterminée à partir de la méthode développée dans le Titre V micro et mini-cogénérations de la RT existant.

Un premier calcul Th-CE ex est effectué, où la mini-cogénération est saisie avec les caractéristiques de l'AmièsPAC. Cette simulation permet de déterminer la consommation d'énergie dans le cas de base « Mini-cogénération seule » pour la production d'ECS. Un post-traitement est effectué afin de prendre en compte le fonctionnement de la Pompe à Chaleur.

3.2.3 Prise en compte des sources amonts

L'AmièsPAC peut prendre en compte, via une batterie de récupération, différents types de sources amonts.

- Récupération sur VMC

Pour connaître l'énergie récupérable sur la VMC et prendre en compte une dilution de l'air, le débit d'air extrait par la VMC Q_{varep} doit être renseigné. Le débit d'air en entrée de l'AmièsPAC est ensuite calculé :

$$V_{Ami\grave{e}s\ total} = Nb_{unit\acute{e}s\ thermodynamiques} \times V_{Ami\grave{e}sPAC}.$$

- Si $V_{Ami\grave{e}s\ total} > Q_{varep}$: un rapport de dilution $\frac{V_{Ami\grave{e}s\ total}}{Q_{varep}}$ est calculé. La température de source amont est donc :

$$\theta_{amont} = \frac{Q_{varep}}{V_{Ami\grave{e}s\ total}} \cdot T_{int} + \left(1 - \frac{Q_{varep}}{V_{Ami\grave{e}s\ total}}\right) \cdot T_{ext\ corrig\acute{e}e}$$

- Si $V_{Ami\grave{e}s\ total} < Q_{varep}$: la température de source amont est donc :

$$\theta_{amont} = T_{int}$$

Où $T_{int} = 20^\circ C$ fixe.

- Récupération sur fumées des chaudières

Pour la récupération sur fumées de chaudières, trois éléments sont demandés sur le bâtiment : H_T en W/K les déperditions par l'enveloppe, H_V les déperditions par la ventilation avec perméabilité en W/K et la consommation de chauffage totale $C_{chauffage}$ en kWh EP/m².

A partir de là, un calcul mensuel est mené.

On calcule d'abord le besoin mensuel en chauffage du bâtiment :

$$E_{f_{chauff}} = (H_T + H_V) \cdot (T_{int} - T_{ext \text{ corrigée}}) \cdot 24 \cdot \frac{Nb_{jour/mois}}{1000}$$

La répartition en pourcentage sur l'année est ensuite calculée puis appliquée au $Cep_{chauffage}$ pour obtenir la puissance de chauffage enfournée, c'est-à-dire achetée du réseau de gaz :

$$P_{enfournée} = \frac{Besoin_{mensuel}}{Besoin_{annuel}} \cdot \frac{C_{chauffage} \cdot SHON}{24 \cdot Nb_{jour/mois}} \cdot \frac{PCS_{gaz}}{PCI_{gaz}}$$

Le volume de gaz naturel est calculé :

$$V_{gaz \text{ naturel}} = \frac{P_{enfournée}}{PCS_{gaz}}$$

Où $PCS \text{ du gaz} = 11.5 \text{ kWh/Nm}^3$

La chaleur récupérable sur les fumées s'exprime donc de la façon suivante :

$$Chaleur_{récupérable} = V_{gaz \text{ naturel}} \cdot (PCS_{gaz} - PCI_{gaz}) \cdot R_{pn}$$

Où $PCI \text{ du gaz} = 10.2 \text{ kWh/Nm}^3$ et R_{pn} le rendement des chaudières gaz.

On obtient donc une élévation de la température extérieure :

$$\Delta T_{fumées} = \frac{Chaleur_{récupérable} \cdot 1000}{V_{Amiès \text{ PAC total}} \cdot 0,34}$$

D'où finalement la température de la source amont si récupération sur les fumées de chaudières :

$$\theta_{amont} = T_{ext \text{ corrigée}} + \Delta T_{fumées}$$

3.2.4 Calcul de $Part_{cogé}$ et $Part_{PAC}$

Pour prendre en compte le fait que la micro-cogénération est dimensionnée pour produire l'électricité nécessaire au fonctionnement de la PAC, nous considérons que l'énergie électrique consommée par les compresseurs est produite par la cogénération, nous devons donc résoudre l'équation suivante :

$$Part_{cogé} \times Prod_{cogé} = C_{PAC} \times (1 - Part_{cogé})$$

Soit :

$$Part_{cogé} = \frac{C_{PAC}}{Prod_{cogé} + C_{PAC}}$$

Et

$$Part_{PAC} = 0$$

La production électrique de la cogénération $Prod_{cogé}$ est déterminée par l'application du Titre V pour la prise en compte des mini-cogénérations dans la RT existant.

On peut alors déterminer la consommation d'ECS en reprenant :

$$C_{ECS} = [Part_{cogé} \times C_{cogé} + Part_{PAC} \times C_{PAC}]$$

Qui devient :

$$C_{ECS} = Part_{cogé} \times C_{cogé}$$

$Part_{cogé}$ devient ainsi un facteur de réduction de la consommation d'énergie de la mini-cogénération.