

REPLACEMENT D'UN GENERATEUR D'AIR CHAUD ALIMENTE AU GASOIL PAR UNE POMPE A CHALEUR AIR/AIR

**Estimation du COP obtenu sur les trois premières
années de fonctionnement**

25/03/2026

Jean Nouwynck
Président honoraire Atic



LA MAISON



SITUATION INITIALE (2022)

- Générateur d'air chaud datant de 1981
- Puissance nominale utile: 17 kW
- Débit d'air: 1.900 m³/h
- Rendement au dernier contrôle: 82,80 %
- Inétanchéité de la paroi séparant le foyer du circuit aéraulique
- Réservoir gasoil parallélépipédique hors sol de 2.000l 'ancien'
- Conduits aérauliques métalliques non isolés placés dans des combles peu ou mal isolés

DEPERDITIONS CALORIFIQUES

	Séjour cuisine	Séjour	Cuisine	S. De b. hall	Chambre dressing	Chambre	Dressing	Ancien bureau	Nouveau Bureau	Totaux
Toit	653			150	138			198	181	1.320
					(367)					(1.549)
Murs ext.	617			120	541			218	191	1687
	(1.717)			(317)	(851)			(439)		(3.515)
Fen/portes	1.006			47	234			172	218	1677
Sol	4.087			960	640			676	76	6.439
Transmission	6.363			1.277	1.553			1.264	666	11.123
										(13.180)
Ventilation	667			122	188			191	257	1.425
Trans+ Vent	7.030			1.399	1.741			1.455	923	12.548
		5.630	1.400			1.160	580			(14.605)
% de 12.548		45	11	11		9	5	12	7	

BESOINS NETS EN ENERGIE

- $BNE = H \times \text{°d} \times 24 = 11,81 \text{ °d} , \text{ arrondi à } 12 \text{ °d (kWh)}$
- $[H \text{ (kW/K)} = \text{coefficient de transfert thermique du bâtiment} = \text{déperditions en kW divisées par l'écart entre les températures intérieure moyenne et extérieure de base} = 14,605 \text{ kW}/29,7\text{K} = 0,492 \text{ kW/K}$
- $\text{°d} = \text{degrés-jours} \ll 16,5 \gg$
- Soit, pour une année 'normale' comptant 2.250 degrés-jours (16,5) 27.000 kWh

CONSOMMATION MOYENNE D'ENERGIE ANNUELLE

- En supposant un rendement de l'installation de
 $0,9 \times 0,9 \times 0,9 = 0,73$

La consommation calculée pour une année normale serait de
37.000 kWh

- D'après les livraisons de gasoil et l'estimation de la consommation des radiateurs électriques d'appoint sur les années 2017 à 2020, la consommation annuelle moyenne était de 33.700 kWh

CONSOMMATION D'ENERGIE ANNUELLE

- Le nombre moyen de degrés-jours au cours de ces quatre années était de 2.047 °d
- La consommation relevée, ramenée à une année normale $33.700\text{kWh} * \frac{2.252}{2.047} = 37.075\text{kWh}$ est donc quasiment égale à la consommation calculée pour une année normale de 37.000 kWh

DECISIONS EVIDENTES

- Remplacer les conduits aérauliques par des conduits isolés extérieurement (isolation thermique) et intérieurement (atténuation acoustique)
- Rendement de distribution: 90% > 95%
- Isolation thermique des combles au-dessus de la chambre: 22cm laine de verre ($\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$) en remplacement de 6cm de laine de verre en mauvais état
- Remplissage du creux (6 cm) des murs extérieurs par injection de billes de polystyrène ($\lambda = 0,034 \text{ W/mK}$)

DEPERDITIONS CALORIFIQUES

	Séjour cuisine	Séjour	Cuisine	S. De b. hall	Chambre dressing	Chambre	Dressing	Ancien bureau	Nouveau Bureau	Totaux
Toit	653			150	138			198	181	1.320
					(367)					(1.549)
Murs ext.	617			120	541			218	191	1687
	(1.717)			(317)	(851)			(439)		(3.515)
Fen/portes	1.006			47	234			172	218	1677
Sol	4.087			960	640			676	76	6.439
Transmission	6.363			1.277	1.553			1.264	666	11.123
										(13.180)
Ventilation	667			122	188			191	257	1.425
Trans+ Vent	7.030			1.399	1.741			1.455	923	12.548
		5.630	1.400			1.160	580			(14.605)
% de 12.548		45	11	11		9	5	12	7	

CONSEQUENCES DES TRAVAUX D'AMELIORATION

- Déperditions: 14.605 W → 12.548 W
- Besoins nets en énergie réduits à $\frac{12.548}{29,7} * \text{°d} * 24 = 10,14\text{°d}$ arrondi à 10 °d (kWh)

Soit, pour une année 'normale', à 22.500 kWh

- Chaleur à produire: $\frac{27.000}{0,9*0,9} = 33.333$ kWh
→ $\frac{22.500}{0,9*0,95} = 26.316$ kWh

Soit une réduction de 21 % !

- La consommation, à installation de production inchangée (rendement 0,9) est réduite à 29.000 kWh/an

DECISIONS AU SUJET DE LA NOUVELLE INSTALLATION

- Choix entre:
 - Nouveau générateur d'air chaud alimenté au gasoil et un nouveau réservoir de 3.000 l

OU

- Pompe à chaleur air/air à détente directe
- 3 Critères de décision:
 - L'Investissement
 - Le coût de la chaleur produite
 - La consommation d'énergie primaire

L'INVESTISSEMENT

- Coût de la pompe à chaleur de puissance nominale de 15,5 kW : 8.710 € (hors tva)
- Coût d'un générateur d'air chaud de 17 kW alimenté au gasoil et débit d'air de 1.900 m³/h: 9.500 € (hors tva)
- Coût d'un réservoir de gasoil de 3.000 l hors sol: 5.500 € (hors tva)

COÛT DE LA CHALEUR PRODUITE

	Générateur d'air chaud η production = 90 % Gasoil diesel prix max.	PAC COP = 3
Septembre 2022	0,139	0,140 (*)
Année 2024	0,1	0,094 (*)
1 ^{er} Semestre 2025	0,09	0,110 (*)
2 ^{ème} Semestre 2025	0,089	
2024 Bruxelles		0,146 (**)



(*) Achat groupé Wallonie

(**) Un contrat 'prix fixe'

CONSOMMATION D'ENERGIE PRIMAIRE

- Gasoil:
 - Supposons des rendements de production de 0,9, de distribution de 0,95, de régulation de 0,9.
Chaleur à produire par an (année normale) = $BNE / (\eta_d \times \eta_r) = 22.500 / (0,95 \times 0,9) = 26.316 \text{ kWh}$
 - Energie consommée (gasoil) = $26.316 / \eta_p = 29.240 \text{ kWh}$
 - Energie primaire nécessaire = 29.240 kWh
- Pompe à chaleur:
 - Supposons un SCOP (COP saisonnier) = 3
 - Chaleur à produire par an = 26.316 kWh
 - Energie électrique consommée = $26.316 / 3 = 8.772 \text{ kWh}$
 - Energie primaire nécessaire = $8.772 \times CC^* = 8.772 \times 2,5 = 21.930 \text{ kWh}$
 - Soit 25% de moins pour la PAC par rapport au gasoil

EXPLICATION DES NOTIONS UTILISEES

X =chaleur produite

Y =énergie électrique consommée

Z =énergie primaire nécessaire

$X/Y = \text{COP}$ $Y/Z = 0,40$ $Z/Y = \text{CC} = 2,5$

Efficacité énergétique de la PAC $\eta =$

$$X/Z = (X/Y) \times (Y/Z) + \text{COP} \times 0,4$$

DESCRIPTION DE LA NOUVELLE INSTALLATION

- PAC air/air comprenant:
 - Unité extérieure (compresseur et évaporateur)
 - Unité intérieure (condenseur ventilateur et filtre d'air) transmettant la chaleur directement à l'air distribué dans les locaux
- Caractéristiques techniques:
 - Puissance de chauffe nominale ($\theta_i = 20\text{ °C} / \theta_e = 7\text{ °C}$): 15,5 kW
 - Puissance absorbée nominale: 4,43 kW > COP « nominal » = 3,50
 - Efficacité énergétique saisonnière (par rapport à l'énergie primaire) $\eta_{sh} = 151\%$
 - Soit un SCOP (COP saisonnier) = $1,51 \times 2,5 = 3,775$
 - Température extérieure minimale acceptable: -15 °C
 - Puissances à différentes températures extérieures pour $\theta_i = 20\text{ °C}$
 - $\theta_e = -10\text{ °C}$: 12,97 kW
 - $\theta_e = -15\text{ °C}$: 11,67 kW
 - Fluide frigorigène: R32

A PROPOS DE LA PUISSANCE CALORIFIQUE

- Déperditions après travaux d'isolation pour $\theta_e = -8^\circ\text{C}$ et $\theta_i = 22^\circ\text{C}$ = 12,55 kW
- Puissance calorifique à fournir par la PAC = $12,55 / (\eta_d \times \eta_r) = 12,55 / 0,855 = 14,68$ kW
- Cependant, si l'on admet:
 - Que, à cette température extérieure, le fonctionnement soit presque continu et donc le rendement de régulation supérieur (0,95) et
 - Que, vu l'excellente isolation des conduits d'air, l'on estime le rendement de distribution à 0,97 plutôt que 0,95
- La puissance calorifique à fournir serait de: $12,55 / (0,95 \times 0,97) = 13,62$ kW, à comparer à la puissance déclarée de 12,97 kW

ESTIMATION DU COP

- Chaque mois:
 - Noter les °d 16,5/16,5
 - Calculer les BNE = $(12,548/29,7) \times 24 \times \text{°d} = 10 \text{ °d (kWh)}$
 - Calculer la chaleur à produire sur le mois par la PAC:
 $Q_p = \text{BNE} / (\eta_d \times \eta_r) = \text{BNE} / 0,855 = \text{BNE} \times 1,17 \text{ (kWh)}$
 - Noter la consommation d'électricité de la PAC au cours du mois:
 $Q_{\text{PAC}} \text{ (kWh)}$
- Le quotient Q_p/Q_{PAC} donne une estimation du COP « global » (prenant en compte la consommation électrique du ventilateur), moyen du mois

ESTIMATION COP SAISON 2023-2024

1	(2)	3	4	(5)	6	(7)	8	9	(10)	11	12	13
Mois	°d	°d off	°d n	BNE °d pr (kWh)	BNE °d off (kWh)	Chaleur produite °d pr (kWh)	Chaleur produite °d off (kWh)	Verbruik WP (kWh)	COP °d pr	COP °d off	°d off moy par jour	Øem=16, 5-°d off moy
Sep	8	11	55	80	110	94	129	26	3,6	5,0	0,4	16,1
Oct	84	98	161	840	980	983	1.147	250	3,9	4,6	3,2	13,3
Nov	263	256	278	2.630	2.560	3.077	2.995	503	6,1	6,0	8,5	8,0
Déc	309	299	377	3.090	2.990	3.615	3.498	678	5,3	5,2	9,6	6,9
Jan	398	395	396	3.980	3.950	4.657	4.622	951	4,9	4,9	12,7	3,8
Fév	233	238	349	2.330	2.380	2.726	2.785	500	5,4	5,6	8,5	8,0
Mar	217	231	394	2.170	2.310	2.539	2.702	426	6,0	6,3	7,5	9,0
Avr	172	173	187	1.720	1.730	2.012	2.024	376	5,35	5,4	5,8	10,7
Mai	55	56	99	550	560	644	655	125	5,15	5,2	1,8	14,7
Jun			35									
Jul			10									
Aou			11									
Totaux							20.557	3.835				
COP moyen										5,36 (5,04)		

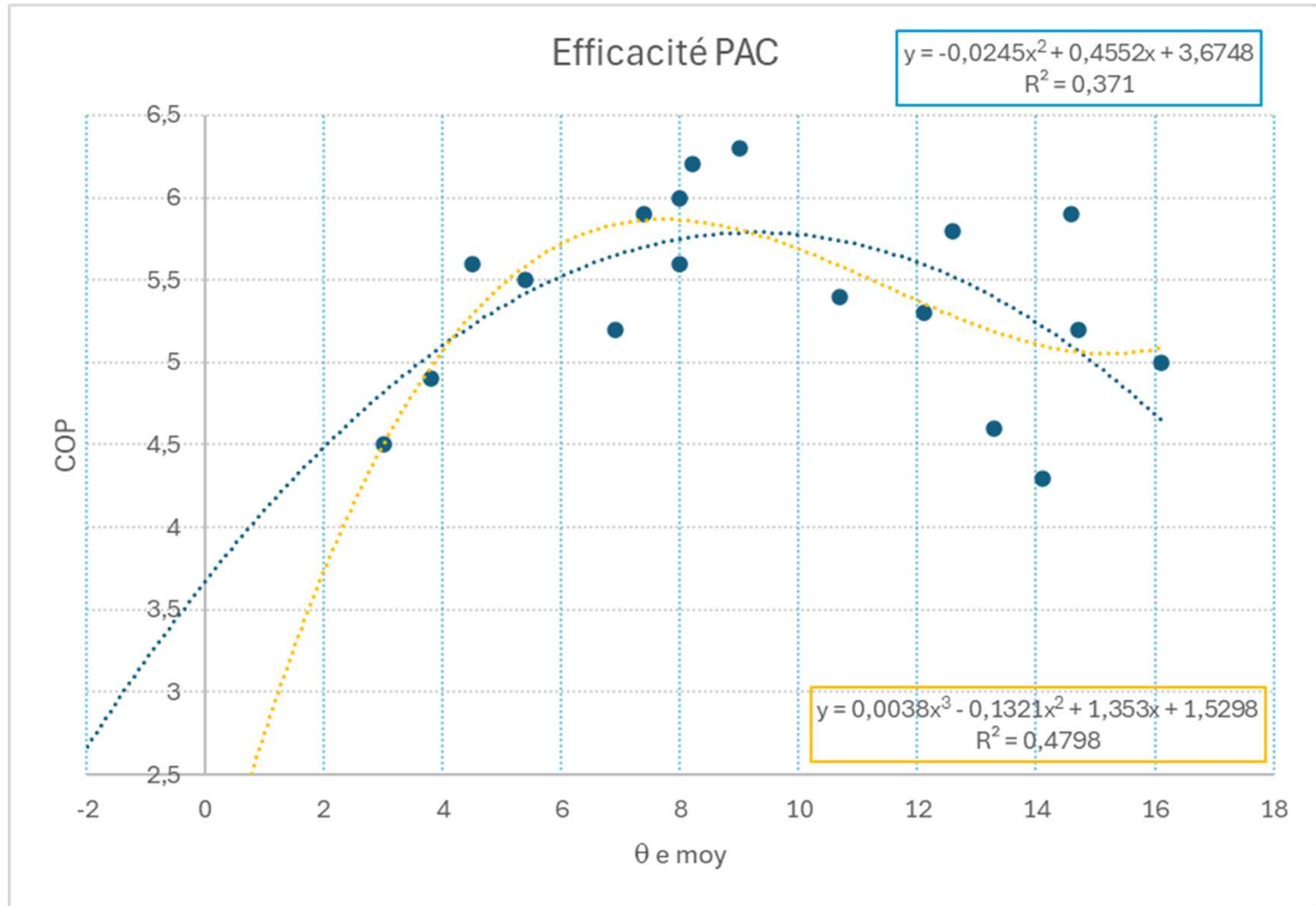
ESTIMATION COP SAISON 2024-2025

Mois	°d off	°d n	NEB °d off (kWh)	Chaleur produite °d off (kWh)	Consom PAC (kWh)	COP °d off	°d off moy Par jour	Θem= 16,5- °d pr moy
Sep	58	55	0580	0679	115	5,9	1,9	14,6
Oct	121	161	1210	1416	243	5,8	3,9	12,6
Nov	272	278	2720	3182	539	5,9	9,1	7,4
Déc	345	377	3450	4037	738	5,5	11,1	5,4
Jan	418	396	4180	4891	1082	4,5	13,5	3,0
Fév	340	349	3400	3978	714	5,6	12,1	4,5
Mar	257	294	2570	3007	488	6,2	8,3	8,2
Avr	132	187	1320	1544	293	5,3	4,4	12,1
Mai	73	99	0730	0854	198	4,3	2,4	14,1
Jun	12	35	0120	(0140)	(67)	(2,1)		
Jul		10			3			
Aou		11			14			
Totaux				23588	4410			
COP moyen						5,34		

RAMING VAN DE COP VAN DE WP STOOKSEIZOEN 2025-2026

Mois	°d pr	°d off	°D n	BNE °d pr (kWh)	BNE °d off (kWh)	Chaleur produite °dpr (kWh)	Chaleur produite °d off (kWh)	Conso m PAC (kWh)	COP °d pr	COP °d off	°doff moy par jour	Θ em = 16,5 °d offmoy
Sep		46	55		460		538	150		3,6		
Oct		137	161		1.370		1.603	347		4,6		
Nov		242	278		2.420		2.831	572		4,9		
Déc		313	377									
Jan 1-10	164	160	)		1.600		1.872	483		3,9		
Jan 11-20	100	99	) 396		990		1.158	233		5		
Jan 21-30	119	123	)		1.230		1.439	280		5,1		

TEMPERATURE EXTERIEURE / COP



CONCLUSIONS

- SCOP = 5 ???
- SCOP \geq 3,775 OK
- Rechercher dans chaque cas la solution optimale (> utilisateur/installateur)
- Attention au prix de l'électricité: > utilisateur + autorités
- Attention à la disponibilité de l'électricité: > autorités
- Attention à l'acoustique: > utilisateur/installateur + autorités

REMERCIEMENTS

- Philippe Deplasse
- Claude Debaecker
- Joris Mampaey
- Ivan Piette