

Optimiser les performances d'une pompe à chaleur en rénovation : Utilisation du logiciel SPFPAC

Dr Ir Eric Dumont et Prof. Marc Frère

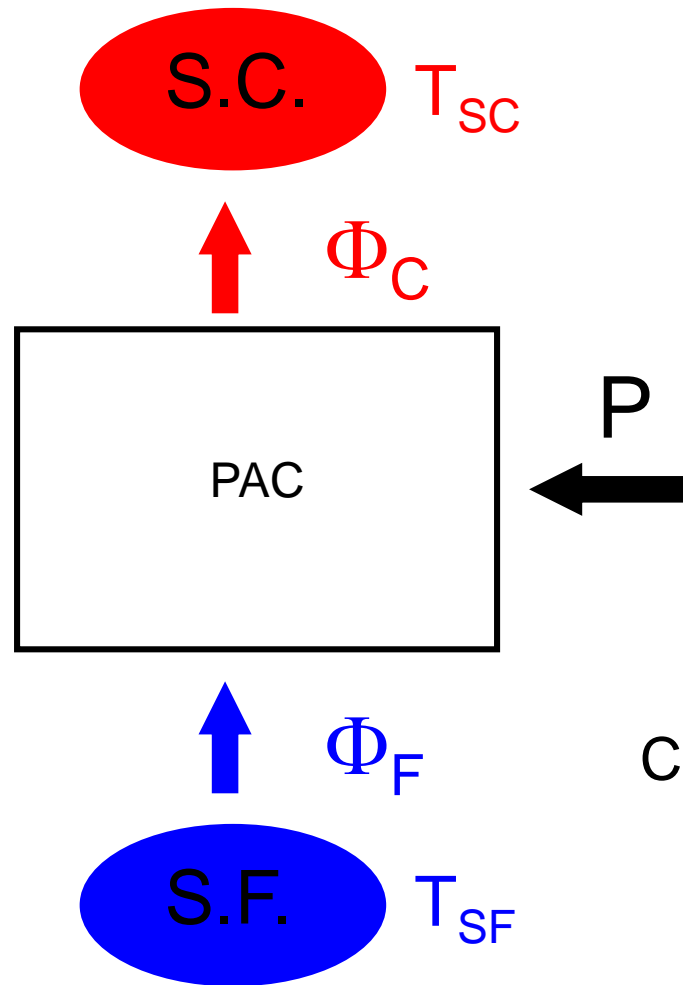
Université de Mons

Faculté Polytechnique, Service de Thermodynamique

Contact : eric.dumont@umons.ac.be

Optimiser les performances d'une PAC

Retour aux sources...



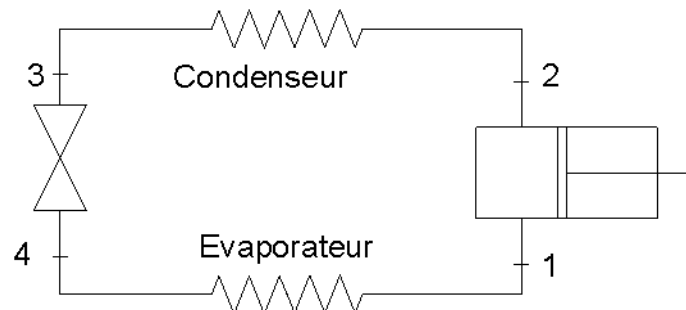
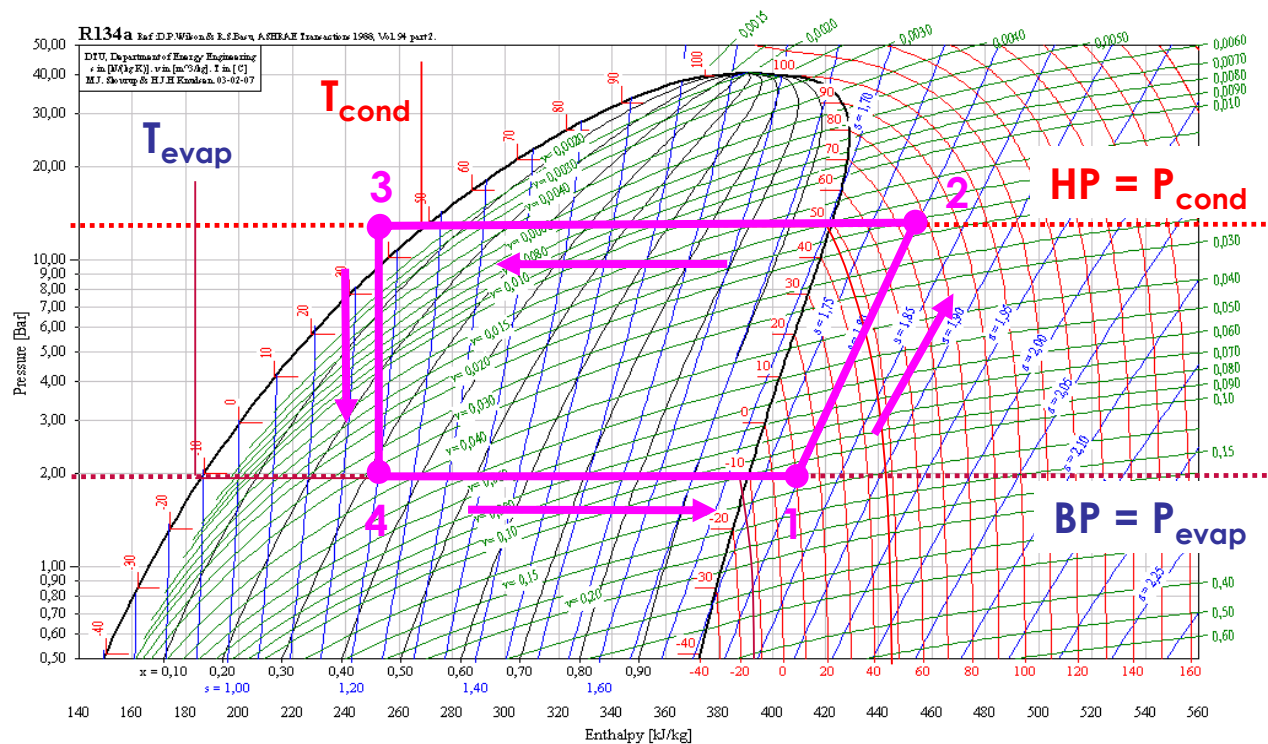
Utilisation assistée
d'une source
d'énergie gratuite

Coefficient de
performance :

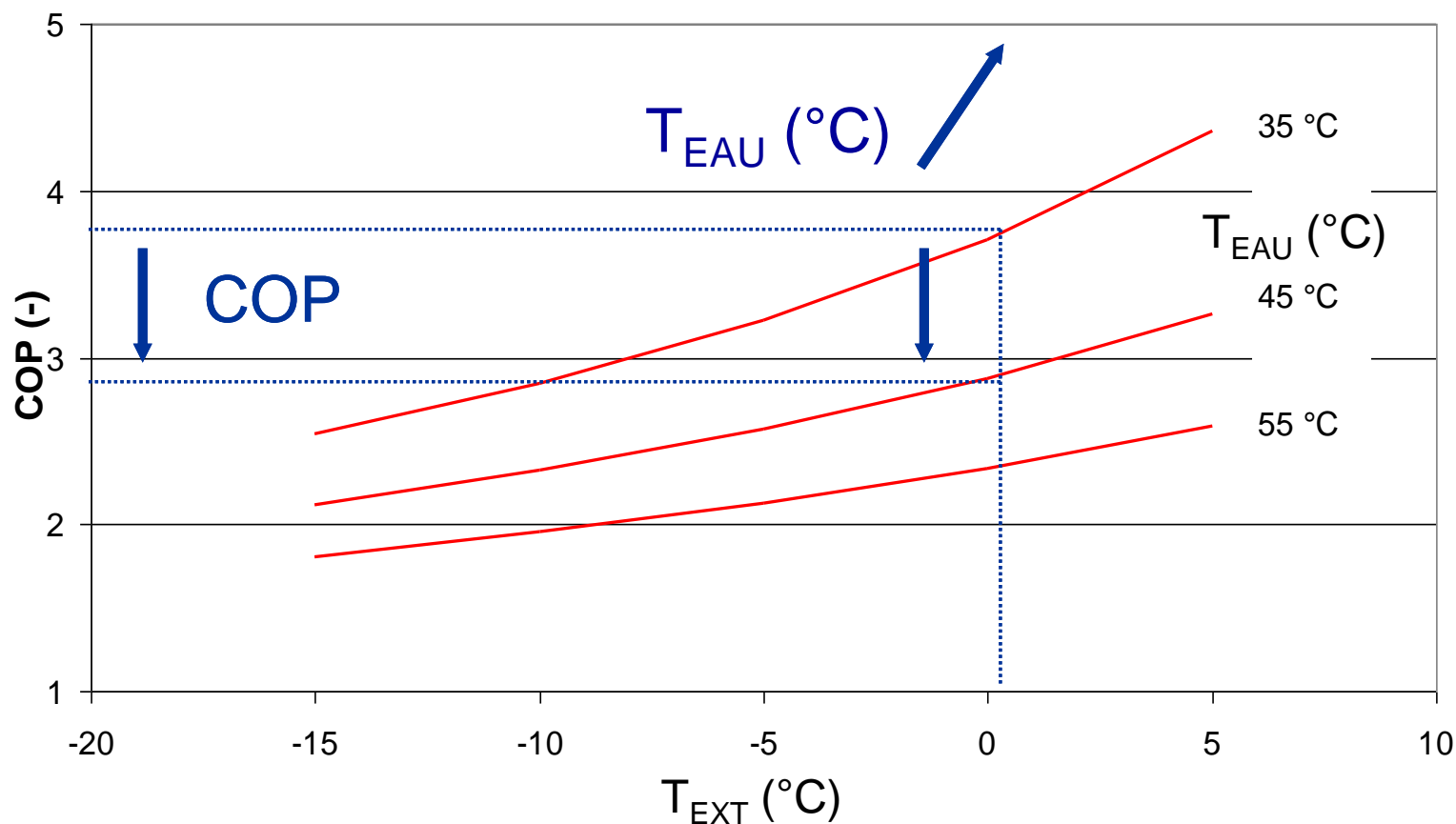
$$\text{COP} = \Phi_C / P$$

$$\text{COP}_{\text{IDEAL}} = T_{\text{SC}} / (T_{\text{SC}} - T_{\text{SF}})$$

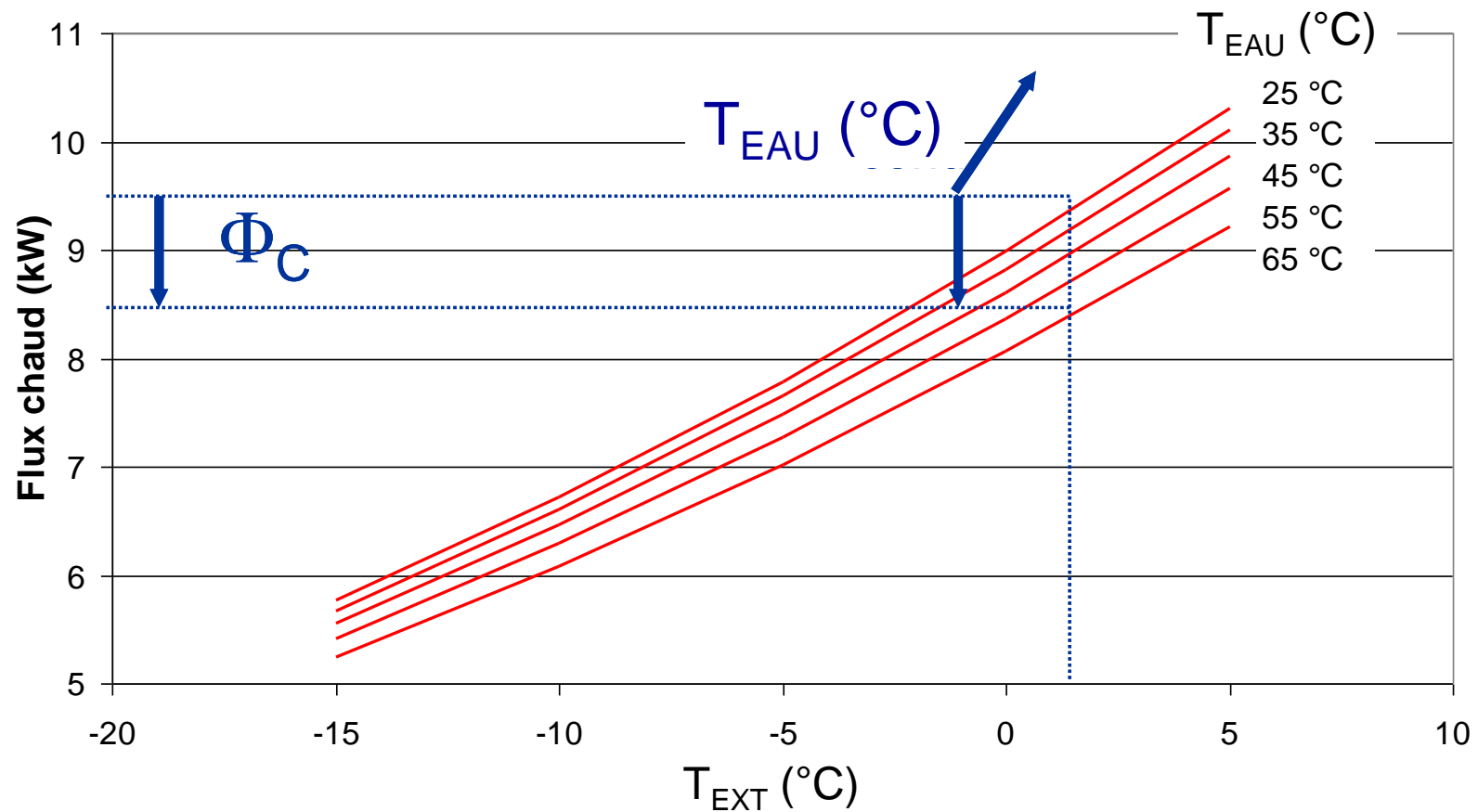
Retour aux sources...



Courbes caractéristiques de fonctionnement d'une PAC



Courbes caractéristiques de fonctionnement d'une PAC

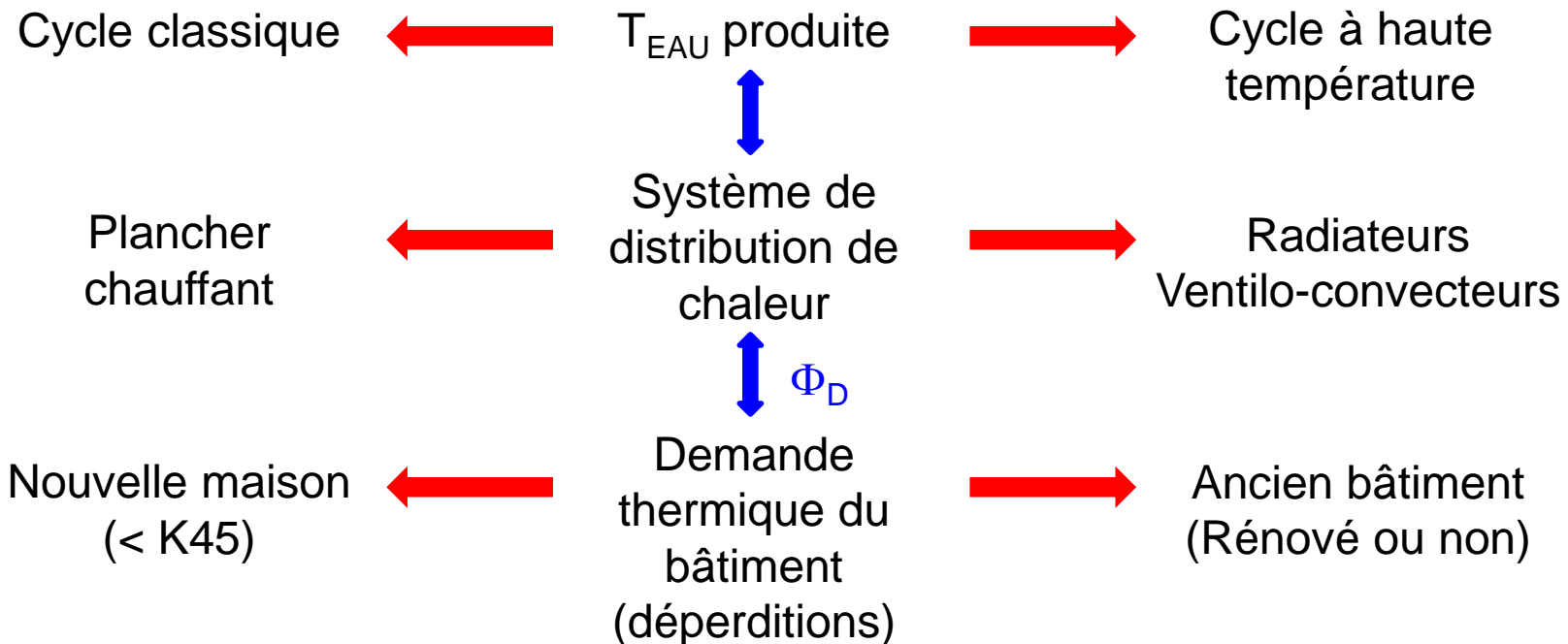


Retour aux sources...

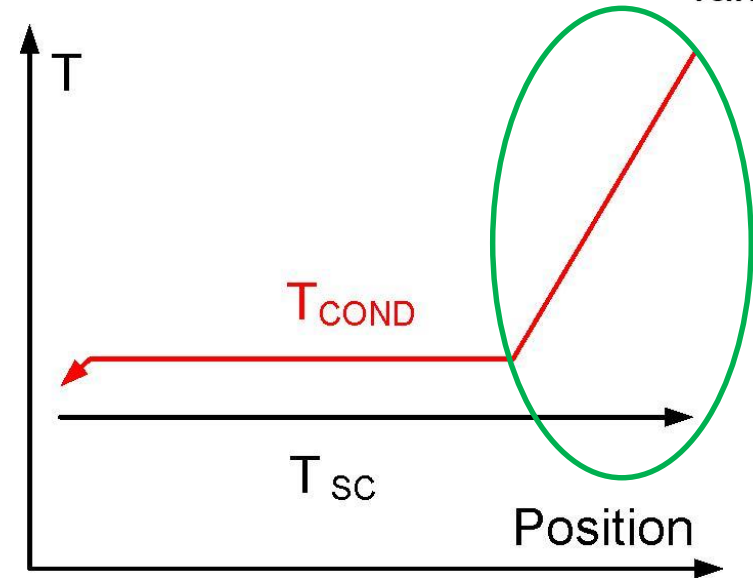
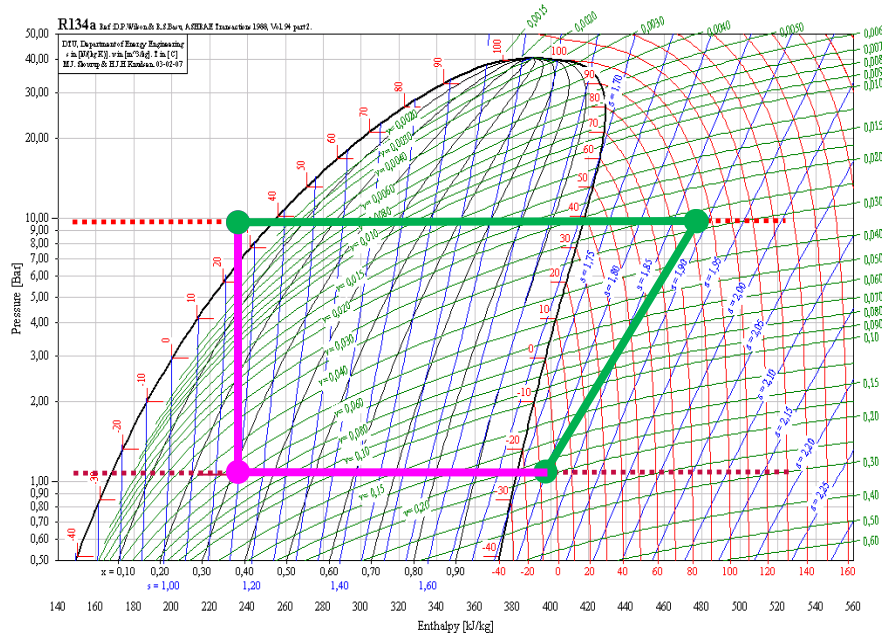
- La thermodynamique étant vraie partout... une PAC de technologie donnée sera d'autant plus efficace qu'elle utilisera une source de chaleur à haute température et un système de distribution de chaleur à basse température. La logique voudrait que :
 - on privilégie les sondes géothermiques plutôt que l'air comme source de chaleur
 - on privilégie le plancher chauffant par rapport à l'air chaud pulsé et aux radiateurs haute température
 - on privilégie la technologie de PAC la plus performante (compresseur et échangeurs de chaleur performants)
- D'autres préoccupations entrent en jeu :
 - le coût de la PAC
 - les coûts d'investissement (cf coût de forage pour sondes géothermiques)
 - le niveau d'isolation du bâtiment (ancien – rénové – neuf) qui ne permet pas toujours de placer du plancher chauffant
 - la climatisation du bâtiment (secteur tertiaire)
 - l'aspect énergie renouvelable

PAC et système de distribution

- C'est la combinaison PAC - système de distribution de chaleur qui fixera la température de l'eau produite !
- Si la température de l'eau produite n'est pas suffisante pour le niveau d'isolation de la maison, la température intérieure de confort ne sera pas atteinte !

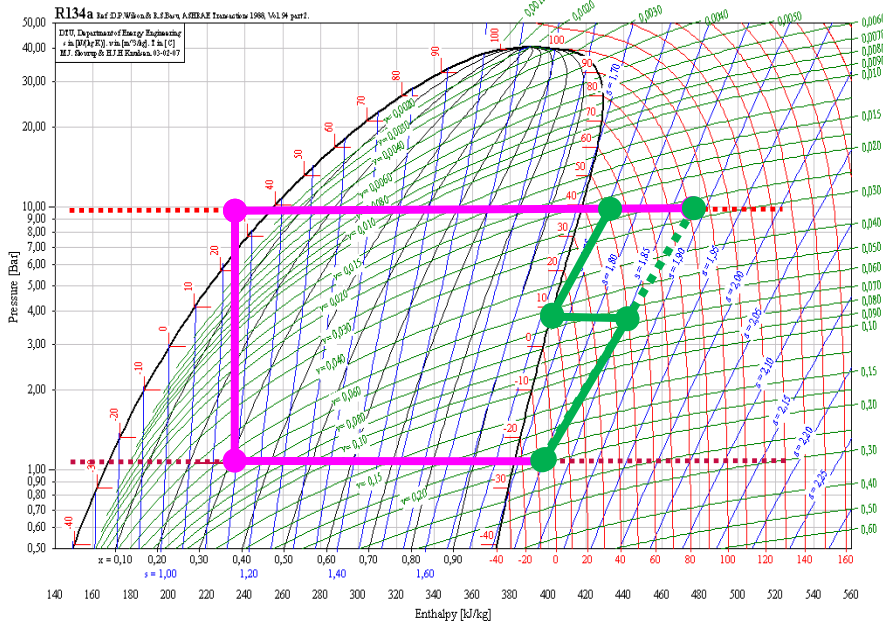


Cycle thermodynamique



- Irréversibilités intrinsèques du cycle de Rankine inverse :
 - échange de chaleur avec la source chaude (température de sortie des gaz au compresseur)
 - compression irréversible

Cycle thermodynamique



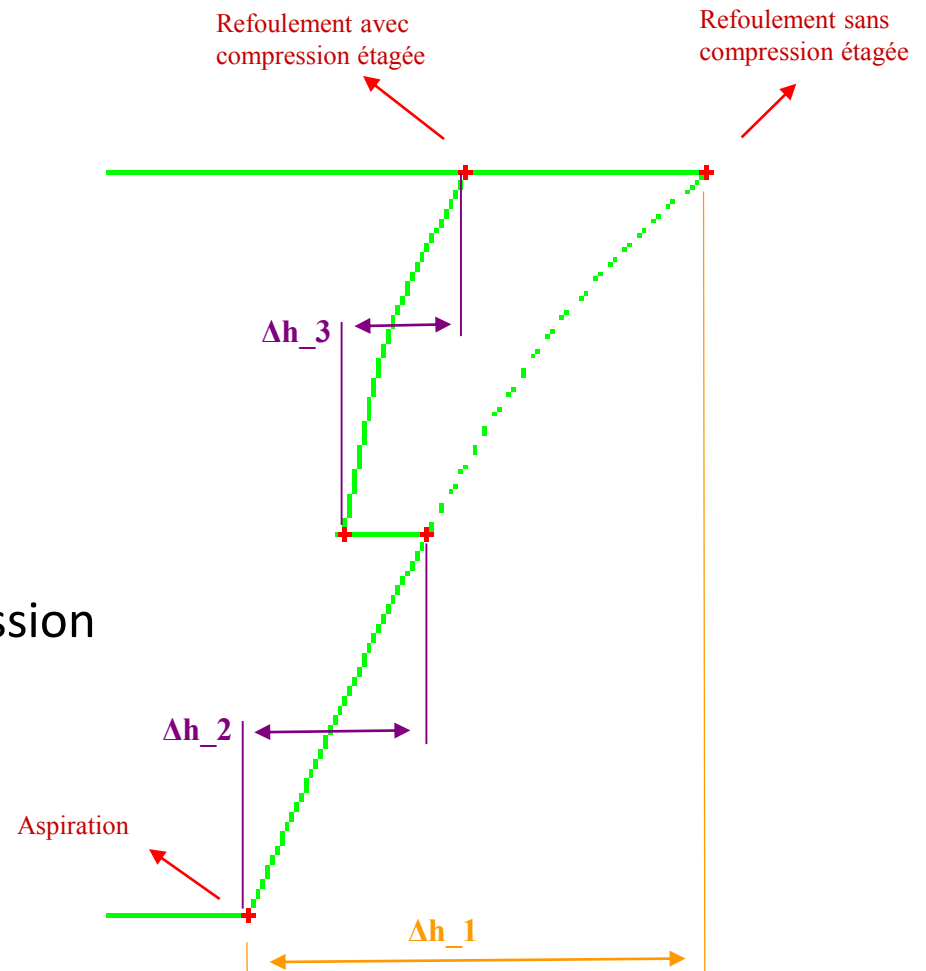
■ Solution : compression étagée

- diminution de la puissance de compression

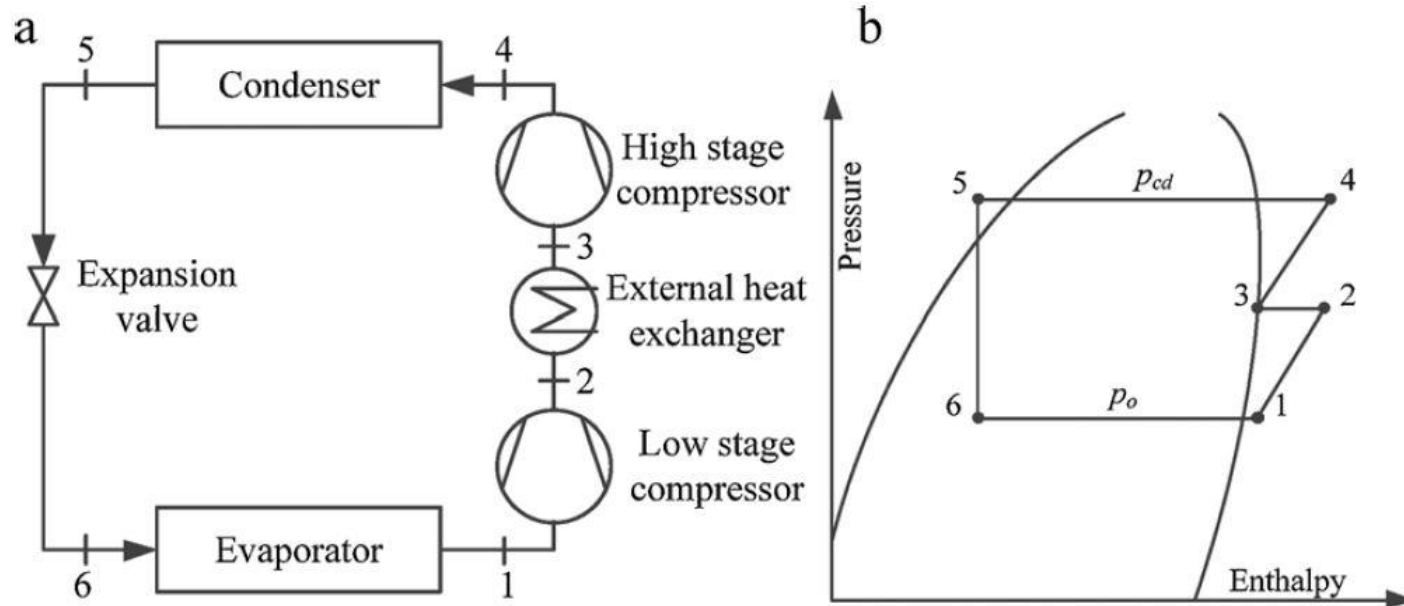
$$\Delta h_1 > \Delta h_2 + \Delta h_3$$

- réduction de la température de sortie du fluide

- augmentation du débit total refoulé



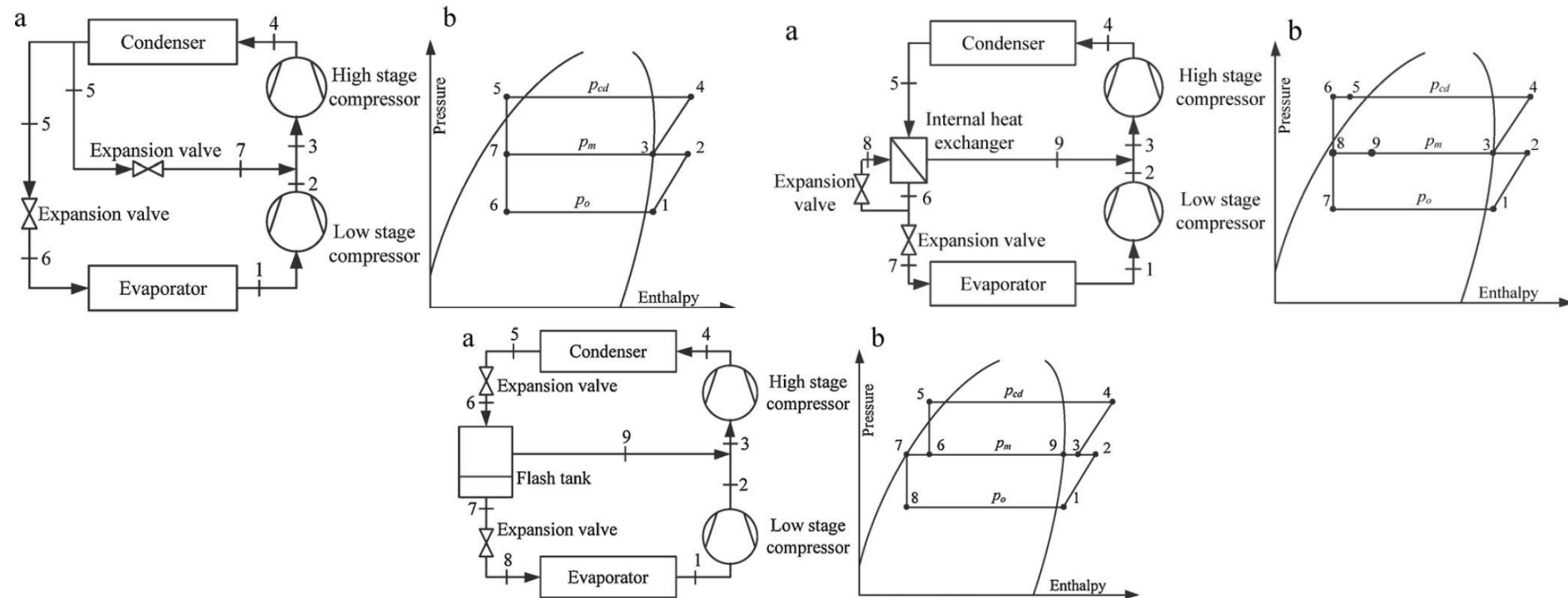
Cycle thermodynamique



Source : Antonijevic *et al.*, Energy and Buildings 49 (2012) 294-299

- Compression étagée dans deux compresseurs avec refroidissement intermédiaire
- pas de PAC de ce type sur le marché ?

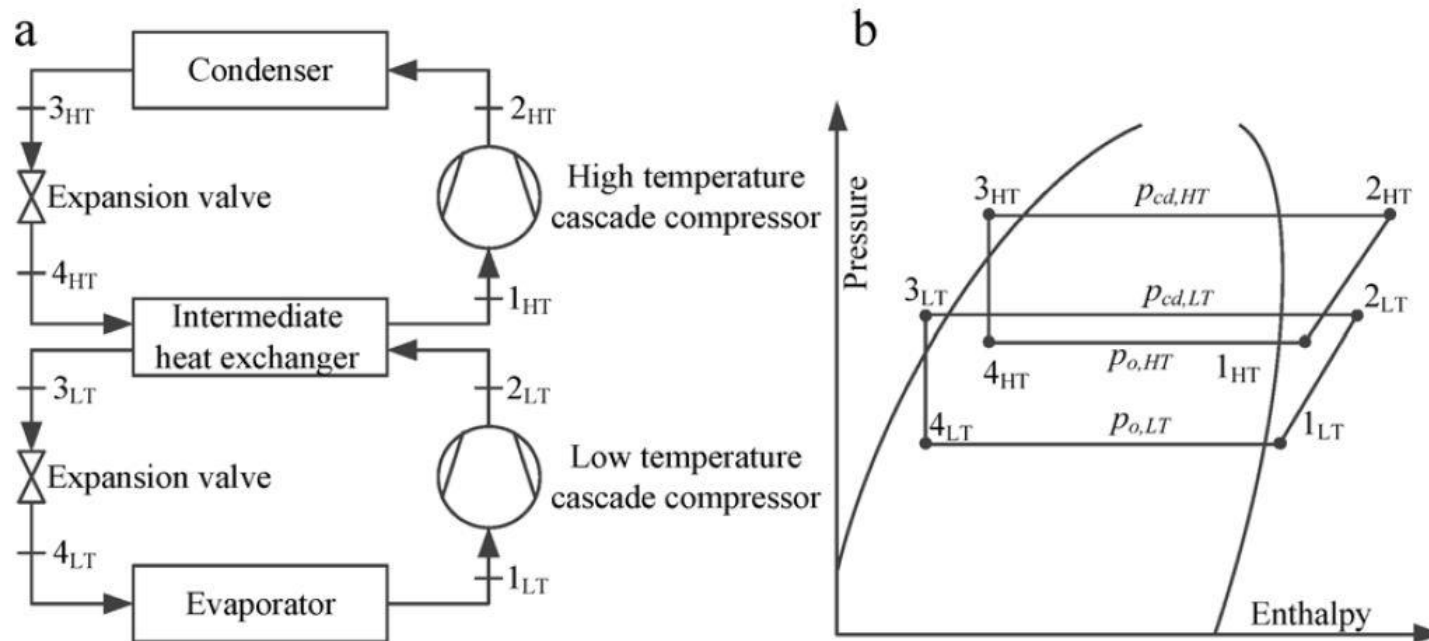
Cycle thermodynamique



Source : Antonijevic *et al.*, Energy and Buildings 49 (2012) 294-299

- Compression étagée dans un seul compresseur avec injection de vapeur intermédiaire (PAC avec cycle à injection) (plusieurs variantes)
- PAC de ce type sur le marché

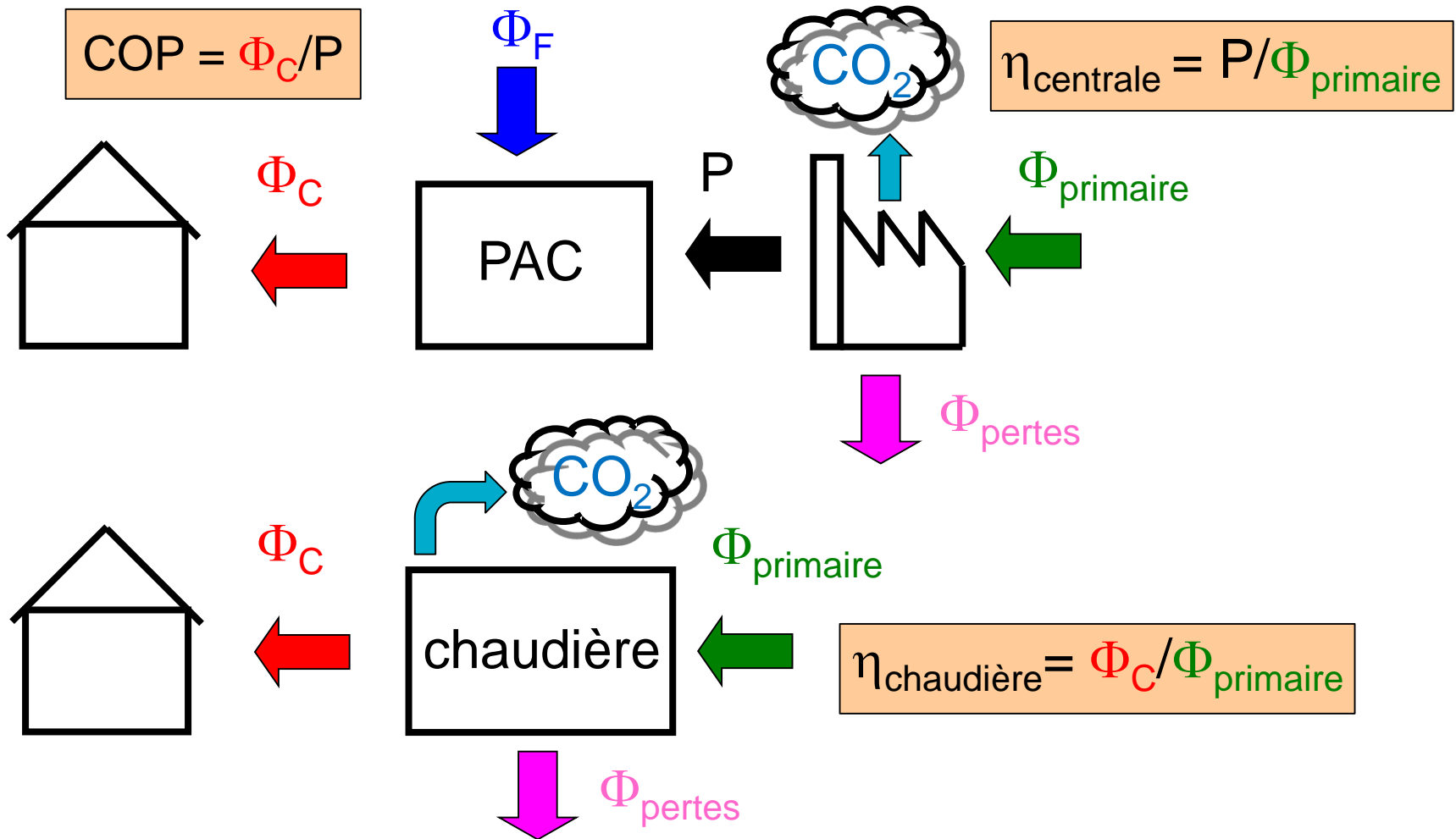
Cycle thermodynamique



Source : Antonijevic *et al.*, Energy and Buildings 49 (2012) 294-299

- PAC à deux cycles thermodynamiques (PAC avec cycle en cascade)
- PAC de ce type sur le marché

Aspect énergie renouvelable



Aspect énergie renouvelable

- Intérêt énergétique (gain en énergie primaire) :

$$\Phi_{\text{primaire}} = \Phi_{\text{C}} / (\eta_{\text{centrale}} \text{COP})$$

$$\Phi_{\text{primaire}} = \Phi_{\text{C}} / (\eta_{\text{chaudière}})$$

$$\eta_{\text{centrale}} \text{COP} > \eta_{\text{chaudière}}$$

- Comme le COP varie au cours de l'année en fonction de la température des sources, on utilisera le COP moyen d'une saison de chauffe :

SPF (seasonal performance factor) ou **FPS** (facteur de performance saisonnier)

Aspect énergie renouvelable

- Les pompes à chaleur (PAC) peuvent jouer un rôle dans la production d'énergie renouvelable en Europe (perspective 2020 : 13%)
- Mais... Une Directive Européenne impose une efficacité minimale pour les PAC si elles veulent être considérées comme sources d'énergie renouvelable
- PAC efficace ? → économie de 15% d'énergie primaire
 - Facile à réaliser dans de nouveaux bâtiments
 - Possible dans des vieux bâtiments (pas énergétiquement efficaces) ? (majorité du stock de bâtiments en Belgique)

SPF > 2.88 (avec $\eta_{\text{Centrale}} = 0.400$)

SPF > 2.53 (avec $\eta_{\text{Centrale}} = 0.455$)

Présentation du logiciel SPFPAC

■ La Région wallonne a lancé en 2007 un marché public pour un outil pour le calcul du SPF en chaud et en froid pour les pompes à chaleur air-air et air-eau réversibles installées dans des maisons individuelles ou du petit tertiaire.

Le marché a été remporté par l'UMONS et l'outil fourni en 2009.

■ Pourquoi ?

- Le facteur de performance saisonnier (SPF) d'une PAC = facteur-clé pour le calcul de l'énergie primaire d'une PAC
- L'énergie primaire est utilisée par la Région pour la promotion des PAC
- Une Directive Européenne rend obligatoire une méthode légale de calcul du SPF des PAC (Directive 2009/28/CE)
- Actuellement, dans le logiciel PEB :

$$\text{SPF (chaud)} = \text{COP}_{\text{NORM}} \times \text{facteurs de correction}$$

$$\text{SPF (froid)} = \text{valeur fixe}$$

→ Besoin de valeurs de SPF plus réalistes

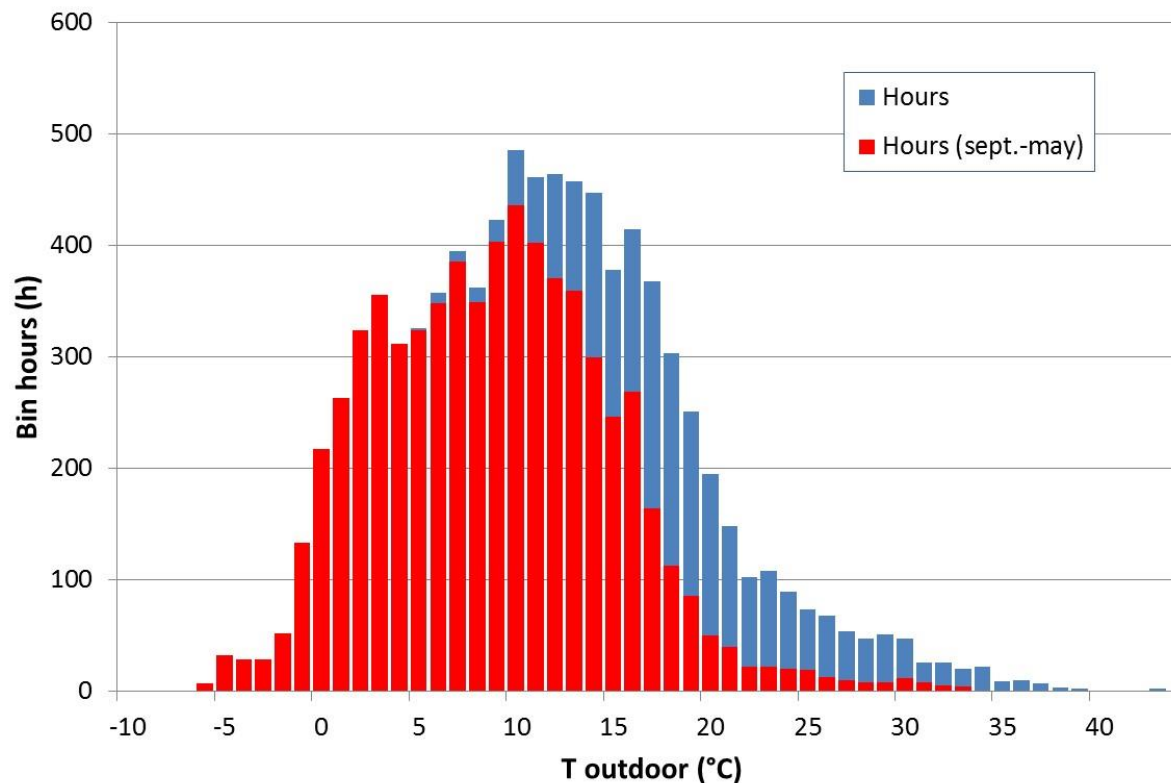
Objectifs

- La méthode de calcul du SPF doit :
 - être simple (facilement utilisable sur PC)
 - être fiable (basée sur la physique des bâtiments et des PAC)
 - être basée sur un minimum d'informations disponibles
 - utiliser les informations disponibles du logiciel PEB
 - calculer les valeurs du SPF en chaud et en froid

- La méthode a été développée dans une feuille Excell

Calcul de la demande en chaleur

- La méthode s'inspire de la norme européenne EN 15316
- Utilisation de « bins de température » (ici par pas de 1°C) pour une période donnée de l'année



Calcul de la demande en chaleur

- La norme européenne EN 15316 suppose que la demande nette en chaleur (Q_{Hi}) pour le bin i est proportionnelle aux degrés-heure HDH_i en chaud :

$$HDH_i = n_i (T_{IDH} - T_i)$$

n_i = nombre d'heures dans le bin i

T_i = température (extérieure) du bin

T_{IDH} = température de confort (consigne)

Cela signifie que dans cette norme :

- les gains solaires et internes ne sont pas pris en compte
- l'inertie thermique du bâtiment n'est pas prise en compte
- les bins où il y a une demande de chaleur et de froid sont agglomérés

Calcul de la demande en chaleur

- Les gains et l'inertie thermique sont pris en compte en utilisant une relation modifiée pour HDH_i :

$$HDH_i = w_{Hi} n_i (T_{UATLH} - T_i)$$

n_i = nombre d'heures dans le bin i

T_i = température (extérieure) du bin

T_{UATLH} = température de non-chauffage (dépend des gains)

w_{Hi} = facteur de correction d'inertie thermique pour n_i

- La demande nette en chaleur Q_{Hi} est obtenue grâce aux coefficients H_T et H_V du bâtiment (logiciel PEB) :

$$Q_{Hi} = (H_T + H_V) HDH_i$$

- La demande brute en chaleur est calculée grâce à une efficacité globale η_{GH} :

$$Q_{HGi} = \frac{Q_{Hi}}{\eta_{GH}}$$

Calcul de la demande en chaleur

- Une relation similaire est utilisée pour la demande en froid :

$$CDH_i = w_{Ci} n_i (T_i - T_{UATLC})$$

n_i = nombre d'heures dans le bin i

T_i = température (extérieure) du bin

T_{UATLC} = température de non-refroidissement (dépend des gains)

w_{Ci} = facteur de correction d'inertie thermique pour n_i

- La demande nette en froid Q_{Ci} est obtenue grâce aux coefficients H_T et H_V du bâtiment (logiciel PEB) :

$$Q_{Ci} = (H_T + H_V) CDH_i$$

- La demande brute en froid est calculée grâce à une efficacité globale η_{GC} :

$$Q_{CGi} = \frac{Q_{Ci}}{\eta_{GC}}$$

Calcul de la demande en chaleur

- Il n'y a pas de bins avec simultanément une demande en chaleur et en froid (pour le climat belge) si on utilise :

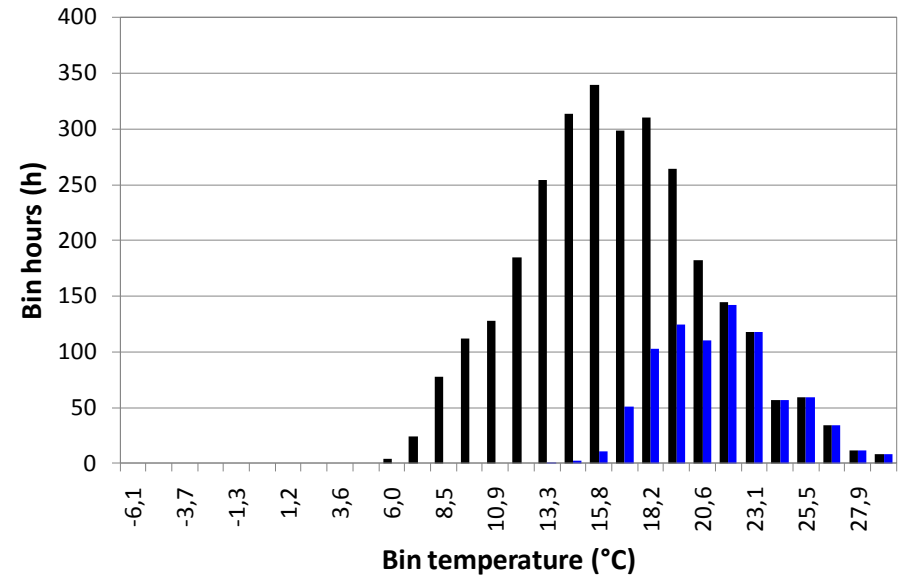
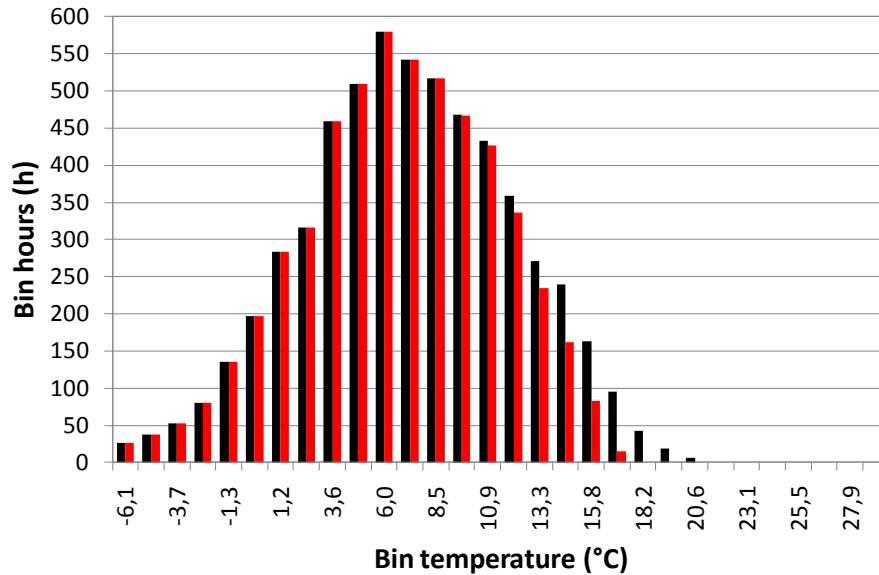
$$T_{IDH} = 18^{\circ}\text{C} \text{ (valeur PEB)}$$

$$T_{IDC} = 23^{\circ}\text{C} \text{ (valeur PEB)}$$

Période de chauffage = 15 septembre - 15 mai

Période de refroidissement = 16 mai - 14 septembre

Calcul de la demande en chaleur



Les bin n_i (noir) et les bin corrigés $w_{Hi} n_i$ (rouge) pour la période de chauffage
Les bin n_i (noir) et les bin corrigés $w_{Ci} n_i$ (bleu) pour la période de refroidissement

Calcul de la demande en chaleur

- Les facteurs de correction pour l'inertie w_{Hi} and w_{Ci} ont été obtenus par simulation dynamique de 32 maisons avec différents niveaux d'isolation et 3 niveaux d'inertie thermique. Ils sont calculés par les relations :

$$w_{Hi} = \frac{1}{1 + \left| \frac{(T_{UATLH} - T_i) - \mu_H}{\sigma_H} \right|^{\beta_H}}$$

$$w_{Ci} = \mu_C (T_i - T_{UATLC})^2 + \sigma_C (T_i - T_{UATLC}) + \beta_C$$

- Les coefficients des fonctions w_{Hi} et w_{Ci} ont été corrélés linéairement avec T_{UATLH} et T_{UATLC} grâce aux résultats des simulations dynamiques des 32 maisons :

$$\begin{aligned}\mu_H &= a_1 T_{UATLH} + b_1 \\ \sigma_H &= a_2 T_{UATLH} + b_2 \\ \beta_H &= a_3 T_{UATLH} + b_3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu_C &= a_5 T_{UATLC} + b_5 \\ \sigma_C &= a_6 T_{UATLC} + b_6 \\ \beta_C &= a_7 T_{UATLC} + b_7\end{aligned}$$

Calcul de la demande en chaleur

- Les températures de non-chauffage et de non-refroidissement dépendent des gains solaires et internes :

$$T_{UATLH} = T_{IDH} - \frac{\eta_H \cdot q_{GH}}{\sum_{i=1}^N n_i \cdot U_L}$$

$$T_{UATLC} = T_{IDC} - \frac{\eta_C \cdot q_{GC}}{\sum_{i=1}^N n_i \cdot U_L}$$

q_{GH} = gains solaires et internes (période de chauffage)

η_H = facteur d'utilisation des gains (période de chauffage)

q_{GC} = gains solaires et internes (période de refroidissement)

η_C = facteur d'utilisation des gains (période de refroidissement)

$U_L = H_T + H_V$

Calcul de la demande en chaleur

- Les gains solaires sont calculés pour chaque heure de l'année et pour différentes orientations et inclinaisons pour le climat belge et affectés ensuite à un bin de température.
- Les gains internes sont calculés suivant la méthode PEB.
- Les facteurs d'utilisation des gains η_C et η_H sont corrélés aux valeurs des gains :

$$\eta_H = a_4 \frac{q_{GH}}{Q_{HT}} + b_4$$

$$\eta_C = a_8 \frac{q_{GC}}{Q_{CT}} + b_8$$

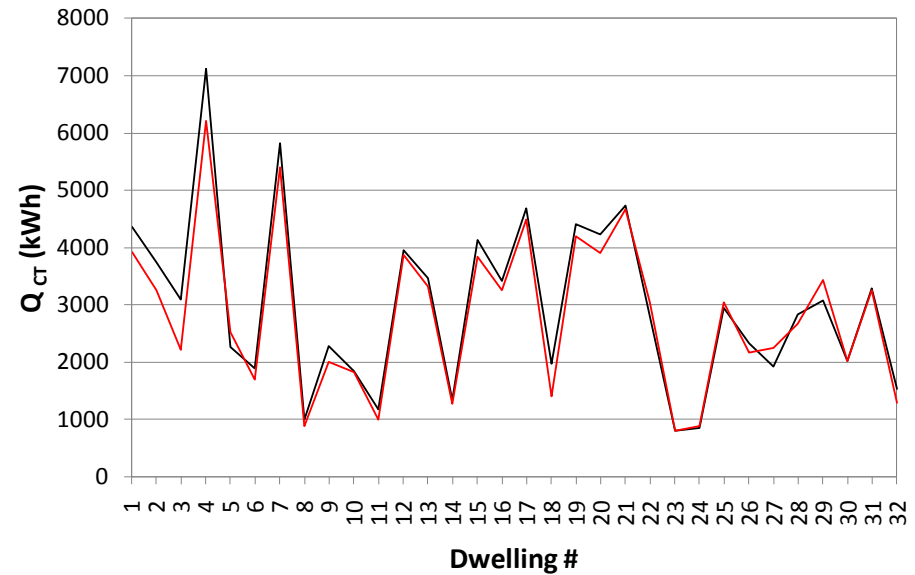
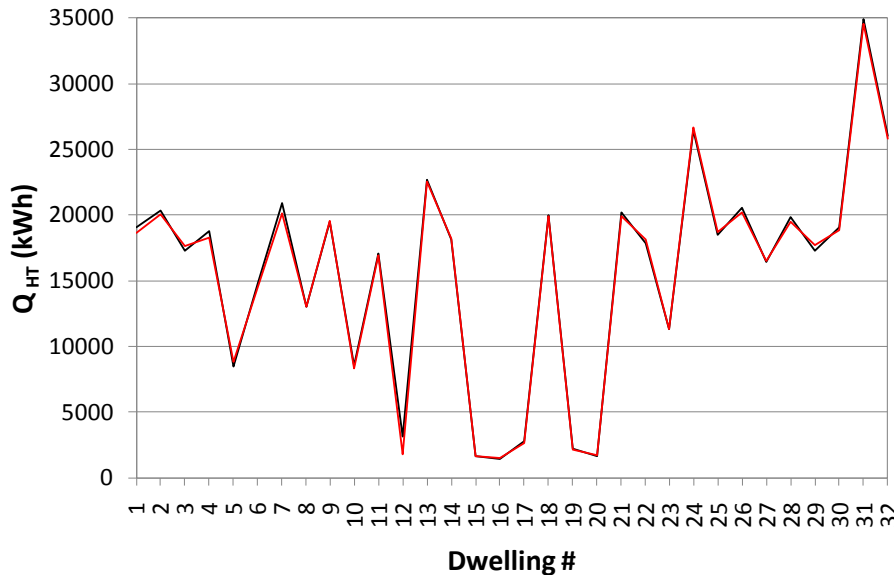
q_{GH} = gains solaires et internes (période de chauffage)

Q_{HT} = demande nette totale en chaleur (période de chauffage)

q_{GC} = gains solaires et internes (période de refroidissement)

Q_{CT} = demande nette totale en froid (période de refroidissement)

Calcul de la demande en chaleur



Comparaison de la demande annuelle calculée par la simulation dynamique (noir) et par la méthode des bin (rouge) :

Inertie des maisons : léger (1-6), peu-lourd (7-20), mi-lourd (21-32)

Calcul du SPF

- Les courbes de performance de la PAC sont utilisées (plusieurs options) :

$$\phi_i = f_1 (T_i, T_{AIN}) \text{ (PAC air-air)}$$

$$\phi_i = f_1 (T_i, T_{WOUT}) \text{ (PAC air-eau)}$$

$$COP_i = f_2 (T_i, T_{AIN}) \text{ (PAC air-air)}$$

$$COP_i = f_2 (T_i, T_{WOUT}) \text{ (PAC air-eau)}$$

- On peut rentrer jusqu'à 16 « points » pour les fonctions f_1 et f_2 ; une interpolation linéaire est utilisée
- T_{AIN} est habituellement T_{IDH} (18-20°C)
- Besoins de modèles pour relier T_{WOUT} et T_i :
 - modèles de plancher chauffant
 - modèle de ventilo-convecteurs
 - modèle de radiateur

Calcul du SPF

- l'énergie fournie par les appoints E_{BHi} est calculée suivant la norme EN 15316 :

$$\begin{aligned} E_{BHi} &= Q_{HGi} - \Phi_i w_{Hi} n_i & \text{si } Q_{HGi} - \Phi_i w_{Hi} n_i > 0 \\ E_{BHi} &= 0 & \text{si } Q_{HGi} - \Phi_i w_{Hi} n_i < 0 \end{aligned}$$

- Le temps de fonctionnement τ_i est aussi calculé suivant la norme EN 15316 :

$$\tau_i = \frac{Q_{HGi} - E_{BHi}}{\Phi_i}$$

- Le facteur de charge LF_i est utilisé pour obtenir un facteur correctif CF_i qui modifie le COP à cause de la mise en régime d'un cycle (EN 15316) :

$$LF_i = \frac{\tau_i}{w_{Hi} n_i}$$

$$COP_{CORi} = COP_i CF_i(LF_i)$$

Calcul du SPF

- La consommation d'énergie électrique pour le bin i est :

$$E_{Hi} = \frac{\Phi_i \tau_i}{COP_{CORi}}$$

- La consommation annuelle d'électricité E_{HT} est obtenue en sommant les E_{Hi} .
- La quantité de chaleur annuelle fournie par la PAC est :

$$Q_{HHPT} = \sum_{i=1}^N \Phi_{Hi} \tau_i$$

- On peut alors calculer le SPF :

$$SPF_H = \frac{Q_{HHPT}}{E_{HT}}$$

$$SPF_C = \frac{Q_{CHPT}}{E_{CT}}$$

Comparaison SPFPAC et mesures

- La méthode a été comparée avec des mesures effectuées sur deux PAC (sur site, un an de monitoring) : une PAC air-air réversible et une PAC air-eau à vitesse variable

Table 1. Annual heating demand and heating SPF comparison.

	Air-to-air heat pump		Air-to-water heat pump	
	Calculation	Monitoring	Calculation	Monitoring
Q_{HHPT} (kWh)	15886	14407	20788	17608
E_{HT} (kWh)	6380	6101	6883	5876 (5555)
E_{BHT} (kWh)	0	1801	69	163
SPF_{H} (-)	2.49	2.36	3.02	3.00 (3.17)

Comparaison SPFPAC et mesures

- La méthode a été comparée avec des mesures effectuées sur deux PAC (sur site, un an de monitoring) : une PAC air-air réversible et une PAC air-eau à vitesse variable

Table 2. Annual cooling demand and cooling SPF comparison.

	Air-to-air heat pump		Air-to-water heat pump	
	Calculation	Monitoring	Calculation	Monitoring
Q_{CHPT} (kWh)	6579	34	2412	53
E_{CT} (kWh)	4061	17	884	12 (11)
SPF_C (-)	1.62	1.99	2.73	4.32 (4.80)

Remarques

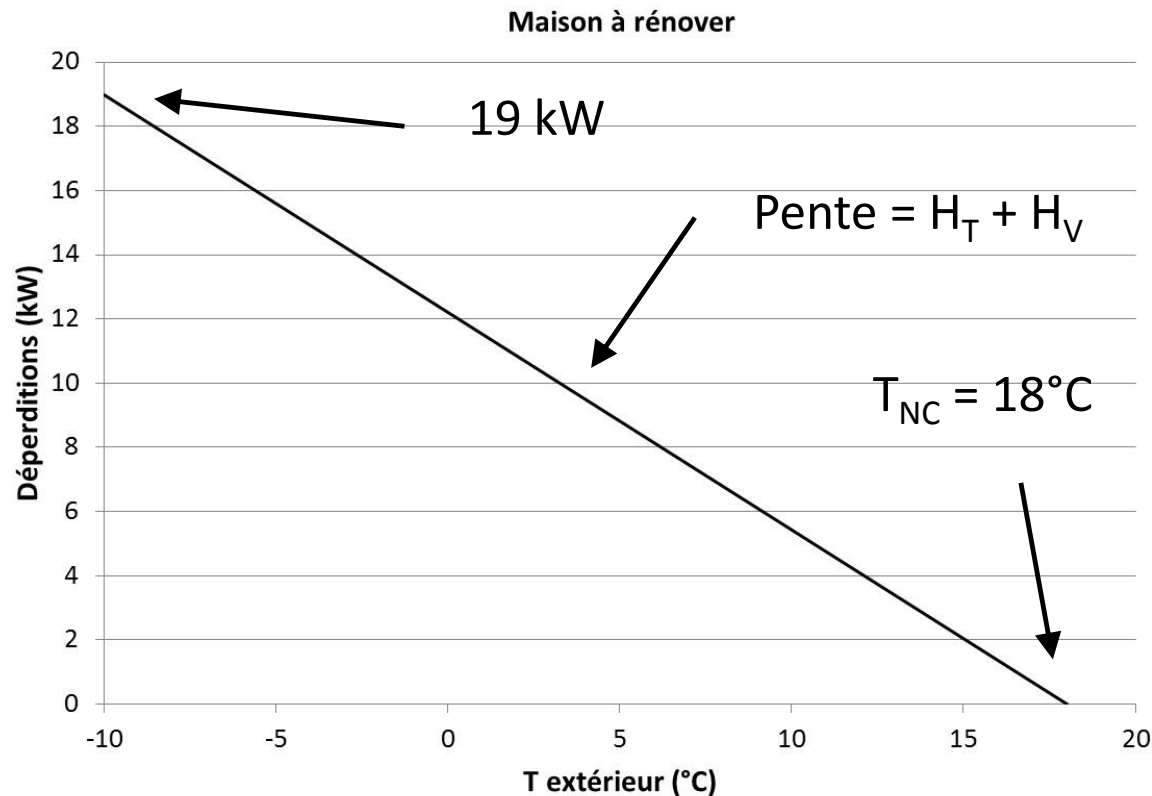
- La méthode de calcul de SPFPAC :
 - prend en compte l'inertie du bâtiment et les gains solaires et internes
 - fait la différence entre les PAC surdimensionnées et sous-dimensionnées (PAC air-eau)
 - SPF OK en mode chauffage
 - SPF moins bon en mode froid
- Plusieurs causes d'erreur ne peuvent être évitées :
 - les gains internes dépendent des habitants
 - les gains solaires et la température extérieure varient beaucoup d'une année à l'autre (utilisation de données météo standard)
 - T_{IDC} (23°C ?) dépend beaucoup du comportement des habitants

Logiciel SPFPAC

Application à la rénovation

Bâtiment à rénover - radiateurs

- Bâtiment dont les déperditions à $T_{EXT} = -10^{\circ}\text{C}$ sont de 19 kW (14 kW par transmission et 5 kW par ventilation).
- On suppose la température de non-chauffage égale à $T_{EXT} = 18^{\circ}\text{C}$
-> $H_T = 500 \text{ W/K}$ et $H_V = 178 \text{ W/K}$



Bâtiment à rénover - radiateurs

- Radiateurs dimensionnés pour 19 kW à $T_{EXT} = -10^{\circ}C$ dans le régime 75-65-20°C
- le coefficient $n = 1,35$
- dans ces conditions, le débit d'eau dans les radiateurs vaut 1634 kg/h

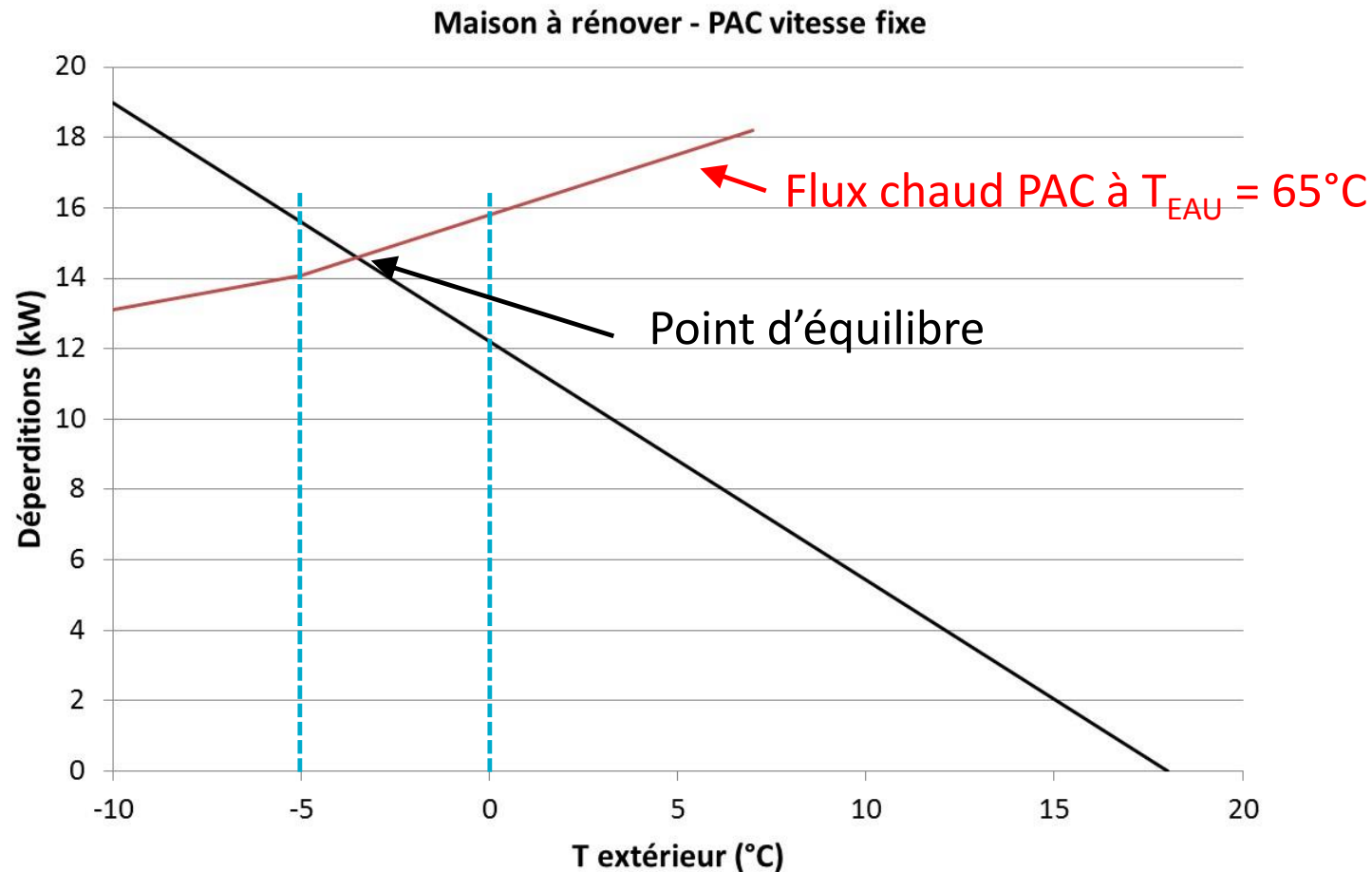
Informations générales					
Températures de référence					
chauffage			18 °C		
refroidissement			23 °C		
Périodes de référence					
chauffage	15 sep		15 mai		
refroidissement	16 mai		14 sep		
Données relatives au bâtiment					
Coefficient de déperditions					
par transmission			500 W/K		
par ventilation			178 W/K		
Géométrie					
Volume protégé			550 m³		
Volume du secteur			550 m³		
Surface chauffée			100 m²		
Surface de plancher chauffant			100 m²		
Gains internes					
valeur à encoder			1 W		328 W par défaut
Caractéristiques des vitrages					
Surface	Orientat	Pente	facteur solaire	protection	commande
0 S		90 °	0.6	autres cas	manuelle
0 S		90 °	0.6	autres cas	manuelle
0 S		90 °	0.6	autres cas	manuelle
0 S		90 °	0.6	autres cas	manuelle
0 S		90 °	0.6	autres cas	manuelle
0 S		90 °	0.6	autres cas	manuelle
0 S		90 °	0.6	autres cas	manuelle
0 S		90 °	0.6	autres cas	manuelle
0 S		90 °	0.6	autres cas	manuelle
0 S		90 °	0.6	autres cas	manuelle
Définition du système de chauffage/refroidissement					
Système de distribution					
Rendement			100.00 %		chauffage/refroidissement
Type de distribution			radiateurs		
Débit total d'eau			1634 kg/h		chauffage/refroidissement
Pompe à chaleur					
Modèle			non-réversible vitesse fixe		
Mode production de chaleur			courbes à encoder		selon EN 14812-2
					AT/HS
Mode production de froid			selon EN 14812-2		
Pression frigorifique			2-4 bar		selon EN 14812-2
Consom. Commande			20 W		

Radiateurs

Caractéristiques techniques		uniquement chauffage
Puissance nominale	19000 W	selon EN 442
Température d'entrée d'eau	75 °C	pour l'air extérieur
Température de sortie d'eau	65 °C	à -10 °C, selon EN 442
Température de référence	20 °C	
Indice n	1.35	
Nombre des radiateurs	1	
Débit total d'eau	1634 kg/h	

Bâtiment à rénover - radiateurs

- Le choix d'une PAC air-eau (vitesse fixe) se fait pour un point d'équilibre entre $T_{EXT} = -5^{\circ}\text{C}$ et 0°C pour une température d'eau produite de $60-65^{\circ}\text{C}$



Bâtiment à rénover - radiateurs

- On entre les données constructeur de la PAC (flux chaud et COP)

Production de chaleur

Text./Teau, °C	Puissance calorifique, kW		COP	
	65 °C	45 °C	65 °C	45 °C
-10 °C	13.1	11.8	1.8	2.4
-5 °C	14.5	13	2	2.55
0 °C	15.8	14	2.1	2.8
7 °C	18.2	17.4	2.5	3.2

Production de froid

Text./Teau, °C	Puissance frigorifique, kW		COP	
	18 °C	8 °C	18 °C	8 °C
27 °C	16.2	12.6	2.7	2.5
35 °C	14.2	10.7	2.2	2
45 °C	13.5	8.7	1.8	1.68



Bâtiment à rénover - radiateurs

- Résultats PAC vitesse fixe :
 - la PAC est bien dimensionnée
 - le SPF = 2,25
 - la quantité de chaleur annuelle vaut 44016 kWh dont 216 kWh fournis par les appoints

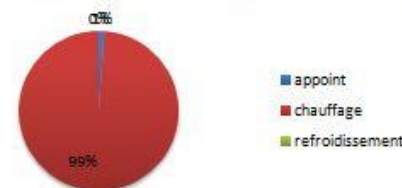
Données générales

Températures de non-chauffage/non-refroidissement

chauffage	17.60 °C
refroidissement	24.72 °C

Besoins en énergie nette

chauffage	44 012.859 kWh	158 445.024 MJ
refroidissement	115.361 kWh	415.268 MJ



Besoins en énergie primaire

appoint	539.310 kWh	1 941.517 MJ
chauffage	48 707.274 kWh	175 346.185 MJ
refroidissement	0.000 kWh	0.000 MJ

Performances du système

Consommation d'énergie électrique de la PAC

chauffage	19 482.909 kWh	✓
refroidissement	0.000 kWh	

Evaluation du dimensionnement

dimensionnement	en ordre	✓
-----------------	----------	---

Quantité de chaleur/froid produite par la PAC

chaleur	43 800.303 kWh
froid	0.000 kWh

Consommation d'énergie électrique de l'appoint

supplément d'énergie	215.724 kWh
----------------------	-------------

Consommation totale d'énergie électrique

chauffage	19 698.634 kWh
refroidissement	0.000 kWh

Coefficients de performance

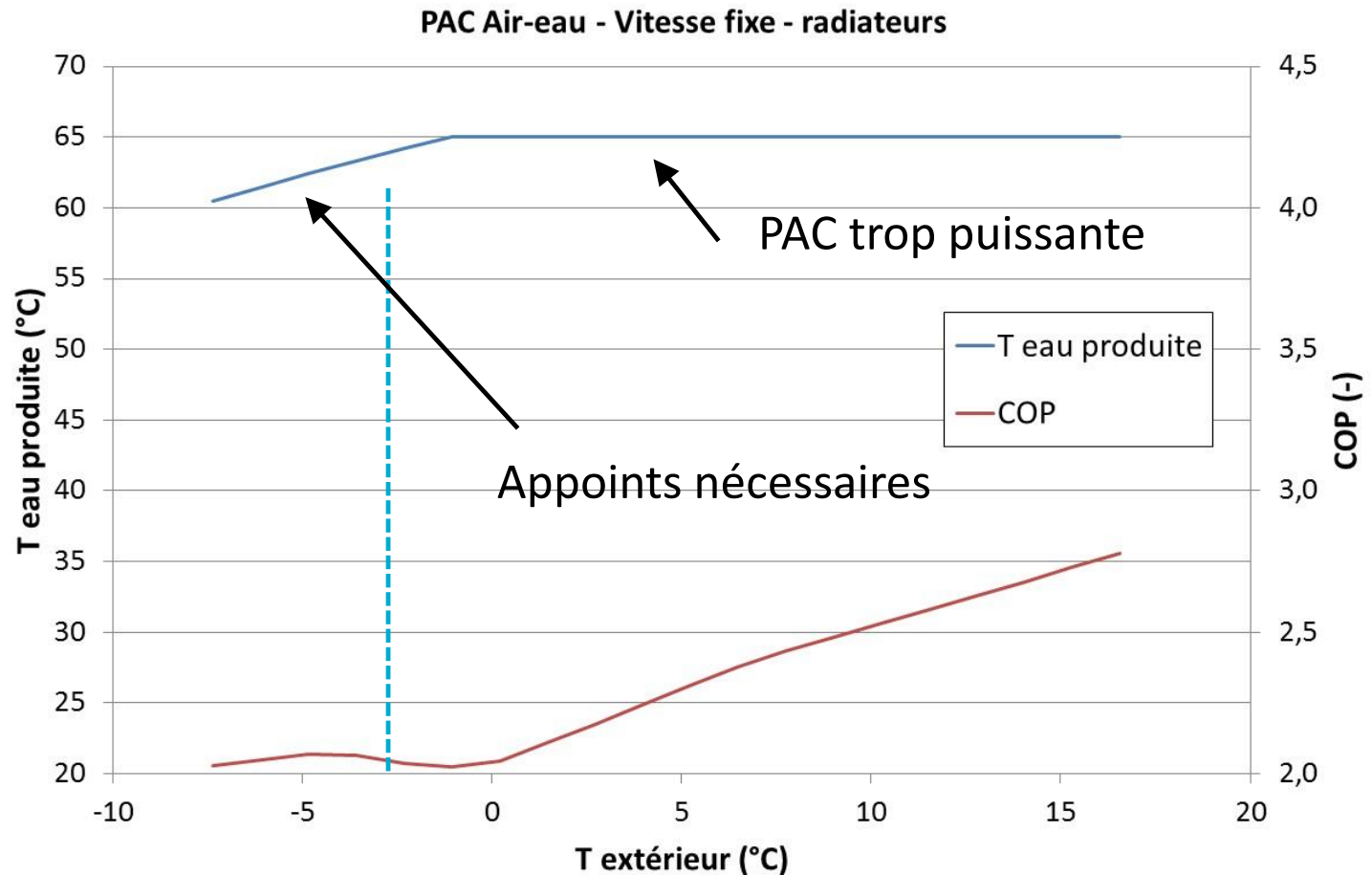
SPF PAC (chaleur)	2.248
SPF système (chaleur)	2.234
SPF PAC (froid)	0.000

Indices de performance

PAC (chaleur et froid)	2.248
système complet	2.234

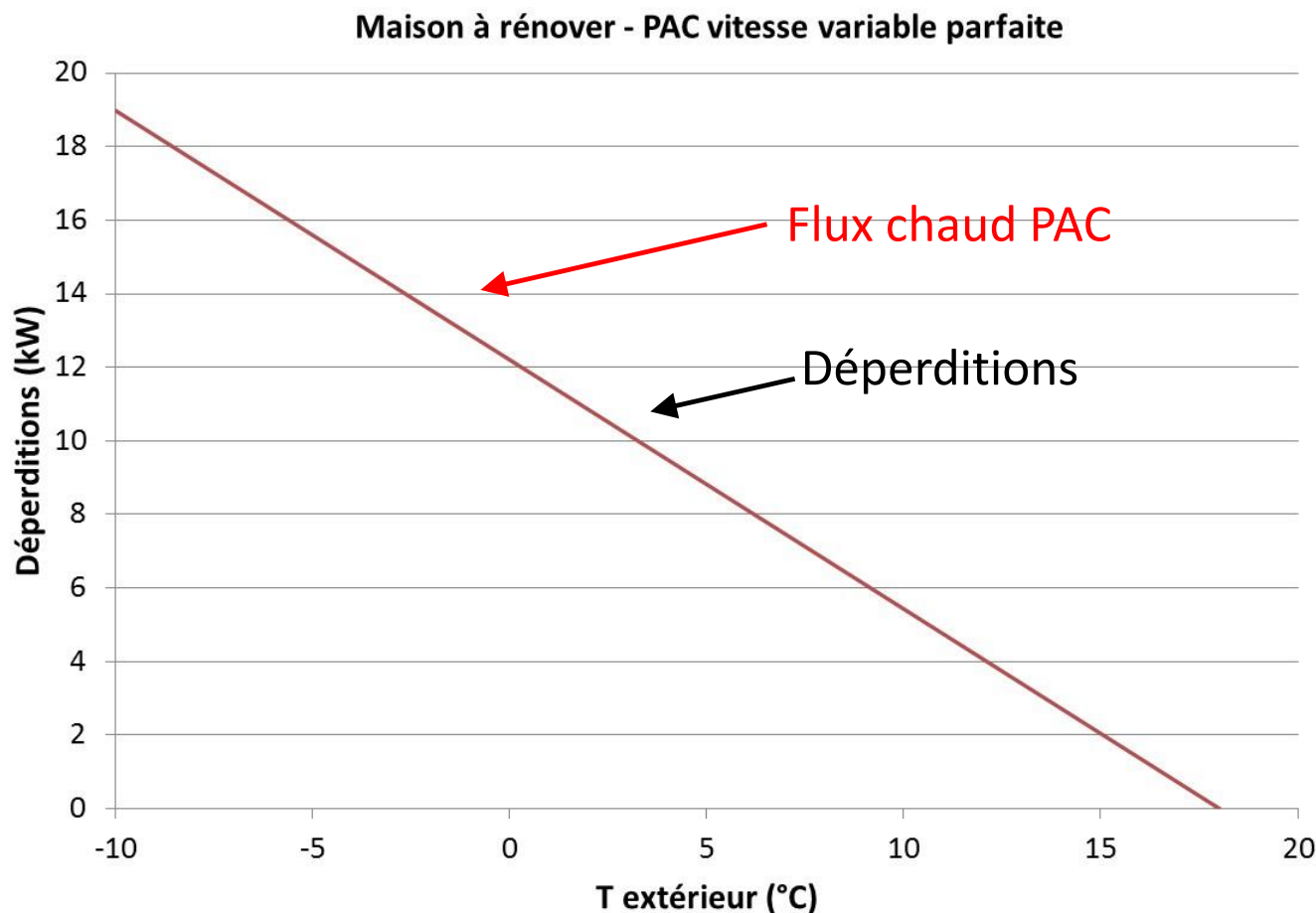
Bâtiment à rénover - radiateurs

- Le choix d'une PAC air-eau à vitesse fixe combinée à des radiateurs n'est pas une solution favorable au SPF



Bâtiment à rénover - radiateurs

- Choix d'une PAC air-eau à vitesse variable parfaite (le flux chaud correspond parfaitement aux déperditions)



Bâtiment à rénover - radiateurs

- On entre les données de la PAC (flux chaud et COP). Ici, on a gardé les mêmes COP que la PAC à vitesse fixe

Production de chaleur

Text./Teau, °C	Puissance calorifique, kW		COP	
	65 °C	45 °C	65 °C	45 °C
-10 °C	19	19	1.8	2.4
-5 °C	15.6	15.6	2	2.55
0 °C	12.2	12.2	2.1	2.8
7 °C	7.5	7.5	2.5	3.2

Production de froid

Text./Teau, °C	Puissance frigorifique, kW		COP	
	18 °C	8 °C	18 °C	8 °C
27 °C	16.2	12.6	2.7	2.5
35 °C	14.2	10.7	2.2	2
45 °C	13.5	8.7	1.8	1.68

Bâtiment à rénover - radiateurs

- Résultats PAC vitesse variable :
 - la PAC est très légèrement sous-dimensionnée
 - le SPF = 2,76
 - la quantité de chaleur annuelle vaut 44016 kWh (pas d'appoints)

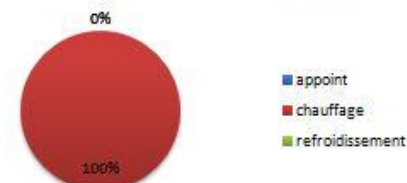
Informations générales

Températures de non-chauffage/non-refroidissement

chauffage	17.60 °C
refroidissement	24.72 °C

Besoins en énergie nette

chauffage	44 012.859 kWh	158 445.024 MJ
refroidissement	115.361 kWh	415.268 MJ



Besoins en énergie primaire

appoint	0.000 kWh	0.000 MJ
chauffage	39 911.764 kWh	143 682.352 MJ
refroidissement	0.000 kWh	0.000 MJ

Performances du système

Consommation d'énergie électrique de la PAC

chauffage	15 964.706 kWh	✓
refroidissement	0.000 kWh	

Evaluation du dimensionnement

dimensionnement	PAC sous-dimensionnée à 2.25 %	✓
-----------------	--------------------------------	---

Quantité de chaleur/froid produite par la PAC

chaleur	44 016.028 kWh
froid	0.000 kWh

Consommation d'énergie électrique de l'appoint

supplément d'énergie	0.000 kWh
----------------------	-----------

Consommation totale d'énergie électrique

chauffage	15 964.706 kWh
refroidissement	0.000 kWh

Coefficients de performance

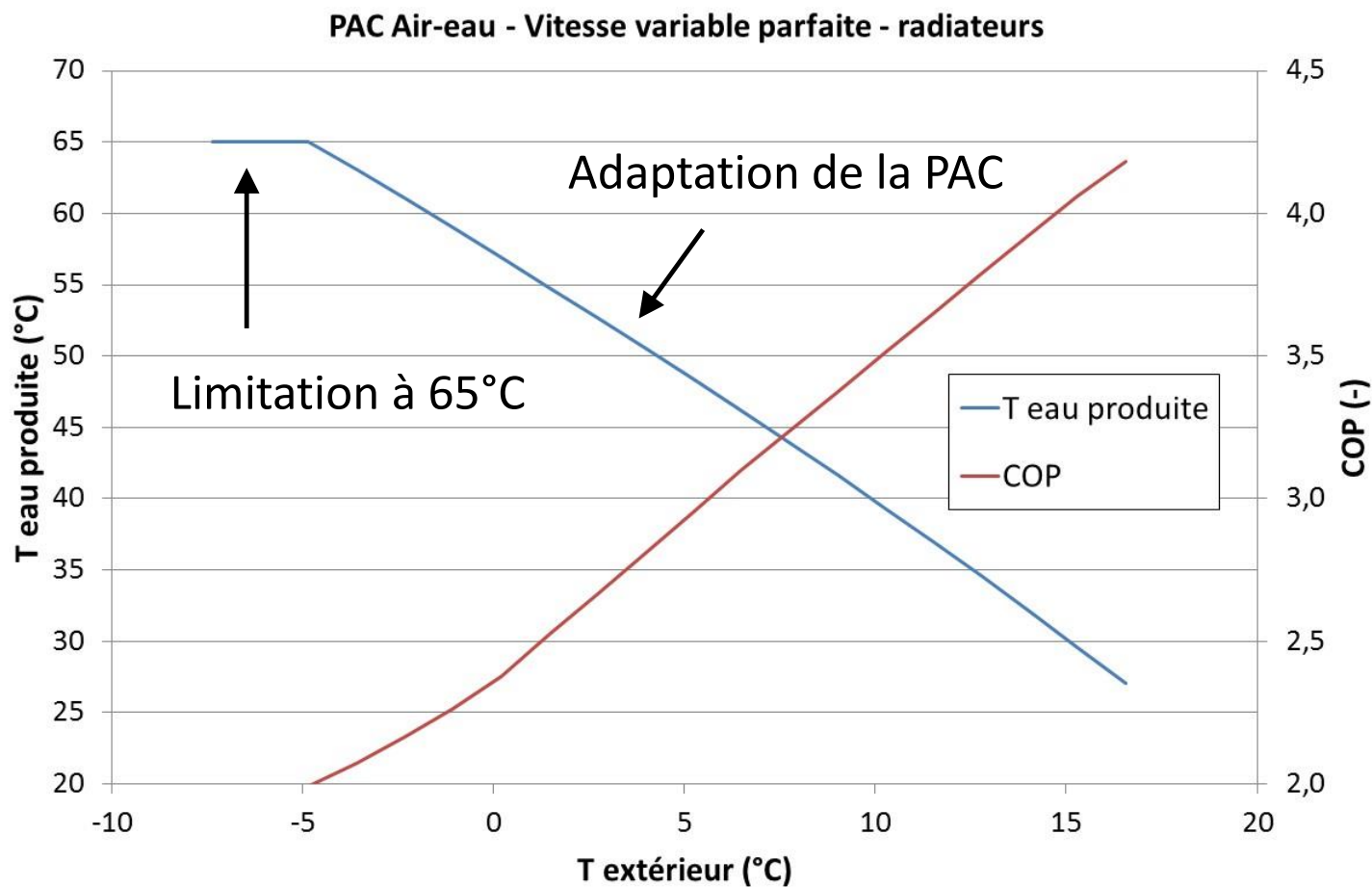
SPF PAC (chaleur)	2.757
SPF système (chaleur)	2.757
SPF PAC (froid)	0.000

Indices de performance

PAC (chaleur et froid)	2.757
système complet	2.757

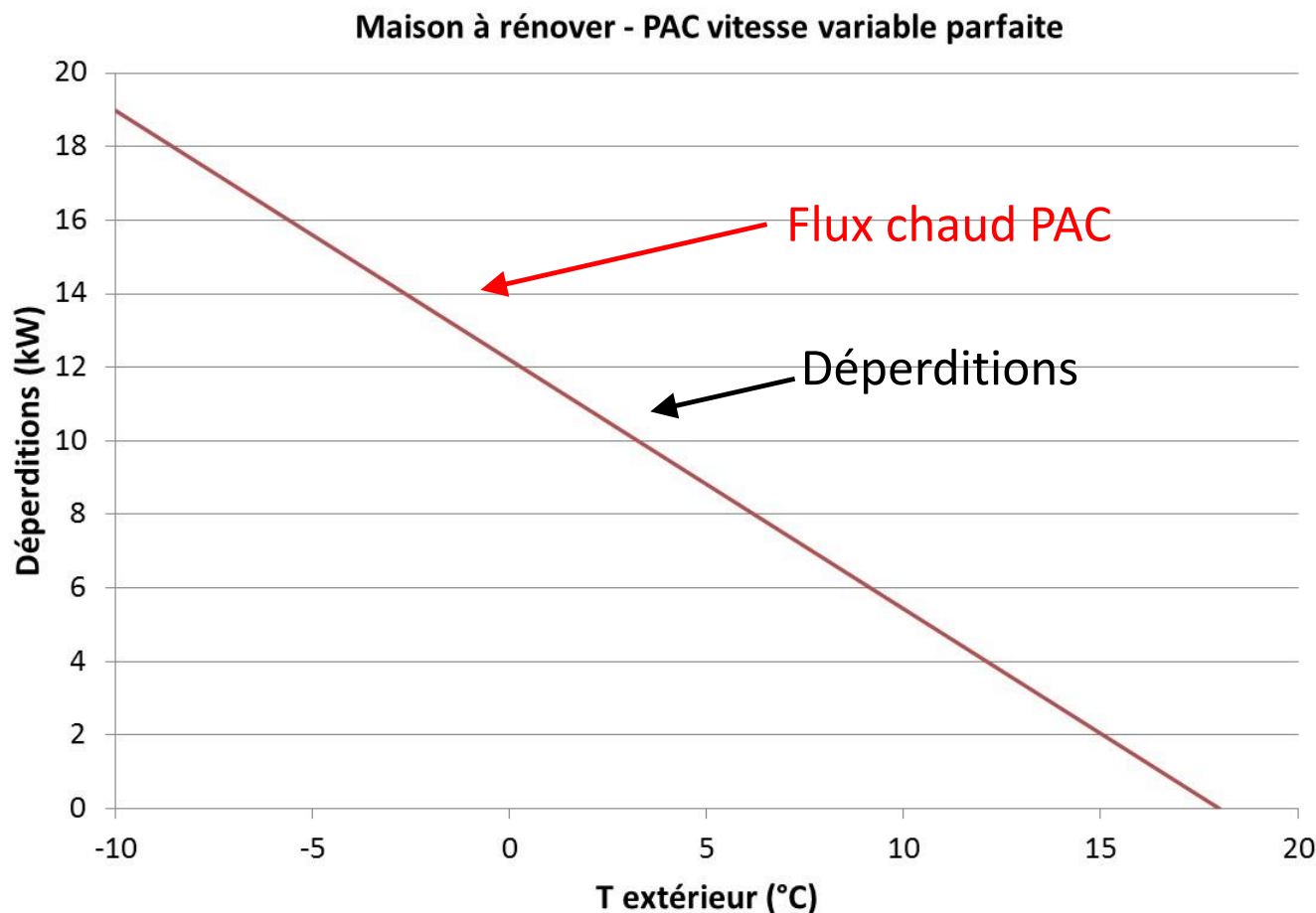
Bâtiment à rénover - radiateurs

- Le choix d'une PAC air-eau à vitesse variable même combinée à des radiateurs est favorable au SPF



Bâtiment à rénover - ventilo-convecteurs

- Choix d'une PAC air-eau à vitesse variable parfaite (le flux chaud correspond parfaitement aux déperditions)



Bâtiment à rénover - ventilo-convecteurs

■ Ventilo-convecteurs dimensionnés pour 19 kW à $T_{EXT} = -10^{\circ}C$ dans le régime 50-45-20°C

- dans ces conditions, le débit d'eau dans les ventilo-convecteurs vaut 3268 kg/h

Ventilo-convecteurs

Caractéristiques techniques	chauffage	refroidissement
Puissance nominale	19000 W	1620 W <i>sensible</i>
Température d'entrée d'eau	50 °C	7 °C
Température de sortie d'eau	45 °C	12 °C
Température de reprise d'eau	20 °C	27 °C <i>bulbe sec</i>
Efficacité	5.33	0.71
Nombre d'unités	1	1
Débit d'air	385 m³/h	385 m³/h
Débit total d'eau	3268 kg/h	900 kg/h

Informations générales

Température de référence			
chauffage		18 °C	
refroidissement		23 °C	
Périodes de référence			
chauffage	15 sep		15 mai
refroidissement	16 mai		14 sep

Données relatives au bâtiment

Coefficient de déperditions

par transmission	500 W/K
par ventilation	178 W/K

Géométrie

Volume protégé	550 m³
Volume du secteur	550 m³
Surface chauffée	100 m²
Surface de plancher chauffant	100 m²

Gains internes

valeur à encoder	1 W	550 W par débit
------------------	-----	-----------------

Caractéristiques des vitrages

Surface	Orientation	Pente	facteur solaire	protection	commande
0 S		90 °	0.6	autres cas	manuelle
0 S		90 °	0.6	autres cas	manuelle
0 S		90 °	0.6	autres cas	manuelle
0 S		90 °	0.6	autres cas	manuelle
0 S		90 °	0.6	autres cas	manuelle
0 S		90 °	0.6	autres cas	manuelle
0 S		90 °	0.6	autres cas	manuelle
0 S		90 °	0.6	autres cas	manuelle
0 S		90 °	0.6	autres cas	manuelle
0 S		90 °	0.6	autres cas	manuelle

Définition du système de chauffage/refroidissement

Système de distribution

Rendement	100.00 %	100.00 %	chauffage/refroidissement
Type de distribution	ventilo-convecteurs		
Débit total d'eau	3268 kg/h	900 kg/h	chauffage/refroidissement

Pompe à chaleur

Modèle	non-réversible	vitesse fixe
Mode production de chaleur	curbes à encoder	selon EN 14513-2 AT/HS
Modèle production de froid	curbes à encoder	selon EN 14513-2 AT/HS
Type	curbes à encoder	selon EN 14513-2 AT/HS
Puissance frigorifique	2.5 kW	1.05 kW
Consom. Commande	20 W	

Bâtiment à rénover - ventilo-convecteurs

- On utilise la même PAC que pour les radiateurs.

Production de chaleur

Text./Teau, °C	Puissance calorifique, kW		COP	
	65 °C	45 °C	65 °C	45 °C
-10 °C	19	19	1.8	2.4
-5 °C	15.6	15.6	2	2.55
0 °C	12.2	12.2	2.1	2.8
7 °C	7.5	7.5	2.5	3.2

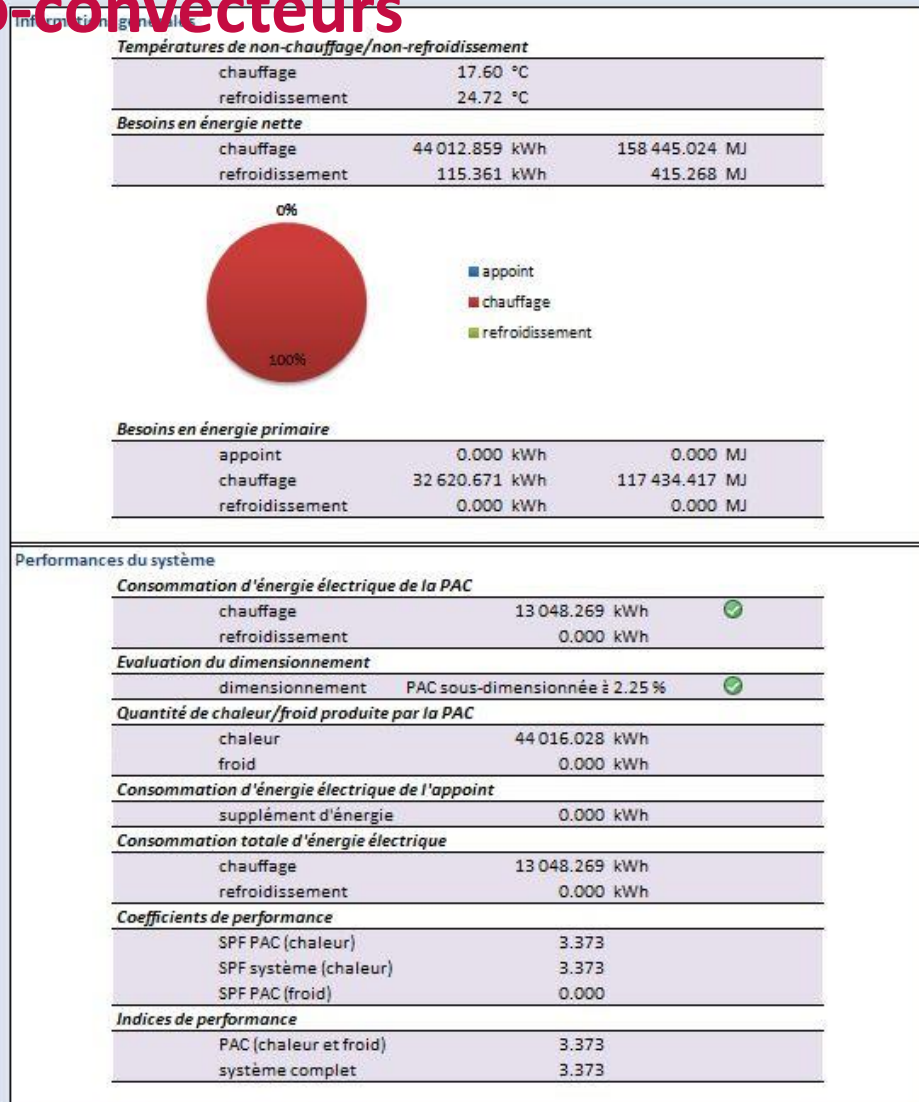
Production de froid

Text./Teau, °C	Puissance frigorifique, kW		COP	
	18 °C	8 °C	18 °C	8 °C
27 °C	16.2	12.6	2.7	2.5
35 °C	14.2	10.7	2.2	2
45 °C	13.5	8.7	1.8	1.68



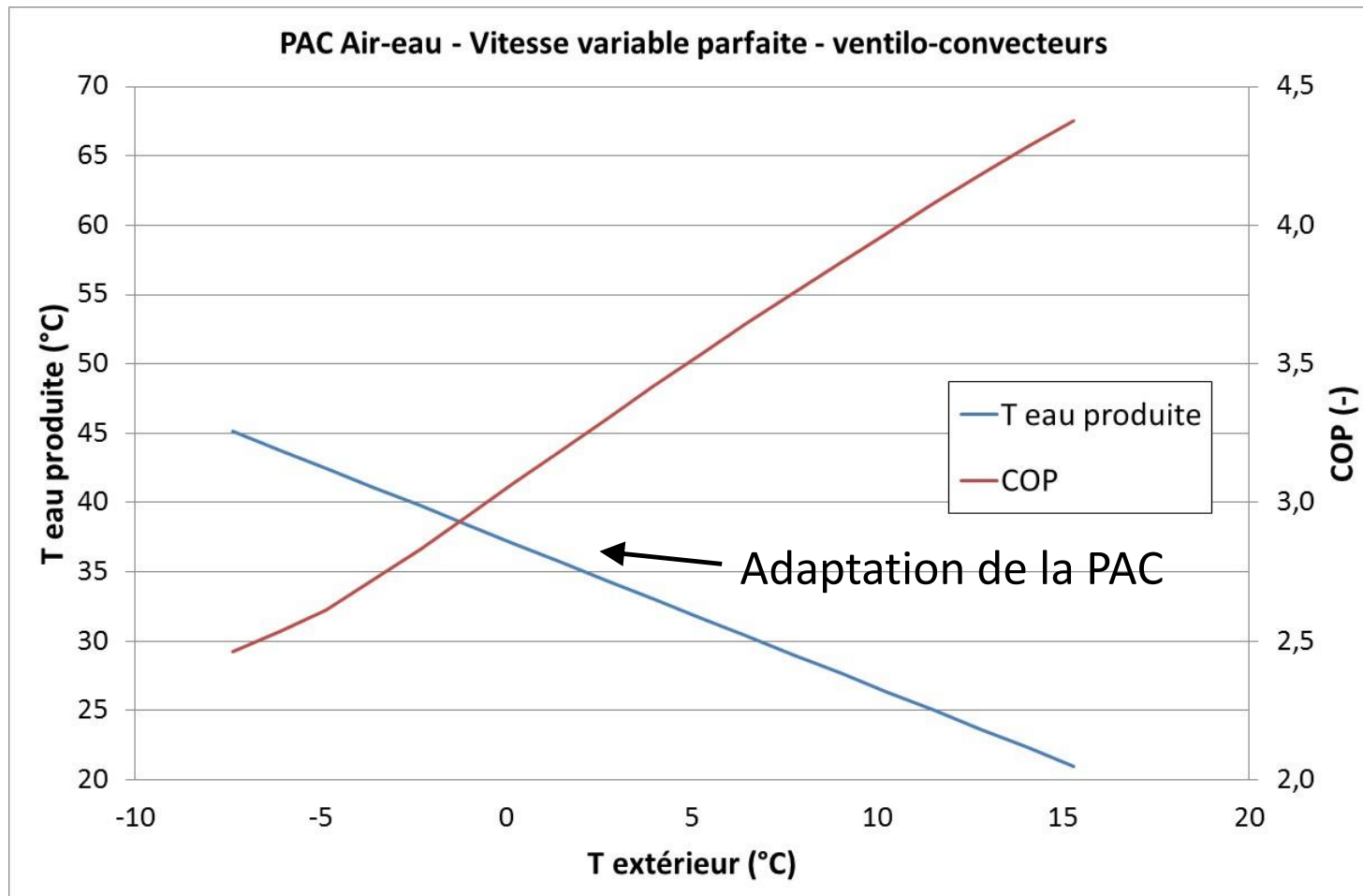
Bâtiment à rénover - ventilo-convecteurs

- Résultats PAC vitesse variable :
 - la PAC est très légèrement sous-dimensionnée
 - le SPF = 3,37
 - la quantité de chaleur annuelle vaut 44016 kWh (pas d'appoints)



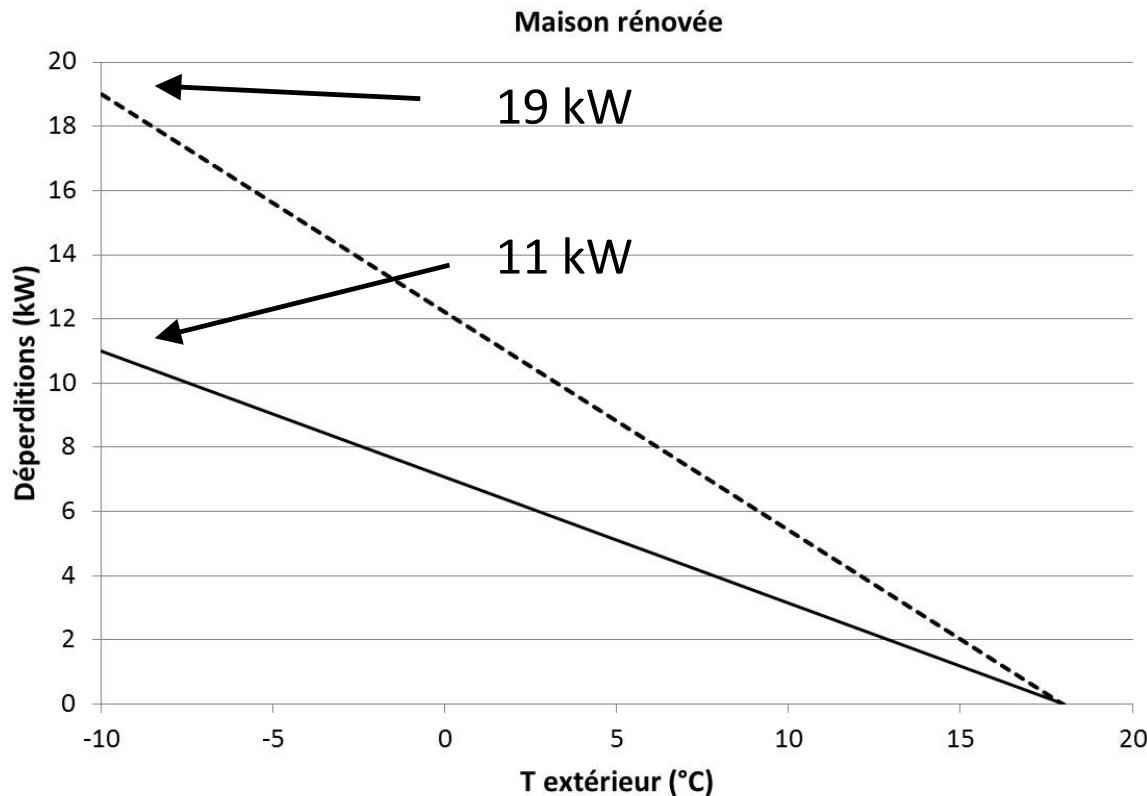
Bâtiment à rénover - ventilo-convecteurs

- Le choix d'une PAC air-eau à vitesse variable combinée à des ventilo-convecteurs améliore le SPF



Bâtiment rénové - radiateurs

- On isole le toit et les murs du bâtiment : les déperditions à $T_{\text{EXT}} = -10^{\circ}\text{C}$ diminuent à 11 kW (8 kW par transmission et 3 kW par ventilation).
- On suppose la température de non-chauffage égale à $T_{\text{EXT}} = 18^{\circ}\text{C}$
-> $H_T = 286 \text{ W/K}$ et $H_V = 107 \text{ W/K}$



Bâtiment rénové - radiateurs

- Radiateurs dimensionnés pour 19 kW à $T_{EXT} = -10^{\circ}C$ dans le régime 75-65-20°C
- le coefficient $n = 1,35$
- dans ces conditions, le débit d'eau dans les radiateurs vaut 1634 kg/h

Radiateurs

Caractéristiques techniques		uniquement chauffage
Puissance nominale	19000 W	selon EN 442
Température d'entrée d'eau	75 °C	pour l'air extérieur
Température de sortie d'eau	65 °C	à -10 °C, selon EN 442
Température de référence	20 °C	
Indice n	1.35	
Nombre des radiateurs	1	
Débit total d'eau	1634 kg/h	

Informations générales

Températures de référence

chauffage	18 °C
refroidissement	23 °C

Périodes de référence

chauffage	15 sep	15 mai
refroidissement	16 mai	14 sep

Données relatives au bâtiment

Coefficient de déperditions

par transmission	286 W/K
par ventilation	107 W/K

Géométrie

Volume protégé	550 m³
Volume du secteur	550 m³
Surface chauffée	100 m²
Surface de plancher chauffant	100 m²

Gains internes

valeur à encoder	1 W	582 W par défaut
------------------	-----	------------------

Caractéristiques des vitrages

Surface	Orientat	Pente	facteur solaire	protection	commande
0 S		90 °	0.6	autres cas	manuelle
0 S		90 °	0.6	autres cas	manuelle
0 S		90 °	0.6	autres cas	manuelle
0 S		90 °	0.6	autres cas	manuelle
0 S		90 °	0.6	autres cas	manuelle
0 S		90 °	0.6	autres cas	manuelle
0 S		90 °	0.6	autres cas	manuelle
0 S		90 °	0.6	autres cas	manuelle
0 S		90 °	0.6	autres cas	manuelle
0 S		90 °	0.6	autres cas	manuelle

Définition du système de chauffage/refroidissement

Système de distribution

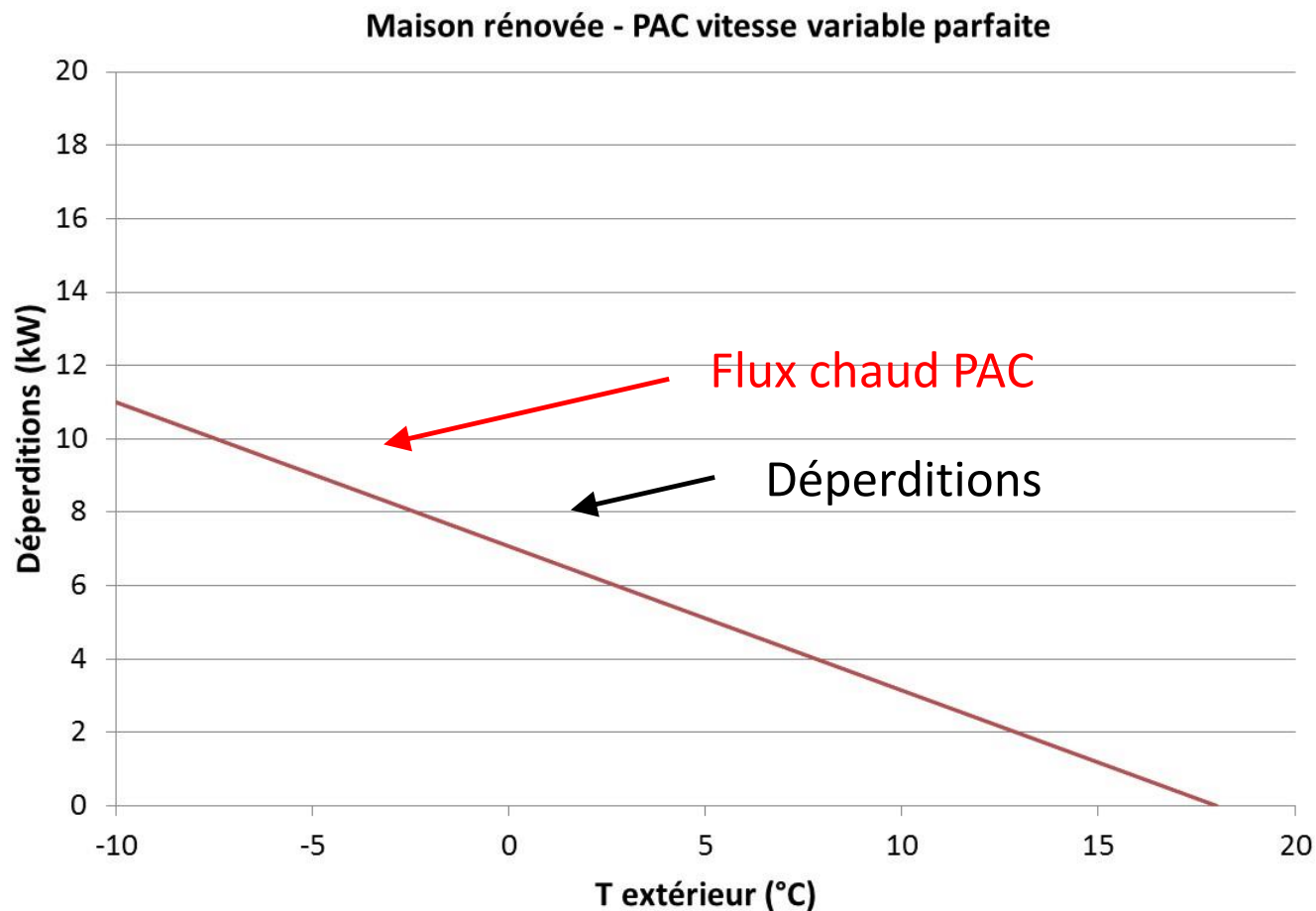
Rendement	100.00 %	chauffage/refroidissement
Type de distribution	radiateurs	
Débit total d'eau	1634 kg/h	chauffage/refroidissement

Pompe à chaleur

Modèle	non-réversible	vitesse fixe
Mode production de chaleur	courbes à encoder	selon EN 14825-2 AT/W32
Mode production de froid	courbes à encoder	selon EN 14825-2 AT/W32
Puissance thermique	19 kW	19000 W
Consom. Commande	20 W	

Bâtiment rénové - radiateurs

- Choix d'une PAC air-eau à vitesse variable parfaite (le flux chaud correspond parfaitement aux déperditions)



Bâtiment rénové - radiateurs

- On entre les données de la PAC (flux chaud et COP). Ici, on a gardé les mêmes COP que la première PAC à vitesse fixe.

Production de chaleur

Text./Teau, °C	Puissance calorifique, kW		COP	
	65 °C	45 °C	65 °C	45 °C
-10 °C	11	11	1.8	2.4
-5 °C	9.04	9.04	2	2.55
0 °C	7.07	7.07	2.1	2.8
7 °C	4.32	4.32	2.5	3.2

Production de froid

Text./Teau, °C	Puissance frigorifique, kW		COP	
	18 °C	8 °C	18 °C	8 °C
27 °C	16.2	12.6	2.7	2.5
35 °C	14.2	10.7	2.2	2
45 °C	13.5	8.7	1.8	1.68



Bâtiment rénové - radiateurs

- Résultats PAC vitesse variable :
 - la PAC est très légèrement sous-dimensionnée
 - le SPF = 3,14
 - la quantité de chaleur annuelle vaut 25512 kWh (pas d'appoints) au lieu de 44016 kWh (non rénové)

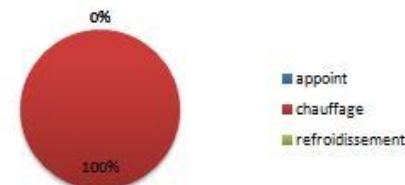
Informations générales

Températures de non-chauffage/non-refroidissement

chauffage	17.60 °C
refroidissement	24.72 °C

Besoins en énergie nette

chauffage	25 510.006 kWh	91 835.287 MJ
refroidissement	66.961 kWh	241.040 MJ



Besoins en énergie primaire

appoint	0.000 kWh	0.000 MJ
chauffage	20 311.263 kWh	73 120.545 MJ
refroidissement	0.000 kWh	0.000 MJ

Performances du système

Consommation d'énergie électrique de la PAC

chauffage	8 124.505 kWh	✓
refroidissement	0.000 kWh	

Evaluation du dimensionnement

dimensionnement	PAC sous-dimensionnée à 2.24 %	✓
-----------------	--------------------------------	---

Quantité de chaleur/froid produite par la PAC

chaleur	25 511.843 kWh
froid	0.000 kWh

Consommation d'énergie électrique de l'appoint

supplément d'énergie	0.000 kWh
----------------------	-----------

Consommation totale d'énergie électrique

chauffage	8 124.505 kWh
refroidissement	0.000 kWh

Coefficients de performance

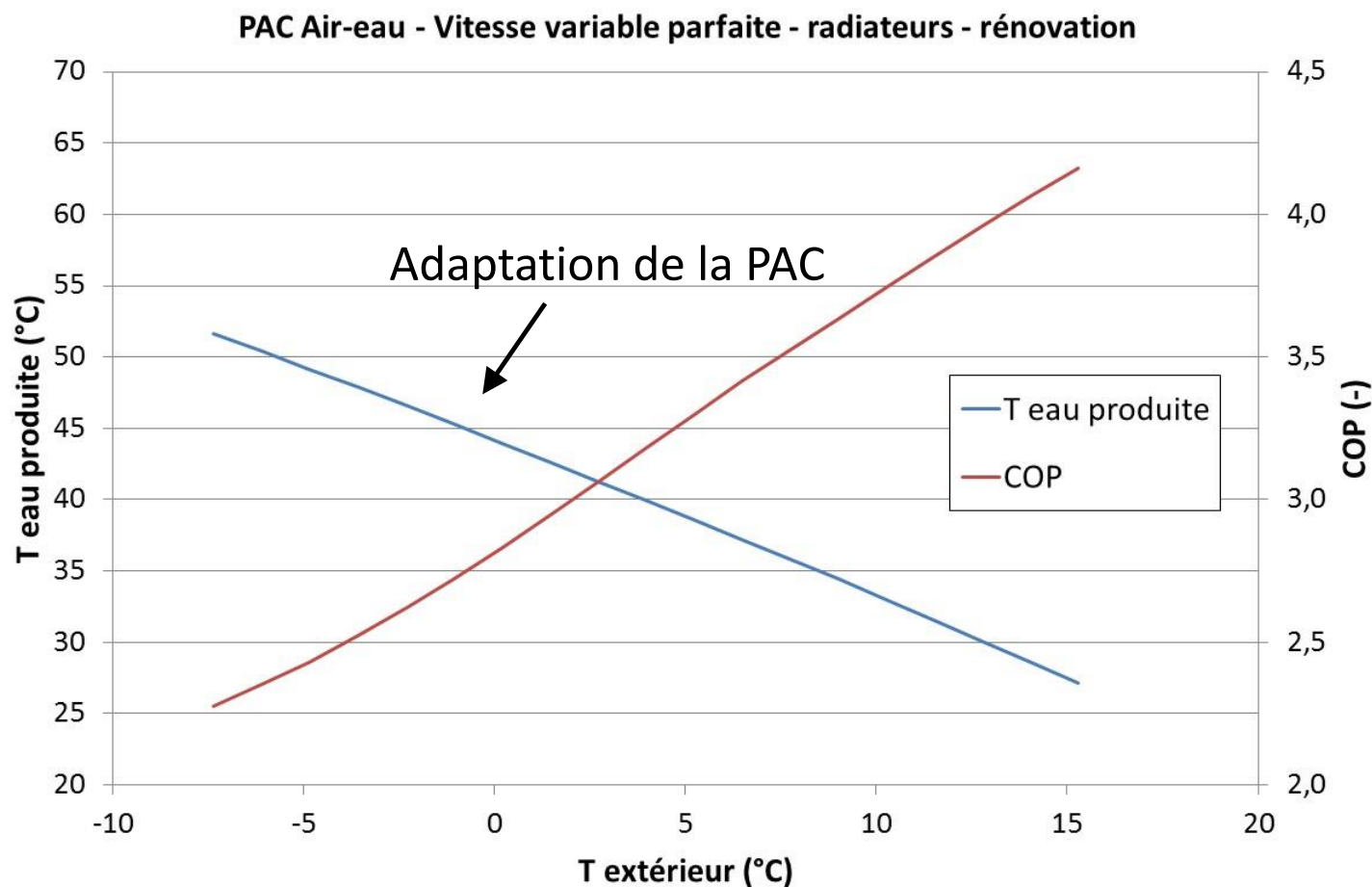
SPF PAC (chaleur)	3.140
SPF système (chaleur)	3.140
SPF PAC (froid)	0.000

Indices de performance

PAC (chaleur et froid)	3.140
système complet	3.140

Bâtiment rénové - radiateurs

- Le choix d'une PAC air-eau à vitesse variable combinée à des radiateurs surdimensionnés améliore le SPF



Merci de votre attention !