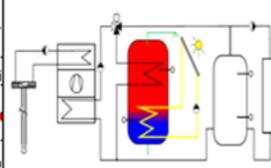


17 juillet 2020

Données concernant le bâtiment			
Station climatique:			Zürich SMA
Catégorie d'ouvrage			Habitat collectif
Surface de référence énergétique SRE	$A_E$	$m^2$	590
Besoins de chaleur pour le chauffage selon SIA 380/1	$Q_{h,eff}$	MJ/m2a	97
Déperditions par transmission selon SIA 380/1	$Q_T$	MJ/m2a	169
Déperditions par renouvellement d'air selon SIA 380/1	$Q_V$	MJ/m2a	53
Chauffage: pertes supplémentaires de distribution de chaleur		%	5%
Durée de coupure d'alimentation de la PAC		h/d	3
Puissance de chauffage nécessaire sans ECS à $-8^\circ C$	valeur proposée:	kW	12.3
Besoins de chaleur pour l'ECS selon SIA 380/1	$Q_{uu}$	MJ/m2a	93.8
Eau chaude sanitaire: pertes supplémentaires d'accumulation et de distribution		%	25%

Installation de pompe à chaleur		Entrées en bas	
Nom et type de PAC			
Source de chaleur:			Pompe à chaleur sol/eau une vitesse
Utilisation (chauffage ou eau chaude sanitaire)			Chauffage-ECS
Accumulateur de chaleur			avec accumulateur chauffage
Mode de fonctionnement de la PAC			avec chauffage électrique de secours
Commande de l'appoint électrique de chauffage			Registre électrique instantané
Température de la source (entrée PAC)	$^\circ C$		0
Valeurs de calcul pour $T_{dép} 35^\circ C$ (Qh/COF)	$^\circ C$		20.2kW / 4.5
Puissance de chauffe pour $T_{dép} 35^\circ C$	kW		20.2
COF à la température de départ $35^\circ C$	-		4.5
Puissance de chauffe pour $T_{dép} 55^\circ C$	kW		18.6
COF à la température de départ $55^\circ C$	-		2
Puissance électrique soutirée par pompe saumure	valeurs de calcul sans évaporateur	0	W
Sondes géothermiques:	Nombre:	2	Longueur: m
			180
Température de dimensionnement des sondes (optionnel, calcul externe)	$T_f$	$^\circ C$	
Capacité de l'accumulateur chauffage		Litres	1000
Température cible du local le plus chaud (p.ex. salle de bains)	$T_{i,soll}$	$^\circ C$	24
Température de départ du chauffage: ( $T_a = -8^\circ C$ )	$T_{Dep}$	$^\circ C$	35
Température de retour du chauffage: ( $T_a = -8^\circ C$ )	$T_{Ret}$	$^\circ C$	20
Différence de température accu - départ chauffage	$dT_{accu}$	$^\circ C$	0

## Méthode de calcul PACesti

## Manuel avec exemples version 8.

Arthur Huber, dipl. Ing. ETH, Martin Stalder, dipl. Ing. FH

Traduction française : Pierre-André Sepey, ing. dipl. HES, HES-SO Valais – 4 mars 2022

## Table des matières

1	Introduction .....	5
1.1	Description de l'outil .....	5
1.2	Objectif .....	5
1.3	Modifications par rapport à la version 2.0 .....	6
1.4	Matériel et configuration requise .....	6
2	L'application : saisie des données .....	7
2.1	Feuille «WP» .....	7
2.2	Feuille «Spez» .....	9
2.3	Report dans le formulaire de demande MINERGIE .....	10
3	Exemples .....	11
3.1	MINERGIE - REFH solaire passif avec PAC à sondes géothermiques .....	11
3.1.1	Données caractéristiques du bâtiment issues du calcul SIA 380/1 .....	11
3.1.2	Saisie des données de la pompe à chaleur à partir de la liste des PAC ..	12
3.1.3	Saisie directe des données de la pompe à chaleur .....	13
3.1.4	Saisie des données de la pompe à chaleur sur la feuille «Spez» .....	14
3.1.5	Feuille de résultats .....	17
3.2	MINERGIE solaire passif - REFH avec PAC air-eau .....	18
3.2.1	Données caractéristiques du bâtiment issues du calcul SIA 380/1 .....	18
3.2.2	Saisie des données de la pompe à chaleur à partir de la liste des PAC ..	19
3.2.3	Saisie directe des données de la pompe à chaleur .....	20
3.2.4	Saisie des données de la pompe à chaleur sur la feuille « Spez » .....	21
3.2.5	Feuille de résultats .....	23
3.3	PAC air-eau avec chauffage solaire d'appoint .....	24
3.3.1	Données caractéristiques du bâtiment issues du calcul SIA 380/1 .....	24
3.3.2	Saisie des données de la pompe à chaleur à partir de la liste des PAC ..	25
3.3.3	Feuille de résultats .....	26
3.4	Pompe à chaleur sur l'air extrait .....	27
3.4.1	Données caractéristiques du bâtiment issues du calcul SIA 380/1 .....	27
3.4.2	Saisie des données de la pompe à chaleur sur la feuille « Spez » .....	28
3.4.3	Feuille de résultats .....	29
3.4.4	Saisie des données de la PAC avec des valeurs extrapolées .....	30
3.5	Maison individuelle avec pompe à chaleur Inverter .....	32
3.5.1	Données caractéristiques du bâtiment issues du calcul SIA 380/1 .....	32
3.5.2	Conditions limites pour les pompes à chaleur Inverter .....	33
3.5.3	Saisie directe des données de la pompe à chaleur .....	36
3.5.4	Feuille de résultats .....	37
3.6	Bâtiment administratif avec PAC sur nappe phréatique .....	38
3.6.1	Données caractéristiques du bâtiment issues du calcul SIA 380/1 .....	38
3.6.2	Saisie directe des données de la pompe à chaleur feuille « WP » .....	39

3.6.3	Saisie des données de la pompe à chaleur sur la feuille « Sepz ».....	40
3.6.4	Feuille de résultats .....	42
3.7	Habitat collectif avec pompes à chaleur décentralisées pour eau chaude sanitaire	43
3.7.1	Kenndaten Gebäude aus der Berechnung SIA 380/1 .....	43
3.7.2	Caractéristiques techniques et de fonctionnement des PAC .....	43
3.7.3	Saisie des données de la PAC sur les feuilles « Spez » et « WP » .....	44
4	Validation des exigences avec PACesti .....	46
4.1	Chauffages électriques de secours .....	46
4.2	Calcul du COPa y compris appoints électriques.....	46
5	Description des modèles.....	47
5.1	Systèmes de pompes à chaleur .....	47
5.2	Puissance de chauffage et besoins de chauffage .....	49
5.2.1	Méthode Bin selon la norme SIA 384/3 .....	49
5.2.2	Puissance de chauffage.....	49
5.3	Températures de départ des pompes à chaleur .....	50
5.3.1	Températures de départ pour les pompes à chaleur air-eau .....	50
5.3.2	Températures de départ pour les pompes à chaleur sol-eau.....	50
5.4	Eau chaude.....	51
5.4.1	Puissance requise pour l'eau chaude .....	51
5.4.2	Puissance requise pour l'eau chaude .....	51
5.4.3	Bandes chauffantes et circulation d'eau chaude.....	51
5.4.4	Mode de fonctionnement anti-légionellose .....	51
5.5	Modèles d'accumulateurs de chauffage.....	52
5.5.1	Considérations de base .....	52
5.5.2	Accumulateur combiné .....	52
5.5.3	Pertes de l'accumulateur de chauffage.....	53
5.6	Pompe à chaleur décentralisée pour l'ECS .....	54
5.7	Pertes.....	55
5.7.1	Pertes de production de chaleur .....	55
5.7.2	V Pertes de production d'eau chaude.....	55
5.8	Définition des coefficients de performance COPa .....	56
5.8.1	Calcul du COPa dans PACesti .....	56
5.8.2	Calcul du COP dans JAZcalc / Autriche (sans installation solaire) .....	56
5.8.3	Calcul du JAZ en JAZcalc /Autriche (avec installation solaire).....	56
5.9	Modèle pour les PAC à sondes géothermiques .....	57
5.9.1	Calcul du COP avec un degré d'efficacité constant.....	57
5.9.2	Pompes de source (nappe) et de sonde.....	58
5.10	Modèles pour les pompes à chaleur air-eau.....	59
5.10.1	Calcul avec un degré d'efficacité constant .....	59
5.10.2	Points de fonctionnement nécessaires pour la PAC air-eau .....	59
5.10.3	Détermination des points de fonctionnement manquants .....	60
5.10.4	Calcul du point de fonctionnement réel de l'installation.....	61

5.10.5	Points de fonctionnement pour les caractéristiques des PAC dans la feuille « Spez »	62
5.11	Entrées sur la feuille « Spez » des besoins auxiliaires	63
5.11.1	Pompe de la source	64
5.11.2	Pompe de l'évaporateur	65
5.11.3	Pompe du condenseur	66
6	Symboles	67
6.1	Symboles latins	67
6.2	Symboles grecs	68
6.3	Indices	68
7	Références et littérature complémentaire	69
8	Annexes	70
8.1	Méthode Bin	70
8.2	Calcul de la courbe de charge	71
8.2.1	Puissance thermique requise	71
8.2.2	Besoin en chaleur de chauffage des différents Bins	72
8.3	Catégories d'utilisation	77
8.3.1	Catégories d'utilisation dans PACesti	77
8.3.2	Catégories d'utilisation dans JAZcalc (Autriche)	77

# 1 Introduction

## 1.1 Description de l'outil

En 2003, un outil a été développé pour estimer les coefficients de performance annuels (COPa) des pompes à chaleur air-eau et eau glycolée-eau monovalentes, mono-énergétiques et bivalentes : l'outil Excel PACesti (PAC pour pompes à chaleur et esti pour estimation). Il permet de déterminer le COPa et le taux de couverture de la pompe à chaleur.

Dans la version actuelle, V8, la méthode de calcul a été adaptée à la norme SIA 384/3 [1]. De plus, une plus grande importance a été accordée aux accumulateurs et à la régulation car ils ont une influence importante sur le COPa. Une base de données des pompes à chaleur a également été intégrée et peut être utilisée en option. La source des données pour cette base de pompes à chaleur est le Groupement professionnel Suisse pour les Pompes à chaleur (GSP, [www.fws.ch](http://www.fws.ch)). Cette association est également responsable de la mise à jour régulière des données sur les pompes à chaleur. Le modèle solaire de MINERGIE est également disponible.

Le programme contient différentes feuilles qui peuvent être affichées ou masquées en utilisant le bouton droit de la souris sur la désignation de la feuille (à partir d'Excel 2007). Par exemple, la feuille « *JAZcalc* » est disponible pour les calculs selon les exigences autrichiennes.

Dans la feuille « *WP* » seront saisies toutes les données relatives au bâtiment et les données techniques du système de chauffage. Les résultats des calculs sont également indiqués sur la feuille « *WP* ». Pour fournir des informations plus spécifiques, il est également possible d'utiliser la feuille « *Spez* » comme feuille de saisie. Une sortie graphique des résultats est représentée dans la feuille « *Graphik* ».

## 1.2 Objectif

Pas d'inconnues

L'objectif de PACesti est de calculer le coefficient de performance d'une installation de pompe à chaleur uniquement à l'aide de valeurs caractéristiques disponibles à un stade précoce de la planification (basées sur la norme SIA 380/1 et sur les valeurs de mesure des laboratoires d'essai). Contrairement aux approches utilisées auparavant, ce n'est pas la méthode de calcul elle-même qui doit être simplifiée au maximum, mais les données d'entrée nécessaires. Le besoin de puissance est calculé à partir des paramètres suivants : besoins de chaleur pour le chauffage, pertes par transmission et par ventilation et, en option, puissance calorifique. Ces 4 valeurs caractéristiques permettent de définir le comportement en charge d'un bâtiment pour un site donné. Une approche empirique permet d'adapter l'influence du climat local.

Bâtiments conventionnels et solaires passifs

La différence de cette méthode par rapport à d'autres approches similaires réside dans le fait qu'elle permet de saisir le comportement de bâtiments aussi bien passifs que conventionnels. L'amélioration des résultats est surtout visible pour les

COPa sans chauffage d'appoint

installations mono-énergétiques et bivalentes, car dans ce cas, un éventuel écart par rapport au modèle doit être multiplié par la différence de taux d'utilisation.

Pour la définition du coefficient de performance annuel (COPa), on applique une délimitation usuelle. Les chauffages d'appoint, qu'ils soient électriques ou fonctionnent avec une autre source d'énergie, font certes partie du taux d'utilisation, mais pas du COPa de l'installation. Par-contre, pour un calcul du taux d'utilisation, le taux de couverture du chauffage d'appoint est donc également calculé. En attendant de disposer de meilleurs modèles, les pertes de production sont généralement prises en compte dans le COP.

Cependant, dans la version autrichienne, le coefficient de performance (COPa) est toujours calculé avec un chauffage d'appoint électrique (mais sans la part fossile éventuellement présente).

COPa<sub>ww</sub> et COPa<sub>h</sub>

Pour le COPa, une distinction est faite entre un mode eau chaude sanitaire et un mode chauffage. En outre, un facteur de pondération pour chauffage et un facteur de pondération pour l'eau chaude sanitaire (part pour l'ECS) sont calculés.

### **1.3 Modifications par rapport à la version 2.0**

Par rapport à la version 2.0, les améliorations suivantes ont notamment été implémentées :

- Il est possible de saisir des données relatives à la pompe à chaleur de différentes manières, notamment en se référant directement à une liste de pompes à chaleur existantes.
- Les pompes du condenseur et de l'évaporateur peuvent être indiquées séparément si elles ne sont pas encore incluses dans le COP.
- Une feuille de calcul supplémentaire pour les bâtiments situés en Autriche est incluse dans la dernière version du PACesti.
- Les différents systèmes de pompes à chaleur sont représentés schématiquement.

### **1.4 Matériel et configuration requise**

Matériel : PC avec Windows ou Macintosh

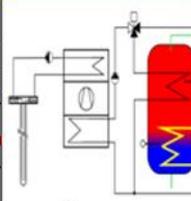
Logiciel : Excel 2010, 2011, 2013, 2016 ou 2019

Installation : aucune installation n'est nécessaire, il suffit d'ouvrir le fichier avec une version Excel compatible.

## 2 L'application : saisie des données

### 2.1 Feuille «WP»

Cet onglet permet de saisir toutes les caractéristiques du bâtiment et de décrire le système de pompe à chaleur. En cas d'installation d'un système solaire, les paramètres sont également saisis ici. Les résultats sont présentés en bas de la feuille.

Données concernant le bâtiment				
Station climatique:			choisir ->	1
Catégorie d'ouvrage			choisir ->	
Surface de référence énergétique SRE	choisir ->	$A_E$	m <sup>2</sup>	
Besoins de chaleur pour le chauffage selon SIA 380/1	choisir ->	$Q_{T,eff}$	MJ/m2a	1.1
Déperditions par transmission selon SIA 380/1	choisir ->	$Q_T$	MJ/m2a	
Déperditions par renouvellement d'air selon SIA 380/1	choisir ->	$Q_V$	MJ/m2a	
Chauffage: pertes supplémentaires de distribution de chaleur			%	
Durée de coupure d'alimentation de la PAC			h/d	
Puissance de chauffage nécessaire sans ECS à °C			kW	1.2
Besoins de chaleur pour l'ECS selon SIA 380/1		$Q_{sw}$	MJ/m2a	
Eau chaude sanitaire: pertes supplémentaires d'accumulation et de distribution			%	
Installation de pompe à chaleur		2.1	Liste des PAC	2.2
Nom et type de PAC		Hersteller:	2.2	2
Source de chaleur:		Typ:		
Utilisation (chauffage ou eau chaude san)		Pompe à chaleur sol/eau une vitesse	2.3	
Accumulateur de chaleur		Chauffage+ECS		
Mode de fonctionnement de la PAC		sans accumulateur chauffage		
		fonctionnement chauffage monovalent		
Température de la source (entrée PAC)	°C			
Valeurs de calcul pour T <sub>dép</sub> 35°C(Q <sub>h</sub> /CO <sub>2</sub> )	°C			
Puissance de chauffe pour T <sub>dép</sub> 35°C	kW			2.4
COP à la température de départ 35°C	-			
Puissance de chauffe pour T <sub>dép</sub> 55°C	kW			
COP à la température de départ 55°C	-			
Puissance électrique soutirée par pompe saumu			W	2.5
Sondes géothermiques:	Nombre:		Longueur:	m
				°C
				2.6
Température cible du local le plus chaud (p.ex. salle de bains)	choisir ->	T <sub>i,soll</sub>	°C	
Température de départ du chauffage: (T <sub>a</sub> = -8°C)	choisir ->	T <sub>Dep</sub>	°C	
Température de retour du chauffage: (T <sub>a</sub> = -8°C)	choisir ->	T <sub>Ret</sub>	°C	
Type d'appoint électrique pour ECS:	choisir ->			2.7
Température ECS garantie sans appoint électrique:	choisir ->		°C	
Température ECS avec postchauffage électrique:	choisir ->		°C	
Circulation d'ECS / câble chauffant	choisir ->			

Les données générales du bâtiment sont saisies dans la section 1. Ces valeurs peuvent être tirées du résultat d'un calcul 380/1. Les champs avec un coin rouge contiennent des explications et des définitions. Le texte apparaît dès que le curseur est placé sur ce champ.

L'unité des valeurs saisies peut être changée en kWh/m<sup>2</sup>a dans le champ 1.1.

Conformément à la norme SIA 384/3, le besoin en puissance de chauffage du bâtiment à la température de référence de la station météorologique (sans eau chaude, sans prise en compte des temps de blocage de la pompe à chaleur, mais y compris les pertes de distribution) est calculé dans le programme PACesti et affiché comme « valeur par défaut ». Elle se réfère toujours à une température ambiante de 20°C. La valeur de saisie de la puissance de chauffage dans le champ 1.2 est donc une grandeur purement indicative sans influence sur le processus de calcul.

La section 2 permet de saisir les informations sur la PAC. Dans le champ 2.1, on peut choisir "Entrée en bas", les données sont saisies à partir du champ 2.4. Il est également possible de sélectionner l'option « Liste PAC » ou « Entrées dans Spez ». L'option « Liste PAC » nécessite de remplir dans le champ 2.2. Il est alors possible de choisir dans une liste de PAC dont les caractéristiques y sont enregistrées. Pour calculer avec l'option « Saisie » dans « Sepz », la feuille « Spez » doit être remplie. A partir du champ 2.3, des indications sur le système de pompe à chaleur sont définies au moyen d'un menu déroulant. Le choix de la régulation de la pompe à chaleur (champ 2.3) n'a d'influence que si les données de la feuille « Spez » sont utilisées et si d'autres indications y sont données.

Au point 2.4, la puissance de chauffage et le COP peuvent être indiqués si l'option « Entrée en bas » a été sélectionnée. La puissance électrique absorbée par la pompe de la sonde n'est pas incluse dans le COP et est donc indiquée séparément dans le champ 2.5 ou elle peut être saisie de manière plus détaillée dans la feuille « Spez ». Les données caractéristiques du réservoir de chauffage, des températures de départ et de retour sont indiquées au point 2.6. Si la différence entre  $T_{i,soll}$  et la température de retour est inférieure à 4 K, la température de retour est corrigée vers le haut. Si un chauffage électrique d'appoint est nécessaire pour chauffer l'eau chaude, la saisie se fait au point 2.7.

Installation solaire		Eau chaude sanitaire ECS + chauffage 3	
Surface des absorbeurs		m2	
orientation / inclinaison des collecteurs	Azimut [°]:	Pente [°]:	
Apport net par m2 d'absorbeur	valeur proposée: 0.0	kWh/m2a	
Altitude par rapport au niveau de la mer		m	
Taux de couverture solaire pour l'ECS	$\epsilon =$	%	0.0%
Taux de couverture solaire pour le chauffage	$\epsilon =$	%	0.0%

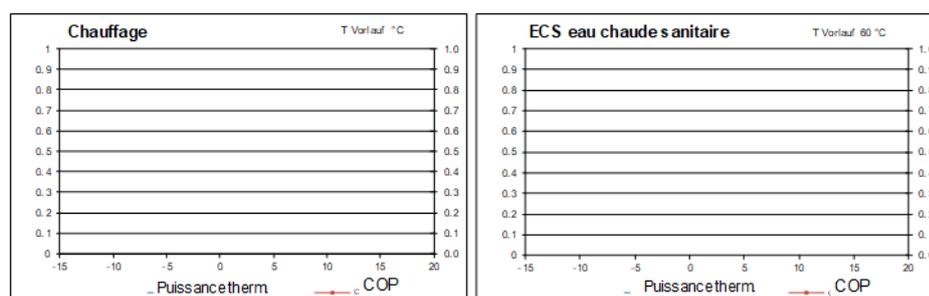
Résultats 4			
			0
Pertes en mode chauffage (démarrage, accumulateur, etc.)	2%	Etah =	98%
Pertes en mode préparation d'ECS (démarrage, accumulateur, etc.)	6%	Etaw =	94%
Durée de fonctionnement de la pompe à chaleur		h / a	
Part et COP annuel de la pompe à chaleur pour le chauffage	$\epsilon =$	JAZ <sub>h</sub> =	
Part et COP annuel de la pompe à chaleur pour l'ECS	$\epsilon =$	JAZ <sub>ms</sub> =	
COP annuel pour chauffage et ECS (COPa [ch+ECS])	exkl. el. Zusatz	-	

L'installation solaire thermique peut être spécifiée dans la section 3. Pour cela, il faut saisir la surface, l'angle d'inclinaison, l'azimut et l'altitude.

Les résultats sont présentés dans la section 4. Ces résultats peuvent être reportés dans le formulaire de demande MINERGIE.

## 2.2 Feuille «Spez»

Données de la PAC						5
Nom et type de PAC						
Données de puissance de la PAC		Pompes :		Condenseur	Evaporateur	5.1
Données introduites en ordre croissant selon la température de la source						
Chauffage	T Dep °C	Température de la source de	°C			5.2
		Puissance therm	kW			
	T Dep °C		COP	-		
ECS eau chaude sanitaire	T Dep °C	Température de la source de	°C			
		Puissance therm	kW			
	T Dep 60 °C		COP	-		



Pompe de la source				5.3
Nom et type de la pompe				
Courant absorbé de la pompe à plein régime	Valeur de calcul	0	W	
Perte de charge dynamique à plein régime			kPa	
Débit à plein régime			m³/h	
Hauteur statique			m	
Mode d'exploitation				
Régulation				

Pompe de l'évaporateur ou ventilateur				5.4
Nom et type de la pompe				
Courant absorbé de la pompe / ventilateur à plein régime	Valeur de calcul	0	W	
Perte de charge à l'évaporateur	Valeur estimée	25	kPa	
Débit à l'évaporateur	Valeur estimée selon feuille PAC	0.0	m³/h	
Mode d'exploitation				
Régulation				

Pompe au condenseur				5.5
Nom et type de la pompe				
Courant absorbé par la pompe P1 à plein régime (seule la part du condenseur)	Valeur de calcul	25	W	
Perte de charge nominale au condenseur	Valeur effective	20.0	kPa	
Débit nominal au condenseur	Valeur estimée selon feuille PAC	0.00	m³/h	
Mode d'exploitation				
Régulation				

Dans la section 5, les spécifications individuelles de chaque pompe à chaleur sont saisies si l'option « Saisie » dans « Spez » est sélectionnée, comme expliqué dans la section précédente. Si une autre option est sélectionnée, aucune saisie ne peut être effectuée ici.

Au point 5.1, il est possible d'indiquer si la pompe du condenseur et de l'évaporateur sont déjà comprises dans le COP. Si ce n'est pas le cas, ils peuvent être spécifiés plus précisément aux points 5.4 et 5.5 respectivement. Au point 5.2, le COP et la puissance de chauffage sont indiqués pour des températures de la source froide données. Les températures de la source froide sont introduites par ordre croissant, de gauche à droite. Au moins deux entrées doivent être saisies à chaque fois pour des températures différentes de la source froide. Au point 5.3,

les données relatives aux pompes sont indiquées à pleine charge. La hauteur statique est la partie de la hauteur de refoulement entre le niveau du liquide à l'aspiration et le niveau du liquide au refoulement.

### 2.3 Report dans le formulaire de demande MINERGIE

Les résultats du calcul du PACesti peuvent être directement reportés dans le formulaire de demande de label MINERGIE.

Feuille PACesti «WP»

Résultats			
Part d'énergie électrique pour le chauffage	$\epsilon =$	kWh =	0
Part d'énergie électrique pour l'ECS	$\epsilon =$ 5.0%	kWh =	92
Pertes en mode chauffage (démarrage, accumulateur, etc.)	2%	Etah =	98%
Pertes en mode préparation d'ECS (démarrage, accumulateur, etc.)	6%	Etaw =	94%
Durée de fonctionnement de la pompe à chaleur		h / a	1 371
Part et COP annuel de la pompe à chaleur pour le chauffage	$\epsilon =$ 100.0%	JAZ <sub>h</sub> =	3.88
Part et COP annuel de la pompe à chaleur pour l'ECS	$\epsilon =$ 95.0%	JAZ <sub>w</sub> =	2.76
COP annuel pour chauffage et ECS (COPa [ch+ECS])	y compris el. add.		3.52

Demande MINERGIE Feuille « Justificatif »

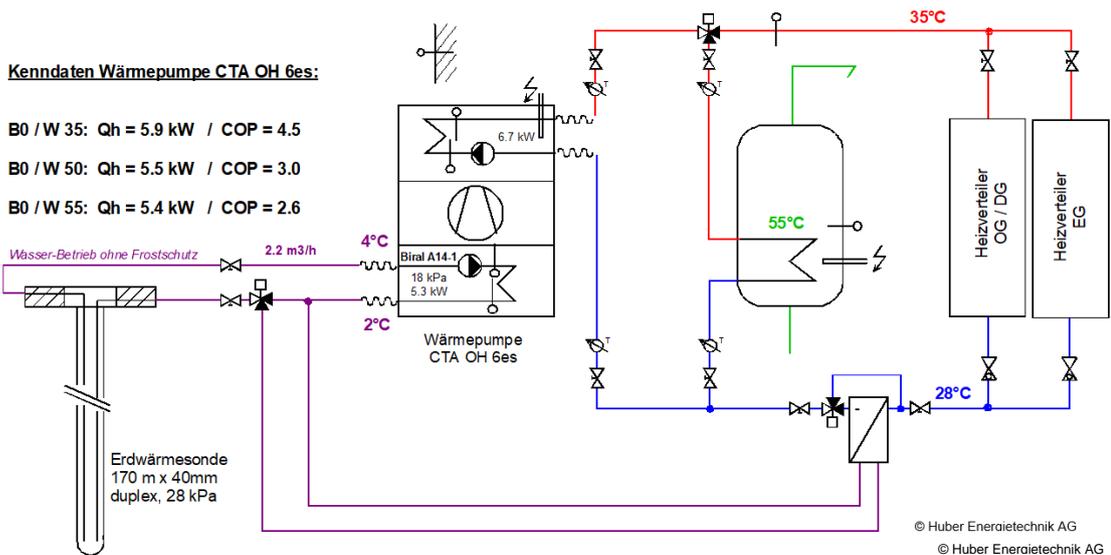
N°	Production de chaleur:	Rendement / COPa		Taux de couverture [%]	
		Entrée	valeur calculée	Chauffage	Eau chaude
N7	<b>Production de chaleur A</b>				
N8	<b>Pompe à chaleur géothermique, que chauffage</b>	3.88	3.88	100.0	
N9	Longueur totale de toutes les sondes [m]				
N10					
N11	<b>Production de chaleur B</b>				
N12	<b>Pompe à chaleur géothermique, qu'eau chaude</b>	2.76	2.76		95.0
N13	Longueur totale de toutes les sondes [m]				
N14					
N15	<b>Production de chaleur C</b>				
N16	<b>Chauffe-eau électrique</b>	1.00	0.95		5.0
N17					
N18					
N19	<b>Production de chaleur D</b>				
N20					
N21					
N22					
N23	<b>Report autres productions de chaleur</b>				
N24					
N25	Electricité fournie (non pondérée) kWh				
N27	Energie fournie (sans électricité, pondérée) kWh			Taux de couverture total	100.0

### 3 Exemples

#### 3.1 MINERGIE - REFH solaire passif<sup>1</sup> avec PAC à sondes géothermiques

##### 3.1.1 Données caractéristiques du bâtiment issues du calcul SIA 380/1

Lieu	Meisterschwanden (AG)
Surface de référence énergétique SRE ( $A_E$ )	225 m <sup>2</sup>
Besoins de chaleur avec débit d'air standard $Q_h$	170 MJ/m <sup>2</sup>
Besoins de chaleur avec débit d'air effectif $Q_{h,eff}$	136 MJ/m <sup>2</sup>
Pertes par transmission $Q_T$	294 MJ/m <sup>2</sup>
Pertes par aération $Q_V$ avec débit d'air standard	80 MJ/m <sup>2</sup>
Pertes effectives par aération $Q_V$ avec récupération de chaleur	35 MJ/m <sup>2</sup>
Coupure d'alimentation de la PAC (dimensionnement)	aucune
Température minimale de la source froide (sol) sur 50 ans (SIA 384/6)	4°C



<sup>1</sup> Source : Bureau d'architecture FISCHER + ROHNER, architectes diplômés EPF, 5616 Meisterschwanden

### 3.1.2 Saisie des données de la pompe à chaleur à partir de la liste des PAC

Cours PACesti: exemple N°. 1, REFH Meisterschwanden, données de la pompe à chaleur à partir de la liste des PAC

Données concernant le bâtiment			
Station climatique:			Buchs-Aarau
Catégorie d'ouvrage			Habitat individuel
Surface de référence énergétique SRE	$A_E$	m <sup>2</sup>	225
Besoins de chaleur pour le chauffage selon SIA 380/1	$Q_{h,eff}$	MJ/m2a	136
Dépense par transmission selon SIA 380/1	$Q_T$	MJ/m2a	294
Dépense par renouvellement d'air selon SIA 380/1	$Q_V$	MJ/m2a	35
Chauffage: pertes supplémentaires de distribution de chaleur		%	2%
Durée de coupure d'alimentation de la PAC		h/d	0
Puissance de chauffage nécessaire sans ECS à -7°C	valeur proposée: 6.0	kW	
Besoins de chaleur pour l'ECS selon SIA 380/1	$Q_{ww}$	MJ/m2a	60.0
Eau chaude sanitaire: pertes supplémentaires d'accumulation et de distribution		%	20%

Installation de pompe à chaleur		Liste des PAC	Hersteller:	CTA AG
Nom et type de PAC			Typ:	S/W Optiheat OH 16es
Source de chaleur:			Pompe à chaleur sol/eau une vitesse	
Utilisation (chauffage ou eau chaude sanitaire)			Chauffage+ECS	
Accumulateur de chaleur			sans accumulateur chauffage	
Mode de fonctionnement de la PAC			avec chauffage électrique de secours	
Commande de l'appoint électrique de chauffage			Registre électrique instantané	
Température de la source (entrée PAC)	°C			0
Valeurs de calcul pour T <sub>dép</sub> 35°C/(Q <sub>h</sub> /COP)	°C			5.9kW / 4.5
Puissance électrique soutirée par pompe saumure				
			W	75
Sondes géothermiques:	Nombre:	1	Longueur:	m
				170
Température de dimensionnement des sondes (optionnel, calcul externe)		4.0	°C	4
Température cible du local le plus chaud (p.ex. salle de bains)		T <sub>i,soll</sub>	°C	21
Température de départ du chauffage: (T <sub>a</sub> = -8°C)		T <sub>Dep</sub>	°C	35
Température de retour du chauffage: (T <sub>a</sub> = -8°C)		T <sub>Ret</sub>	°C	28
Type d'appoint électrique pour ECS :				mode anti-légionnellose hebdomadaire
Température ECS garantie sans appoint électrique :			°C	55
Circulation d'ECS / câble chauffant		Non disponibles		
Installation solaire				pas d'installation solaire

Résultats			
Part d'énergie électrique pour le chauffage	$\epsilon =$	0.2%	kWh = 19
Part d'énergie électrique pour l'ECS	$\epsilon =$	1.6%	kWh = 62
Pertes en mode chauffage (démarrage, accumulateur, etc.)		4%	Etah = 96%
Pertes en mode préparation d'ECS (démarrage, accumulateur, etc.)		6%	Etaw = 94%
Durée de fonctionnement de la pompe à chaleur			h / a 2 046
Part et COP annuel de la pompe à chaleur pour le chauffage	$\epsilon =$	99.8%	JAZ <sub>h</sub> = 5.13
Part et COP annuel de la pompe à chaleur pour l'ECS	$\epsilon =$	98.4%	JAZ <sub>ww</sub> = 2.70
COP annuel pour chauffage et ECS (COPa (ch+ECS))	exclu el. add.	-	4.04

### 3.1.3 Saisie directe des données de la pompe à chaleur

Cours PACesti: exemple N°. 1, REFH Meisterschwanden, saisie direct des données de la PAC

Données concernant le bâtiment			
Station climatique:			Buchs-Aarau
Catégorie d'ouvrage			Habitat individuel
Surface de référence énergétique SRE	$A_E$	$m^2$	225
Besoins de chaleur pour le chauffage selon SIA 380/1	$Q_{h,eff}$	MJ/m2a	136
Dépense par transmission selon SIA 380/1	$Q_T$	MJ/m2a	294
Dépense par renouvellement d'air selon SIA 380/1	$Q_V$	MJ/m2a	35
Chauffage: pertes supplémentaires de distribution de chaleur		%	2%
Durée de coupure d'alimentation de la PAC		h/d	0
Puissance de chauffage nécessaire sans ECS à -7°C	valeur proposée:	6.0	kW
Besoins de chaleur pour l'ECS selon SIA 380/1	$Q_{ww}$	MJ/m2a	60.0
Eau chaude sanitaire: pertes supplémentaires d'accumulation et de distribution		%	20%

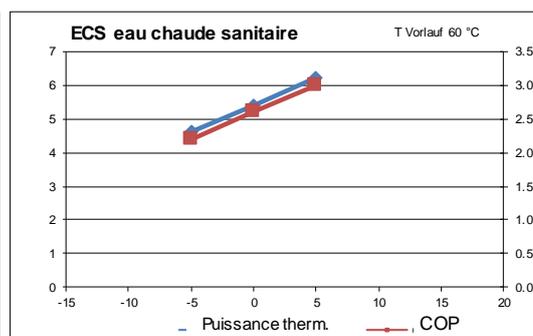
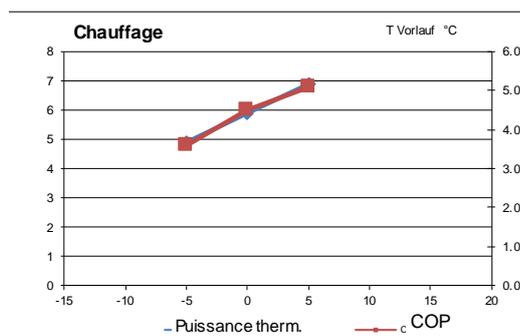
Installation de pompe à chaleur	CTA OH 6es	Entrées en bas		
Nom et type de PAC				
Source de chaleur:				Pompe à chaleur sol/eau une vitesse
Utilisation (chauffage ou eau chaude sanitaire)				Chauffage+ECS
Accumulateur de chaleur				sans accumulateur chauffage
Mode de fonctionnement de la PAC				avec chauffage électrique de secours
Commande de l'appoint électrique de chauffage				Registre électrique instantané
Température de la source (entrée PAC)	°C			0
Valeurs de calcul pour Tdép35°C(Qh/CO2)	°C			5.9kW / 4.5
Puissance de chauffe pour Tdép 35°C	kW			5.9
COP à la température de départ 35°C	-			4.5
Puissance de chauffe pour Tdép 55°C	kW			5.4
COP à la température de départ 55°C	-			2.6
Puissance électrique soutirée par pompe saumure			W	75
Sondes géothermiques:	Nombre:	1	Longueur:	m
Température de dimensionnement des sondes (optionnel, calcul externe)			4.0	°C
				4
Température cible du local le plus chaud (p.ex. salle de bains)			$T_{i,soll}$	°C
Température de départ du chauffage: (Ta = -8°C)			T Dep	°C
Température de retour du chauffage: (Ta = -8°C)			T Ret	°C
				21
				35
				28
Type d'appoint électrique pour ECS :				mode anti-légionnellose hebdomadaire
Température ECS garantie sans appoint électrique :			°C	55
Circulation d'ECS / câble chauffant		Non disponibles		
Installation solaire				pas d'installation solaire

Résultats			
Part d'énergie électrique pour le chauffage	$\epsilon =$	0.2%	kWh = 19
Part d'énergie électrique pour l'ECS	$\epsilon =$	1.6%	kWh = 62
Pertes en mode chauffage (démarrage, accumulateur, etc.)		4%	Etah = 96%
Pertes en mode préparation d'ECS (démarrage, accumulateur, etc.)		6%	Etaw = 94%
Durée de fonctionnement de la pompe à chaleur			h / a 2 046
Part et COP annuel de la pompe à chaleur pour le chauffage	$\epsilon =$	99.8%	JAZ <sub>h</sub> = 5.13
Part et COP annuel de la pompe à chaleur pour l'ECS	$\epsilon =$	98.4%	JAZ <sub>ww</sub> = 2.70
COP annuel pour chauffage et ECS (COPa [ch+ECS])	exclu el. add.		- 4.04

### 3.1.4 Saisie des données de la pompe à chaleur sur la feuille «Spez»

La feuille « Spez » offre une autre possibilité de définir les données caractéristiques de l'installation de pompe à chaleur, y compris les pompes auxiliaires (au lieu de les saisir sur la feuille « WP » ou de les sélectionner dans la liste des pompes à chaleur).

Données de la PAC								
Nom et type de PAC		CTA OH 6es						
Données de puissance de la PAC		Pompes: Consenseur inclus dans le COP Evaporateur inclus dans le COP						
Données introduites en ordre croissant selon la température de la source								
Chauffage	T Dep	Température de la source de	°C	-5	0	5		
	°C	Puissance therm.	kW	4.9	5.9	6.9		
	T Dep 35 °C	COP		3.6	4.5	5.1		
ECS eau chaude sanitaire	T Dep	Température de la source de	°C	-5	0	5		
	°C	Puissance therm.	kW	4.6	5.4	6.2		
	T Dep 55 °C	COP		2.2	2.6	3		

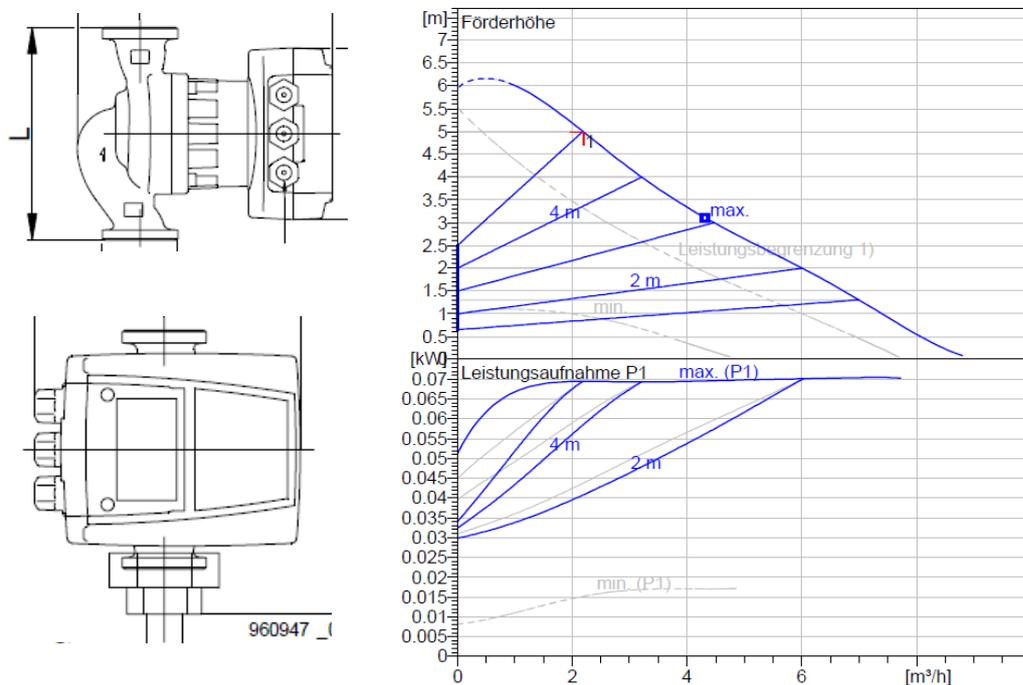


Pompe de la source				
Nom et type de la pompe		Pompe de sonde Biral A 14-1		
Courant absorbé de la pompe à plein régime	Valeur de calcul	75	W	75
Perte de charge dynamique à plein régime			kPa	50
Débit à plein régime			m³/h	2.2
Hauteur statique			m	0
Mode d'exploitation	seulement en exploitation si la PA			
Régulation	une vitesse			

Les petites pompes à chaleur sont aujourd'hui testées sur des bancs d'essai selon la norme EN 14511. Cette norme définit également le COP (rapport entre la chaleur dégagée et l'électricité consommée par la pompe à chaleur). Selon la norme EN 14511, le besoin en électricité des pompes de l'évaporateur et du condenseur pour compenser la perte de pression dans ces éléments fait également partie de la consommation électrique de la PAC. Pour les grandes pompes à chaleur, il est toutefois courant que le coefficient de performance (rapport entre la chaleur dégagée par le condenseur et l'électricité consommée par le compresseur) soit désigné par COP. Sur la feuille « Spez », il faut donc déclarer si le COP indiqué selon EN 14511 comprend déjà le besoin en électricité de la pompe du condenseur et de l'évaporateur, ou si celui-ci doit encore être ajouté. Selon la sélection de ce champ, d'autres valeurs concernant les pompes auxiliaires doivent être définies : pour plus d'informations, voir le chapitre 5.11.

La courbe caractéristique de la pompe à chaleur peut être définie pour une température de départ fixe pour le mode chauffage et pour le mode ECS. La conversion au point de fonctionnement effectif se fait sur cette base selon le chapitre 5.9 ou 5.10.

**Pompe de circulation à sonde Biral A14-1 comme pompe pour sonde :**



Cours PACesti: exemple N° 1, REFH Meisterschwanden, saisie dans l'onglet "Spez"

Voir aussi feuille "Spez"

Données concernant le bâtiment

Station climatique:	Buchs-Aarau		
Catégorie d'ouvrage	Habitat individuel		
Surface de référence énergétique SRE	$A_E$	m <sup>2</sup>	225
Besoins de chaleur pour le chauffage selon SIA 380/1	$Q_{h,eff}$	MJ/m2a	136
Dépense par transmission selon SIA 380/1	$Q_T$	MJ/m2a	294
Dépense par renouvellement d'air selon SIA 380/1	$Q_V$	MJ/m2a	35
Chauffage: pertes supplémentaires de distribution de chaleur		%	2%
Durée de coupure d'alimentation de la PAC		h/d	0
Puissance de chauffage nécessaire sans ECS à -7°C	valeur proposée: 6.0	kW	
Besoins de chaleur pour l'ECS selon SIA 380/1	$Q_{ww}$	MJ/m2a	60.0
Eau chaude sanitaire: pertes supplémentaires d'accumulation et de distribution		%	20%

<b>Installation de pompe à chaleur</b>		Entrées dans "Spez"	
Nom et type de PAC		Pompe à chaleur sol/eau une vitesse	
Source de chaleur:		Chauffage+ECS	
Utilisation (chauffage ou eau chaude sanitaire)		sans accumulateur chauffage	
Accumulateur de chaleur		avec chauffage électrique de secours	
Mode de fonctionnement de la PAC		Registre électrique instantané	
Commande de l'appoint électrique de chauffage			
Température de la source (entrée PAC)	°C		0
Valeurs de calcul pour $T_{dép}35°C(Q_h/CO_2)$	°C		5.9kW / 4.5

Sondes géothermiques:	Nombre:	1	Longueur:	m	170
Température de dimensionnement des sondes (optionnel, calcul externe)			4.0	°C	4
Température cible du local le plus chaud (p.ex. salle de bains)			$T_{i,soll}$	°C	21
Température de départ du chauffage: ( $T_a = -8°C$ )			T Dep	°C	35
Température de retour du chauffage: ( $T_a = -8°C$ )			T Ret	°C	28
Type d'appoint électrique pour ECS:	mode anti-légionnel/se hebdomadaire				
Température ECS garantie sans appoint électrique:				°C	55
Circulation d'ECS / câble chauffant	Non disponibles				
<b>Installation solaire</b>	pas d'installation solaire				

Résultats

Part d'énergie électrique pour le chauffage	$\epsilon =$	0.2%	kWh =	19
Part d'énergie électrique pour l'ECS	$\epsilon =$	1.6%	kWh =	62
Pertes en mode chauffage (démarrage, accumulateur, etc.)		4%	Etah =	96%
Pertes en mode préparation d'ECS (démarrage, accumulateur, etc.)		6%	Etaw =	94%
Durée de fonctionnement de la pompe à chaleur			h / a	2 046
Part et COP annuel de la pompe à chaleur pour le chauffage	$\epsilon =$	99.8%	JAZ <sub>h</sub> =	5.13
Part et COP annuel de la pompe à chaleur pour l'ECS	$\epsilon =$	98.4%	JAZ <sub>ww</sub> =	2.70
COP annuel pour chauffage et ECS (COPa [ch+ECS])	exclu el. add.		-	4.04

### 3.1.5 Feuille de résultats

#### Calcul de la courbe de charge

#VALUE!

Cours PACesti: exemple N°. 1, REFH Meis terschwanden, saisie dans l'onglet ":

#### Climat et profil de charge:

Station climatique	Buchs-Aarau
Besoins de chaleur	8 500 kWh
Gains de chaleur	12 063 kWh
"Part solaire:"	59%
P nécessaire ECS	0.43 kW
Durée marche PAC	2 046 h/a
Besoin d'électricité PAC	3 057 kWh

#### Besoin d'énergie:

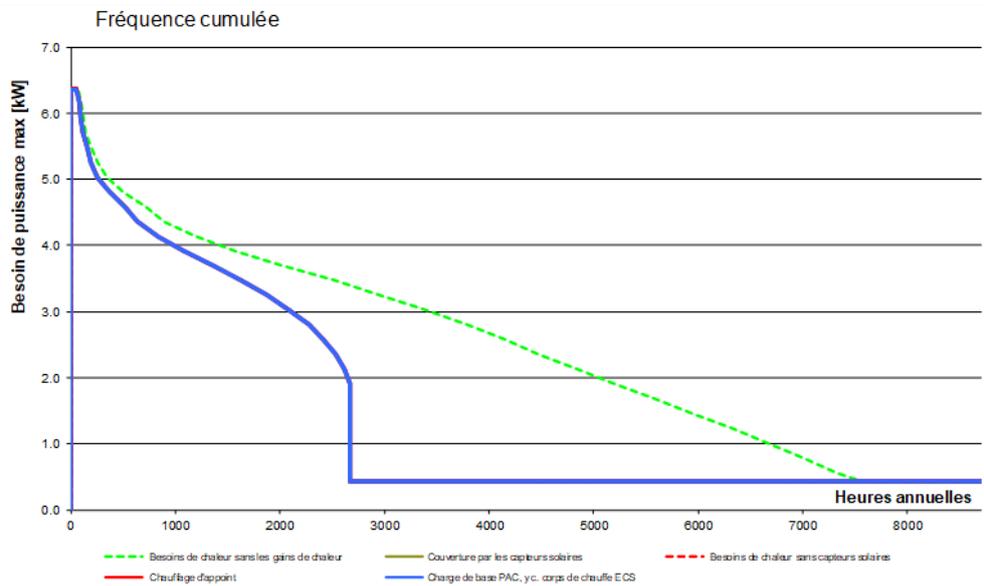
Besoins de chaleur	8 500 kWh
Distribution chauffage	170 kWh
Besoins chaleur ECS	3 125 kWh
Distribution ECS	625 kWh
<b>Besoins totaux:</b>	<b>12 420 kWh</b>

#### Couverture des besoins et COP's:

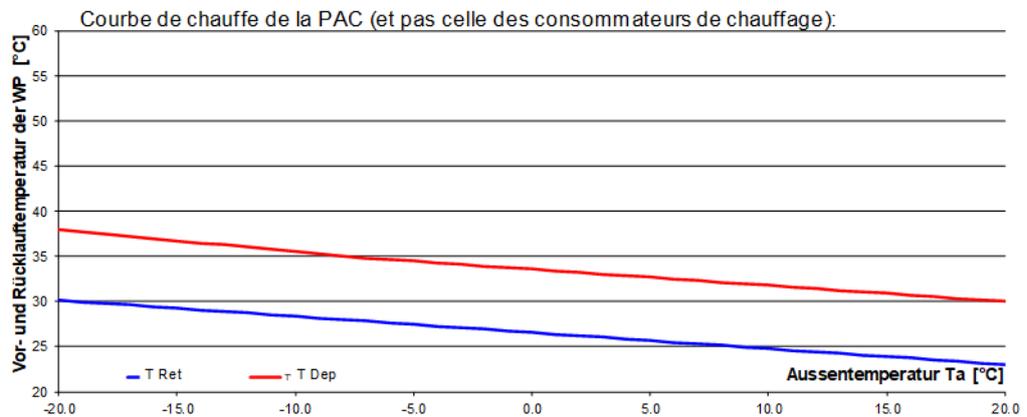
Taux couverture solaire (chauf.)	0.0%
Taux couverture solaire (ECS)	0.0%
Taux couverture PAC (chauf)	99.8%
Taux couverture PAC (ECS)	98.4%
COPA PAC (chauffage)	5.13
COPA PAC (ECS)	2.70

#### Besoin de puissance de chauffage (sans ECS)

Proposition à -7°C	6.0 kW
P calculée à -7°C	6.0 kW
P calculée à -8°C	6.3 kW



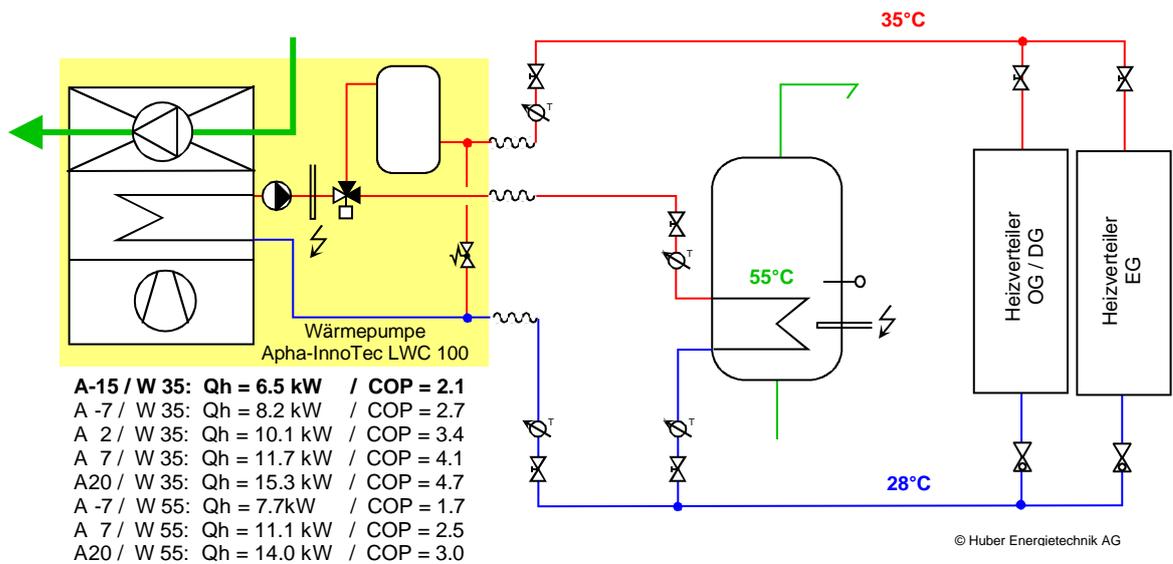
Abréviations: PAC = pompe à chaleur; ECS = eau chaude sanitaire; h = rendement; COPA = coefficient de perf annuel (sans chauffage d'appoint ni résistance électrique)



### 3.2 MINERGIE solaire passif - REFH<sup>2</sup> avec PAC air-eau

#### 3.2.1 Données caractéristiques du bâtiment issues du calcul SIA 380/1

Lieu	Meisterschwanden (AG)
Surface de référence énergétique SRE (A <sub>E</sub> )	225 m <sup>2</sup>
Besoins de chaleur avec débit d'air standard Q <sub>h</sub>	170 MJ/m <sup>2</sup>
Besoins de chaleur avec débit d'air effectif Q <sub>h,eff</sub>	136 MJ/m <sup>2</sup>
Pertes par transmission Q <sub>T</sub>	294 MJ/m <sup>2</sup>
Pertes par aération Q <sub>V</sub> avec débit d'air standard	80 MJ/m <sup>2</sup>
Pertes effectives par aération Q <sub>V</sub> avec récupération de chaleur	35 MJ/m <sup>2</sup>
Coupure d'alimentation de la PAC (dimensionnement)	2h



<sup>2</sup> Source : Bureau d'architecture FISCHER + ROHNER, architectes diplômés EPF, 5616 Meisterschwanden

### 3.2.2 Saisie des données de la pompe à chaleur à partir de la liste des PAC

Cours PACesti : Exemple N° 2, REFH Meisterschwanden, PAC air-eau - saisie liste des PAC

Données concernant le bâtiment			
Station climatique:			Buchs-Aarau
Catégorie d'ouvrage			Habitat individuel
Surface de référence énergétique SRE	$A_E$	$m^2$	225
Besoins de chaleur pour le chauffage selon SIA 380/1	$Q_{h,eff}$	$MJ/m2a$	136
Dépense par transmission selon SIA 380/1	$Q_T$	$MJ/m2a$	294
Dépense par renouvellement d'air selon SIA 380/1	$Q_V$	$MJ/m2a$	35
Chauffage: pertes supplémentaires de distribution de chaleur		%	2%
Durée de coupure d'alimentation de la PAC		h/d	2
Heizleistungsbedarf ohne Warmwasser bei -7°C	valeur proposée:	6.0	kW
Besoins de chaleur pour l'ECS selon SIA 380/1	$Q_{ww}$	$MJ/m2a$	60.0
Eau chaude sanitaire: pertes supplémentaires d'accumulation et de distribution		%	20%

Installation de pompe à chaleur		Liste des PAC	Hersteller:	Alpha Innotec			
Nom et type de PAC			Typ:	L/W 10, kW LWC 100			
Source de chaleur:			Pompe à chaleur air/eau une vitesse				
Utilisation (chauffage ou eau chaude san)			Chauffage+ECS				
Accumulateur de chaleur			avec accumulateur chauffage				
Mode de fonctionnement de la PAC			avec chauffage électrique de secours				
Commande de l'appoint électrique de cha				Registre électrique instantané			
Température de la source de chaleur:	°C	-15	-7	2	7	20	
Valeurs de calcul pour $T_{dép}35°C(Q_h/CO_2)$	°C	6.5kW / 2.1	8.2kW / 2.7	10.1kW / 3.4	11.7kW / 4.1	15.3kW / 4.7	
Capacité de l'accumulateur chauffage					Litres	80	
Température cible du local le plus chaud (p.ex. salle de bains)					$T_{i,soll}$	°C	21
Température de départ du chauffage: ( $T_a = -8°C$ )					T Dep	°C	35
Température de retour du chauffage: ( $T_a = -8°C$ )					T Ret	°C	28
Différence de température accu - départ chauffage					dT accu	°C	0
Type d'appoint électrique pour ECS :					mode anti-légionnellose hebdomadaire		
Température ECS garantie sans appoint électrique :					°C	55	
Circulation d'ECS / câble chauffant			Non disponibles				
Installation solaire					pas d'installation solaire		

Résultats			
Part d'énergie électrique pour le chauffage	$\epsilon =$	0.3%	kWh = 25
Part d'énergie électrique pour l'ECS	$\epsilon =$	1.6%	kWh = 62
Pertes en mode chauffage (démarrage, accumulateur, etc.)		6%	Etah = 94%
Pertes en mode préparation d'ECS (démarrage, accumulateur, etc.)		6%	Etaw = 94%
Durée de fonctionnement de la pompe à chaleur			h / a = 1 327
Part et COP annuel de la pompe à chaleur pour le chauffage	$\epsilon =$	99.7%	$JAZ_h =$ 3.18
Part et COP annuel de la pompe à chaleur pour l'ECS	$\epsilon =$	98.4%	$JAZ_{ww} =$ 2.40
COP annuel pour chauffage et ECS (COPa [ch+ECS])	exclu el. add.	-	2.90

### 3.2.3 Saisie directe des données de la pompe à chaleur

Cours PACesti : Exemple N° 2, REFH Meisterschwanden, PAC air-eau - saisie direct des données

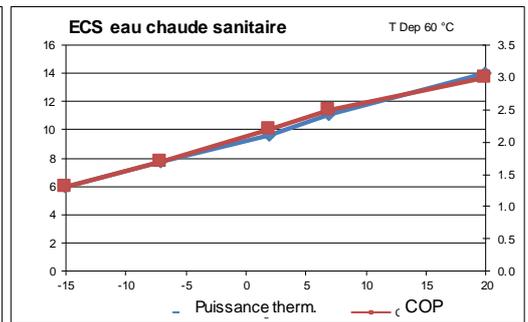
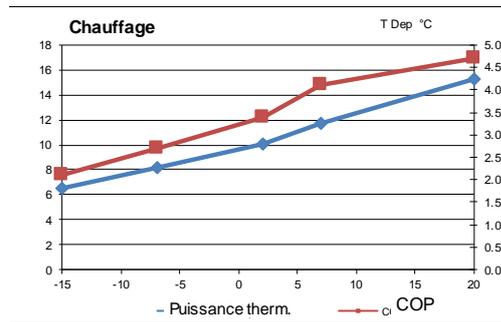
Données concernant le bâtiment			
Station climatique:			Buchs-Aarau
Catégorie d'ouvrage			Habitat individuel
Surface de référence énergétique SRE	$A_E$	$m^2$	225
Besoins de chaleur pour le chauffage selon SIA 380/1	$Q_{h,eff}$	$MJ/m2a$	136
Dépense par transmission selon SIA 380/1	$Q_T$	$MJ/m2a$	294
Dépense par renouvellement d'air selon SIA 380/1	$Q_V$	$MJ/m2a$	35
Chauffage: pertes supplémentaires de distribution de chaleur		%	2%
Durée de coupure d'alimentation de la PAC		h/d	2
Heizleistungsbedarf ohne Warmwasser bei -7°C	valeur proposée: 6.0	kW	
Besoins de chaleur pour l'ECS selon SIA 380/1	$Q_{ww}$	$MJ/m2a$	60.0
Eau chaude sanitaire: pertes supplémentaires d'accumulation et de distribution		%	20%

Installation de pompe à chaleur		Alpha innotec LWC 100		Entrées en bas		
Nom et type de PAC						
Source de chaleur:						
Utilisation (chauffage ou eau chaude san)						
Accumulateur de chaleur						
Mode de fonctionnement de la PAC						
Commande de l'appoint électrique de cha		Registre électrique instantané				
Température de la source de chaleur:	°C	-15	-7	2	7	20
Valeurs de calcul pour Tdép35°C(Qh/COP)	°C	6.5kW / 2.1	8.2kW / 2.7	10.1kW / 3.4	11.7kW / 4.1	15.3kW / 4.7
Puissance de chauffe pour Tdép 35°C	kW	6.5	8.2	10.1	11.7	15.3
COP à la température de départ 35°C	-	2.1	2.7	3.4	4.1	4.7
Puissance de chauffe pour Tdép 55°C	kW		7.7		11.1	14
COP à la température de départ 55°C	-		1.7		2.5	3
Capacité de l'accumulateur chauffage					Litres	80
Température cible du local le plus chaud (p.ex. salle de bains)				$T_{i,soll}$	°C	21
Température de départ du chauffage: (Ta = -8°C)				T Dep	°C	35
Température de retour du chauffage: (Ta = -8°C)				T Ret	°C	28
Différence de température accu - départ chauffage				dT accu	°C	0
Type d'appoint électrique pour ECS :		mode anti-légionnellose hebdomadaire				
Température ECS garantie sans appoint électrique :					°C	55
Circulation d'ECS / câble chauffant		Non disponibles				
Installation solaire		pas d'installation solaire				

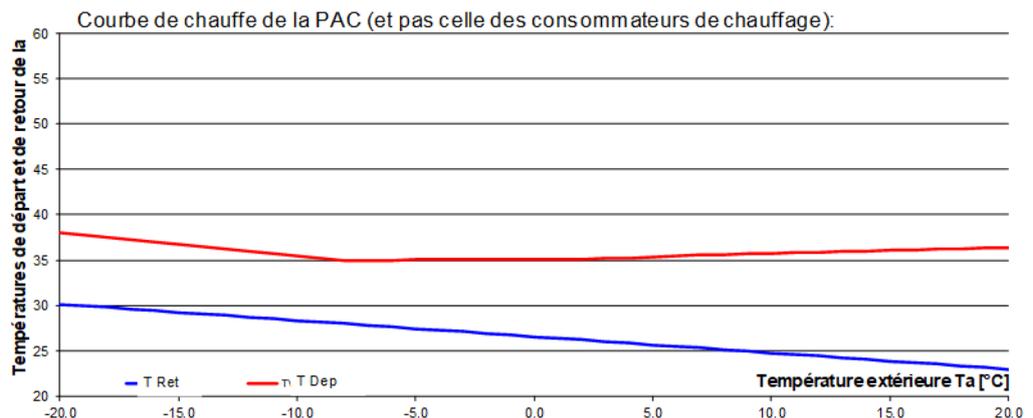
Résultats			
Part d'énergie électrique pour le chauffage	$\epsilon =$	0.3%	kWh = 25
Part d'énergie électrique pour l'ECS	$\epsilon =$	1.6%	kWh = 62
Pertes en mode chauffage (démarrage, accumulateur, etc.)		6%	Etah = 94%
Pertes en mode préparation d'ECS (démarrage, accumulateur, etc.)		6%	Etaw = 94%
Durée de fonctionnement de la pompe à chaleur			h / a = 1 327
Part et COP annuel de la pompe à chaleur pour le chauffage	$\epsilon =$	99.7%	$JAZ_h = 3.18$
Part et COP annuel de la pompe à chaleur pour l'ECS	$\epsilon =$	98.4%	$JAZ_{ww} = 2.40$
COP annuel pour chauffage et ECS (COPa [ch+ECS])	exclu el. add.		- = 2.90

3.2.4 Saisie des données de la pompe à chaleur sur la feuille « Spez »

Données de la PAC								
Nom et type de PAC		PAC air-eau Alpha innotec LWC 100						
Données de puissance de la PAC		Pompes: Consenseur		Ventilator: inclus dans le COP				
Données introduites en ordre croissant selon la température de la source								
Chauffage	T Dep	Température de la source de	°C	-15	-7	2	7	20
	°C	Puissance therm.	kW	6.5	8.2	10.1	11.7	15.3
T Dep 35 °C	35	COP	-	2.1	2.7	3.4	4.1	4.7
ECS eau chaude sanitaire	T Dep	Température de la source de	°C	-15	-7	2	7	20
	°C	Puissance therm.	kW	6	7.7	9.6	11.1	14
T Dep 55 °C	55	COP	-	1.3	1.7	2.2	2.5	3



Pompe de la source			
Nom et type de la pompe	Pas de pompe de la source		
Courant absorbé de la pompe à plein régime	Valeur de calcul	0	W
Perte de charge dynamique à plein régime			kPa
Débit à plein régime			m³/h
Hauteur statique			m
Mode d'exploitation			
Régulation			



**Cours PACesti : Exemple N° 2, REFH Meisterschwanden, PAC air-eau - saisie dans Spez**

Voir aussi feuille "Spez"

**Données concernant le bâtiment**

Station climatique:			Buchs-Aarau
Catégorie d'ouvrage			Habitat individuel
Surface de référence énergétique SRE	$A_E$	$m^2$	225
Besoins de chaleur pour le chauffage selon SIA 380/1	$Q_{h,eff}$	$MJ/m^2a$	136
Déperditions par transmission selon SIA 380/1	$Q_T$	$MJ/m^2a$	294
Déperditions par renouvellement d'air selon SIA 380/1	$Q_V$	$MJ/m^2a$	35
Chauffage: pertes supplémentaires de distribution de chaleur		%	2%
Durée de coupure d'alimentation de la PAC		h/d	2
Heizleistungsbedarf ohne Warmwasser bei -7°C	valeur proposée: 6.0	kW	
Besoins de chaleur pour l'ECS selon SIA 380/1	$Q_{ww}$	$MJ/m^2a$	60.0
Eau chaude sanitaire: pertes supplémentaires d'accumulation et de distribution		%	20%

**Installation de pompe à chaleur**

Nom et type de PAC	Entrées dans "Spez"						
Source de chaleur:	Pompe à chaleur air/eau une vitesse						
Utilisation (chauffage ou eau chaude san)	Chauffage+ECS						
Accumulateur de chaleur	avec accumulateur chauffage						
Mode de fonctionnement de la PAC	avec chauffage électrique de secours						
Commande de l'appoint électrique de cha	Registre électrique instantané						
Température de la source de chaleur:	°C	-15	-7	2	7	20	
Valeurs de calcul pour $T_{dep}35°C(Q_h/COP)$	°C	6.5kW / 2.1	8.2kW / 2.7	10.1kW / 3.4	11.7kW / 4.1	15.3kW / 4.7	
Capacité de l'accumulateur chauffage					Litres	80	
Température cible du local le plus chaud (p.ex. salle de bains)					$T_{i,soll}$	°C	21
Température de départ du chauffage: ( $T_a = -8°C$ )					$T_{Dep}$	°C	35
Température de retour du chauffage: ( $T_a = -8°C$ )					$T_{Ret}$	°C	28
Différence de température accu - départ chauffage					$dT_{accu}$	°C	0
Type d'appoint électrique pour ECS :	mode anti-légionnellose hebdomadaire						
Température ECS garantie sans appoint électrique :					°C	55	
Circulation d'ECS / câble chauffant	Non disponibles						
<b>Installation solaire</b>	pas d'installation solaire						

**Résultats**

Part d'énergie électrique pour le chauffage	$\epsilon =$	0.3%	kWh =	25
Part d'énergie électrique pour l'ECS	$\epsilon =$	1.6%	kWh =	62
Pertes en mode chauffage (démarrage, accumulateur, etc.)		6%	$Etah =$	94%
Pertes en mode préparation d'ECS (démarrage, accumulateur, etc.)		6%	$Etaw =$	94%
Durée de fonctionnement de la pompe à chaleur			h / a	1 327
Part et COP annuel de la pompe à chaleur pour le chauffage	$\epsilon =$	99.7%	$JAZ_h =$	3.18
Part et COP annuel de la pompe à chaleur pour l'ECS	$\epsilon =$	98.4%	$JAZ_{ww} =$	2.40
COP annuel pour chauffage et ECS ( $COP_a [ch+ECS]$ )	exclu el. add.		-	2.90

### 3.2.5 Feuille de résultats

#### Calcul de la courbe de charge

#VALUE!

Cours PACestî : Exemple N° 2, REFH Meisterschwanden, PAC air-eau - saisie c

#### Climat et profil de charge:

Station climatique	Buchs-Aarau
Besoins de chaleur	8 500 kWh
Gains de chaleur	12 063 kWh
"Part solaire:"	59%
P nécessaire ECS	0.43 kW
Durée marche PAC	1 327 h/a
Besoin d'électricité PAC	4 257 kWh

#### Besoin d'énergie:

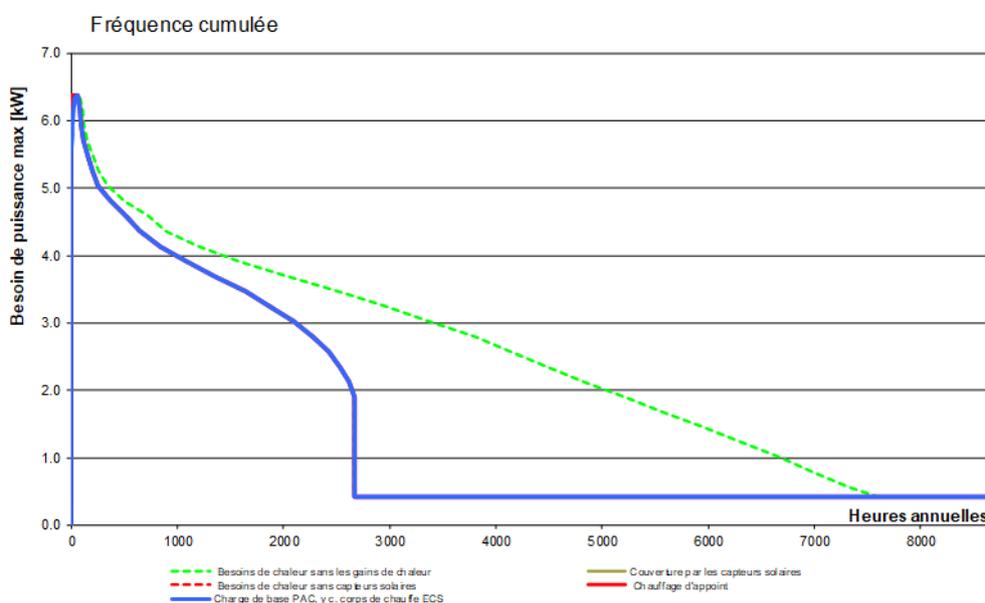
Besoins de chaleur	8 500 kWh
Distribution chauffage	170 kWh
Besoins chaleur ECS	3 125 kWh
Distribution ECS	625 kWh
<b>Besoins totaux:</b>	<b>12 420 kWh</b>

#### Couverture des besoins et COP's:

Taux couverture solaire (chauf.)	0.0%
Taux couverture solaire (ECS)	0.0%
Taux couverture PAC (chauf)	99.7%
Taux couverture PAC (ECS)	98.4%
COPA PAC (chauffage)	3.18
COPA PAC (ECS)	2.40

#### Besoin de puissance de chauffage (sans ECS)

Proposition à -7°C	6.0 kW
P calculée à -7°C	6.0 kW
P calculée à -8°C	6.3 kW

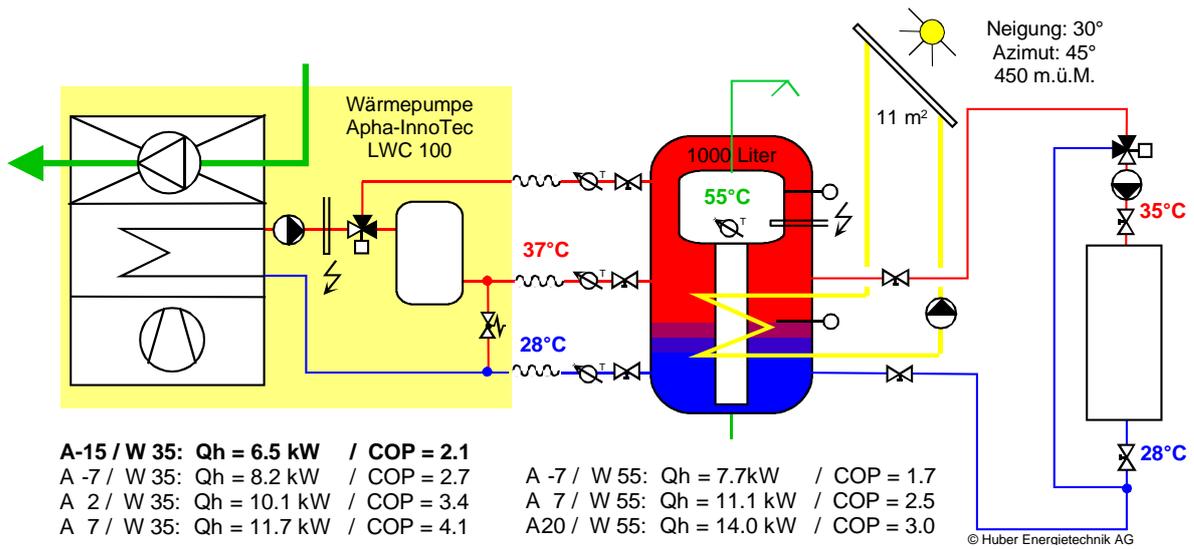
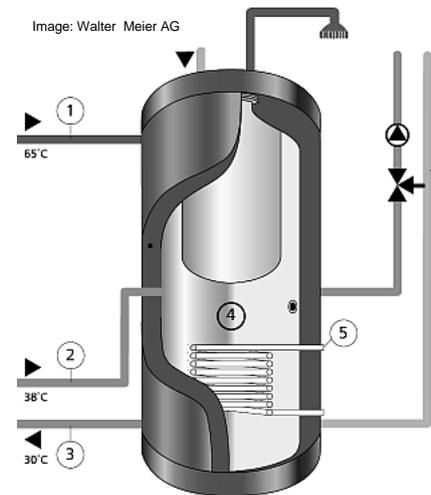


Abréviations: PAC= pompe à chaleur; ECS = eau chaude sanitaire; h = rendement; COPA = coefficient de perf annuel (sans chauffage d'appoint ni résistance électrique)

### 3.3 PAC air-eau avec chauffage solaire d'appoint

#### 3.3.1 Données caractéristiques du bâtiment issues du calcul SIA 380/1

Lieu	Meisterschwanden (AG)
Surface de référence énergétique SRE ( $A_E$ )	225 m <sup>2</sup>
Besoins de chaleur avec débit d'air standard $Q_h$	170 MJ/m <sup>2</sup>
Besoins de chaleur avec débit d'air effectif $Q_{h,eff}$	136 MJ/m <sup>2</sup>
Pertes par transmission $Q_T$	294 MJ/m <sup>2</sup>
Pertes par aération $Q_V$ avec débit d'air standard	80 MJ/m <sup>2</sup>
Pertes effectives par aération $Q_V$ avec récupération de chaleur	35 MJ/m <sup>2</sup>
Coupure d'alimentation de la PAC (dimensionnement)	2h



### 3.3.2 Saisie des données de la pompe à chaleur à partir de la liste des PAC

Cours PACEsti : Exemple N°3, REFH Meisterschwanden, PAC air-eau avec appoint solaire - saisie liste des PAC

Données concernant le bâtiment			
Station climatique:	Buchs-Aarau		
Catégorie d'ouvrage	Habitat individuel		
Surface de référence énergétique SRE	$A_E$	m <sup>2</sup>	225
Besoins de chaleur pour le chauffage selon SIA 380/1	$Q_{h,eff}$	MJ/m2a	136
Dépense par transmission selon SIA 380/1	$Q_T$	MJ/m2a	294
Dépense par renouvellement d'air selon SIA 380/1	$Q_V$	MJ/m2a	35
Chauffage: pertes supplémentaires de distribution de chaleur		%	2%
Durée de coupure d'alimentation de la PAC		h/d	2
Heizleistungsbedarf ohne Warmwasser bei -7°C	valeur proposée: 6.0	kW	0
Besoins de chaleur pour l'ECS selon SIA 380/1	$Q_{ww}$	MJ/m2a	60.0
Eau chaude sanitaire: pertes supplémentaires d'accumulation et de distribution		%	20%

Installation de pompe à chaleur		Liste des PAC	Hersteller:	Alpha Innotec		
Nom et type de PAC		Typ:	L/W 10,1kW/LWC 100			
Source de chaleur:		Pompe à chaleur air/eau une vitesse				
Utilisation (chauffage ou eau chaude san)		Chauffage+ECS				
Accumulateur de chaleur		accumulateur combiné - 1 prise de retour Accu-PA0				
Mode de fonctionnement de la PAC		avec chauffage électrique de secours				
Commande de l'appoint électrique de cha		Registre électrique instantané				
Température de la source de chaleur:	°C	-15	-7	2	7	20
Valeurs de calcul pour Tdép35°C(Qh/COP)	°C	6.5kW / 2.1	8.2kW / 2.7	10.1kW / 3.4	11.7kW / 4.1	15.3kW / 4.7
Capacité de l'accumulateur chauffage				Litres	1000	
Température cible du local le plus chaud (p.ex. salle de bains)	$T_{i,soll}$	°C	21			
Température de départ du chauffage: (Ta = -8°C)	T Dep	°C	35			
Température de retour du chauffage: (Ta = -8°C)	T Ret	°C	28			
Différence de température accu - départ chauffage	dT accu	°C	2			
Type d'appoint électrique pour ECS :	mode anti-légionnellose hebdomadaire					
Température ECS garantie sans appoint électrique :		°C	55			
Circulation d'ECS / câble chauffant	Non disponibles					
Installation solaire		Eau chaude sanitaire ECS + chauffage				
Surface des absorbeurs		m <sup>2</sup>	11.0			
orientation / inclinaison des collecteurs	Azimut [°]:	45	Pente [°]:	30		
Apport net par m2 d'absorbeur	valeur proposée:	279.5	kWh/m2a			
Altitude par rapport au niveau de la mer		m	450			
Taux de couverture solaire pour l'ECS	$\epsilon =$	%	70.0%			
Taux de couverture solaire pour le chauffage	$\epsilon =$	%	5.2%			

Résultats			
Part d'énergie électrique pour le chauffage	$\epsilon =$	0.7%	kWh = 78
Part d'énergie électrique pour l'ECS	$\epsilon =$	0.5%	kWh = 19
Pertes en mode chauffage (démarrage, accumulateur, etc.)		10%	Etah = 90%
Pertes en mode préparation d'ECS (démarrage, accumulateur, etc.)		6%	Etaw = 94%
Durée de fonctionnement de la pompe à chaleur		h / a	1 147
Part et COP annuel de la pompe à chaleur pour le chauffage	$\epsilon =$	94.1%	JAZ <sub>h</sub> = 2.20
Part et COP annuel de la pompe à chaleur pour l'ECS	$\epsilon =$	29.5%	JAZ <sub>ww</sub> = 2.40
COP annuel pour chauffage et ECS (COPa [ch+ECS])	exclu el. add.	-	2.22

### 3.3.3 Feuille de résultats

#### Calcul de la courbe de charge

#VALUE!

Cours PACEsti: Exemple N°3, REFH Meisterschwanden, PAC air-eau avec apt

#### Climat et profil de charge:

Station climatique	Buchs-Aarau
Besoins de chaleur	8 500 kWh
Gains de chaleur	12 063 kWh
"Part solaire:"	59%
P nécessaire ECS	0.43 kW
Durée marche PAC	1 147 h/a
Besoin d'électricité PAC	4 174 kWh

#### Besoin d'énergie:

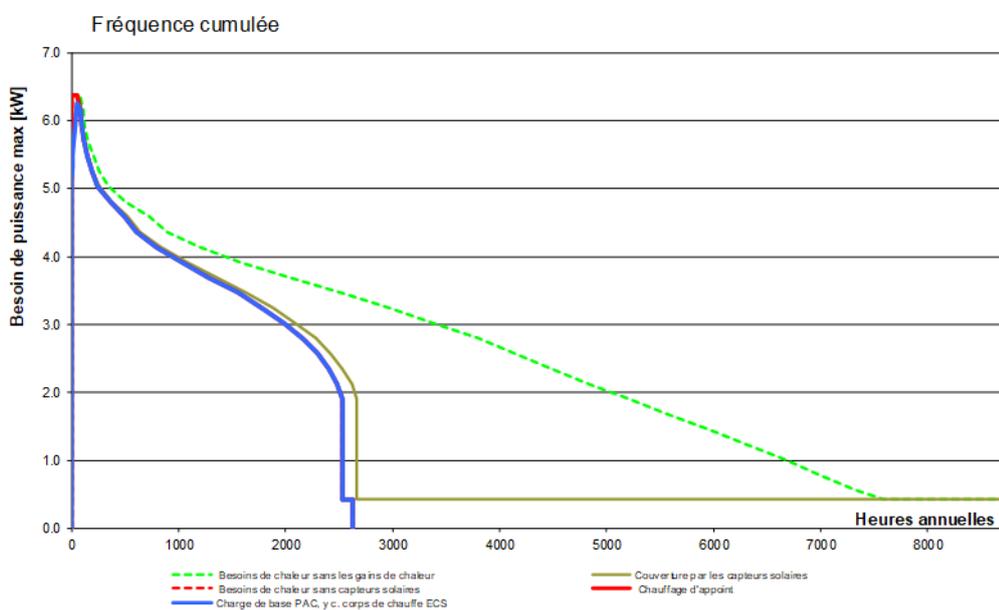
Besoins de chaleur	8 500 kWh
Distribution chauffage	170 kWh
Besoins chaleur ECS	3 125 kWh
Distribution ECS	625 kWh
<b>Besoins totaux:</b>	<b>12 420 kWh</b>

#### Couverture des besoins et COP's:

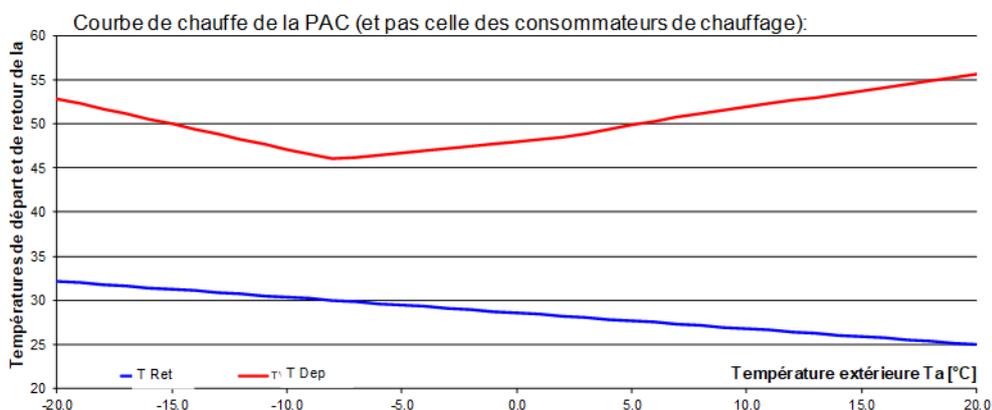
Taux couverture solaire (chauf.)	5.2%
Taux couverture solaire (ECS)	70.0%
Taux couverture PAC (chauf)	94.1%
Taux couverture PAC (ECS)	29.5%
COPA PAC (chauffage)	2.20
COPA PAC (ECS)	2.40

#### Besoin de puissance de chauffage (sans ECS)

Proposition à -7°C	6.0 kW
P calculée à -7°C	6.0 kW
P calculée à -8°C	6.3 kW



Abréviations: PAC = pompe à chaleur; ECS = eau chaude sanitaire; h = rendement; COPa = coefficient de perf annuel (sans chauffage d'appoint ni résistance électrique)

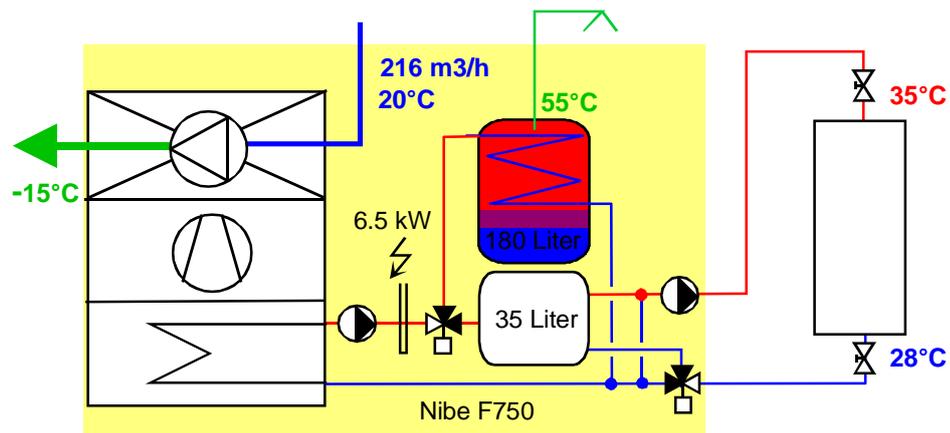


Le résultat montre une économie d'électricité de 2% pour la pompe à chaleur par rapport à l'installation sans chauffage d'appoint solaire.

### 3.4 Pompe à chaleur sur l'air extrait

#### 3.4.1 Données caractéristiques du bâtiment issues du calcul SIA 380/1

Lieu	Meisterschwanden (AG)
Surface de référence énergétique SRE ( $A_E$ )	225 m <sup>2</sup>
Besoins de chaleur avec débit d'air standard $Q_h$	170 MJ/m <sup>2</sup>
Besoins de chaleur avec débit d'air effectif $Q_{h,eff}$	200 MJ/m <sup>2</sup>
Pertes par transmission $Q_T$	294 MJ/m <sup>2</sup>
Pertes par aération $Q_V$ avec débit d'air standard	80 MJ/m <sup>2</sup>
Pertes effectives par aération $Q_V$ avec récupération de chaleur	110 MJ/m <sup>2</sup>
Coupure d'alimentation de la PAC (dimensionnement)	2h



A 20 / W 35:  $Q_h = 3.83 \text{ kW}$  / COP = 2.93  
 A 20 / W 45:  $Q_h = 4.27 \text{ kW}$  / COP = 2.44

© Huber Energietechnik AG

### 3.4.2 Saisie des données de la pompe à chaleur sur la feuille « Spez »

Cours PACEsti : Exemple N°4, REFH Meisterschwanden, PAC sur l'air extrait - saisie sur page "Spez"

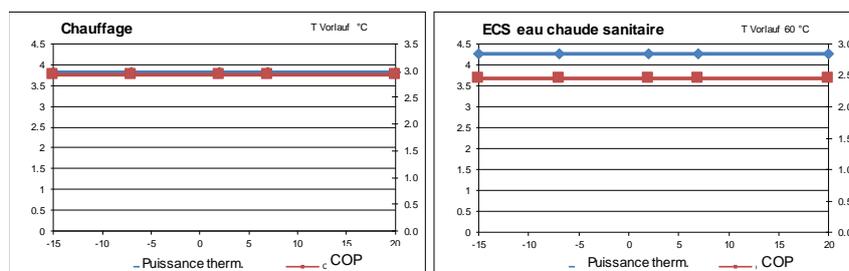
Voir aussi feuille "Spez"

Données concernant le bâtiment			
Station climatique:			Buchs-Aarau
Catégorie d'ouvrage			Habitat individuel
Surface de référence énergétique SRE	$A_E$	$m^2$	225
Besoins de chaleur pour le chauffage selon SIA 380/1	$Q_{h,eff}$	MJ/m2a	200
Dépense par transmission selon SIA 380/1	$Q_T$	MJ/m2a	294
Dépense par renouvellement d'air selon SIA 380/1	$Q_V$	MJ/m2a	110
Chauffage: pertes supplémentaires de distribution de chaleur		%	2%
Durée de coupure d'alimentation de la PAC		h/d	2
Puissance de chauffage nécessaire sans ECS à -7°C	valeur proposée:	7.4	kW
Besoins de chaleur pour l'ECS selon SIA 380/1	$Q_{ww}$	MJ/m2a	60.0
Eau chaude sanitaire: pertes supplémentaires d'accumulation et de distribution		%	20%

Installation de pompe à chaleur		Entrées dans "Spez"					
Nom et type de PAC		Pompe à chaleur air/eau une vitesse					
Source de chaleur:		Chauffage+ECS					
Utilisation (chauffage ou eau chaude san)		avec accumulateur chauffage					
Accumulateur de chaleur		avec chauffage électrique de secours					
Mode de fonctionnement de la PAC		Registre électrique instantané					
Commande de l'appoint électrique de cha							
Température de la source (entrée PAC)	°C	-15	-7	2	7	20	
Valeurs de calcul pour Tdép35°C(Qh/COF)	°C	3.8kW / 2.9	3.8kW / 2.9	3.8kW / 2.9	3.8kW / 2.9	3.8kW / 2.9	
Capacité de l'accumulateur chauffage					Litres	35	
Température cible du local le plus chaud (p.ex. salle de bains)					$T_{i,soll}$	°C	21
Température de départ du chauffage: (Ta = -8°C)					T Dep	°C	35
Température de retour du chauffage: (Ta = -8°C)					T Ret	°C	28
Différence de température accu - départ chauffage					dT accu	°C	0
Type d'appoint électrique pour ECS :					mode anti-légionnellose hebdomadaire		
Température ECS garantie sans appoint électrique :					°C	55	
Circulation d'ECS / câble chauffant		Non disponibles					
Installation solaire		pas d'installation solaire					

Résultats			
Part d'énergie électrique pour le chauffage	$\epsilon =$	35.4%	kWh = 5 110
Part d'énergie électrique pour l'ECS	$\epsilon =$	1.6%	kWh = 62
Pertes en mode chauffage (démarrage, accumulateur, etc.)		6%	Etah = 94%
Pertes en mode préparation d'ECS (démarrage, accumulateur, etc.)		6%	Etaw = 94%
Durée de fonctionnement de la pompe à chaleur			h / a 3 641
Part et COP annuel de la pompe à chaleur pour le chauffage	$\epsilon =$	64.6%	JAZ <sub>h</sub> = 2.90
Part et COP annuel de la pompe à chaleur pour l'ECS	$\epsilon =$	98.4%	JAZ <sub>ww</sub> = 2.05
COP annuel pour chauffage et ECS (COPa [ch+ECS])	exclu el. add.	-	2.57

Nom et type de PAC		Pompe à chaleur sur l'air extrait NIBE F750 216 m3/h						
Données de puissance de la PAC		Pompes: Consenseur		inclus dans le COP		Ventilator: inclus dans le COP		
Données introduites en ordre croissant selon la température de la source								
Chauffage	T Dep	Température de la source de	°C	-15	-7	2	7	20
	°C	Puissance therm	kW	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83
T Dep 35 °C		COP		-	2.93	2.93	2.93	2.93
ECS eau chaude sanitaire	T Dep	Température de la source de	°C	-15	-7	2	7	20
	°C	Puissance therm	kW	4.27	4.27	4.27	4.27	4.27
T Dep 45 °C		COP		-	2.44	2.44	2.44	2.44



Pompe de la source	
Nom et type de la pompe	Pas de pompe

### 3.4.3 Feuille de résultats

#### Calcul de la courbe de charge

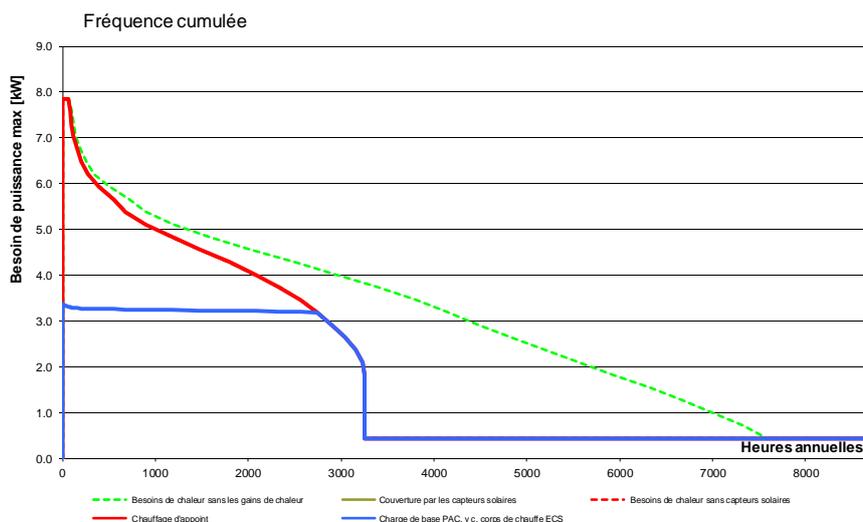
#VALUE!

Cours PACEsti : Exemple N°4, REFH Meisterschwanden, PAC sur l'air extrait - :

<b>Climat et profil de charge:</b>		<b>Besoin d'énergie:</b>		<b>Couverture des besoins et COP's:</b>	
Station climatique	Buchs-Aarau	Besoins de chaleur	12 500 kWh	Taux couverture solaire (chauf.)	0.0%
Besoins de chaleur	12 500 kWh	Distribution chauffage	250 kWh	Taux couverture solaire (ECS)	0.0%
Gains de chaleur	12 750 kWh	Besoins chaleur ECS	3 125 kWh	Taux couverture PAC (chauf)	64.6%
"Part solaire:"	50%	Distribution ECS	625 kWh	Taux couverture PAC (ECS)	98.4%
P nécessaire ECS	0.43 kW	<b>Besoins totaux:</b>	<b>16 500 kWh</b>	COPA PAC (chauffage)	2.90
Durée marche PAC	3 641 h/a			COPA PAC (ECS)	2.05
Besoin d'électricité PAC	4 642 kWh				

<b>Besoin de puissance de chauffage (sans ECS)</b>		
Proposition à -7°C	7.4	kW
P calculée à -7°C	7.4	kW
P calculée à -8°C	7.7	kW



Abréviations: PAC = pompe à chaleur; ECS = eau chaude sanitaire; h = rendement; COPA = coefficient de perf annuel (sans chauffage d'appoint ni résistance électrique)

Le résultat montre que les besoins en électricité pour le chauffage d'appoint sont plus importants que ceux pour la pompe à chaleur. Ces derniers ne sont pas pris en compte dans le coefficient de performance (COP).

### 3.4.4 Saisie des données de la PAC avec des valeurs extrapolées

Pour les pompes à chaleur sur l'air extrait, il manque en général les données du fabricant pour une saisie directe des données de la pompe à chaleur dans PACesti. En règle générale, les valeurs manquantes peuvent être calculées avec une précision suffisante par le biais du degré d'efficacité. Il est à noter que ce n'est pas la température d'entrée de l'évaporateur qui détermine le rendement d'une pompe à chaleur, mais la température de l'air évacué à la sortie de l'évaporateur, qui est dans notre exemple de -15°C selon les indications du fabricant. Le COP maximal possible (Carnot - COP) peut ainsi être calculé avec :

$$COP_{Carnot} = \frac{T_{Vorl}}{T_{Vorl} - T_{Verd,aus}} \quad \text{Eq. 3.1}$$

Le degré d'efficacité est le rapport entre le COP effectif et le COP maximal possible.

$$\text{Degré d'efficacité} = \frac{COP}{COP_{Carnot}} \quad \text{Eq. 3.2}$$

Pour l'extrapolation, le degré d'efficacité peut être considéré comme constant lors d'une première approximation.

La puissance de chauffage maximale possible résulte du refroidissement de l'air évacué, du débit d'air évacué (en m<sup>3</sup>/h) et du COP :

$$\dot{Q}_{WP} = (T_{Abluft} - T_{Verd,aus}) \cdot cP_{Luft} \cdot \frac{\dot{V}_{Abluft}}{3600 \text{ s/h}} \cdot \rho \cdot \frac{COP}{COP-1} \quad \text{Eq. 3.3}$$

Cela permet de déterminer de façon approximative la valeur manquante pour la PAC **Nibe F750** :

Température de sortie évaporateur [°C]	-15	-15	-15
Température sortie condenseur [°C]	<b>35</b>	<b>45</b>	<b>55</b>
Débit d'air [m <sup>3</sup> /h]	216	216	216
Puissance de l'évaporateur [kW]	2.52	2.52	2.52
COP de Carnot	6.16	5.30	4.69
Degré d'efficacité	0.475	0.460	0.460
COP selon le fabricant	2.93	2.44	
COP calculé avec degré d'efficacité			2.16
Puissance de chauffage calculée [kW]	3.83	4.27	4.70

**Cours PACEsti : Exemple N°4, REFH Meisterschwanden, PAC sur l'air extrait - saisie sur page "WP"**

Voir aussi feuille "Spez"

Données concernant le bâtiment			
Station climatique:			Buchs-Aarau
Catégorie d'ouvrage			Habitat individuel
Surface de référence énergétique SRE	$A_E$	$m^2$	225
Besoins de chaleur pour le chauffage selon SIA 380/1	$Q_{h,eff}$	MJ/m2a	200
Dépense par transmission selon SIA 380/1	$Q_T$	MJ/m2a	294
Dépense par renouvellement d'air selon SIA 380/1	$Q_V$	MJ/m2a	110
Chauffage: pertes supplémentaires de distribution de chaleur		%	2%
Durée de coupure d'alimentation de la PAC		h/d	2
Puissance de chauffage nécessaire sans ECS à -7°C	valeur proposée: 7.4	kW	
Besoins de chaleur pour l'ECS selon SIA 380/1	$Q_{ww}$	MJ/m2a	60.0
Eau chaude sanitaire: pertes supplémentaires d'accumulation et de distribution		%	20%

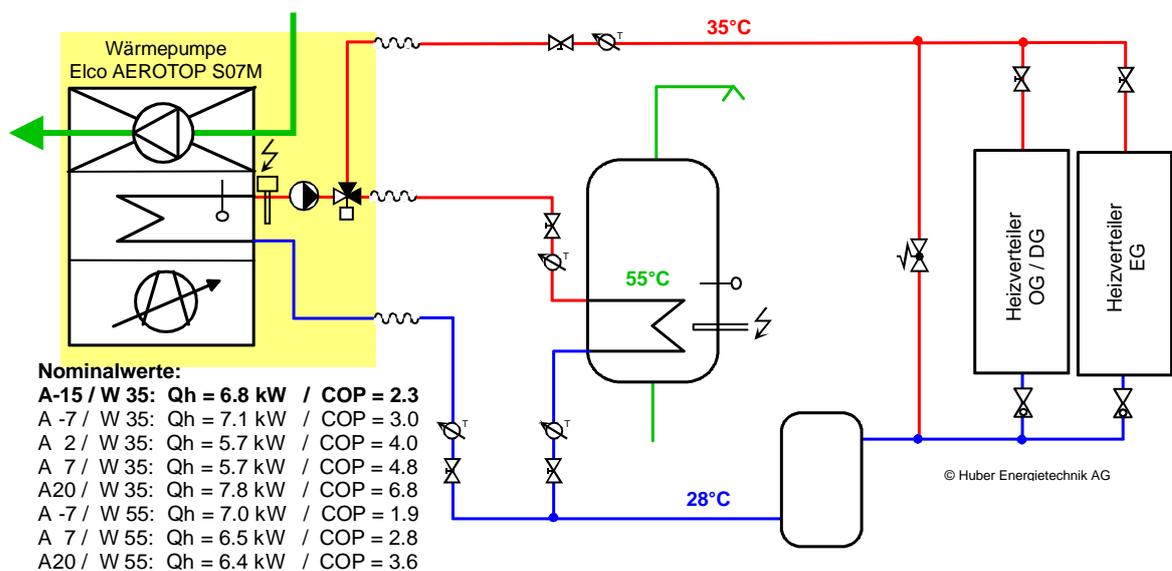
Installation de pompe à chaleur		Entrées en bas	
Nom et type de PAC			
Source de chaleur:			extrait sur installation de ventilation sans récupération
Utilisation (chauffage ou eau chaude sanitaire)			Chauffage+ECS
Mode de fonctionnement de la PAC			avec chauffage électrique de secours
Commande de l'appoint électrique de chauffage			Registre électrique instantané
Température de la source (entrée PAC)	°C		20
Valeurs de calcul pour $T_{dep}35^{\circ}C(Q_h/COP)$	°C		3.8kW / 2.9
Puissance de chauffe pour $T_{dep} 35^{\circ}C$	kW		3.83
COP à la température de départ 35°C	-		2.93
Puissance de chauffe pour $T_{dep} 55^{\circ}C$	kW		4.7
COP à la température de départ 55°C	-		2.16
Capacité de l'accumulateur chauffage		Litres	35
Température cible du local le plus chaud (p.ex. salle de bains)	$T_{i,soll}$	°C	21
Température de départ du chauffage: ( $T_a = -8^{\circ}C$ )	$T_{Dep}$	°C	35
Température de retour du chauffage: ( $T_a = -8^{\circ}C$ )	$T_{Ret}$	°C	28
Différence de température accu - départ chauffage	$dT_{accu}$	°C	0
Type d'appoint électrique pour ECS :			mode anti-légionnellose hebdomadaire
Température ECS garantie sans appoint électrique :		°C	55
Circulation d'ECS / câble chauffant		Non disponibles	
<b>Installation solaire</b>			pas d'installation solaire

Résultats			
Part d'énergie électrique pour le chauffage	$\epsilon =$	31.7%	kWh = 4 381
Part d'énergie électrique pour l'ECS	$\epsilon =$	1.6%	kWh = 62
Pertes en mode chauffage (démarrage, accumulateur, etc.)		4%	Etah = 96%
Pertes en mode préparation d'ECS (démarrage, accumulateur, etc.)		6%	Etaw = 94%
Durée de fonctionnement de la pompe à chaleur			h / a 3 570
Part et COP annuel de la pompe à chaleur pour le chauffage	$\epsilon =$	68.3%	JAZ <sub>h</sub> = 2.81
Part et COP annuel de la pompe à chaleur pour l'ECS	$\epsilon =$	98.4%	JAZ <sub>ww</sub> = 2.03
COP annuel pour chauffage et ECS (COPa [ch+ECS])	exclu el. add.	-	2.52

### 3.5 Maison individuelle avec pompe à chaleur Inverter

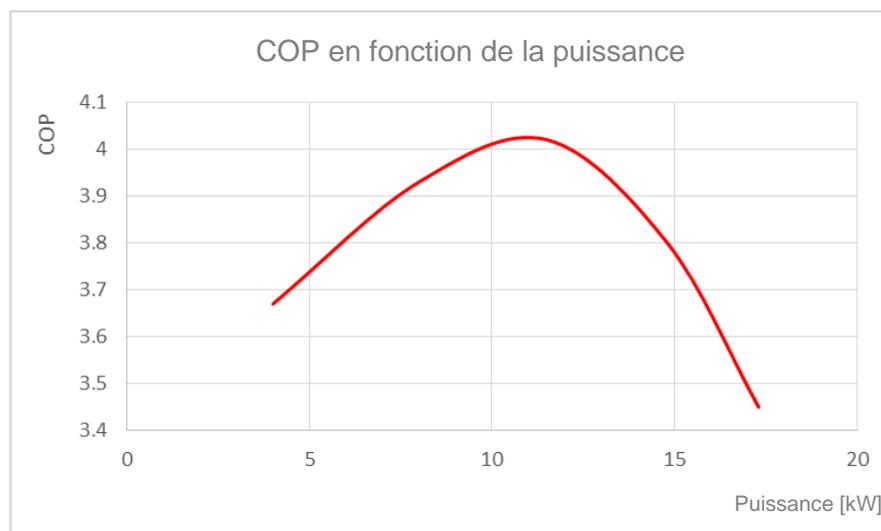
#### 3.5.1 Données caractéristiques du bâtiment issues du calcul SIA 380/1

Lieu	Meisterschwanden (AG)
Surface de référence énergétique SRE ( $A_E$ )	225 m <sup>2</sup>
Besoins de chaleur avec débit d'air standard $Q_h$	170 MJ/m <sup>2</sup>
Besoins de chaleur avec débit d'air effectif $Q_{h,eff}$	136 MJ/m <sup>2</sup>
Pertes par transmission $Q_T$	294 MJ/m <sup>2</sup>
Pertes par aération $Q_V$ avec débit d'air standard	80 MJ/m <sup>2</sup>
Pertes effectives par aération $Q_V$ avec récupération de chaleur	35 MJ/m <sup>2</sup>
Coupure d'alimentation de la PAC (dimensionnement)	2h

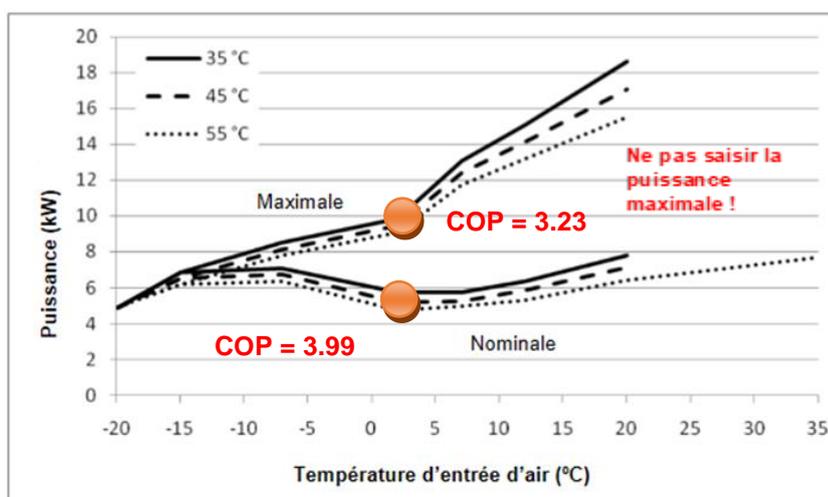


### 3.5.2 Conditions limites pour les pompes à chaleur Inverter

Grâce à la technologie Inverter, les PAC air-eau peuvent augmenter considérablement le coefficient de performance annuel par rapport aux PAC à une seule vitesse. Cela suppose toutefois que ces PAC soient utilisées correctement. Il faut savoir que le COP de ces PAC ne dépend pas seulement de la température de l'air et de la température de départ, mais aussi de la vitesse de rotation (et donc de la puissance de chauffage). Le point de fonctionnement optimal est généralement appelé "point de fonctionnement nominal". Le COP baisse considérablement en dessous de cette valeur nominale ; aussi bien lorsque le régime de la pompe à chaleur augmente que lorsqu'il diminue.



En règle générale, ce sont ces valeurs nominales qui sont enregistrées dans la base de données des PAC ; c'est-à-dire les valeurs avec un COP maximal. Cela suppose toutefois que les valeurs maximales possibles de la puissance de chauffage sont limitées par la commande de la PAC et qu'aucune séparation hydraulique n'est présente.



Dans cet exemple (PAC Elco Aerotop S07M-IR), la valeur nominale de la pompe à chaleur enregistrée dans la base de données pour A-7/W35 avec une puissance de chauffage de 7.05 kW et un COP de 2.96 et pour une puissance maximale de chauffage de 8.5 kW avec un COP de 2.81. La différence est encore plus grande pour le point de fonctionnement A2/W35 ; la valeur nominale est de 5.71 kW avec un COP de 3.99 et la valeur maximale de 9.83 kW avec un COP de 3.23.

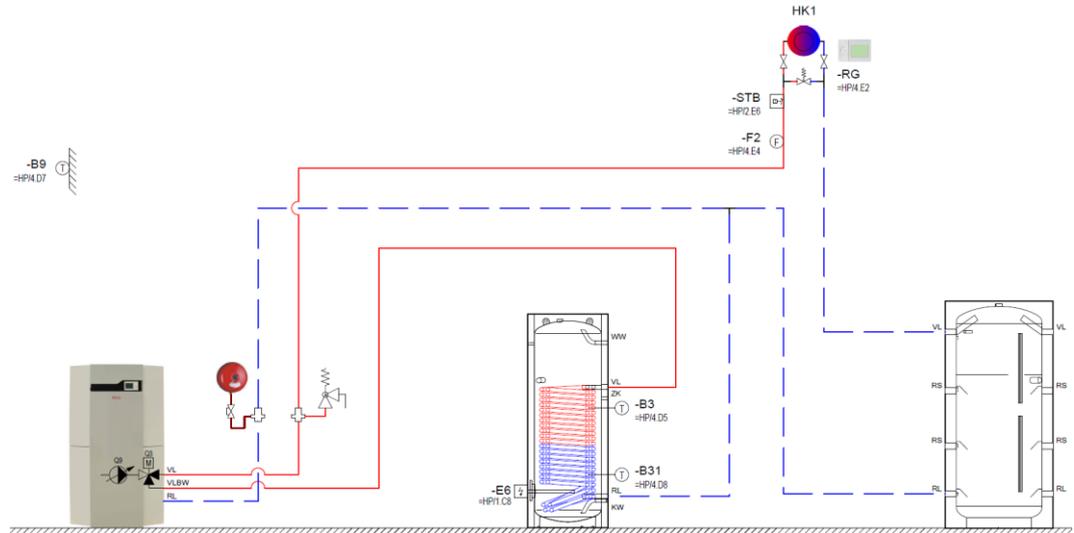
## AEROTOP S07M-IR

		PUISSANCE NOMINALE							
Température de l'air externe	°C	-20	-15	-7	2	7	12	20	35
Température eau refoulement	°C	35							
Puissance chauffage	kW	4.85	6.86	7.05	5.71	5.72	6.35	7.79	-
Puissance absorbée	kW	3.00	3.01	2.39	1.43	1.20	1.16	1.15	-
COP		1.62	2.28	2.96	3.99	4.77	5.49	6.77	-
Température eau refoulement	°C	45							
Puissance chauffage	kW	4.88	6.54	6.71	5.23	5.25	5.84	7.11	-
Puissance absorbée	kW	3.27	3.43	2.85	1.71	1.49	1.49	1.49	-
COP		1.49	1.91	2.35	3.06	3.52	3.92	4.77	-
Température eau refoulement	°C	55							
Puissance chauffage	kW	4.91	6.21	6.37	4.75	4.95	5.32	6.43	7.68
Puissance absorbée	kW	3.53	3.86	3.22	1.99	1.70	1.80	1.80	1.98
COP		1.39	1.61	1.98	2.39	2.91	2.96	3.58	3.88

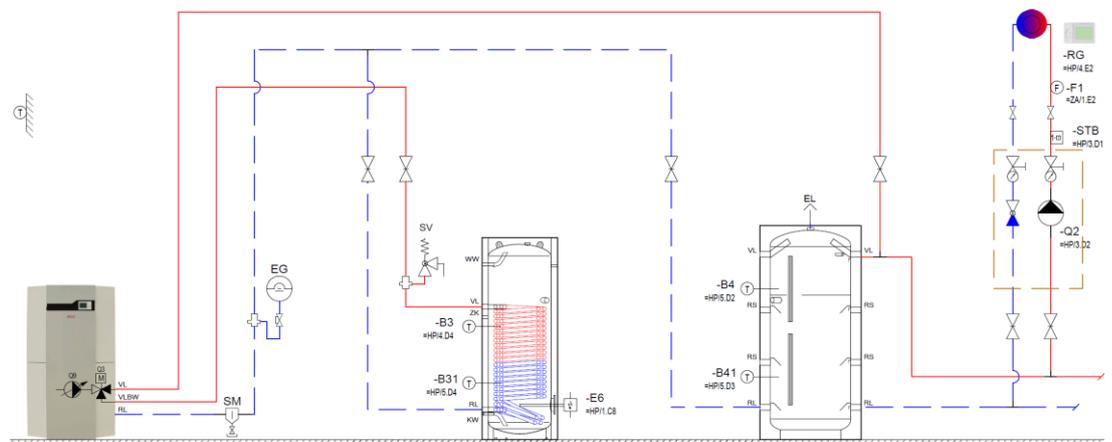
		PUISSANCE MAXIMALE							
Température de l'air externe	°C	-20	-15	-7	2	7	12	20	35
Température eau refoulement	°C	35							
Puissance chauffage	kW	4.85	6.86	8.50	9.83	13.06	15.07	18.62	-
Puissance absorbée	kW	3.00	3.01	3.02	3.04	3.06	3.07	3.08	-
COP		1.62	2.28	2.81	3.23	4.27	4.91	6.05	-
Température eau refoulement	°C	45							
Puissance chauffage	kW	4.88	6.54	8.14	9.47	12.40	14.13	17.07	-
Puissance absorbée	kW	3.27	3.43	3.61	3.78	3.77	4.02	3.94	-
COP		1.49	1.91	2.26	2.50	3.28	3.52	4.33	-
Température eau refoulement	°C	55							
Puissance chauffage	kW	4.91	6.21	7.78	9.10	11.73	13.19	15.52	-
Puissance absorbée	kW	3.53	3.86	4.19	4.55	4.53	5.01	4.87	-
COP		1.39	1.61	1.86	2.00	2.59	2.63	3.19	-

Comme les valeurs nominales sont enregistrées dans la base de données des pompes à chaleur, il peut arriver que PACesti signale que la puissance requise n'est pas suffisante. Dans ce cas, la pompe à chaleur peut être définie par une saisie directe et les valeurs maximales (puissance et COP selon les indications du fabricant) peuvent être utilisées pour les températures extérieures.

L'intégration hydraulique de la PAC et de l'accumulateur exerce également une influence sur le coefficient de performance annuel. Dans la mesure du possible, il ne faut pas raccorder l'accumulateur parallèle, mais en série sur le retour, comme dans le montage standard de la société Elcotherm SA présenté ci-après.



Si l'accumulateur est raccordé en parallèle sur la pompe à chaleur, les départs sont communs (raccordement en T) de telle manière à ce que le retour du groupe chauffage soit en série sur la PAC selon le schéma suivant.



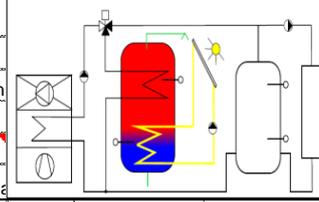
Dans ce cas, il peut arriver qu'il y ait un mélange entre le retour du circuit de chauffage et le départ de la pompe à chaleur. Cela vient de la différence de débit entre le circuit de chauffage et le circuit de la pompe à chaleur. En effet, dans la plupart des PAC Inverter, le débit est réglé proportionnellement à la vitesse de la PAC. Cet effet n'est pas encore automatiquement pris en compte dans la version actuelle de PACesti et doit être compensé par une température de réservoir plus élevée.

Capacité de l'accumulateur chauffage		Litres	500
Température cible du local le plus chaud (p.ex. salle de bains)	T <sub>i,soll</sub>	°C	21
Température de départ du chauffage: (T <sub>a</sub> = -8°C)	T <sub>Dep</sub>	°C	35
Température de retour du chauffage: (T <sub>a</sub> = -8°C)	T <sub>Ret</sub>	°C	28
Différence de température accu - départ chauffage	dT <sub>accu</sub>	°C	2

### 3.5.3 Saisie directe des données de la pompe à chaleur

Cours PACEsti : Exemple N°5, REFH Meisterschwanden, PAC air-eau inverter - saisie sur feuille "WP"

Données concernant le bâtiment			
Station climatique:			Buchs-Aarau
Catégorie d'ouvrage			Habitat individuel
Surface de référence énergétique SRE	$A_E$	m <sup>2</sup>	225
Besoins de chaleur pour le chauffage selon SIA 380/1	$Q_{h,eff}$	MJ/m2a	136
Dépense par transmission selon SIA 380/1	$Q_T$	MJ/m2a	294
Dépense par renouvellement d'air selon SIA 380/1	$Q_V$	MJ/m2a	35
Chauffage: pertes supplémentaires de distribution de chaleur		%	2%
Durée de coupure d'alimentation de la PAC		h/d	2
Puissance de chauffage nécessaire sans ECS à -7°C	valeur proposée:	6.0	kW
Besoins de chaleur pour l'ECS selon SIA 380/1	$Q_{ww}$	MJ/m2a	60.0
Eau chaude sanitaire: pertes supplémentaires d'accumulation et de distribution		%	20%

Installation de pompe à chaleur	elco Aerotop S07M	Entrées en bas					
Nom et type de PAC							
Source de chaleur:						Pompe à chaleur air/eau vitesse variable	
Utilisation (chauffage ou eau chaude san)						Chauffage+ECS	
Accumulateur de chaleur						avec accumulateur chauffage	
Mode de fonctionnement de la PAC						avec chauffage électrique de secours	
Commande de l'appoint électrique de cha						Registre électrique instantané	
Température de la source (entrée PAC)	°C	-15	-7	2	7	20	
Valeurs de calcul pour Tdép35°C(Qh/CO <sub>2</sub> )	°C	6.8kW / 2.3	7.1kW / 3.0	5.7kW / 4.0	5.7kW / 4.8	7.8kW / 6.8	
Puissance de chauffe pour Tdép 35°C	kW	6.8	7.1	5.7	5.7	7.8	
COP à la température de départ 35°C	-	2.3	3	4	4.8	6.8	
Puissance de chauffe pour Tdép 55°C	kW		7		6.5	6.4	
COP à la température de départ 55°C	-		1.9		2.8	3.6	
Capacité de l'accumulateur chauffage					Litres	500	
Température cible du local le plus chaud (p.ex. salle de bains)				$T_{i,soll}$	°C	21	
Température de départ du chauffage: (Ta = -8°C)				T Dep	°C	35	
Température de retour du chauffage: (Ta = -8°C)				T Ret	°C	28	
Différence de température accu - départ chauffage				dT accu	°C		
Type d'appoint électrique pour ECS :						mode anti-légionnellose hebdomadaire	
Température ECS garantie sans appoint électrique :						°C	55
Circulation d'ECS / câble chauffant	Non disponibles						
Installation solaire						pas d'installation solaire	

Résultats			
Part d'énergie électrique pour le chauffage	$\epsilon$ =	0.7%	kWh = 64
Part d'énergie électrique pour l'ECS	$\epsilon$ =	1.6%	kWh = 62
Pertes en mode chauffage (démarrage, accumulateur, etc.)		6%	Etah = 94%
Pertes en mode préparation d'ECS (démarrage, accumulateur, etc.)		6%	Etaw = 94%
Durée de fonctionnement de la pompe à chaleur			h / a = 2 329
Part et COP annuel de la pompe à chaleur pour le chauffage	$\epsilon$ =	99.3%	JAZ <sub>h</sub> = 4.20
Part et COP annuel de la pompe à chaleur pour l'ECS	$\epsilon$ =	98.4%	JAZ <sub>ww</sub> = 2.76
COP annuel pour chauffage et ECS (COPa [ch+ECS])	exclu el. add.	-	3.63

### 3.5.4 Feuille de résultats

**Calcul de la courbe de charge**

#VALUE!

*Cours PACEsti : Exemple N°5, REFH Meisterschwanden, PAC air-eau inverser -*

**Climat et profil de charge:**

Station climatique	Buchs-Aarau
Besoins de chaleur	8 500 kWh
Gains de chaleur	12 063 kWh
"Part solaire:"	59%
P nécessaire ECS	0.43 kW
Durée marche PAC	2 329 h/a
Besoin d'électricité PAC	3 388 kWh

**Besoin d'énergie:**

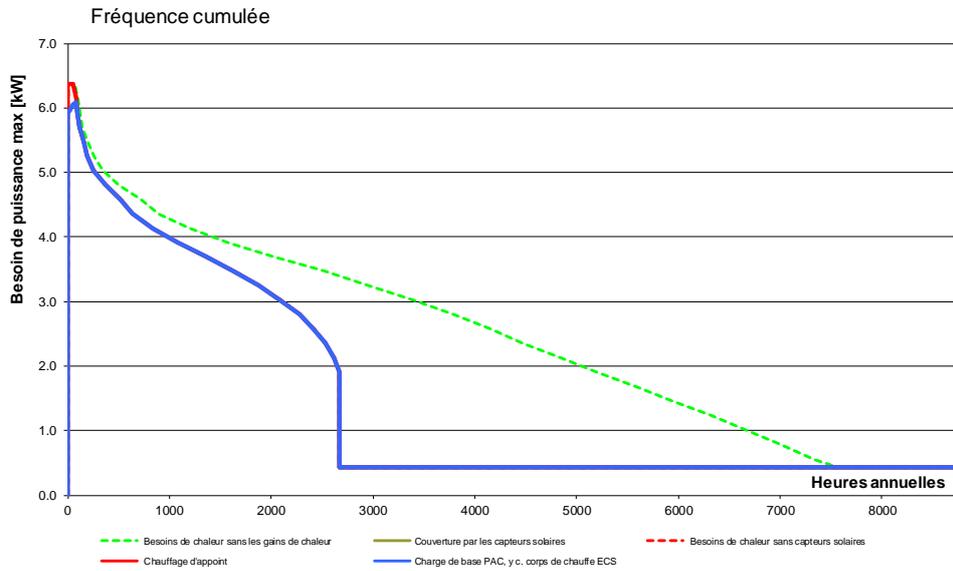
Besoins de chaleur	8 500 kWh
Distribution chauffage	170 kWh
Besoins chaleur ECS	3 125 kWh
Distribution ECS	625 kWh
<b>Besoins totaux:</b>	<b>12 420 kWh</b>

**Couverture des besoins et COP's:**

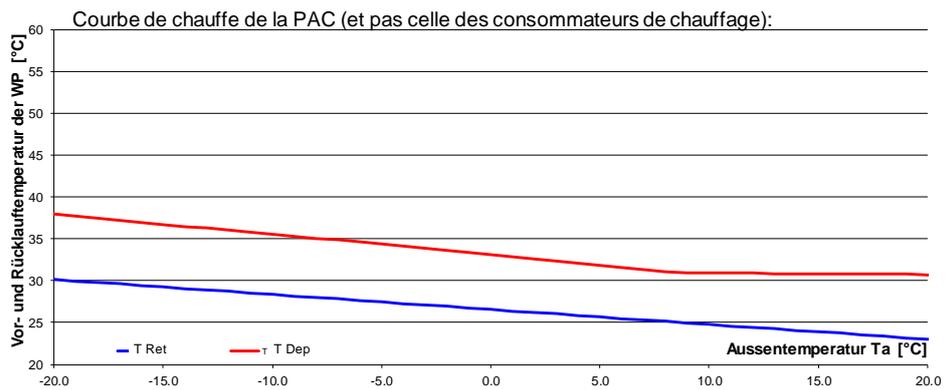
Taux couverture solaire (chauf.)	0.0%
Taux couverture solaire (ECS)	0.0%
Taux couverture PAC (chauf)	99.3%
Taux couverture PAC (ECS)	98.4%
COPA PAC (chauffage)	4.20
COPA PAC (ECS)	2.76

**Besoin de puissance de chauffage (sans ECS)**

Proposition à -7°C	6.0 kW
P calculée à -7°C	6.0 kW
P calculée à -8°C	6.3 kW



Abréviations: PAC = pompe à chaleur; ECS = eau chaude sanitaire; h = rendement; COPA = coefficient de perf annuel (sans chauffage d'appoint ni résistance électrique)



### 3.6 Bâtiment administratif avec PAC sur nappe phréatique

#### 3.6.1 Données caractéristiques du bâtiment issues du calcul SIA 380/1

Lieu	Regensdorf (ZH)
Surface de référence énergétique SRE (A <sub>E</sub> )	8'544 m <sup>2</sup>
Besoins de chaleur avec débit d'air standard Q <sub>h</sub>	155 MJ/m <sup>2</sup>
Besoins de chaleur avec débit d'air effectif Q <sub>h,eff</sub>	105 MJ/m <sup>2</sup>
Pertes par transmission Q <sub>T</sub>	205 MJ/m <sup>2</sup>
Pertes par aération Q <sub>V</sub> avec débit d'air standard	132 MJ/m <sup>2</sup>
Pertes effectives par aération Q <sub>V</sub> avec récupération de chaleur	74 MJ/m <sup>2</sup>
Coupure d'alimentation de la PAC (dimensionnement)	3 h
Pertes distribution et stockage chauffage/ECS	15% et 20%



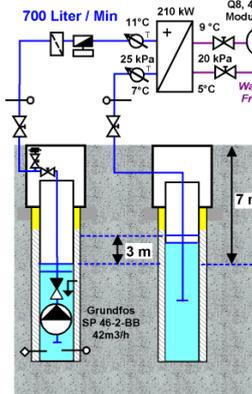
Image: CTA AG

#### Biral Modula 80-12 360 RED PN 6

Fördermenge	45 m <sup>3</sup> /h
Förderhöhe	4 m
Medium	Wasser
Temperatur	20 °C
Betriebsdruck	10 bar

#### Betriebsdaten

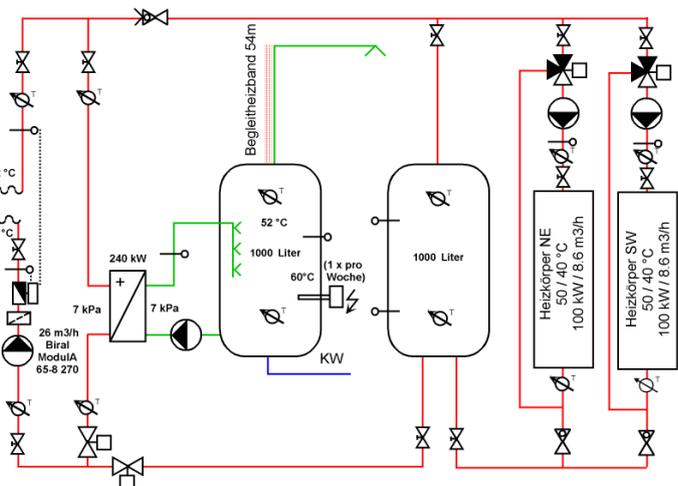
Fördermenge	45 m <sup>3</sup> /h
Förderhöhe	4 m
Leistungsaufnahme P1	0.78 kW



Dynamischer Druckabfall Grundwasser:

Leitungen:	51 kPa
Wassenzähler:	6 kPa
Wärmetauscher:	25 kPa
Total:	82 kPa

Wärmepumpe CTA OP 230ed	52 °C
270 kW	7 kPa
42 °C	
210 kW	15 kPa
9 °C	
Q <sub>h</sub> (W10/W35): 308 kW	
COP (W10/W35): 5.6	
Q <sub>h</sub> (W10/W55): 275 kW	
COP (W10/W55): 3.6	



Typ:	SP 46-2-BB
Förderstrom:	41.3 m <sup>3</sup> /h (153118)
H total:	11.3 m
Leistungsaufnahme ges. (P1):	2.62 kW
Leistungsaufnahme Pumpe (P2):	2 kW
Eta Pumpe:	63.2 %
Eta Motor:	76.2 %
Eta gesamt:	48.2 %

© Huber Energietechnik AG

### 3.6.2 Saisie directe des données de la pompe à chaleur feuille « WP »

Cours PACesti: exemple N° 6, Administration Regensdorf, saisie dans l'onglet "WP"

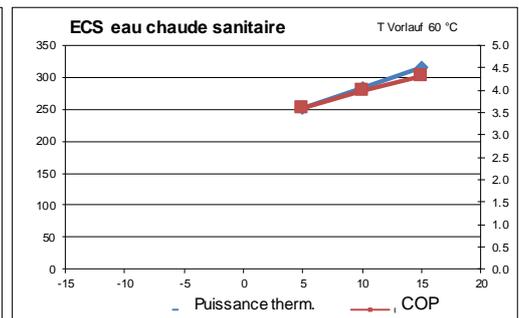
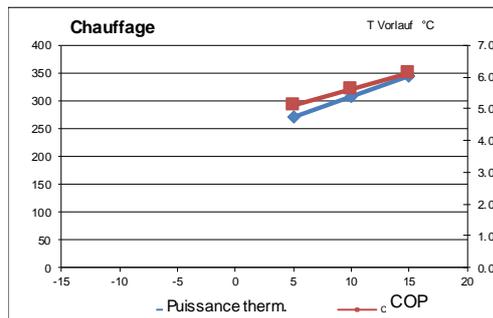
Données concernant le bâtiment			
Station climatique:			Zürich SMA
Catégorie d'ouvrage			Administration
Surface de référence énergétique SRE	$A_E$	$m^2$	8 544
Besoins de chaleur pour le chauffage selon SIA 380/1	$Q_{h,eff}$	$MJ/m^2a$	105
Déperditions par transmission selon SIA 380/1	$Q_T$	$MJ/m^2a$	205
Déperditions par renouvellement d'air selon SIA 380/1	$Q_V$	$MJ/m^2a$	74
Chauffage: pertes supplémentaires de distribution de chaleur		%	15%
Durée de coupure d'alimentation de la PAC		h/d	3
Puissance de chauffage nécessaire sans ECS à -8°C	valeur proposée: 223.0	kW	
Besoins de chaleur pour l'ECS selon SIA 380/1	$Q_{ww}$	$MJ/m^2a$	30.0
Eau chaude sanitaire: pertes supplémentaires d'accumulation et de distribution		%	20%

Installation de pompe à chaleur		CTA Optipro 230 ed	Entrées en bas
Nom et type de PAC			
Source de chaleur:			Pompe à chaleur eau/eau 2 vitesses
Utilisation (chauffage ou eau chaude san)			Chauffage+ECS
Accumulateur de chaleur			avec accumulateur chauffage
Mode de fonctionnement de la PAC			fonctionnement chauffage monovalent
Température de la source (entrée PAC)	°C		10
Valeurs de calcul pour $T_{dép}35°C(Q_h/COP)$	°C		308.0kW / 5.6
Puissance de chauffe PAC W10/W35	kW		308
COP W10W35	-		5.6
Puissance de chauffe PAC W10/W55	kW		275
COP W10W55	-		3.6
Puissance électrique soustrée par pompe de circ		W	3400
Température source de chaleur (si pas 10°C)		°C	9
Température cible du local le plus chaud (p.ex. salle de bains)	$T_{i,soll}$	°C	22
Température de départ du chauffage: ( $T_a = -8°C$ )	$T_{Dep}$	°C	50
Température de retour du chauffage: ( $T_a = -8°C$ )	$T_{Ret}$	°C	40
Différence de température accu - départ chauffage	$dT_{accu}$	°C	2
Type d'appoint électrique pour ECS :			mode anti-légionnellose hebdomadaire
Température ECS garantie sans appoint électrique :		°C	52
Circulation d'ECS / câble chauffant	Câble chauffant	Länge: m	54
Installation solaire		pas d'installation solaire	

Résultats			
Part non couverte des besoins de chaleur pour le chauffage	$\epsilon =$	0.0%	
Part d'énergie électrique pour l'ECS	$\epsilon =$	5.2%	kWh = 3 913
Pertes en mode chauffage (démarrage, accumulateur, etc.)		4%	$E_{tah} = 96\%$
Pertes en mode préparation d'ECS (démarrage, accumulateur, etc.)		6%	$E_{taw} = 94\%$
Durée de fonctionnement de la pompe à chaleur			h / a = 1 271
Part et COP annuel de la pompe à chaleur pour le chauffage	$\epsilon =$	100.0%	$JAZ_h = 3.23$
Part et COP annuel de la pompe à chaleur pour l'ECS	$\epsilon =$	94.8%	$JAZ_{ww} = 3.43$
COP annuel pour chauffage et ECS (COPa [ch+ECS])	exclu el. add.	-	3.27

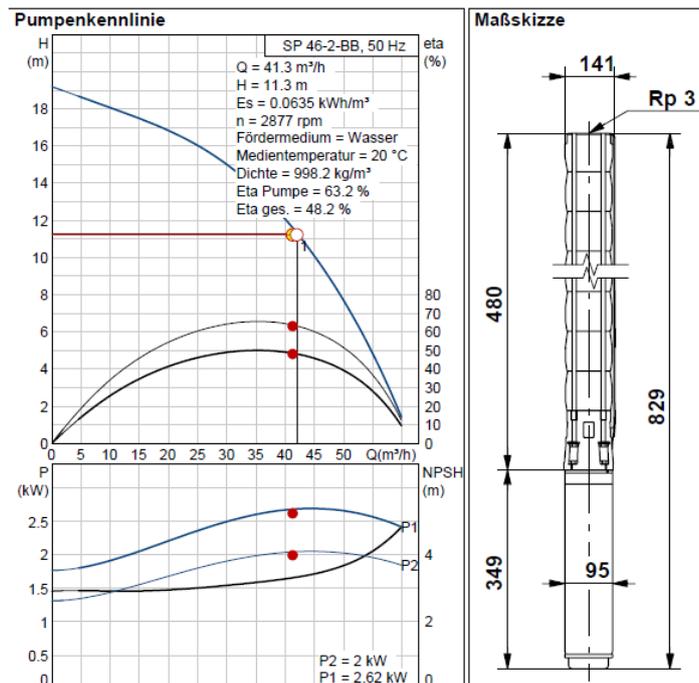
### 3.6.3 Saisie des données de la pompe à chaleur sur la feuille « Sepz »

Données de la PAC						
Nom et type de PAC		CTA Optipro 230ed				
Données de puissance de la PAC		Pompes: Consenseur		Evaporateur		inclus dans le COP
Données introduites en ordre croissant selon la température de la source						
Chauffage	T Dep	Température de la source de	°C	5	10	15
	°C	Puissance therm.	kW	270.4	308	345.6
	T Dep 35 °C	COP	-	5.1	5.6	6.1
ECS eau chaude sanitaire	T Dep	Température de la source de	°C	5	10	15
	°C	Puissance therm.	kW	251.1	283.6	316
	T Dep 50 °C	COP	-	3.6	4	4.3



Pompe de la source				
Nom et type de la pompe		Grundfos SP 46-2BB (P1=2.62kW) + Biral Modul A80-12 (P1=0.78kW)		
Courant absorbé de la pompe à plein régime		Valeur de calcul	3 400	W
Perte de charge dynamique à plein régime				kPa
Débit à plein régime				m³/h
Hauteur statique				m
Mode d'exploitation		seulement en exploitation si la PA		
Régulation		réglé		

### Pompe de nappe phréatique Grundfos SP46-2 :



**Cours PACest: exemple N° 6, Administration Regensdorf, saisie dans l'onglet "Spez"**

Voir aussi feuille "Spez"

**Données concernant le bâtiment**

Station climatique:	Zürich SMA		
Catégorie d'ouvrage	Administration		
Surface de référence énergétique SRE	$A_E$	m <sup>2</sup>	8 544
Besoins de chaleur pour le chauffage selon SIA 380/1	$Q_{heff}$	MJ/m2a	105
Dépense par transmission selon SIA 380/1	$Q_T$	MJ/m2a	205
Dépense par renouvellement d'air selon SIA 380/1	$Q_V$	MJ/m2a	74
Chauffage: pertes supplémentaires de distribution de chaleur		%	15%
Durée de coupure d'alimentation de la PAC		h/d	3
Puissance de chauffage nécessaire sans ECS à -8°C	223.0	kW	valeur proposée
Besoins de chaleur pour l'ECS selon SIA 380/1	$Q_{ww}$	MJ/m2a	30.0
Eau chaude sanitaire: pertes supplémentaires d'accumulation et de distribution		%	20%

<b>Installation de pompe à chaleur</b>		Entrées dans "Spez"	
Nom et type de PAC		Pompe à chaleur eau/eau 2 vitesses	
Source de chaleur:		Chauffage+ECS	
Utilisation (chauffage ou eau chaude san		avec accumulateur chauffage	
Accumulateur de chaleur		fonctionnement chauffage monovalent	
Mode de fonctionnement de la PAC			
Température de la source (entrée PAC)	°C		10
Valeurs de calcul pour T <sub>dép</sub> 35°C(Q <sub>h</sub> /CO <sub>2</sub> )	°C		308.0kW / 5.6
Température source de chaleur (si pas 10°C)		°C	9
Température cible du local le plus chaud (p.ex. salle de bains)	T <sub>i,soll</sub>	°C	22
Température de départ du chauffage: (T <sub>a</sub> = -8°C)	T <sub>Dep</sub>	°C	50
Température de retour du chauffage: (T <sub>a</sub> = -8°C)	T <sub>Ret</sub>	°C	40
Différence de température accu - départ chauffage	dT <sub>accu</sub>	°C	2
Type d'appoint électrique pour ECS :	mode anti-légionnellose hebdomadaire		
Température ECS garantie sans appoint électrique :		°C	52
Circulation d'ECS / câble chauffant	Câble chauffant	Länge:	m 54
<b>Installation solaire</b>		pas d'installation solaire	

<b>Résultats</b>			
Part non couverte des besoins de chaleur pour le chauffage	$\epsilon =$	0.0%	
Part d'énergie électrique pour l'ECS	$\epsilon =$	5.2%	kWh = 3 913
Pertes en mode chauffage (démarrage, accumulateur, etc.)		4%	Etah = 96%
Pertes en mode préparation d'ECS (démarrage, accumulateur, etc.)		6%	Etaw = 94%
Durée de fonctionnement de la pompe à chaleur			h / a 1 271
Part et COP annuel de la pompe à chaleur pour le chauffage	$\epsilon =$	100.0%	JAZ <sub>h</sub> = 3.23
Part et COP annuel de la pompe à chaleur pour l'ECS	$\epsilon =$	94.8%	JAZ <sub>ww</sub> = 3.44
COP annuel pour chauffage et ECS (COPa [ch+ECS])	exclu el. add.	-	3.27

### 3.6.4 Feuille de résultats

#### Calcul de la courbe de charge

#VALUE!

Cours PACest: exemple N° 6, Administration Regensdorf, saisie dans l'onglet "

#### Climat et profil de charge:

Station climatique	Zürich SMA
Besoins de chaleur	249 200 kWh
Gains de chaleur	412 960 kWh
"Part solaire:"	62%
P nécessaire ECS	8.13 kW
Durée marche PAC	1 271 h/a
Besoin d'électricité PAC	108 393 kWh

#### Besoin d'énergie:

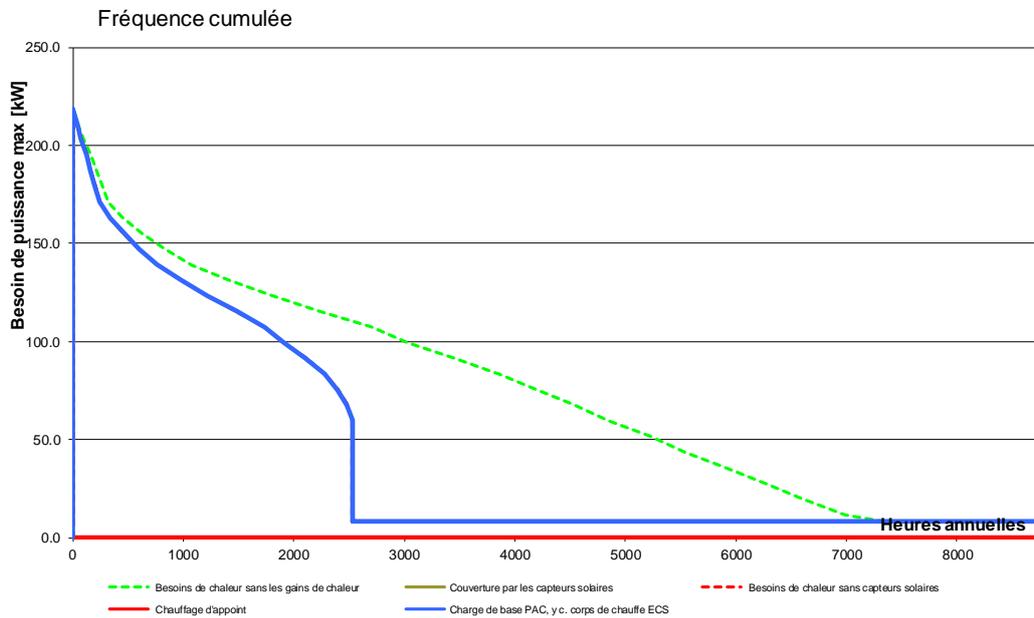
Besoins de chaleur	249 200 kWh
Distribution chauffage	37 380 kWh
Besoins chaleur ECS	59 333 kWh
Distribution ECS	11 867 kWh
<b>Besoins totaux:</b>	<b>357 780 kWh</b>

#### Couverture des besoins et COP's:

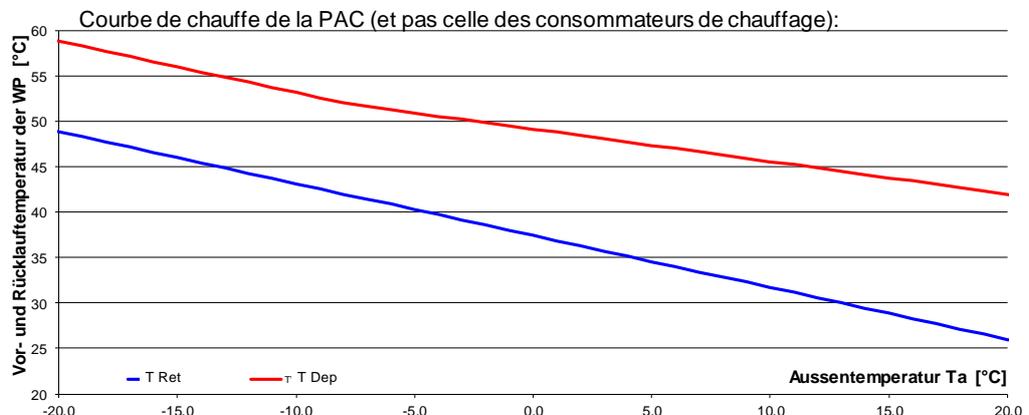
Taux couverture solaire (chauf.)	0.0%
Taux couverture solaire (ECS)	0.0%
Taux couverture PAC (chauf)	100.0%
Taux couverture PAC (ECS)	94.8%
COPA PAC (chauffage)	3.23
COPA PAC (ECS)	3.44

#### Besoin de puissance de chauffage (sans ECS)

Proposition à -8°C	223.0 kW
P calculée à -8°C	223.0 kW
P calculée à -8°C	223.0 kW



Abréviations: PAC = pompe à chaleur; ECS = eau chaude sanitaire; h = rendement; COPA = coefficient de perf annuel (sans chauffage d'appoint ni résistance électrique)



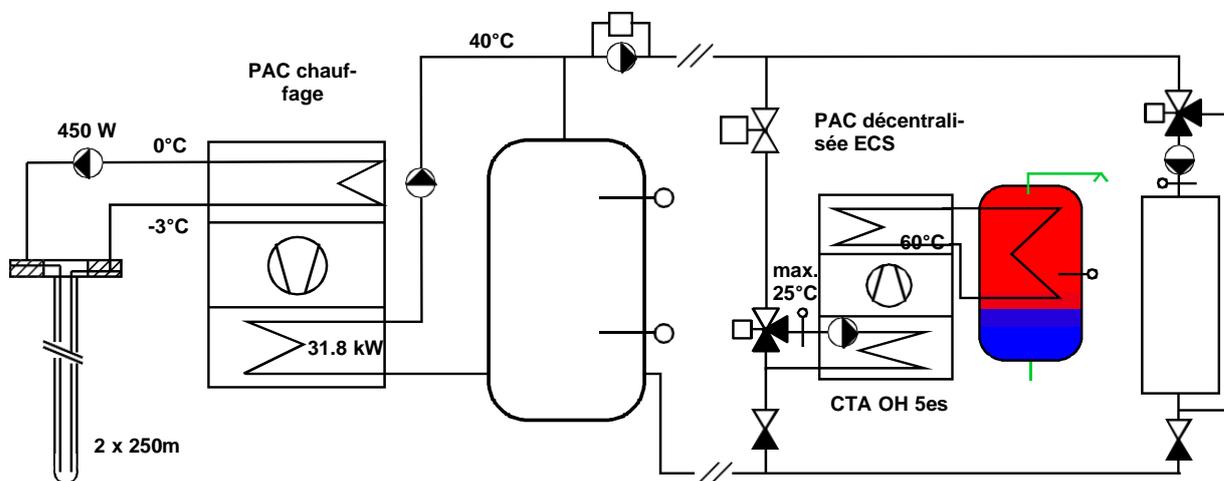
### 3.7 Habitat collectif avec pompes à chaleur décentralisées pour eau chaude sanitaire

#### 3.7.1 Kenndaten Gebäude aus der Berechnung SIA 380/1

Lieu	Zürich
Surface de référence énergétique SRE (AE)	1'100 m <sup>2</sup>
Besoins de chaleur avec débit d'air standard $Q_h$	137 MJ/m <sup>2</sup>
Besoins de chaleur avec débit d'air effectif $Q_{h,eff}$	112 MJ/m <sup>2</sup>
Pertes par transmission $Q_T$	250 MJ/m <sup>2</sup>
Pertes effectives par aération $Q_v$ avec récupération de chaleur	35 MJ/m <sup>2</sup>

#### 3.7.2 Caractéristiques techniques et de fonctionnement des PAC

Coupure d'alimentation de la PAC (dimensionnement)	2 h
Pompe à chaleur pour le chauffage	CTA OH 33e
Température de départ de la PAC chauffage (dimensionnement)	40°C
Puissance de chauffage de la PAC chauffage (B0/W40)	31.8 kW
COP de la PAC chauffage (B0/W40)	3.96
Pompe à chaleur décentralisée pour l'ECS	CTA OH 5es
Température de départ pour l'ECS (dimensionnement)	60°C
Température maximale à l'entrée de l'évaporateur WW-WP	25°C
COP de la pour l'ECS (W25/W60)	4.03



#### Remarques :

- Le fait que le départ ou le retour du chauffage soit utilisé pour la PAC ne joue généralement aucun rôle dans le calcul du COP.
- Les modèles de calcul sont décrits au chapitre 5.6 .

### 3.7.3 Saisie des données de la PAC sur les feuilles « Spez » et « WP »

Dans le cas d'une PAC de chauffage central avec des PAC d'eau chaude décentralisées, la feuille « Spez » doit être utilisée pour la saisie des valeurs caractéristiques des PAC. Les températures de départ de dimensionnement pour le chauffage et pour l'ECS de l'installation prévue doivent également être introduites.

Leistungswerte CTA Wärmepumpen

Modell: **OH 1-33e**

Quelle Eintritt: 0 °C  
Heizvorlauf: 40 °C

COP: **3.96**

Wärmequelle:  
 Sole/Wasser  
 Luft

Heizleistung: 31.8 kW  
 Kälteleistung: 23.7 kW  
 El. Leistung: 8.0 kW

(Leistungswerte nach EN 14511:2011)

A l'exception du COP pour l'ECS, les valeurs caractéristiques de la PAC de chauffage doivent être saisies. Le COP de l'ECS doit être saisi au point de fonctionnement avec la température d'entrée maximale à l'évaporateur.

Leistungswerte CTA Wärmepumpen

Modell: **OH 1-33e**

Quelle Eintritt: 0 °C  
Heizvorlauf: 60 °C

COP: **2.39**

Wärmequelle:  
 Sole/Wasser  
 Luft

Heizleistung: 27.2 kW  
 Kälteleistung: 15.8 kW  
 El. Leistung: 11.4 kW

(Leistungswerte nach EN 14511:2011)

Leistungswerte CTA Wärmepumpen

Modell: **OH 1-5es**

Quelle Eintritt: 25 °C  
Heizvorlauf: 60 °C

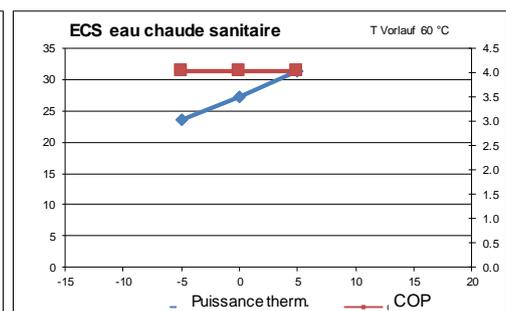
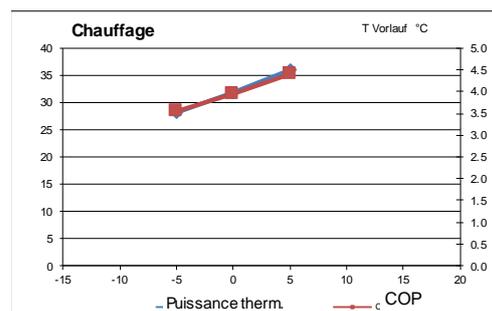
COP: **4.03**

Wärmequelle:  
 Sole/Wasser  
 Luft

Heizleistung: 8.4 kW  
 Kälteleistung: 6.3 kW  
 El. Leistung: 2.1 kW

(Leistungswerte nach EN 14511:2011)

Données de la PAC				CTA OH33e + OH5es			
Nom et type de PAC				CTA OH33e + OH5es			
Données de puissance de la PAC				Pompes: Consenseur inclus dans le COP Evaporateur inclus dans le COP			
				Données introduites en ordre croissant selon la température de la source			
Chauffage	T Dep °C	Température de la source de °C		-5	0	5	
		Puissance therm. kW	COP	28.1	31.8	35.9	
T Dep 40 °C	40			3.55	3.96	4.41	
ECS eau chaude sanitaire	T Dep °C	Température de la source de °C		-5	0	5	
		Puissance therm. kW	COP	23.6	27.2	31.4	
T Dep 60 °C	60			4.03	4.03	4.03	



Pompe de la source			
Nom et type de la pompe			
Pompe pour les sondes			
Courant absorbé de la pompe à plein régime	Valeur de calcul	450	W
Perte de charge dynamique à plein régime			kPa
Débit à plein régime			m³/h
Hauteur statique			m
Mode d'exploitation	seulement en exploitation si la PA		
Régulation	une vitesse		

Cours PACesti: exemple N° 7 Habitat collectif avec APC géoth CTA OH33e PAC décentralisées pour ECS CTA OH5es

Voir aussi feuille "Spez"

**Données concernant le bâtiment**

Station climatique:				Zürich SMA
Catégorie d'ouvrage				Habitat collectif
Surface de référence énergétique SRE	$A_E$	m <sup>2</sup>		1 100
Besoins de chaleur pour le chauffage selon SIA 380/1	$Q_{h,eff}$	MJ/m <sup>2</sup> a		112
Dépense par transmission selon SIA 380/1	$Q_T$	MJ/m <sup>2</sup> a		250
Dépense par renouvellement d'air selon SIA 380/1	$Q_V$	MJ/m <sup>2</sup> a		35
Chauffage: pertes supplémentaires de distribution de chaleur				5%
Durée de coupure d'alimentation de la PAC				2
Puissance de chauffage nécessaire sans ECS à -8°C	valeur proposée:			26.8 kW
Besoins de chaleur pour l'ECS selon SIA 380/1	$Q_{ww}$	MJ/m <sup>2</sup> a		90.0
Eau chaude sanitaire: pertes supplémentaires d'accumulation et de distribution				0%

**Installation de pompe à chaleur**

Nom et type de PAC				Entrées dans "Spez"
Source de chaleur:				Pompe à chaleur sol/eau une vitesse
Utilisation (chauffage ou eau chaude sanitaire)				Chauffage + production d'ECS décentralisée par PAC
Accumulateur de chaleur				avec accumulateur chauffage
Mode de fonctionnement de la PAC				fonctionnement chauffage monovalent
Température de la source (entrée PAC)	°C			0
Valeurs de calcul pour Tdép40°C(Qh/COF)	°C			31.8kW / 4.0
Sondes géothermiques:	Nom bre:	2	Longueur:	m 250
Température de dimensionnement des sondes (optionnel, calcul externe)				0.1 °C
Capacité de l'accumulateur chauffage				Litres 800
Température cible du local le plus chaud (p.ex. salle de bains)				Ti,soll °C 21
Température de départ du chauffage: (Ta = -8°C)				T Dep °C 40
Température de retour du chauffage: (Ta = -8°C)				T Ret °C 32
Différence de température accu - départ chauffage				dT accu °C 0
Type d'appoint électrique pour ECS:				mode anti-légionnellose hebdomadaire
Température ECS garantie sans appoint électrique:				°C 60
Circulation d'ECS / câble chauffant				Circulation d'ECS
<b>Installation solaire</b>				pas d'installation solaire

**Résultats**

Part non couverte des besoins de chaleur pour le chauffage	$\epsilon$ =	0.1%		
Part d'énergie électrique pour l'ECS	$\epsilon$ =	0.0%	kWh =	0
Pertes en mode chauffage (démarrage, accumulateur, etc.)		4%	Etah =	96%
Pertes en mode préparation d'ECS (démarrage, accumulateur, etc.)		6%	Etaw =	94%
Durée de fonctionnement de la pompe à chaleur			h / a	2 198
Part et COP annuel de la pompe à chaleur pour le chauffage	$\epsilon$ =	99.9%	JAZ <sub>h</sub> =	3.92
Part et COP annuel de la pompe à chaleur pour l'ECS	$\epsilon$ =	100.0%	JAZ <sub>ww</sub> =	2.74
COP annuel pour chauffage et ECS (COPa [ch+ECS])	exclu el. add.		-	3.30

## 4 Validation des exigences avec PACesti

### 4.1 Chauffages électriques de secours

On entend par chauffage de secours un chauffage destiné à compléter la puissance d'une installation de production de chaleur existante, telle qu'une pompe à chaleur, dimensionnée selon l'état de la technique, lorsque la température extérieure est inférieure à la température de dimensionnement. Dans certains cantons, les chauffages électriques d'appoint ne sont autorisés qu'en tant que chauffages de secours. Cela signifie que jusqu'à la température extérieure de dimensionnement selon la norme SIA 384.201, la pompe à chaleur doit se passer de chauffage électrique d'appoint. La preuve d'un dimensionnement suffisant peut être apportée à l'aide du programme PACesti. Si les conditions de la température extérieure de dimensionnement ne sont plus respectées, la mention "Part électrique directe pour le chauffage" apparaît sur une barre rose dans la zone "Résultats" de la feuille « WP ». Cela signifie que la pompe à chaleur est trop faiblement dimensionnée pour fournir la puissance de chauffage jusqu'à la température de dimensionnement sans chauffage de secours.

Résultats				
Part d'énergie électrique pour le chauffage	$\epsilon =$	0.8%	kWh =	98
Part d'énergie électrique pour l'ECS	$\epsilon =$	1.6%	kWh =	62
Pertes en mode chauffage (démarrage, accumulateur, etc.)		4%	Etah =	96%
Pertes en mode préparation d'ECS (démarrage, accumulateur, etc.)		6%	Etaw =	94%
Durée de fonctionnement de la pompe à chaleur			h / a	2 491
Part et COP annuel de la pompe à chaleur pour le chauffage	$\epsilon =$	99.2%	JAZ <sub>h</sub> =	5.13
Part et COP annuel de la pompe à chaleur pour l'ECS	$\epsilon =$	98.4%	JAZ <sub>ww</sub> =	2.70
COP annuel pour chauffage et ECS (COPa [ch+ECS])	exclu el. add.		-	4.20

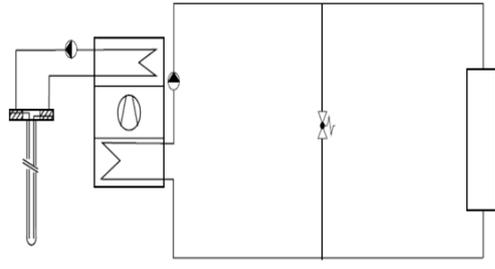
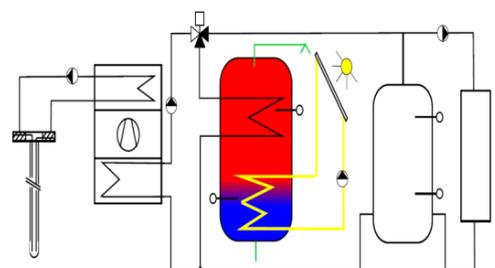
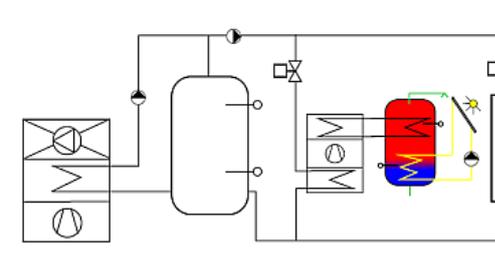
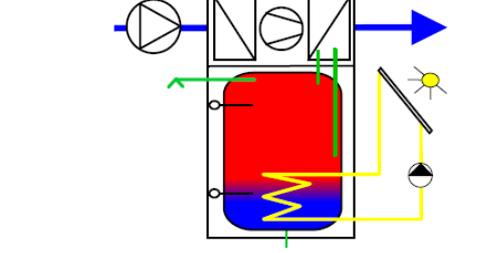
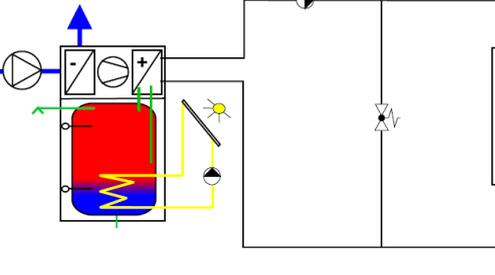
### 4.2 Calcul du COPa y compris appoints électriques

Pour bénéficier de subventions, des exigences minimales sont souvent posées au coefficient de performance annuel (COPa), y compris tous les chauffages électriques d'appoint. Pour cette justification, le coefficient de performance annuel chauffage + eau chaude COPa<sub>ch+ECS</sub> peut également être calculé en tenant compte de tous les corps de chauffe électriques pour le chauffage et l'eau chaude. Pour cela, il faut sélectionner "y compris appoint électrique" dans le champ vert E60. Les formules de calcul exactes à ce sujet se trouvent au chapitre 5.8.1.

Résultats				
Part d'énergie électrique pour le chauffage	$\epsilon =$	0.8%	kWh =	98
Part d'énergie électrique pour l'ECS	$\epsilon =$	1.6%	kWh =	62
Pertes en mode chauffage (démarrage, accumulateur, etc.)		4%	Etah =	96%
Pertes en mode préparation d'ECS (démarrage, accumulateur, etc.)		6%	Etaw =	94%
Durée de fonctionnement de la pompe à chaleur			h / a	2 491
Part et COP annuel de la pompe à chaleur pour le chauffage	$\epsilon =$	99.2%	JAZ <sub>h</sub> =	5.13
Part et COP annuel de la pompe à chaleur pour l'ECS	$\epsilon =$	98.4%	JAZ <sub>ww</sub> =	2.70
COP annuel pour chauffage et ECS (COPa [ch+ECS])	y compris el. add.		→	4.07

## 5 Description des modèles

### 5.1 Systèmes de pompes à chaleur

	<p><b>PAC pour chauffage, sans eau chaude, sans accumulateur de chauffage</b></p>
	<p><b>PAC pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire, avec accumulateur de chauffage</b></p> <p>Modélisation des pertes § 5.5.3</p>
	<p><b>PAC décentralisée pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire</b></p> <p>Description du modèle § 5.6</p>
	<p><b>Pompe à chaleur sur air extrait sans récupération de chaleur par ventilation pour l'eau chaude sanitaire</b></p> <p>Identique à une PAC air-air avec une température d'air constante de 20°</p>
	<p><b>Pompe à chaleur sur air extrait sans récupération de chaleur par ventilation pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire</b></p> <p>Traitement identique à une PAC air-air avec une température d'air constante de 20°C</p>

<p>The diagram shows a PAC unit connected to a heating system. A single return line from the heating system goes to the bottom of a combined accumulator tank. The tank has a heating coil at the bottom. A solar collector is connected to the top of the tank. The heating system includes a boiler and a pump.</p>	<p><b>PAC pour chauffage et eau chaude sanitaire avec accumulateur combiné, 1 retour accu-PAC</b></p> <p>Description du modèle § 5.5</p>
<p>The diagram shows a PAC unit connected to a heating system. Two return lines from the heating system go to the bottom of a mixed tank. The tank has a heating coil at the bottom. A solar collector is connected to the top of the tank. The heating system includes a boiler and a pump.</p>	<p><b>Chauffage et eau chaude sanitaire avec ballon mixte, 2 retours accu-PAC</b></p> <p>Description du modèle § 5.5</p>
<p>The diagram shows a PAC unit connected to a heating system. A return line from the heating system goes to the bottom of a combined accumulator tank. The tank has a heating coil at the bottom. A solar collector is connected to the top of the tank. The heating system includes a boiler and a pump.</p>	<p><b>Dans PACesti : chauffage et eau chaude sanitaire avec accumulateur combiné, circuit standard (STASCH)</b></p> <p>Description du modèle § 5.5</p>
<p>The diagram shows a PAC unit connected to a heating system. A return line from the heating system goes to the bottom of an accumulator tank. The tank has a heating coil at the bottom. A solar collector is connected to the top of the tank. The heating system includes a boiler and a pump.</p>	<p><b>Dans JAZcalc (Autriche) : chauffage et eau chaude sanitaire avec un accumulateur, PAC optimisée</b></p> <p>Description du modèle § 5.5</p>

## 5.2 Puissance de chauffage et besoins de chauffage

### 5.2.1 Méthode Bin selon la norme SIA 384/3

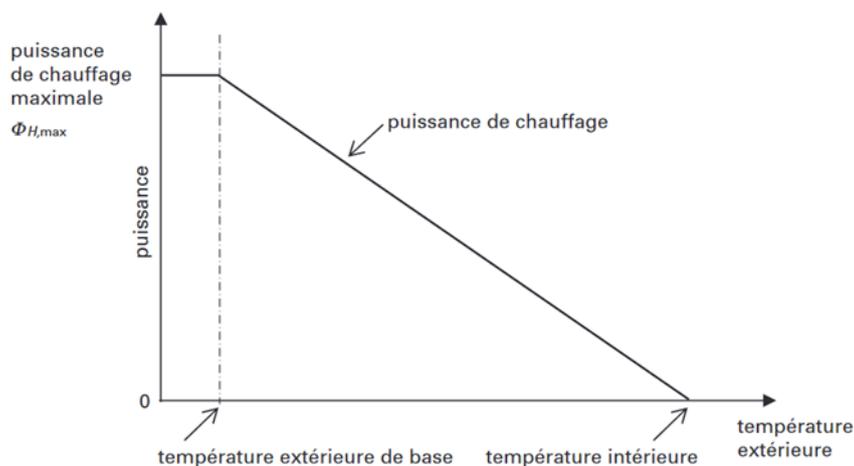
La méthode Bin (méthode par fréquences cumulées) part d'un besoin en chaleur de chauffage connu d'un bâtiment. Les besoins en chaleur de chauffage sont répartis sur les valeurs horaires des températures extérieures pour la station météorologique concernée. On part du principe que les pertes de chaleur par transmission et par ventilation augmentent de manière linéaire avec la différence de température entre l'extérieur et la pièce.

Un rendement moyen ou COP est ensuite déterminé pour chaque classe de température (Bin). La répartition des besoins en chaleur de chauffage sur les différents Bins de température donne également le facteur de pondération pour les différents COP, ce qui permet de calculer un COP moyen. Une description détaillée de la méthode des bin se trouve dans l'annexe 8.1.

### 5.2.2 Puissance de chauffage

La puissance calorifique correspond à la puissance totale des pertes de chaleur du bâtiment. Pour ces calculs, on suppose l'évolution suivante de la puissance calorifique (cf. Fig. 5-1) :

- Si la température extérieure est égale ou supérieure à la température ambiante, la puissance de chauffage est nulle (0).
- Lorsque la température de dimensionnement extérieure est atteinte, la puissance de chauffage est à son maximum. Lorsque la température extérieure est inférieure à la température extérieure de dimensionnement, elle reste constante.
- Entre la température ambiante et la température extérieure de dimensionnement, la puissance calorifique augmente linéairement.



**Fig. 5-1 :** Détermination de la courbe de la puissance de chauffage

Le calcul de la puissance calorifique à partir des déperditions thermiques totales (pertes par transmission et par ventilation) et des différences de température pondérées entre l'intérieur et l'extérieur est décrit dans l'annexe 8.2 .

## 5.3 Températures de départ des pompes à chaleur

### 5.3.1 Températures de départ pour les pompes à chaleur air-eau

Dans PACesti la température de retour de la PAC est régulée en fonction de la température extérieure. La température de retour de la pompe à chaleur est réglée à la température extérieure de dimensionnement (dans l'exemple de la figure 5-2 pour  $T_a = -8^\circ\text{C}$ ,  $T_{RL} = 28^\circ\text{C}$ ). Pour une température extérieure de  $20^\circ\text{C}$ , la température de retour est de  $2^\circ\text{C}$  de plus que la température ambiante  $T_i$ , donc  $T_{RL} = 23^\circ\text{C}$  pour  $T_a = 20^\circ\text{C}$ ). Ces deux points permettent de définir la courbe de chauffe de la température de retour.

Pour le dimensionnement, la température de départ est reprise de la feuille de saisie ( $T_{VL}$ ), dans l'exemple ci-dessous  $T_{VL} = 5^\circ\text{C}$ ). Pour toutes les autres températures extérieures, on la calcule à partir de la puissance de chauffage actuelle de cette fréquence (Bin) comme précisé au chapitre 5.10.4.

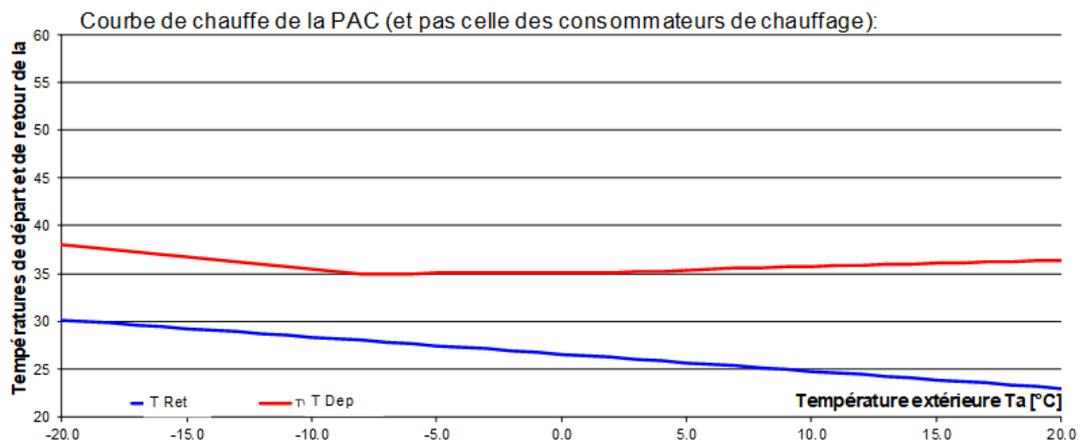


Fig. 5-2 Températures de départ et de retour dans PACesti

Une éventuelle différence de température entre l'accumulateur et la température de départ du groupe de chauffage induit une translation parallèle des courbes de chauffe.

Si l'on choisit un accumulateur combiné, la température de départ est majorée conformément aux indications du chapitre 5.5.2.

### 5.3.2 Températures de départ pour les pompes à chaleur sol-eau

Les courbes de chauffe des pompes à chaleur sol-eau sont calculées de la même manière que celles des pompes à chaleur air-eau, la puissance de chauffage étant considérée comme constante indépendamment de la température extérieure  $T_a$ .

## 5.4 Eau chaude

### 5.4.1 Puissance requise pour l'eau chaude

Les besoins en eau chaude sont calculés selon la norme SIA 380/1. La puissance supplémentaire nécessaire à cet effet se calcule comme suit :

$$\dot{Q}_{ww} = \frac{Q_{ww} \cdot EBF \cdot \eta_{vert} \cdot 1000 \text{kJ} / \text{MJ}}{8760 \text{h} \cdot 3600 \text{s} / \text{h}} \quad [\text{kW}] \quad \text{Eq. 5.1}$$

Cette équation est basée sur un bilan journalier. Ce qui veut dire que sur le jour type de dimensionnement pour le chauffage des locaux selon la norme SIA 384.201 (24 heures durant lesquelles seules  $Q_T$  et  $Q_V$  sont considérées, mais pas  $Q_S$  et  $Q_i$ ), il n'y a qu'un seul prélèvement moyen d'eau chaude. Cette consommation moyenne ( $Q_{ww}$ ) est déterminée sur la base des besoins en ECS selon l'utilisation standard de la norme SIA 380/1 [en MJ/m<sup>2</sup>] (cf. chapitre "Utilisation standard" 8.3). Pour le supplément de puissance ainsi déterminé, la simultanéité entre la production de chauffage et d'ECS n'a pas d'importance.

### 5.4.2 Puissance requise pour l'eau chaude

La SIA 380/1 ne tient pas compte des pertes de stockage et de distribution pour  $Q_{ww}$ . Ces pertes (pertes d'entropie dans l'échangeur, pertes de chaleur dans l'accumulateur) sont prises en compte sommairement selon l'équation 5.20. Les pertes de distribution sont négligées.

$$\eta_{vert} = 1 \quad \text{Eq. 5.2}$$

### 5.4.3 Bandes chauffantes et circulation d'eau chaude

Les pertes pour la circulation de l'ECS ne sont pas automatiquement prises en compte dans PACesti et doivent être saisies dans les données du bâtiment.

Les bandes chauffantes de maintien en température du circuit d'ECS sont calculées comme un besoin en électricité supplémentaire de la manière suivante :

$$Q_{HB} = 5 \text{ W} / \text{m} \cdot L\ddot{a}nge \cdot 7000 \text{ h} / \text{a} \cdot \frac{1 \text{ kW}}{1000 \text{ W}} \quad [\text{kWh}] \quad \text{Eq. 5.3}$$

L'électricité nécessaire qui en résulte pour la production d'eau chaude sanitaire se calcule donc comme suit :

$$Q_{HB} = \frac{Q_{HB}}{\frac{Q_{ww} \cdot EBF}{3.6 \text{ MJ} / \text{kWh}} + Q_{HB}} \quad \text{Eq. 5.4}$$

### 5.4.4 Mode de fonctionnement anti-légionellose

En cas de sélection d'une commutation quotidienne anti-légionellose, la température de consigne de l'eau sanitaire est fixée à 60°C avec la résistance d'appoint. En cas d'activation hebdomadaire du mode légionellose, la température de consigne moyenne de l'eau chaude sanitaire est fixée une fois par semaine à 60°C.

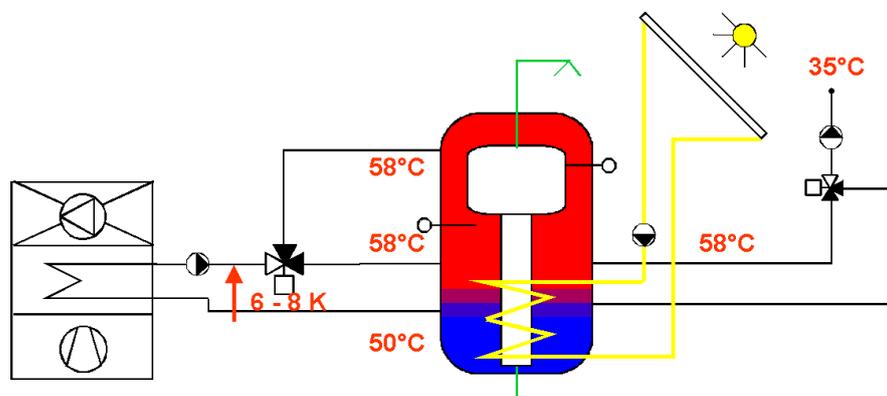
## 5.5 Modèles d'accumulateurs de chauffage

### 5.5.1 Considérations de base

Les accumulateurs de chauffage sont très souvent utilisés dans les installations de pompes à chaleur, et ce pour différentes raisons. Dans les installations avec des pompes à chaleur air-eau, ils sont parfois indispensables pour des raisons liées au dégivrage. Les accumulateurs combinés sont fréquemment utilisés pour le chauffage d'appoint solaire. Mais dans la plupart des cas, l'utilisation d'accumulateurs de chauffage est un moyen simple de ne pas avoir à se soucier du réglage hydraulique d'une installation. Les arguments souvent avancés concernant des installations avec des fréquences d'utilisation plus basse et de ce fait avec des durées de vie plus longues ont été vérifiés dans l'étude FAWA de l'OFEN [8] sur un grand nombre d'installations construites. Cependant, les accumulateurs de chauffage entraînent généralement des pertes plus importantes sur les installations et donc une détérioration du coefficient de performance annuel. Cependant dans les normes actuelles de bancs d'essai [1] pour les pompes à chaleur ces effets ne sont pas pris en compte ; en effet les bancs d'essai prélèvent toujours directement 100 % de la quantité de chaleur produite et l'attribuent aux consommateurs. Une estimation au moins approximative de ces effets semble donc impérative. En l'absence de modèles et de normes sur ce sujet, nos propres modèles ont été développés et intégrés dans PACesti. Une remise en question scientifique de ces modèles est expressément saluée.

### 5.5.2 Accumulateur combiné

Les ballons mixtes sont des ballons de chauffage avec un réservoir d'eau chaude intégré. L'eau chaude sanitaire est chauffée indirectement par l'eau de chauffage, dans le ballon mixte. Dans le cas d'une mauvaise mise en œuvre, non seulement l'eau chaude sanitaire, mais aussi l'accumulateur de chauffage peut être chauffés en majorité à la température de l'eau sanitaire, ce qui peut avoir pour conséquence que la pompe à chaleur fonctionne à un niveau de température trop élevé lors du chauffage de l'eau de chauffage et qu'il en résulte un mauvais coefficient de performance.



**A Fig. 5-3** Températures lors de la charge d'eau chaude dans un ballon mixte avec pompe à chaleur sur le retour du ballon

PACesti tient compte cet effet en augmentant la température moyenne de condensation dans la pompe à chaleur. Ce supplément d'accumulateur combiné  $T_{Komb}$  a été fixé comme suit :

$$T_{komb} = (T_{ww} - T_{VL}) \cdot f_{Komb} \quad [K] \quad \text{Eq. 5.5}$$

Le facteur de majoration de l'accumulateur combiné  $f_{Komb}$  dépend du type d'accumulateur choisi :

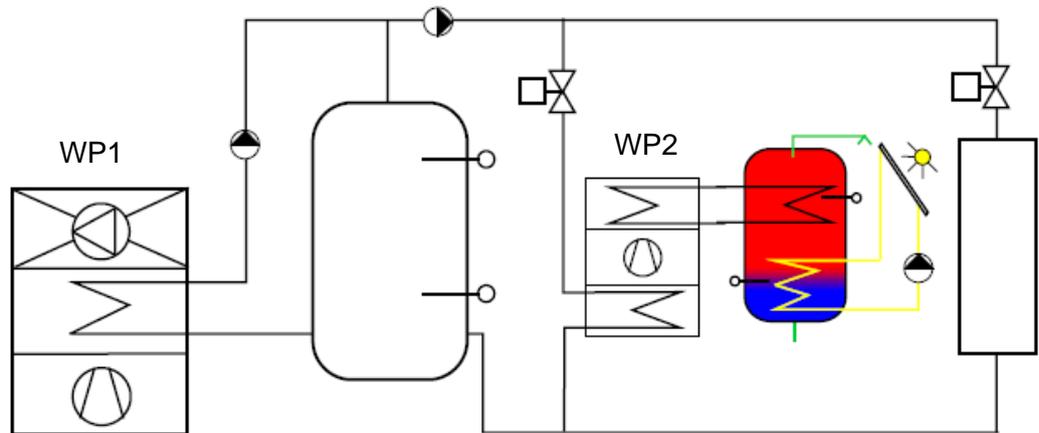
Type d'accumulateur combiné	Facteur de majoration $f_{Komb}$
Accumulateur combiné avec 1 retour PAC depuis l'accumulateur	0.5
Accumulateur combiné avec 2 retours PAC depuis l'accumulateur	0.2
Accumulateur combiné avec circuit standard STASCH [10]	0.1
Chauffage et eau chaude sanitaire avec accumulateur hygiénique	0.1

### 5.5.3 Pertes de l'accumulateur de chauffage

Le problème décrit au chapitre 5.5.2 n'est pas la seule cause d'une dégradation des performances de la PAC. Un accumulateur génère également des pertes thermiques au niveau de son enveloppe et aux raccordements. De plus, il y a des pertes (conduction thermique), aussi bien de la partie chaude de l'accumulateur (en haut) que de la partie froide de l'accumulateur (en bas), sur les parois de l'accumulateur ainsi à la limite des niveaux de stratifications dans l'accumulateur. Plus l'accumulateur est grand et plus la température de l'accumulateur est élevée, plus ces pertes sont importantes. La manière dont ces effets sont pris en compte est décrite au chapitre 5.6.

Type d'accumulateur de chauffage	Facteur de perte x
Sans accumulateur de chauffage	0%
Avec accumulateur de chauffage (pas d'accumulateur combiné)	2%
Accumulateur combiné avec 1 retour PAC depuis l'accumulateur	6%
Accumulateur combiné avec 2 retours PAC depuis l'accumulateur	5%
Accumulateur combiné avec circuit standard STASCH [10]	4%
Chauffage et eau chaude sanitaire avec accumulateur hygiénique	4%

## 5.6 Pompe à chaleur décentralisée pour l'ECS



Dans le cas d'une production de chaleur centralisée pour le chauffage et d'une pompe à chaleur décentralisée pour l'eau chaude sanitaire utilisant l'eau de chauffage comme source de chaleur, le  $COP_{ww}$  est calculé comme suit :

$$COP_{ww} = \frac{Q_{ww}}{Pe_1 + Pe_2 + P_{Pumpe 1} + P_{Pumpe 2}} \quad \text{Eq. 5.6}$$

Pour les besoins en électricité, il faut additionner la consommation électrique du compresseur de la pompe à chaleur de chauffage WP1 et celle du compresseur de la pompe à chaleur d'eau chaude sanitaire WP2, et les ajouter aux besoins en électricité des pompes de circulation. Les besoins en électricité des deux pompes de circulation sont estimés dans PACesti en ajoutant 10% aux besoins en électricité des compresseurs,  $COP_{ww}$  :

$$COP_{ww} = \frac{COP_h \cdot COP_2}{COP_h + COP_2 - 1} \cdot 0.9 \quad \text{Eq. 5.7}$$

Le  $COP_h$  correspond quant à lui au COP moyen du chauffage pendant la période de chauffage.

## 5.7 Pertes

### 5.7.1 Pertes de production de chaleur

Pour les pertes de la production de chaleur (détérioration du coefficient de performance), l'approche suivante est actuellement appliquée :

$$\eta_w = 1 - \sum x \quad \text{et} \quad \eta_h = 1 - \sum x \quad \text{Eq. 5.8}$$

Le coefficient de travail calculé est multiplié par le rendement ci-dessus.

En général, les pertes suivantes sont toujours prises en compte.

Type d'accumulateur de chauffage	Facteur de perte x
Pertes au démarrage de la pompe à chaleur en mode chauffage	2%
Pertes au démarrage de la pompe à chaleur en mode ECS	2%

Les pertes de distribution pour le chauffage et l'eau chaude (y compris la circulation d'eau chaude) sont prises en compte comme grandeur d'entrée. Ces valeurs augmentent les besoins en chaleur pour le chauffage et la production d'eau chaude.

Dans le cas d'un chauffage d'appoint électrique, il peut arriver, en cas de régulation peu performante du registre électrique, que celui-ci fonctionne parallèlement à la pompe à chaleur. Pour les chauffages électriques d'appoint, les facteurs de perte suivants sont également pris en compte.

Type d'enclenchement du registre électrique	Facteur de perte x
Pertes de charge de l'accumulateur avec registre électrique, charge parallèle possible	4%
Pertes de charge du ballon avec registre électrique, sans charge parallèle	1%
Pertes de charge avec registre électrique continu	2%

### 5.7.2 V Pertes de production d'eau chaude

Si un chauffage électrique d'appoint est sélectionné pour la production d'eau chaude sanitaire, les facteurs de perte suivants sont pris en compte selon le type de régulation registre électrique.

Type d'enclenchement du registre électrique pour l'ECS	Facteur de perte x
Registre électrique en service en parallèle	5%
Registre électrique en service sans fonctionnement en parallèle	2%

## 5.8 Définition des coefficients de performance COPa

### 5.8.1 Calcul du COPa dans PACesti

Dans PACesti, conformément aux définitions de MINERGIE, le coefficient de performance annuel (COPa) est toujours calculé sans les résistances électriques et sans les énergies auxiliaires. Le COPa est calculé ainsi :

$$COPa_{h+ww} = \frac{\frac{W_h}{W_{ww}} \varepsilon_h + \varepsilon_w}{\frac{W_h}{W_{ww}} \frac{\varepsilon_h}{COPa_h} + \frac{\varepsilon_w}{COPa_{ww}}} \quad \text{Eq. 5.9}$$

### 5.8.2 Calcul du COP dans JAZcalc / Autriche (sans installation solaire)<sup>3</sup>

Dans JAZcalc, le chauffage d'appoint électrique (mais pas le chauffage d'appoint fossile) est en principe pris en compte dans le calcul du JAZ.

$$JAZ_{Heizung} = \frac{1 - \varepsilon_{sol,h}}{\frac{\varepsilon_h}{JAZ_h} + \varepsilon_{zus,h}} \quad \text{Eq.5.10}$$

$$JAZ_{Warmwasser} = \frac{1 - \varepsilon_{sol,w}}{\frac{\varepsilon_w}{JAZ_{ww}} + \varepsilon_{zus,w}} \quad \text{Eq.5.11}$$

Le coefficient de performance global avec chauffage électrique d'appoint est calculé comme suit :

$$JAZ_{Gesamt} = \frac{\frac{W_h}{W_{ww}} (1 - \varepsilon_{sol,h}) + 1 - \varepsilon_{sol,w}}{\frac{W_h}{W_{ww}} \left( \frac{\varepsilon_h}{JAZ_h} + \varepsilon_{zus,h} \right) + \frac{\varepsilon_w}{JAZ_{ww}} + \varepsilon_{zus,w}} \quad \text{Eq.5.12}$$

Pour les installations à combustibles fossiles, le coefficient de performance global est calculé comme suit :

$$JAZ_{Gesamt} = \frac{\frac{W_h}{W_{ww}} \varepsilon_h + \varepsilon_w}{\frac{W_h}{W_{ww}} \frac{\varepsilon_h}{JAZ_h} + \frac{\varepsilon_w}{JAZ_{ww}} + \varepsilon_{zus,w}} \quad \text{Eq.5.13}$$

### 5.8.3 Calcul du JAZ en JAZcalc /Autriche (avec installation solaire)

Dans JAZcalc, on trouve en plus un JAZ tenant compte de l'installation solaire :

$$JAZ_{Heizung} = \frac{1}{\frac{\varepsilon_h}{JAZ_h} + \varepsilon_{zus,h}} \quad \text{Eq.5.14}$$

$$JAZ_{Warmwasser} = \frac{1}{\frac{\varepsilon_w}{JAZ_{ww}} + \varepsilon_{zus,w}} \quad \text{Eq.5.15}$$

<sup>3</sup> Comme la feuille JAZcalc ne concerne que l'Autriche, les dénominations allemandes ont été conservées (JAZ = COPa)

## 5.9 Modèle pour les PAC à sondes géothermiques

### 5.9.1 Sondes géothermiques : température de la source froide

La température de dimensionnement  $T_q$  de la source froide pour une PAC à sondes géothermiques dépend de différents facteurs ayant des poids différents. Pour l'estimer, des modélisations ont été effectuées avec le programme EWS [14] en variant ces paramètres. Une conductivité thermique moyenne pour le sol de  $\lambda_{\text{Erde}} = 2,5 \text{ W/mK}$  est utilisée pour les calculs. Pour une estimation grossière, la relation suivante a été considérée dans l'outil PACesti, celle-ci a également été intégrée dans la norme SIA 384/3 [1] :

$$T_q [\text{K}] \approx 283,15\text{K} - \left( 0,055\text{K} \cdot \text{m/W} + \frac{\text{Laufzeit}}{100\text{h}} \cdot 0,006\text{K} \cdot \text{m/W} \right) \cdot \frac{\dot{Q}_{\text{B0/W35}} \cdot 1000\text{W/kW}}{\text{Sondenlänge} [\text{m}]} \cdot \frac{(\text{COP}_{\text{B0/W35}} - 1)}{\text{COP}_{\text{B0/W35}}} \quad \text{Eq.5.16}$$

La durée de fonctionnement de la pompe à chaleur peut être estimée à l'aide de l'équation suivante :

$$\text{Duree} [\text{h}] \approx \frac{(Q_h + Q_{ww}) \cdot AE}{3,6 \text{ MJ/kWh} \cdot \dot{Q}_{\text{B0/W35}} [\text{kW}]} \quad \text{Eq.5.17}$$

Ces formules sont utilisées pour autant qu'aucune saisie n'est effectuée dans PACesti pour la température de la sonde. Pour les installations de plus grande taille, il est vivement recommandé d'effectuer un calcul séparé avec le programme EWS [14] et ensuite de saisir directement la température de dimensionnement de la sonde (dimensionnement selon SIA 384/6 : température de source la plus basse sur 50 ans).

Comme la température de la source froide d'une installation de pompe à chaleur à sondes géothermiques varie au cours de l'année, PACesti calcule une température moyenne annuelle supérieure de 2K à la température de dimensionnement de la source froide  $T_q$ . La valeur saisie doit donc toujours être la valeur la plus basse de l'année : la correction de la saison se fait automatiquement dans PACesti.

### 5.9.1 Calcul du COP avec un degré d'efficacité constant

L'influence de la température de la source  $T_q$  et de la température de départ  $T_{\text{Vorl}}$  sur le COP est prise en compte par l'approche de Carnot suivante (degré d'efficacité constant) :

$$\text{COP}_{\text{eff}} = \text{COP}_{\text{Ref}} \cdot \frac{T_{\text{Vorl,eff}}}{T_{\text{Vorl,eff}} - T_{\text{q,eff}}} \cdot \frac{T_{\text{Vorl,Ref}} - T_{\text{q,Ref}}}{T_{\text{Vorl,Ref}}} \quad \text{Eq.5.18}$$

Dans l'équation 5.18 il faut indiquer la température de départ  $T_{\text{Vorl}}$  en [K].

### 5.9.2 Pompes de source (nappe) et de sonde

Les mesures de COP réalisées sur banc d'essai prennent déjà en compte l'énergie nécessaire pour compenser la chute de pression dans le condenseur et l'évaporateur, mais pas celle permettant de contrer la chute de pression dans une sonde géothermique et dans le collecteur de la sonde ou encore pour pomper l'eau d'une nappe phréatique. Cette énergie doit être prise en compte pour le calcul d'un coefficient de performance annuel.

L'expérience montre que l'énergie nécessaire pour compenser la chute de pression dans l'évaporateur représente environ 4% de l'énergie absorbée par la pompe à chaleur (sans les pompes de circulation). En tenant compte des autres pertes (pertes de stockage, pertes de démarrage, etc. avec le rendement selon le chapitre 5.6), le coefficient de performance annuel est donc calculé comme suit à partir du  $COP_{eff,h}$  en mode chauffage, de la puissance calorifique de la pompe à chaleur  $Q_{WP}$  et de la puissance électrique absorbée par la pompe de la sonde (ou de la nappe phréatique)

$$COPa_h = \frac{\eta_h}{\frac{1}{COP_h} + \frac{P_{Pumpe}^{-0.04} \cdot \frac{Q_{WP}}{COP_h}}{Q_{WP}}} \quad \text{Eq.5.19}$$

Für die Warmwasserproduktion gilt analog

$$COPa_{ww} = \frac{\eta_w}{\frac{1}{COP_{ww}} + \frac{P_{Pumpe}^{-0.04} \cdot \frac{Q_{WP}}{COP_{ww}}}{Q_{WP}}} \quad \text{Eq.5.20}$$

## 5.10 Modèles pour les pompes à chaleur air-eau

### 5.10.1 Calcul avec un degré d'efficacité constant

Les COP sont calculés soit par interpolation linéaire, soit avec un degré d'efficacité constant. Les conversions de COP pour les points de fonctionnement réels à partir des points de mesure normalisés avec un degré d'efficacité constant se basent sur la méthode de Carnot.

$$\text{COP}_{\text{eff}} = \text{COP}_{\text{Ref}} \cdot \frac{T_{\text{Vorl,eff}}}{T_{\text{Vorl,eff}} - T_{\text{q,eff}}} \cdot \frac{T_{\text{Vorl,Ref}} - T_{\text{q,Ref}}}{T_{\text{Vorl,Ref}}} \quad \text{Eq.5.21}$$

$\text{COP}_{\text{eff}}$	Coefficient de performance effectif au point de fonctionnement
$\text{COP}_{\text{Ref}}$	Coefficient de performance pour les conditions de référence (valeurs au banc d'essai)
$T_{\text{Vorl,eff}}$	Température de départ effective à la sortie du condenseur
$T_{\text{Vorl,Ref}}$	Température à la sortie du condenseur dans des conditions normalisées
$T_{\text{q,eff}}$	Température effective de la source à l'entrée de l'évaporateur
$T_{\text{q,Ref}}$	Température de la source dans des conditions normalisées

### 5.10.2 Points de fonctionnement nécessaires pour la PAC air-eau

Pour l'extrapolation et l'interpolation des points de fonctionnement d'une PAC air-eau, les points de mesure normalisés suivants sont nécessaires :

Désignation de la Mesure	A-7/W35	A-7/W35	A2/W35	A7/W35					A-7/W55	A7/W55	A20/W55
Conditions marginales											
Temp. air extérieur $T_a$ [°C]	-15	-7	2	7					-7	7	20
Temp. départ PAC $T_v$ [°C]	35	35	35	35					55	55	55
Humidité relative [%]	-	75	84	89					75	89	40

**Tableau 5-1 Points de fonctionnement des mesures d'essai sur les pompes à chaleur air/eau selon la norme actuelle EN 14511 nécessaires pour les calculs dans PACesti**

Le point de fonctionnement indiqué en jaune dans le tableau est supprimé conformément au règlement le plus récent. Toutefois, si les points de fonctionnement à des températures extérieures plus élevées, par exemple pour la production d'eau chaude sanitaire, doivent pouvoir être déterminés de manière fiable, il est **impératif** que ce **point de mesure** soit **disponible pour  $T_v = 55^\circ\text{C}$** . Si ce point de fonctionnement n'est pas saisi, les valeurs de A7/W55 sont utilisées pour le point de mesure A20/W55, ce qui entraîne une dégradation théorique importante du coefficient de performance.

### 5.10.3 Détermination des points de fonctionnement manquants

Pour obtenir deux courbes de référence ( $T_v = 55^\circ\text{C}$  et  $T_v = 35^\circ\text{C}$ ) avec des valeurs de températures extérieures identiques, il est nécessaire de compléter les points de fonctionnement manquants et les extrapoler pour des valeurs extrêmes ( $T_{\text{source}} < 15^\circ\text{C}$  et  $T_{\text{source}} > 20^\circ\text{C}$ ).

Les valeurs de référence manquantes pour le COP et la puissance calorifique sont déterminées comme suit.

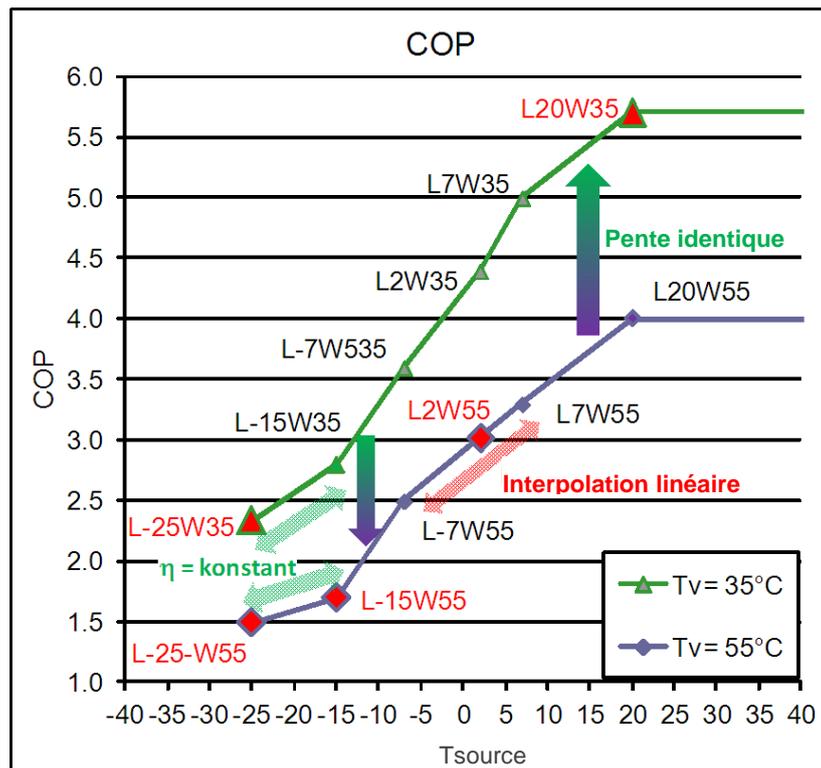


Fig. 5-4 Détermination des points de fonctionnement

- L20W35** Extrapolation linéaire à partir de L7W35 avec la même pente qu'entre les points L7W55 et L20W55
- L2W55** Interpolation linéaire entre les points L-7W55 et L7W55
- L-15W55** Extrapolation linéaire à partir de L-7W55 avec la même pente qu'entre les points L-7W35 et L-15W35
- L-25W35** COP calculé sur un degré de qualité constant comme le point L-15W35, puissance calorifique extrapolée linéairement sur les points L-7W35 et L-15W35
- L-25W55** Calculé sur un degré d'efficacité constant comme le point L-15W55 Puissance calorifique extrapolée linéairement sur les points L-7W55 et L-15W55
- $T_{\text{source}} > 20^\circ\text{C}$**  COP et puissance de chauffage constants comme L20W55 et L20W35

### 5.10.4 Calcul du point de fonctionnement réel de l'installation

Le point de fonctionnement réel pour une température de départ et une température de source donnée est calculé par une interpolation/extrapolation linéaire. Pour ce faire, les quatre valeurs de base appropriées sont déterminées pour le point de fonctionnement donné.

A partir des valeurs de référence, des valeurs secondaires pour le COP et la puissance de chauffage sont déterminées par interpolation/extrapolation linéaire pour les températures de départ prédéfinies (par ex. 55 et 35°C) pour la température de la source du point de fonctionnement recherché.

Le point de fonctionnement pour la température de départ correspondante est alors calculé à partir des valeurs secondaires. Cela se fait de manière différente pour le COP et la puissance de chauffage.

Pour le COP :

- Calcul du degré d'efficacité des valeurs secondaires
- Interpolation/extrapolation linéaire du degré d'efficacité au point de fonctionnement
- Calcul du COP sur la base du degré d'efficacité au point de fonctionnement

Puissance de chauffage :

- Interpolation/extrapolation linéaire de la puissance de chauffage au point de fonctionnement

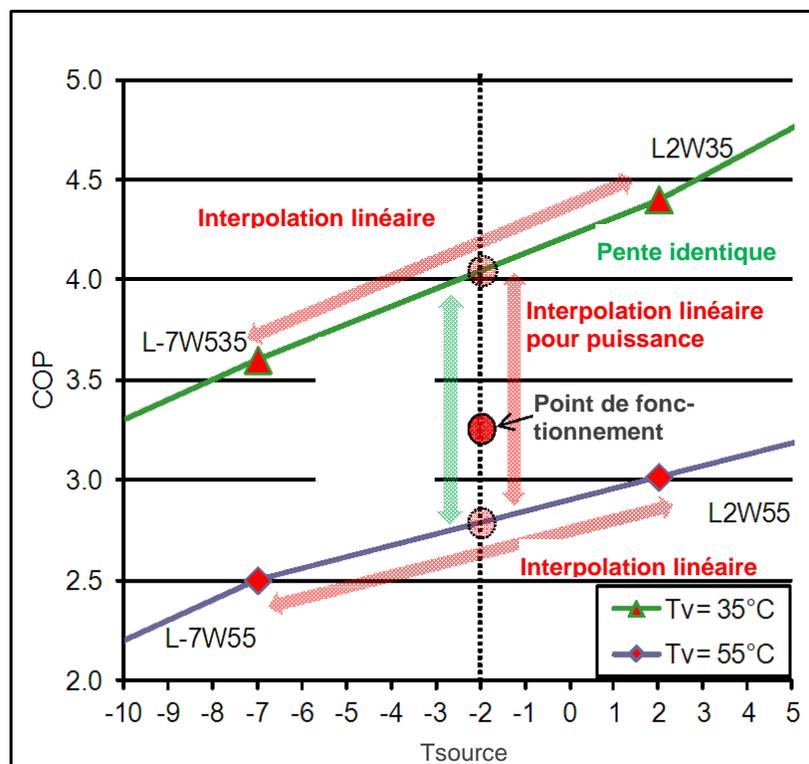


Fig. 5-5 Représentation schématique de l'interpolation pour la détermination d'un point de fonctionnement.

### 5.10.5 Points de fonctionnement pour les caractéristiques des PAC dans la feuille « Spez »

Dans la feuille de calcul « Spez », il est possible de saisir les courbes caractéristiques pour des pompes à chaleur spécifiques.

Les conditions suivantes doivent être remplies pour que la détermination du point de fonctionnement puisse se faire avec une précision raisonnable.

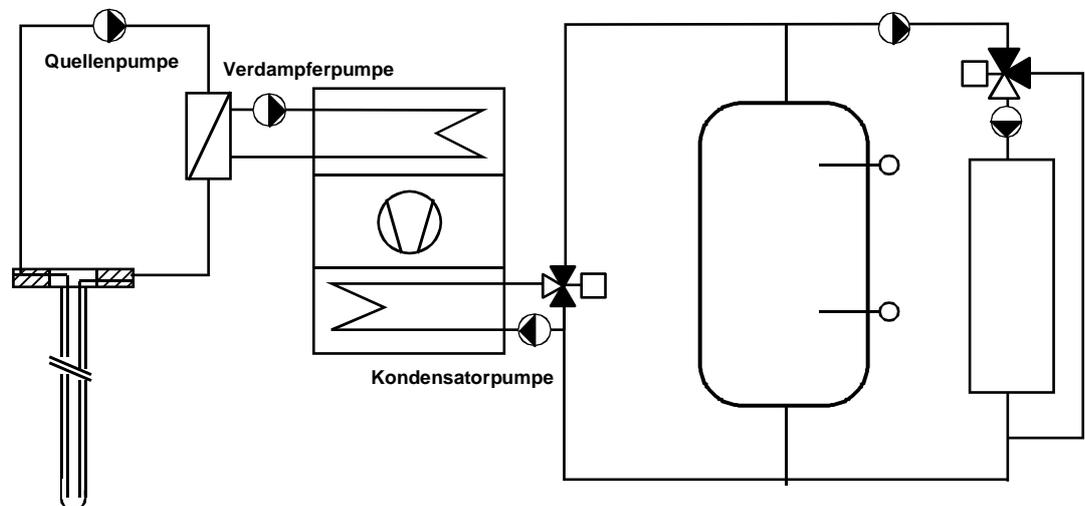
- Il faut saisir **deux** courbes caractéristiques avec des températures de départ  $T_v$  différentes.
- Les courbes caractéristiques doivent présenter au moins **deux** valeurs de base avec des températures de la source **différentes**.
- Les températures de référence de la source doivent correspondre à peu près à la plage dans laquelle la température de la source évolue dans le calcul. (par ex. pour une PAC air/eau de -15 à 20°C)

### 5.11 Entrées sur la feuille « Spesz » des besoins auxiliaires

Les petites pompes à chaleur sont aujourd'hui testées sur des bancs d'essai selon la norme EN 14511. Cette norme d'essai définit également le COP (rapport entre la chaleur dégagée et l'électricité consommée par la pompe à chaleur). Selon la norme EN 14511, le besoin en électricité de la pompe de l'évaporateur et de la pompe du condenseur pour compenser la perte de pression dans l'évaporateur et le condenseur fait également partie de la consommation électrique de la pompe à chaleur. Pour les grandes pompes à chaleur, il est toutefois courant que le coefficient de performance (rapport entre la chaleur dégagée par le condenseur et l'électricité consommée par le compresseur) soit désigné par COP. Il faut donc déclarer sur la feuille « Spesz » si le COP indiqué selon EN 14511 comprend déjà le besoin en électricité de la pompe du condenseur et de l'évaporateur, ou si celui-ci doit encore être ajouté.

Données de la PAC								
Nom et type de PAC		Grande pompe à chaleur						
Données de puissance de la PAC		Pompes: Condenseur		non calculé	Ventilator: non calculé			
Données introduites en ordre croissant selon la température de la source								
Chauffage	T Dep	Température de la source de	°C	-5	-2	0	2	5
	°C	Puissance therm.	kW	18	19.3	20.2	21.2	23.3
	T Dep 35 °C	COP	-	4	4.2	4.5	4.7	5.1
ECS eau chaude sanitaire	T Dep	Température de la source de	°C	-5	-2	0	2	5
	°C	Puissance therm.	kW	16.2	17.5	18.6	19.6	21
	T Dep 55 °C	COP	-	2.5	2.7	2.8	2.9	3.1

S'il est indiqué que la pompe du condenseur et de l'évaporateur sont déjà comprises dans le COP, seule la pompe de la source (ou le ventilateur de ventilation) doit encore être définie. Dans le cas des pompes à chaleur air-eau, il est possible qu'un circuit intermédiaire entre le ventilateur et la pompe à chaleur soit présent. Dans ce cas, le ventilateur doit être défini comme pompe de la source et la pompe du circuit intermédiaire comme pompe de l'évaporateur. Il en va de même, par analogie, pour les pompes à chaleur eau-eau avec circuit intermédiaire.



La puissance absorbée des pompes auxiliaires doit être introduites dans les cellules J32, J41 et J49. La perte de charge ainsi que le débit servent uniquement de contrôle de plausibilité de la puissance absorbée saisie. La puissance absorbée se réfère toujours au mode de fonctionnement à pleine charge.

La consommation électrique des pompes auxiliaires est ensuite calculée à partir des heures de fonctionnement à pleine charge des pompes. Ces heures de fonctionnement se basent sur les heures de pleine charge de la pompe à chaleur. Celles-ci sont estimées à l'aide de la formule suivante:

$$\text{Heures plein charge} - h = \frac{(Q_h + Q_{ww}) \cdot 1.1 \cdot AE}{3.6 \cdot \dot{Q}_{WP}} \quad \text{Eq.5.22}$$

### 5.11.1 Pompe de la source

Selon le mode de régulation de la pompe de la source froide et de la pompe à chaleur, les heures de fonctionnement à pleine charge des pompes de la source froide sont les suivantes :

Pompe de la source : [h]	1 vitesse		2 vitesses		Régulé	
	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui
En fonctionnement si PAC ON						
PAC 1 vitesse	5'600	Heures pleine charge	5'600	Heures pleine charge	4'200	Heures pleine charge
PAC 2 vitesses	5'600	(Heures pleine charge + 5'600 h) / 2	4200	(Heures pleine charge + 5'600 h) / 2	4200	Heures pleine charge
PAC plusieurs vitesses	5'600	5'600	4200	(Heures pleine charge + 5'600 h) / 2	4200	Heures pleine charge
PAC vitesse variable	5'600	5'600	4200	(Heures pleine charge + 5'600 h) / 2	4200	Heures pleine charge

Les résultats sont les suivants pour un exemple de 1'752 h à pleine charge de la pompe à chaleur :

Pompe de la source : [h]	1 vitesse		2 vitesses		Régulé	
	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui
En fonctionnement si PAC ON						
PAC 1 vitesse	5'600	1'752	5'600	1'752	4'200	1'752
PAC 2 vitesses	5'600	3'676	4200	3'676	4200	1'752
PAC plusieurs vitesses	5'600	5'600	4200	3'676	4200	1'752
PAC vitesse variable	5'600	5'600	4200	3'676	4200	1'752

### 5.11.2 Pompe de l'évaporateur

Selon le mode de régulation de la pompe de l'évaporateur et de la pompe à chaleur, les heures de fonctionnement à pleine charge de la pompe de l'évaporateur sont définies de la manière suivante :

Pompe de l'évaporateur : [h]	Non réglé		Réglé	
	Non	Oui	Non	Oui
En fonctionnement si PAC ON				
PAC 1 vitesse	5'600	Heures pleine charge	4'200	Heures pleine charge
PAC 2 vitesses	5'600	(Heures plein charge + 5'600 h) / 2	4'200	Heures pleine charge
PAC plusieurs vitesses	5'600	5'600	4'200	Heures pleine charge
PAC vitesse variable	5'600	5'600	4'200	Heures pleine charge

Les résultats sont les suivants pour un exemple de 1'752 h à pleine charge de la pompe à chaleur :

Pompe de l'évaporateur : [h]	Non réglé		Réglé	
	Non	Oui	Non	Oui
En fonctionnement si PAC ON				
PAC 1 vitesse	5'600	1'752	4'200	1'752
PAC 2 vitesses	5'600	3'676	4'200	1'752
PAC plusieurs vitesses	5'600	5'600	4'200	1'752
PAC vitesse variable	5'600	5'600	4'200	1'752

### 5.11.3 Pompe du condenseur

Selon le mode de régulation de la pompe du condenseur et de la pompe à chaleur, les heures de fonctionnement à pleine charge de la pompe du condenseur sont fixées de la façon suivante :

Pompe du condenseur : [h]	Non réglé		Réglé	
	Non	Oui	Non	Oui
En fonctionnement si PAC ON				
PAC 1 vitesse	5'600	Heures pleine charge	4'200	Heures pleine charge
PAC 2 vitesses	5'600	(Heures plein charge + 5'600 h) / 2	4'200	Heures pleine charge
PAC plusieurs vitesses	5'600	5'600	4'200	Heures pleine charge
PAC vitesse variable	5'600	5'600	4'200	Heures pleine charge

Avec 1'752 h à pleine charge de la pompe à chaleur, les temps de fonctionnement de la pompe du condenseur sont les suivants) :

Pompe du condenseur : [h]	Non réglé		Réglé	
	Non	Oui	Non	Oui
En fonctionnement si PAC ON				
PAC 1 vitesse	5'600	1'752	4'200	1'752
PAC 2 vitesses	5'600	3'676	4'200	1'752
PAC plusieurs vitesses	5'600	5'600	4'200	1'752
PAC vitesse variable	5'600	5'600	4'200	1'752

## 6 Symboles

### 6.1 Symboles latins

AE	[m <sup>2</sup> ]	Surface de référence énergétique (SRE)
COPeff	-	Coefficient de performance effectif aux conditions de fonctionnement
COPh	-	Coefficient de performance mode chauffage
COPkorr	-	Coefficient de performance effectif
COPRef	-	Coefficient de performance aux conditions de références (banc d'essai)
COPww	-	Coefficient de performance mode eau chaude sanitaire (ECS)
SRE	[m <sup>2</sup> ]	Surface de référence énergétique
fKomb	-	Facteur de majoration de l'accumulateur combiné
G	-	Facteur d'efficacité
HGT20/12	[°C*d]	Degrés-jours de chauffage à une température ambiante de 20°C et une limite de chauffage de 12°C
COPah	[-]	Coefficient de performance annuel chauffage sans registre électrique
COPaww	[-]	Coefficient de performance annuel ECS sans registre électrique
Pe	[kW]	Puissance électrique absorbée par la pompe à chaleur
PPumpe	[kW]	Puissance électrique absorbée par la pompe de la source froide
tB	[h]	Bin - durée
Tamin	[°C]	Température extérieure de dimensionnement
Tamittel	[°C]	Température moyenne de l'air extérieur pendant la période de chauffage
Ti	[°C]	Température ambiante
Tkond	[K]	Température du condenseur
Tkomb	[K]	Supplément de température du condenseur avec accumulateur combiné
TVerd	[K]	Température de l'évaporateur
TVorl	[K]	Température de départ (à la sortie du condenseur)
Tq	[K]	Température de la source du fluide de la sonde à l'entrée du condenseur
QHB	[kWh]	Energie absorbée par les bandes chauffantes
Qh	[MJ/m <sup>2</sup> ]	Besoin de chaleur pour le chauffage par an selon SIA 380/1
QH	[MJ/m <sup>2</sup> ]	Besoin de chaleur de chauffage par Bin
QT	[MJ/m <sup>2</sup> ]	Pertes de chaleur par transmission par an selon SIA 380/1
Qug	[MJ/m <sup>2</sup> ]	Chaleur disponible (de l'environnement) utilisée
QV	[MJ/m <sup>2</sup> ]	Pertes de chaleur par aération par an selon SIA 380/1
Qtot	[MJ/m <sup>2</sup> ]	Pertes totales (transmission & aération)
Qww	[MJ/m <sup>2</sup> ]	Besoin de chaleur pour l'eau chaude sanitaire par an selon SIA 380/1
Qwp	[kW]	Chaleur fournie par la pompe à chaleur
QB0/W35	[kW]	Chaleur fournie par la pompe à chaleur avec une température de la source froide à 0°C et température de départ de 35°C
wh	[-]	facteur de pondération du chauffage
www	[-]	Facteur de pondération de l'eau chaude sanitaire
x	-	Facteur général des pertes de la pompe à chaleur

## 6.2 Symboles grecs

$\varepsilon_h$	Taux de couverture
$\varepsilon_h$	Taux de couverture de la pompe à chaleur pour le chauffage
$\varepsilon_w$	Taux de couverture de la pompe à chaleur pour l'eau chaude sanitaire
$\varepsilon_{zus,h}$	Taux de couverture du chauffage d'appoint (sans eau chaude)
$\varepsilon_{zus,w}$	Taux de couverture du chauffage d'appoint pour l'eau chaude
$\varepsilon_{sol,h}$	Taux de couverture de l'installation solaire (sans eau chaude)
$\varepsilon_{sol,w}$	Taux de couverture de l'installation solaire pour l'eau chaude
$\varepsilon_{carnot}$	Indice de puissance Carnot
$\varepsilon_{COP,i}$	Coefficient de performance au point de fonctionnement
$\varepsilon_{COP,N}$	Coefficient de performance au point de mesure normalisé
$\eta_h$	Rendement cumulé de la production de chaleur en cas de chauffage
$\eta_{ww}$	Rendement cumulé de la production de chaleur pour l'eau chaude
$\eta_{Vert}$	Pertes de la distribution d'eau chaude
$\Phi_H$	[kW] Besoin en puissance de chauffage
$\Phi_{H,max}$	[kW] Besoin en puissance de chauffage en cas de dimensionnement
$\Phi_{g,ev}$	[kW/m <sup>2</sup> ] Apports thermiques internes réguliers

## 6.3 Indices

B	Bin
eff	Indice des valeurs effectives d'exploitation
ev	Part fixe (par exemple chaleur disponible de l'environnement)
HB	Bande chauffante
i	Indice des valeurs par Bin
Komb	Accumulateur combiné
Kond	Condenseur
q	Indice de la source à l'entrée de l'évaporateur
Ref	Indice des points de référence (banc d'essai)
ue	Part variable (par exemple chaleur disponible de l'environnement)
Verd	Evaporateur
Vorl	Indice du départ chauffage à la sortie du condenseur

## 7 Références et littérature complémentaire

- [1] Norme SIA 384/3:2013 : **Installations de chauffage dans les bâtiments - Besoins énergétiques**. SIA, Zurich . [www.sia.ch](http://www.sia.ch).
- [2] Norme SIA 380/1:2016 : **Besoins en chaleur de chauffage**. SIA, Zurich. [www.sia.ch](http://www.sia.ch).
- [3] Norme DIN EN 14511 (2011-2012) : Parties 1 à 4 : **Climatiseurs d'air, groupes refroidisseurs de liquide et pompes à chaleur avec compresseurs à entraînement électrique ; termes, conditions d'essai, méthodes d'essai et exigences**. Beuth Verlag GmbH.
- [4] Norme SIA 384/6 (2009) : **Sondes géothermiques**, SIA, Zurich.
- [5] EnDK / EnFK, **Modèle de prescriptions énergétiques des cantons (MoPEC), 2018**. Edition 2014 : Exigences relatives à la couverture des besoins en chaleur des bâtiments neufs. Édition avril 2018. [www.endk.ch](http://www.endk.ch).
- [6] Centre d'essai de pompes à chaleur WPZ : résultats d'essais de pompes à chaleur testées. <http://www.ntb.ch/>
- [7] **Plate-forme Internet Baubook**. baubook GmbH, Alserbachstrasse 5/8, A -1090 Vienne. La société baubook GmbH est exploitée par l'Energieinstitut Vorarlberg et l'IBO GmbH. <http://www.baubook.at>. <http://www.baubook.ch> .
- [8] *Erb, M. ; Hubacher, P. ; Ehrbar, M.* (2004) : **Analyse de terrain des installations de pompes à chaleur FAWA 1996 - 2003**. Rapport final. Programme de recherche sur la chaleur ambiante et les rejets thermiques, couplage chaleur-force. Office fédéral de l'énergie, Berne (OFEN).
- [9] *Marti, J. ; Witzig, A. ; Huber, A. ; Ochs, M.* (2009) : **SIMULATION DE SYSTÈMES DE POMPE ACHALEUR DANS POLYSUN 4**.
- [10] Gabathuler, H.R., Mayer, H., Afjei, Th. (2002) : **Circuits standard pour petites installations de pompes à chaleur**. Partie 1 : Aides à la planification STASCH. Programme de recherche sur la chaleur ambiante et les rejets thermiques, couplage chaleur-force. Office fédéral de l'énergie, Berne (OFEN).
- [11] Huber, A. ; Ochs, M. (2007) : **Dimensionnement hydraulique des circuits de sondes géothermiques Avec le logiciel "EWSDruck" Vers. 2.0**. Office fédéral de l'énergie, Berne. <http://www.hetag.ch>
- [12] Huber, A. ; Schuler, O. (1997) : **Module de calcul pour les sondes géothermiques Programme de recherche sur la chaleur ambiante et les rejets thermiques, couplage chaleur-force**. Office fédéral de l'énergie, Berne(OFEN). <http://www.hetag.ch>
- [13] Huber, A. ; Pahud, D. (1999) : **Extension du programme EWS pour les champs de sondes géothermiques** .rapport final. Office fédéral de l'énergie (OFEN), Berne. <http://www.hetag.ch>
- [14] Huber, A. (2019) : **Programme EWS. Calcul de sondes géothermiques. Manuel d'utilisation, version 5.3**. Huber Energietechnik AG, Zurich, 2019. <http://www.hetag.ch>
- [15] Huber, A. (2020) : **Calcul de la couverture des besoins en chaleur des nouveaux bâtiments avec EN-101b**. Description de l'outil Excel, version 2.0. Conférence des services cantonaux de l'énergie EnFK. <http://www.endk.ch>
- [16] **MINERGIE®, Règlement produit 2020.1** : Règlement produit pour les standards de construction MINERGIE® / MINERGIE-P® / MINERGIE-A®. Version 2020.1. [www.minergie.ch](http://www.minergie.ch)

## 8 Annexes

### 8.1 Méthode Bin

La répartition des besoins en chaleur de chauffage entre les différents Bins s'effectue selon la norme SIA 384/3. Pour ce faire, les pertes de chaleur totales (pertes par transmission et par ventilation) sont d'abord réparties selon la puissance calorifique spécifique (cf. 8.2.2) des différents bâtiments. Ensuite, les apports de chaleur utiles sont déduits des pertes thermiques totales par Bin. On distingue deux types d'apports de chaleur utiles :

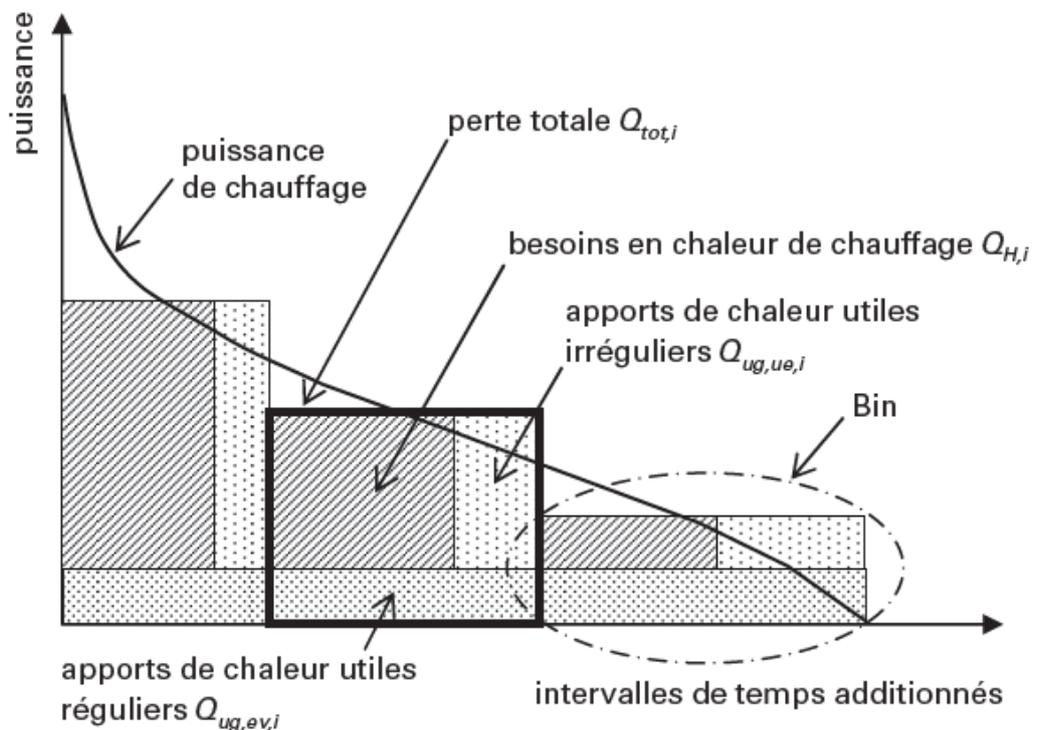
- $Q_{ug,ev}$  apports de chaleur **réguliers** utiles du Bin

et

- $Q_{ug,ue}$  apports de chaleur **irréguliers** utiles du Bin

Les apports de chaleur réguliers sont utilisés dans le calcul comme charge en ruban. Ils réduisent de façon constante la puissance de chauffage que le générateur de chaleur doit fournir au bâtiment

Les apports de chaleur irréguliers ne réduisent pas la puissance de chauffage, mais réduisent la durée de fonctionnement des générateurs de chaleur (voir graphique ci-dessous).



## 8.2 Calcul de la courbe de charge

### 8.2.1 Puissance thermique requise

La puissance de chauffage maximale du bâtiment est en principe une valeur connue et est calculée selon la norme SIA 384.201. Ce calcul n'est cependant pas obligatoire, car la puissance calorifique peut également être calculée avec une précision suffisante à partir des déperditions thermiques totales (déperditions par transmission et par ventilation) et des différences de température pondérées entre l'intérieur et l'extérieur (heures Kelvin) selon la formule suivante:

$$\Phi_{H,max} = \frac{Q_{tot}}{3.6 \text{ MJ/kWh}} \cdot \frac{T_i - T_{a,min}}{\sum [t_B \cdot \min\{(T_i - T_a), (T_i - T_{a,min})\}]} \quad (\text{Eq. 8.1})$$

$\Phi_{H,max}$	Puissance de chauffage maximale requise en [kW]
$Q_{tot}$	Pertes totales (transmission & ventilation) en [MJ]
$T_i$	Température intérieure
$T_a$	Bin - Température extérieure
$T_{a,min}$	Température extérieure normalisée
$t_B$	Bin – Durée en [h]

La somme du dénominateur de l'équation 8.1 doit être déterminée pour les Bins qui ont une température extérieure inférieure à la température intérieure.

En dérogation à la norme 384/3, la différence de température maximale a été limitée à  $T_i - T_{a,min}$ . Il en résulte une puissance de chauffage légèrement supérieure à celle obtenue par calcul selon de norme.

Cette formule permet également de limiter les pertes par transmission des différents Bins à :

$$\Phi_{H,max} \cdot t_B$$

Cela permet d'amortir quelque peu la puissance de chauffage nécessaire lorsque les températures extérieures sont extrêmement basses. La capacité calorifique du bâtiment peut être prise en compte de cette manière.

### 8.2.2 Besoin en chaleur de chauffage des différents Bins

Les données suivantes servent de base au calcul des besoins en chaleur de chauffage des différents Bins :

- Sélection de l'un des 32 Bins (basés sur les valeurs horaires des températures extérieures selon SIA 2028 de la station météo sélectionnée).
- Saisie des pertes par transmission (selon le calcul SIA 380/1)
- Saisie des pertes par ventilation (selon le calcul SIA 380/1)
- Saisie des besoins en chaleur de chauffage (selon le calcul SIA 380/1)

A partir des grandeurs d'entrée ci-dessus, les besoins en chaleur de chauffage des différents Bins sont calculés ainsi :

**Gesamtverlust des Bins ist:**

$$Q_{tot,i} = t_B \cdot \Phi_{H,i} \cdot 3.6MJ/kWh \quad (\text{Eq. 8.2})$$

$t_B$  Bin - durée en h

$\Phi_{H,i}$  Besoin en puissance de chauffage du Bin, en kW

avec :

$$\Phi_{H,i} = \Phi_{H,max} \cdot \frac{\min[(T_i - T_{a,i})(T_i - T_{a,min})]}{T_i - T_{a,min}} \quad (\text{Eq. 8.3})$$

$\Phi_{H,max}$  puissance calorifique maximale requise en kW (équation 2.3.1)

$T_i$  Température intérieure

$T_{a,i}$  Bin – Température extérieure

$T_{a,min}$  Température extérieure normalisée

La formule est valable pour tous les Bins qui sont inférieurs à la température ambiante.

**Les apports thermiques utilisés de manière régulière par Bin sont :**

$$Q_{ug,ev} = \min[ t_B \cdot \Phi_{g,ev} \cdot A_E \cdot 3.6MJ / kWh; Q_{tot,i} ] \quad (\text{Eq. 8.4})$$

- $Q_{ug,ev}$  apports thermiques réguliers et utilisés du Bin
- $t_B$  durée du Bin i, en [h]
- $\Phi_{g,ev}$  apports thermiques internes réguliers en [kWh/m<sup>2</sup>]
- $A_E$  Surface de référence énergétique en [m<sup>2</sup>]
- $Q_{tot,i}$  Perte totale du Bin

Avec  $\Phi_{g,ev}$  :

Catégorie de bâtiment selon SIA 380/1	Puissance des apports thermiques internes réguliers $\Phi_{g,ev}$
Habitat collectif	$3,1 \cdot 10^{-3} \text{kW/m}^2$
Habitat individuelle	$2,4 \cdot 10^{-3} \text{kW/m}^2$
Administration	$3,3 \cdot 10^{-3} \text{kW/m}^2$
Écoles	$2,3 \cdot 10^{-3} \text{kW/m}^2$
Hôpitaux	$4,0 \cdot 10^{-3} \text{kW/m}^2$

La somme totale des apports thermiques utilisés de manière uniforme est alors :

$$Q_{ug,ev} = \sum Q_{ug,ev,i} \quad (\text{Eq. 8.5})$$

### Apports de chaleur utilisés de manière irrégulière

La somme des entrées inégales se calcule de la manière suivante :

$$Q_{ug,ue} = Q_{tot} - Q_H - Q_{ug,ev} \quad (\text{Eq. 8.6})$$

- $Q_{ug,ue}$  Apports thermiques irréguliers utilisés
- $Q_{tot}$  Perte totale
- $Q_H$  Besoin de chaleur pour le chauffage
- $Q_{ug, ev}$  Apports thermiques réguliers

Les apports thermiques irréguliers doivent maintenant être répartis sur les différents Bins avec une puissance constante.

Le calcul de la puissance indiqué dans la norme n'a pas été jugé approprié pour le calcul PACesti, car il ne s'agit que d'une estimation de la puissance et des erreurs de bilan apparaissent lors de la répartition concrète.

La détermination de  $Q_{ug,ue}$  se fait en trois étapes itératives :  $Q_{ug,ue} = \sum Q_{ug,ue,i}$

### Etape 1 :

Détermination de la durée  $t_B$  de Bin pendant laquelle il reste un besoin de chaleur après déduction de  $Q_{ug,ev,i}$  :

$$t_{ug,ue1} = \sum t_{B,i} \quad \text{pour tous les } t_{B,i} \text{ dans lesquels } Q_{tot,i} - Q_{ug,ev,i} > 0 \quad (\text{Eq. 8.7})$$

Cela permet de déterminer une première puissance pour les apports de chaleur irréguliers comme suit :

$$\Phi_{g,ue1} = \frac{Q_{ug,ue}}{t_{ug,ue1}} \cdot \frac{1}{3.6MJ/kWh} \quad (\text{Eq. 8.8})$$

Les apports de chaleur sont ensuite répartis sur les bins avec cette puissance de la manière suivante :

$$Q_{ug,ue1,i} = \min [ t_{B,i} \cdot \Phi_{g,ue1} \cdot 3.6MJ/kWh; (Q_{tot,i} - Q_{ug,ev,i}) ] \quad (\text{Eq. 8.9})$$

La somme de tous les apports thermiques irréguliers après l'étape 1 est :

$$Q_{ug,ue1} = \sum Q_{ug,ue1,i} \quad (\text{Eq.8.10})$$

$Q_{tot,i}$	Pertes totales dans le Bin
$Q_{ug, ev,i}$	Apports de chaleur réguliers utilisés dans le Bin
$t_B$	Durée du Bin
$t_{ug,ue1}$	Durée totale du bin, en h, pendant laquelle il y a encore un besoin de chaleur après déduction des apports réguliers.
$\Phi_{g,ue1}$	Puissance des apports thermiques internes irréguliers en kW/m <sup>2</sup> pour l'étape 1
$Q_{ug,ue1,i}$	Apports thermiques irréguliers utilisés dans le bin pour l'étape 1
$Q_{ug,ue1}$	Apports thermiques irréguliers utilisés selon le calcul de l'étape 1

### Etape 2

Après l'étape 1, il reste en général une différence entre  $Q_{ug,ue1}$  et  $Q_{ug,ev}$

$$Q_{ug,ue2} = Q_{ug,ev} - Q_{ug,ue1} \quad (\text{Eq. 8.11})$$

Pour la répartition de  $Q_{ug,ue2}$  sur les Bins on procède de manière analogue à l'étape 1.

### Etape 3

Après l'étape 2, il généralement encore une petite différence :

$$Q_{ug,ue3} = Q_{ug,ev} - Q_{ug,ue1} - Q_{ug,ue2} \quad (\text{Eq. 8.12})$$

Celle-ci est ensuite répartie de manière égale entre les Bins qui présentent encore un besoin de chaleur.

Après l'étape 3, le bilan est généralement équilibré la différence est négligeable.

### Formation du Bin - valeurs pour les besoins en énergie de chauffage

A partir du calcul ci-dessus, les données relatives aux besoins de chauffage dans le Bin sont calculées comme suit :

*Puissance de chauffage effectivement nécessaire pour le Bin :*

La puissance effective de chauffage nécessaire est **réduite** de la puissance de chauffage dans le bin par la **puissance des apports de chaleur réguliers**.

$$\Phi_{Heff,i} = \max[\Phi_{H,i} - \Phi_{g,ev}; 0] \quad (\text{Eq. 8.13})$$

$\Phi_{H,i}$  Puissance calorifique du Bin, en [kW]

$\Phi_{Heff,i}$  Puissance calorifique effective nécessaire du Bin, en [kW]

$\Phi_{g,ev}$  Puissance des apports thermiques réguliers du Bin, en [kW]

### Durée effective de chauffage pour le Bin

La durée effective du chauffage dans le bin est réduite en fonction des apports de chaleur irréguliers.

$$t_{Heiz,i} = t_{B,i} - \frac{Q_{ug,ue,i}}{\Phi_{Heff,i}} \quad (\text{Eq. 8.14})$$

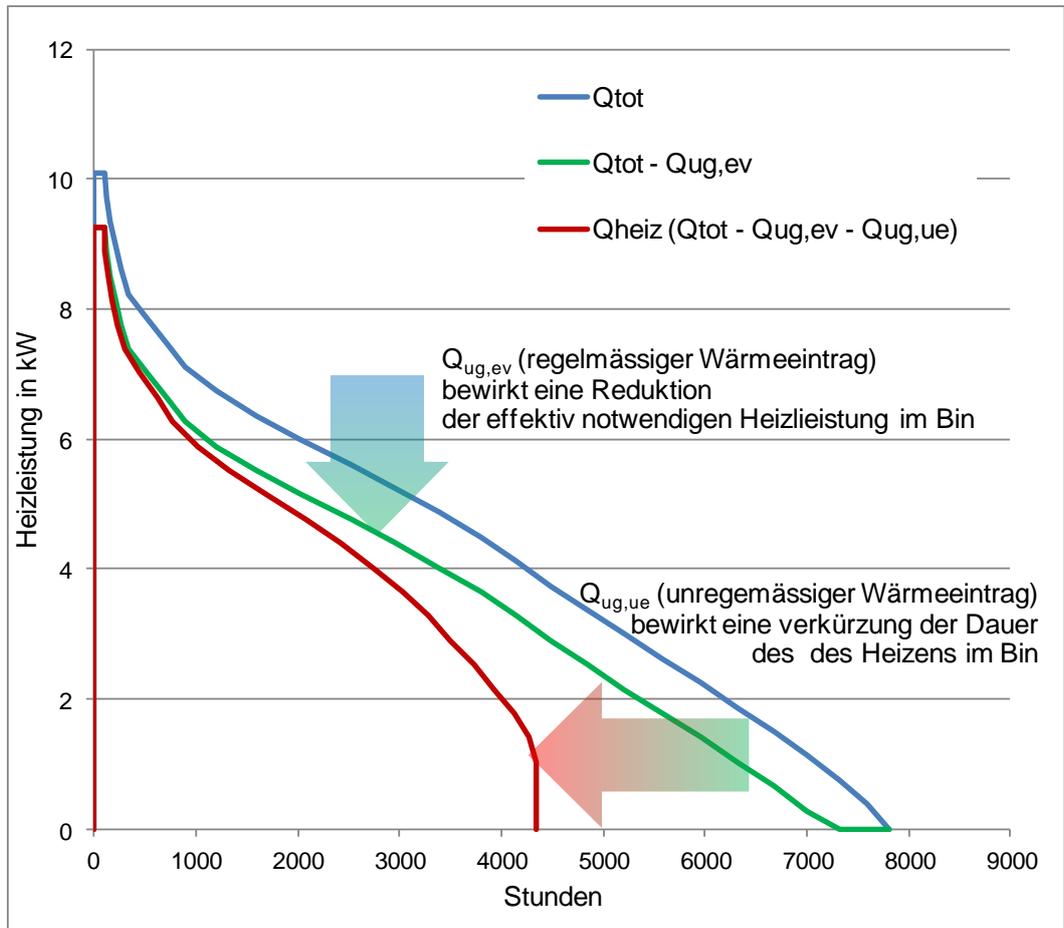
$t_{B,i}$  Durée du Bin en [h]

$t_{Heiz,i}$  Durée effective du chauffage pour le Bin en [h]

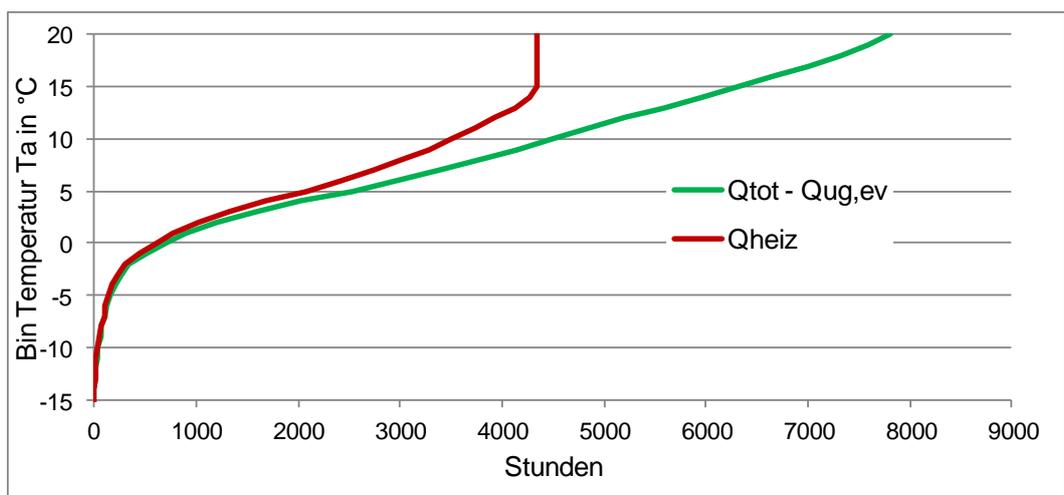
$Q_{ug,ue,i}$  Apports thermiques irréguliers pour le Bin

$\Phi_{Heff,i}$  Puissance calorifique effective nécessaire du Bin en [kW]

Exemple de calcul des besoins de chaleur pour le chauffage



Températures des Bins correspondants



## 8.3 Catégories d'utilisation

### 8.3.1 Catégories d'utilisation dans PACesti

Les catégories d'utilisation suivantes selon SIA 380/1 sont enregistrées dans l'outil PACesti.

Affectation			
Valeurs limites	$Q_{h,li0}$ kWh/m <sup>2</sup>	$\Delta Q_{h,li}$ kWh/m <sup>2</sup>	$Q_{ww}$ kWh/m <sup>2</sup>
Habitat collectif	13	15	21
Habitat individuel	16	15	14
Administration	13	15	7
Ecole	14	15	7
Commerce	7	14	7
Restauration	16	15	56
Lieux de rassemblement	18	15	14
Hôpital	18	17	28
Industrie	10	14	7
Dépôt	14	14	1
Installations sportives	16	14	83
Piscine	15	18	83

Les valeurs limites  $Q_{h,li0}$  et  $\Delta Q_{h,li}$  ne sont pas utilisées pour le moment.  $Q_{ww}$  est utilisé comme base pour le calcul des besoins en eau chaude (Eq. 5.1), les pertes de stockage et de distribution étant ajoutées à  $Q_{ww}$ .

### 8.3.2 Catégories d'utilisation dans JAZcalc (Autriche)

Dans la version autrichienne JAZcalc, les normes nationales (directive OIB 6) sont prises en compte et les besoins en eau chaude sont définis comme suit :

Besoin d'eau chaude sanitaire selon OIB Richtlinie 6		
Valeurs limites	$Q_{ww}$ [MJ/m <sup>2</sup> ]	$wwwb$ [Wh/m <sup>2</sup> d]
Habitat collectif	<b>46.0</b>	35
Habitat individuel	<b>46.0</b>	35
Administration	<b>23.0</b>	17.5
Ecole	<b>23.0</b>	17.5
Commerce	<b>25.0</b>	
Restauration	<b>200.0</b>	
Lieux de rassemblement	<b>50.0</b>	
Hôpital	<b>92.0</b>	70
Industrie	<b>25.0</b>	
Dépôt	<b>5.0</b>	
Installations sportives	<b>300.0</b>	
Piscine	<b>300.0</b>	