

FORMATION BATIMENT DURABLE

POMPE À CHALEUR : CHOIX ET CONCEPTION

PRINTEMPS 2024

La pompe à chaleur : principes généraux

Pierre GUSTIN

écoRce
INGÉNIEURS CONSULTANTS





- ▶ Rappel des principes fondamentaux de la pompe à chaleur
- ▶ Présentation :
 - des différentes technologies,
 - des différentes configurations intégrant une pompe à chaleur et influence sur la performance énergétique,
 - du contexte réglementaire dans lequel s'inscrivent les pompes à chaleur,
 - des mécanismes de soutien disponibles en Région Bruxelloise



PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

PRÉSENTATION DES TECHNOLOGIES

EMISSION

EAU CHAUDE SANITAIRE

SOLUTIONS HYBRIDES

RÉVERSIBILITÉ ET SIMULTANÉITÉ

RÉGLEMENTATIONS ET SOUTIENS



- L'énergie renouvelable est abondante sur terre, dans l'air, l'eau, le sol.
- Cette énergie est souvent à une température peu exploitable pour les besoins d'un bâtiment.



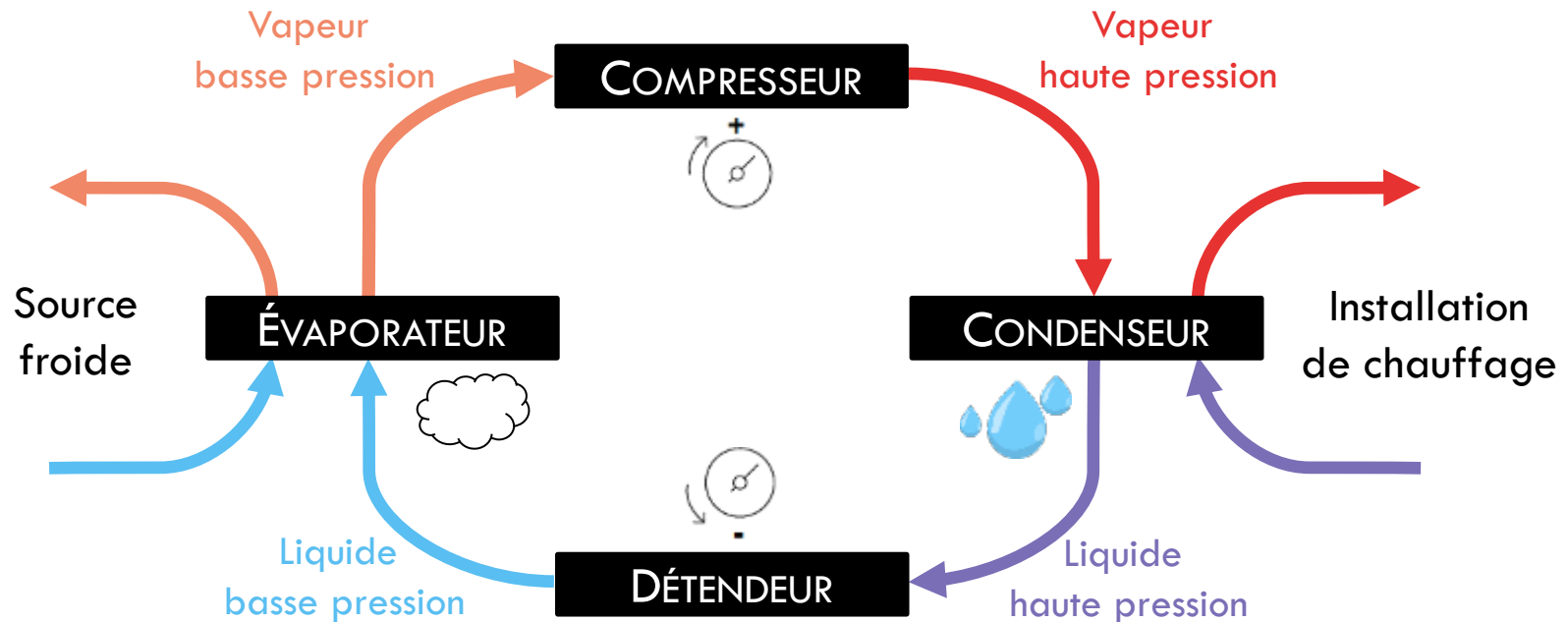
Source : Julie Renaux

- La pompe à chaleur permet de convertir cette énergie à basse température en énergie à plus haute température, moyennant un appoint limité d'énergie.

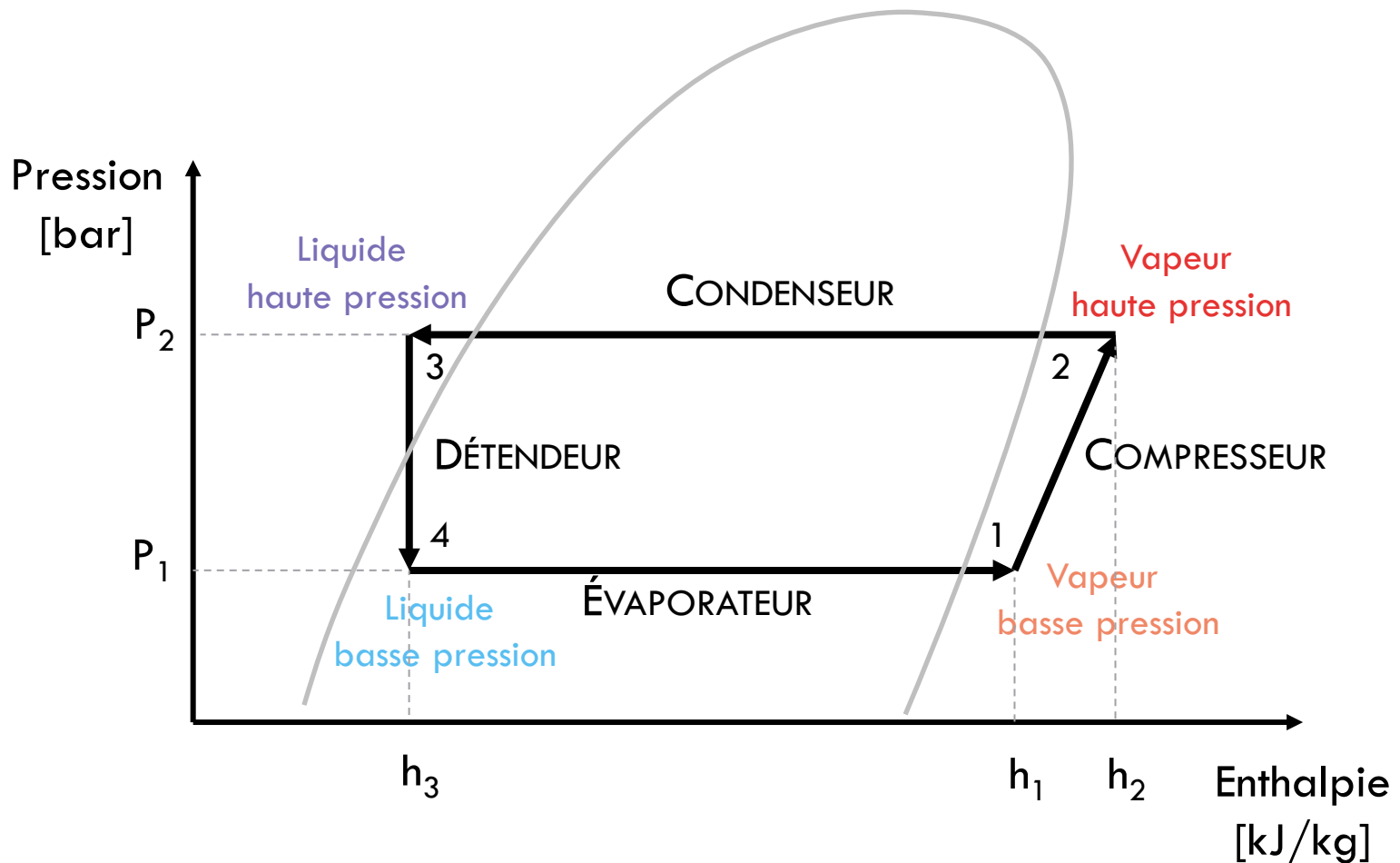


Principe de fonctionnement d'une pompe à chaleur :

- ▶ Soutire de la chaleur d'une « source froide » (sol, air extérieur...),
- ▶ Augmente son niveau de température,
- ▶ Restitue cette chaleur à une température plus élevée.



Cycle thermodynamique idéal du fluide qui circule dans la pompe à chaleur



Définition du coefficient de performance COP:

$$\text{COP} = \frac{\text{Energie transmise à la source chaude}}{\text{Energie mécanique dépensée}}$$

$$\text{COP} = \frac{Q_{\text{condenseur}}}{W_{\text{compresseur}}}$$

Coefficient de performance théorique/idéal (cycle de Carnot):

$$\text{COP}_{\text{idéal}} = \frac{T_{\text{source chaude}} + 273.15}{(T_{\text{source chaude}} + 273.15) - (T_{\text{source froide}} + 273.15)}$$

Dans la pratique :

- ▶ COP réel est réduit de 30 à 60 % :
 - Diverses réversibilités dans le cycle,
 - Consommation des auxiliaires (dispositif antigel, pompes et ventilateurs, ventilateurs, etc...)



INFLUENCE DES TEMPÉRATURES DE SOURCES

Le COP sera d'autant plus élevé que l'écart de température entre la source et le milieu à chauffer sera faible.

► Exemple :

- $T_{source\ chaude} = 35^{\circ}\text{C}$ et $T_{source\ froide} = 0^{\circ}\text{C}$

$$\text{COP}_{\text{idéal}} = \frac{308.15}{308.15 - 273.15} = 8.8$$

- $T_{source\ chaude} = 35^{\circ}\text{C}$ et $T_{source\ froide} = 10^{\circ}\text{C}$

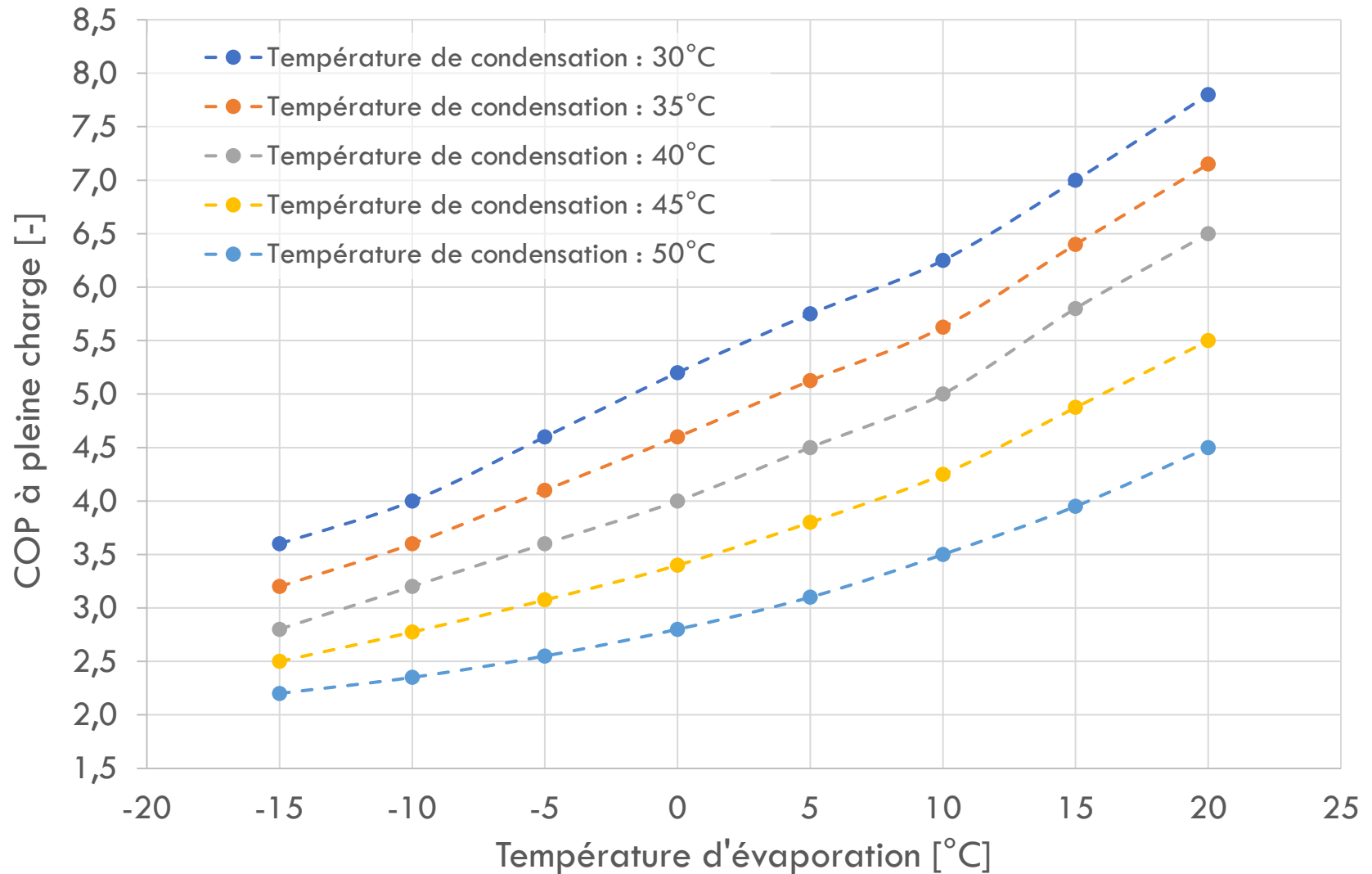
$$\text{COP}_{\text{idéal}} = \frac{308.15}{308.15 - 283.15} = 12.3$$

- $T_{source\ chaude} = 45^{\circ}\text{C}$ et $T_{source\ froide} = 0^{\circ}\text{C}$

$$\text{COP}_{\text{idéal}} = \frac{318.15}{318.15 - 273.15} = 7.1$$



INFLUENCE DES TEMPÉRATURES DE SOURCES



Source : ecorce



Sur cette base...

quelle source d'énergie vous paraît la plus intéressante ?

Dans quels cas ?

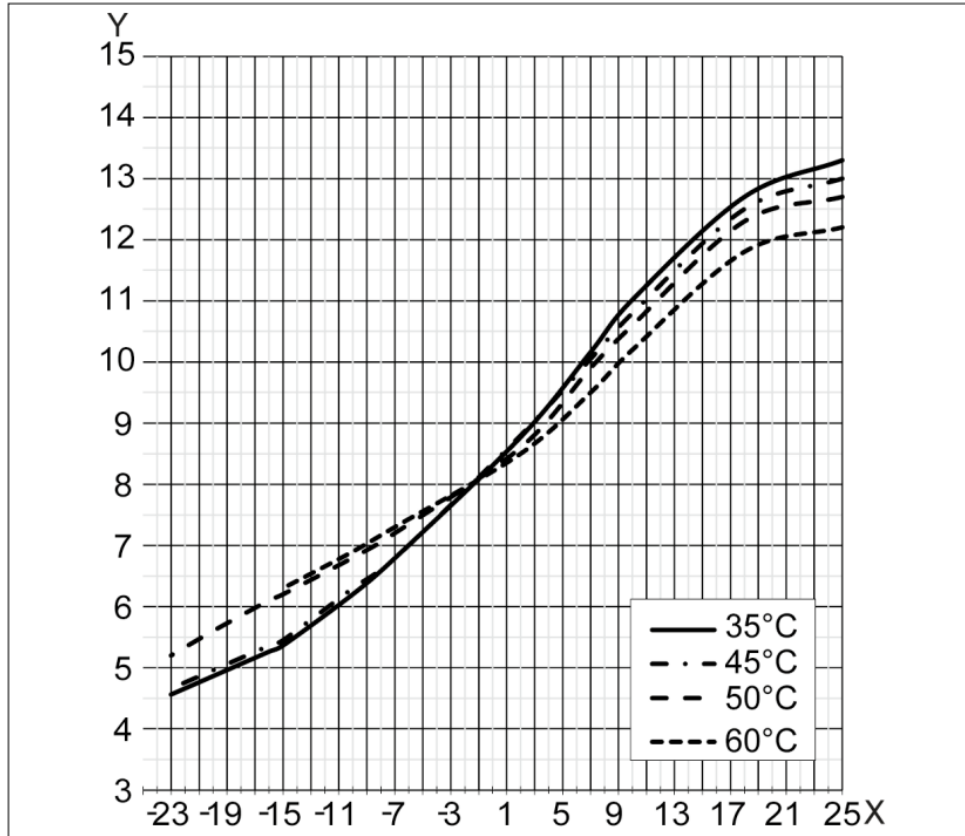


11 INFLUENCE DES TEMPÉRATURES DE SOURCES

PAC aérothermique

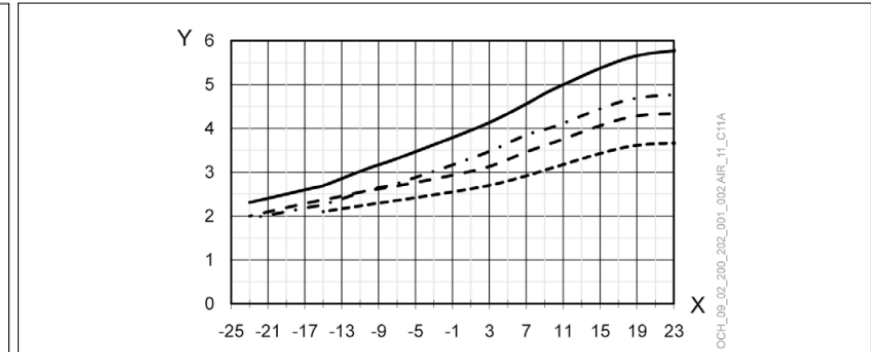
Qu'observez-vous ? Qu'en concluez-vous ?

PUISSANCE DE CHAUFFAGE



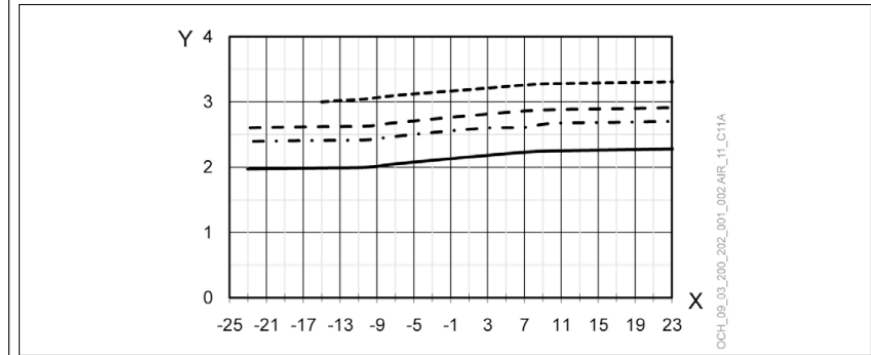
X Température extérieure [°C]
Y Puissance de chauffage [kW]

COP



X Température extérieure [°C]
Y COP

PUISSANCE ABSORBÉE



Source : Ochsner AIR 7 C11A

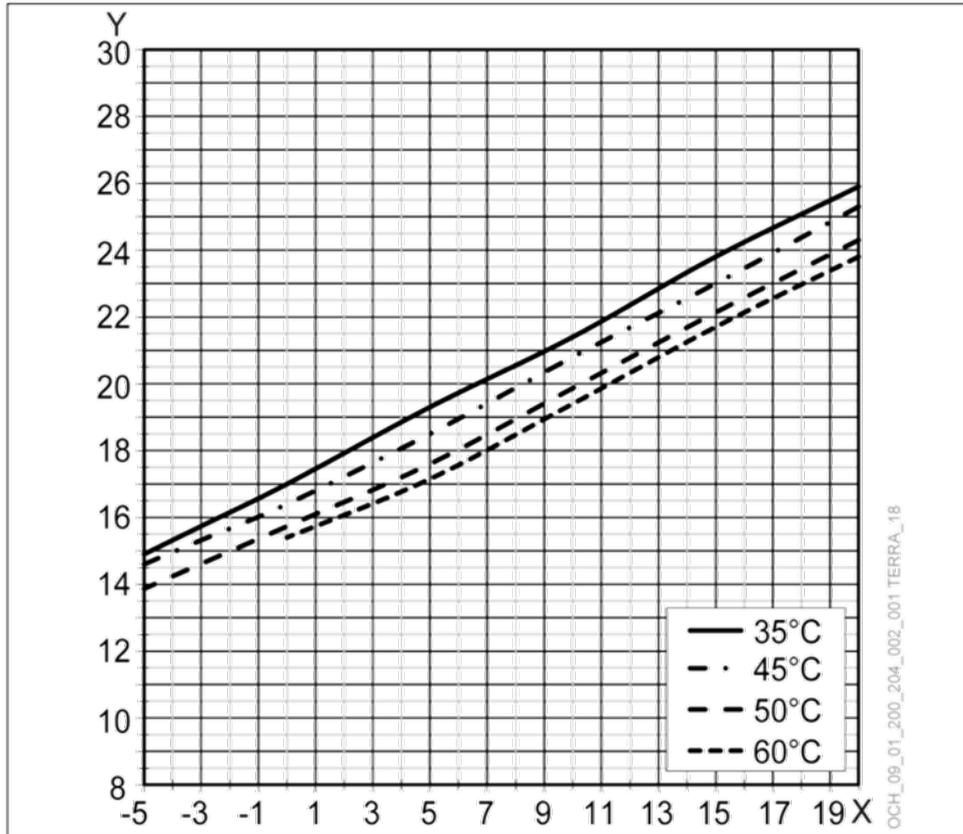


12 INFLUENCE DES TEMPÉRATURES DE SOURCES

PAC eau glycolée-eau

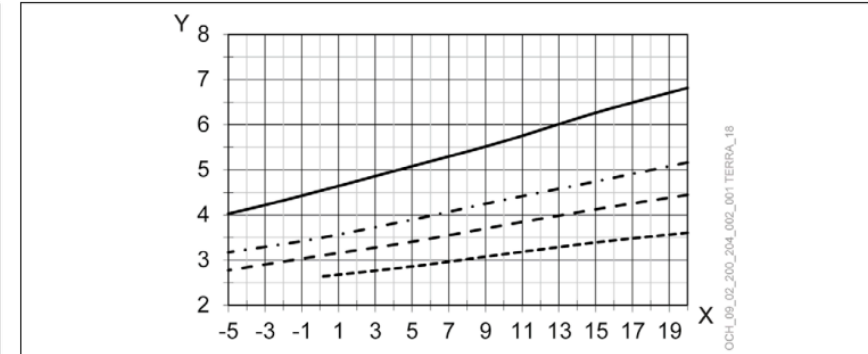
Qu'observez-vous ? Qu'en concluez-vous ?

PUISSANCE DE CHAUFFAGE



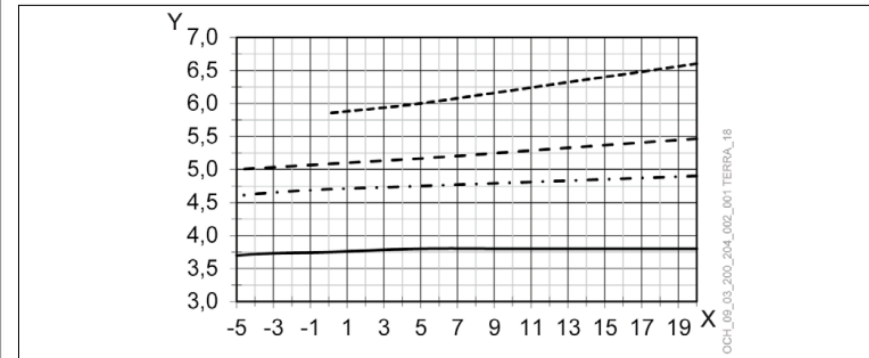
X Température de l'eau glycolée [°C]
Y Puissance de chauffage [kW]

COP



X Température de l'eau glycolée [°C]
Y COP

PUISSANCE ABSORBÉE



X Température de l'eau glycolée [°C]
Y Puissance absorbée [kW]

Source : Ochsner AIR 11 C11A



PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

PRÉSENTATION DES TECHNOLOGIES

► **Types**

- Sources froides
- Choix du fluide frigorigène

EMISSION

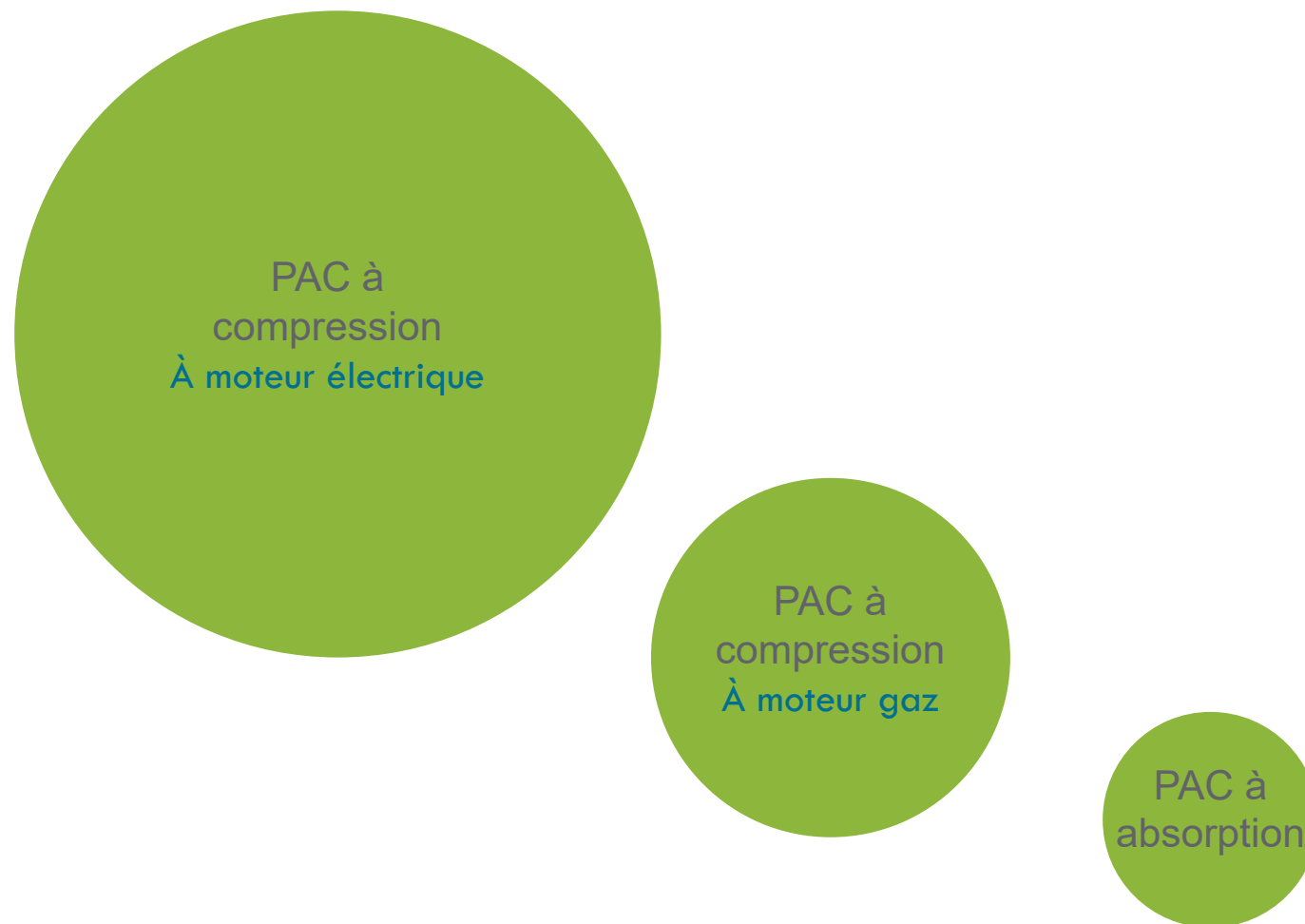
EAU CHAUDE SANITAIRES

SOLUTIONS HYBRIDES

RÉVERSIBILITÉ ET SIMULTANÉITÉ

RÉGLEMENTATIONS ET SOUTIENS





15 PAC À COMPRESSION : MOTEUR ÉLECTRIQUE

Compresseur à moteur électrique :

- Compresseur Scroll / Compresseur à pistons / Compresseur à vis



Source : <http://geothermies.fr>

⇒ **Petites puissances: Scroll (15-300 kW) sont les plus utilisés.**

	300 kW	500 kW	1500 kW
Scroll	100%	100%	100%
Pistons	100%	100%	100%
Vis	100%	100%	100%



16 PAC À COMPRESSION : MOTEUR ÉLECTRIQUE

Avantage environnemental du moteur électrique ?

- ▶ Evolution de l'impact environnemental de la PAC en fonction du mix énergétique du pays
- ▶ Pas de rejet atmosphérique du système de production
- ▶ Pas d'utilisation sur site d'énergie fossile
- ▶ Compatible directement avec les objectifs environnementaux à long terme

→ La PAC est un producteur de chaleur dont l'impact environnemental devrait diminuer dans le futur sans investissement supplémentaire



La PAC à vitesse constante :

- ▶ fonctionne uniquement à puissance nominale,
- ▶ fonctionne selon des cycles ON/OFF,
- ▶ la puissance transmise au réseau est modulée grâce à un ballon tampon (15-25 L/kW),
- ▶ existe à 2 allures, possibilité de prévoir des cascades.

La PAC à vitesse variable

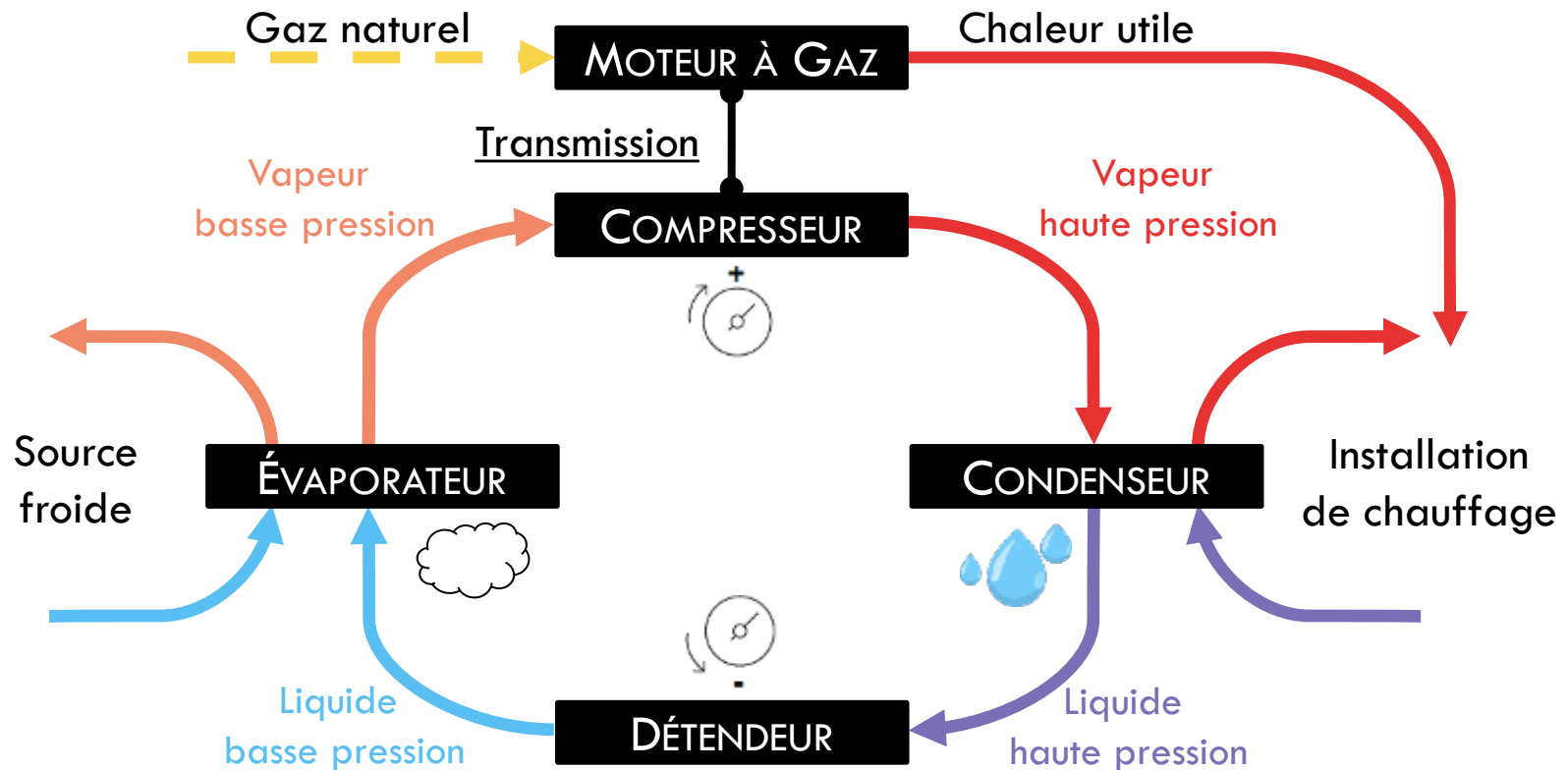
- ▶ utilise un variateur de fréquence qui permet de moduler la puissance du compresseur et donc de la PAC (~ 20 à 120 % de la puissance nominal),
- ▶ fonctionne selon des cycles plus longs,
- ▶ la puissance transmise au réseau est modulée grâce à la PAC,
- ▶ avantages :
 - meilleure performance,
 - usure moindre,
 - nécessite un ballon tampon de volume inférieur, voire pas du tout,
 - plus silencieux.



PAC À COMPRESSION : MOTEUR GAZ

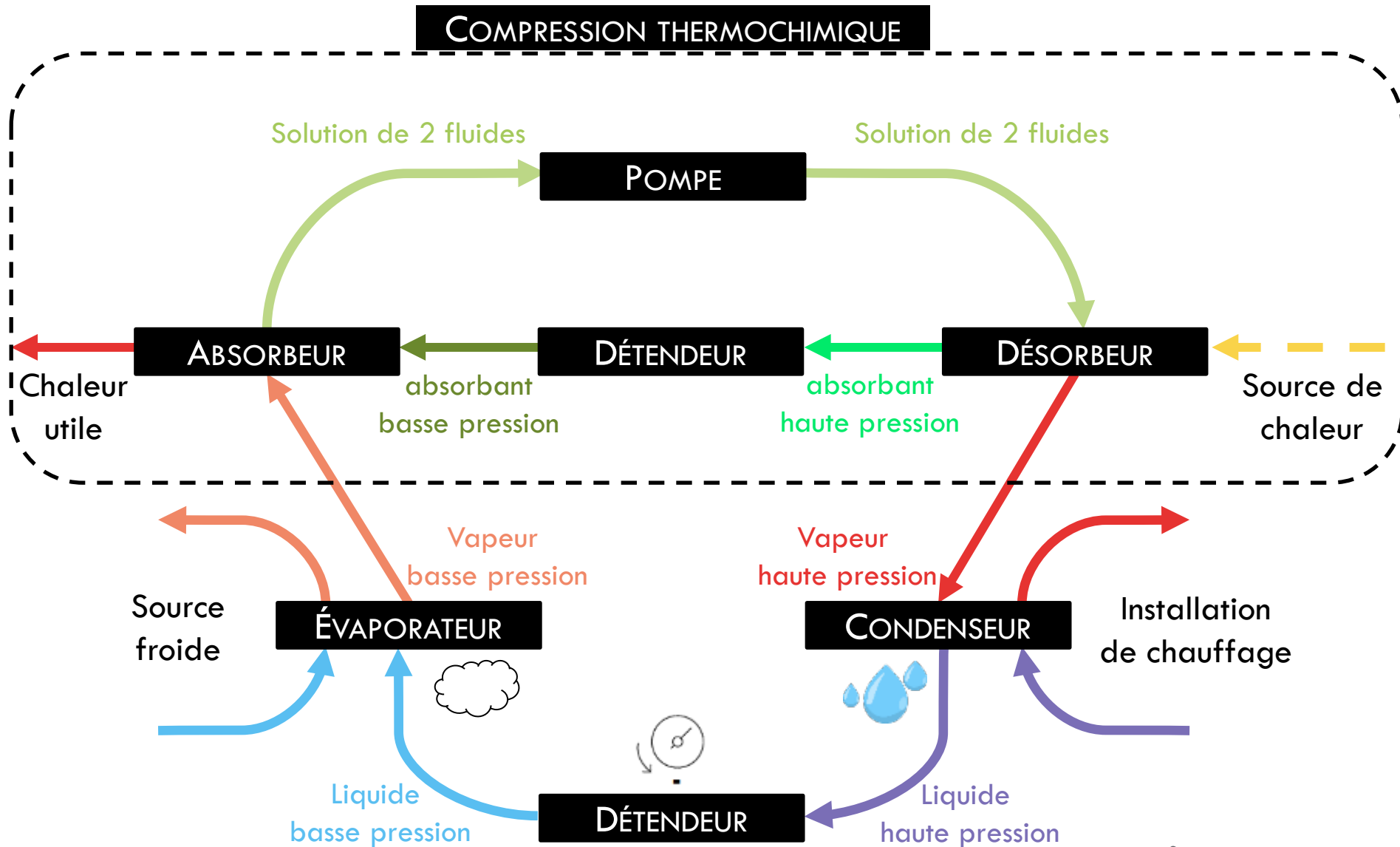
Principale différence par rapport la PAC électrique classique :

- Compresseur entraîné par un moteur à combustion par l'intermédiaire d'un arbre de transmission.
- Possibilité de récupérer de la chaleur sur les gaz d'échappement et sur l'eau de refroidissement du moteur



Source : ecorce





Source : ecorce



PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

PRÉSENTATION DES TECHNOLOGIES

- Types
- **Sources froides**
- Choix du fluide frigorigène

EMISSION

EAU CHAUDE SANITAIRES

SOLUTIONS HYBRIDES

RÉVERSIBILITÉ ET SIMULTANÉITÉ

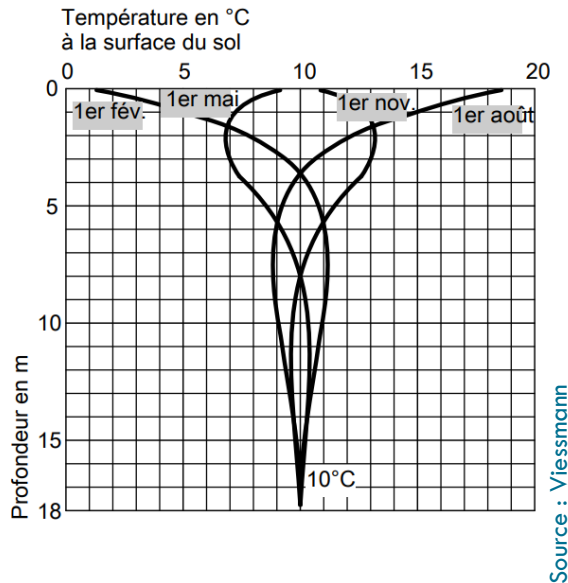
RÉGLEMENTATIONS ET SOUTIENS



Sources froides :

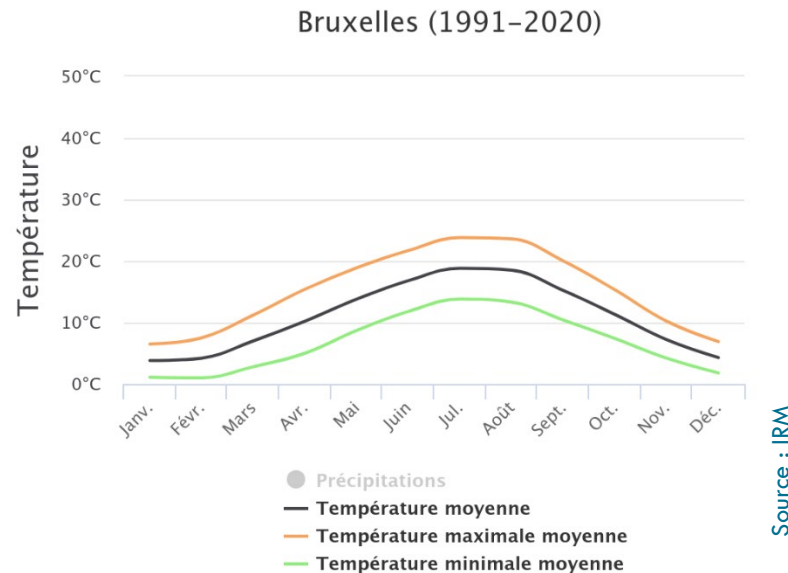
- **Air** intérieur ou extérieur
- **Sol** à petite ou grande profondeur
- **Eau** de surface ou souterraine, des égouts

Sol
0-20 °C



>> GEOTHERMIE

Air
-8 à 15 °C



>> AEROTHERMIE

Egouts
10 à 35 °C

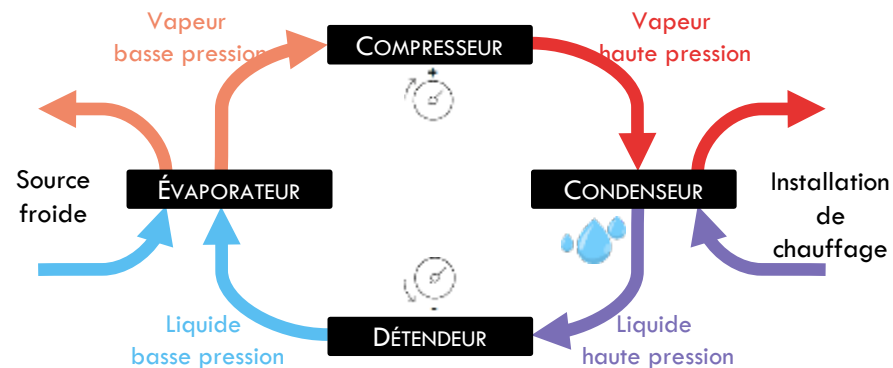
?

>> RIOTHERMIE



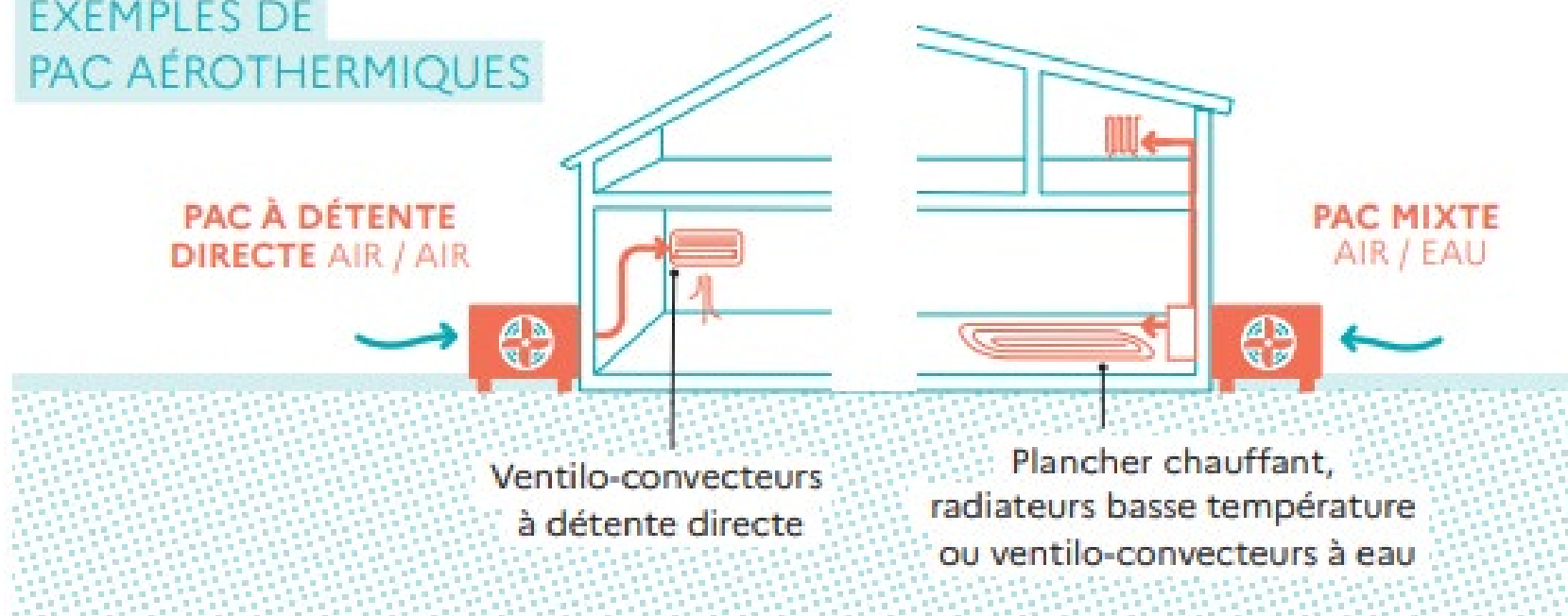
Différentes configurations de PAC:

- **A détente directe** : un seul circuit, le fluide frigorigène circule en circuit fermé dans la pompe, les capteurs et les émetteurs de chaleur. Ce type de pompes à chaleur contient beaucoup de fluide frigorigène. Il n'y a pas d'échangeur intermédiaire.
- **Mixtes** : deux circuits, le fluide frigorigène circule directement dans les capteurs et dans la pompe à chaleur sans échangeur intermédiaire, les émetteurs sont alimentés en eau chaude via un échangeur.
- **A fluides intermédiaires** : trois circuits, le circuit frigorifique de la pompe à chaleur, le circuit des capteurs où circule de l'eau (éventuellement additionnée d'antigel), le circuit qui alimente en eau chaude les émetteurs. Il y a 2 échangeurs de chaleur,



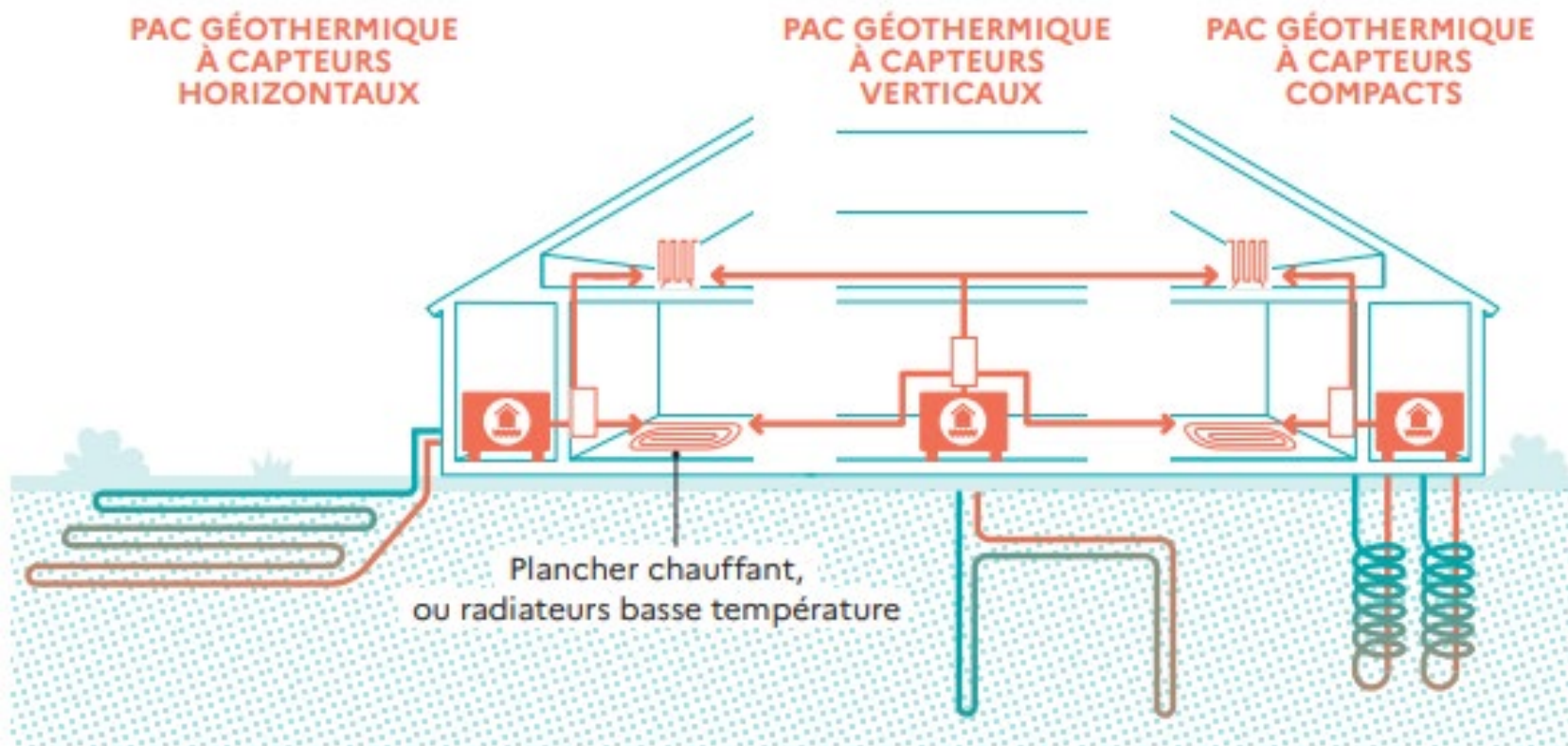
Source : ecorce



EXEMPLES DE
PAC AÉROTHERMIQUES

Source : ADEME



EXEMPLES DE
PAC GÉOTHERMIQUES

Source : ADEME



Critères de choix

- ▶ Besoins énergétiques, puissance de dimensionnement,
- ▶ Budget,
- ▶ Performance souhaitée,
- ▶ Espace extérieur disponible,
- ▶ Acoustique



26 FACTEUR DE PERFORMANCE SAISONNIER

Facteur de performance saisonnier (FPS ou SCOP)

Correspond à la performance moyenne sur une saison de chauffe.

On peut s'attendre aux SCOP suivants pour des installations correctement dimensionnées et régulées avec PAC modulante :

TYPE DE POMPE A CHALEUR	FPS (HT:55°C)	Rendement sur énergie primaire	FPS (BT:35°C)	Rendement sur énergie primaire
AIR – AIR	/	/	4	160%
AIR – EAU	3,1	124%	4,2	168%
SOL _H – EAU	3,2	128%	4,6	184%
SOL _V – EAU	4,3	172%	5,1	204%

/!\ Valeurs indicatives !



PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

PRÉSENTATION DES TECHNOLOGIES

- Types
- Sources froides
- **Choix du fluide frigorigène**

EMISSION

EAU CHAUDE SANITAIRES

SOLUTIONS HYBRIDES

RÉVERSIBILITÉ ET SIMULTANÉITÉ

RÉGLEMENTATIONS ET SOUTIENS



Critères techniques principaux

- ▶ Delta température : température de source et d'émission
- ▶ Taux de compression : pression absolue basse et haute
- ▶ Toxicité et inflammabilité

	Groupe de sécurité	
	Toxicité inférieure	Toxicité supérieure
Inflammabilité élevée	A3	B3
Inflammabilité	A2	B2
Inflammabilité faible	A2L	B2L
Pas de propagation de flamme	A1	B1

Source : <https://environnement.brussels/>



Critères environnementaux principaux

- ▶ ODP : Ozone Depletion Potential
- ▶ GWP : Global Warning Potential
- ▶ TEWI : Total Equivalent Warming Impact

TEWI = Effet de serre direct + Effet de serre indirect

$$\text{TEWI} = (\text{PRP}_{100} \times L \times n) + (\text{PRP}_{100} \times m \times (1 - \alpha_{\text{recovery}})) + (n \times E_a \times \beta) \quad [\text{kg CO}_2]$$

PRP_{100} = Potentiel de réchauffement planétaire du fluide frigorigène [$\text{kg}_{\text{équiv CO}_2}$]

L = Quantité annuelle de fluide frigorigène perdu par fuite [kg/an]

n = Durée de vie de l'installation [an]

m = Quantité de fluide frigorigène présent dans la pompe à chaleur à son installation [kg_fl]

α_{recovery} = Taux de récupération de fluide frigorigène lors du démontage de la pompe à chaleur [-]

E_a = Consommation annuelle en énergie [kWh/an]

β = Emissions en CO_2 due à la production d'énergie [$\text{kg CO}_2/\text{kWh}$]

— Effet de serre direct
— Effet de serre indirect
— Fuite
— Pertes fin de vie
— Energie utilisée

Source : EF4



CHOIX DU FLUIDE FRIGORIFIQUE

Fluides courants

	Groupe de sécurité	
	Toxicité inférieure	Toxicité supérieure
Inflammabilité élevée	A3	B3
Inflammabilité	A2	B2
Inflammabilité faible	A2L	B2L
Pas de propagation de flamme	A1	B1

HFC

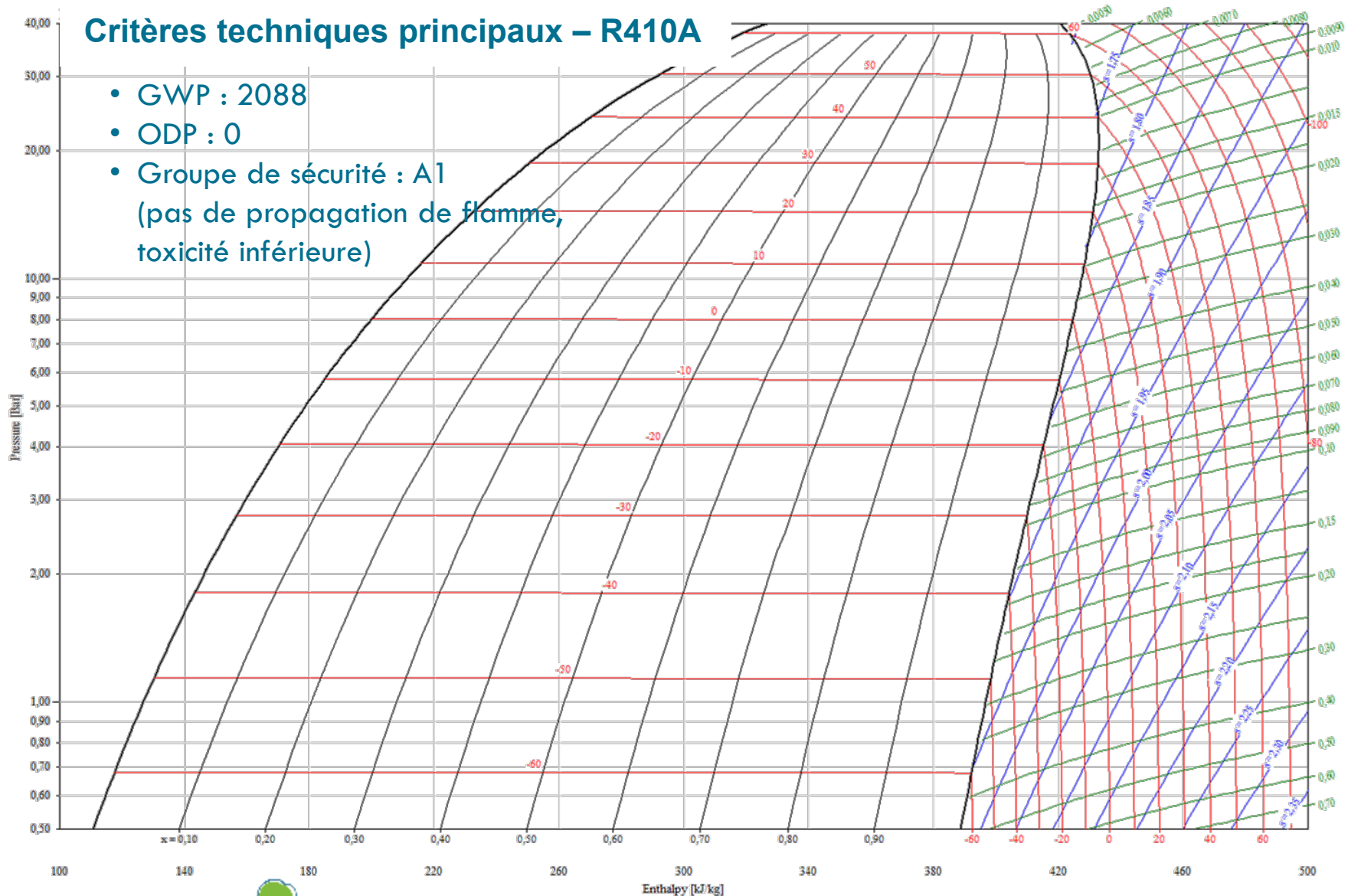
Numéro du fluide frigorigène	Nom chimique/composition	Formule chimique : Tolérance des compositions	Groupe de sécurité	GWP	5 tonnes équivalent CO2 =>	
R134a	1,1,1,2-tétrafluoroéthane	CH ₂ FCF ₃	A1	1.430	3,5	kg
R32	Difluorométhane (fluorure de méthylène)	CH ₂ F ₂	A2L	675	7,41	kg
R404A	R-125/134a (44/52/4)	±2/ ± 1/ ± 2	A1	3.922	1,27	kg
R407A	R-32/125/134a (20/40/40) ±2/ ± 2/ ± 2		A1	2.107	2,37	kg
R407C	R-32/125/134a (23/25/52)	±2/ ± 2/ ± 2	A1	1.774	2,82	kg
R407F	R-32/125/134a (30/30/40)	±2/ ± 2/ ± 2	A1	1.825	2,74	kg
R410A	R-32/125 (50/50)	+ 0,5 – 1,5/+ 1,5 – 0,5	A1	2.088	2,39	kg
Fluides alternatifs						
R290	Propane	CH ₃ CH ₂ CH ₃	A3	3	-	
R600	Butane	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₃	A3	4	-	
R600A	2-méthyl propane (isobutane)	CH(CH ₃) ₃	A3	3	-	
R717	Ammoniac	NH ₃	B2L	0	-	
R744	Dioxyde de carbone	CO ₂	A1	1	-	
R1270	Propène (propylène)	CH ₃ CH = CH ₂	A3	2	-	
R1234 ze	Trans-1,3,3,3-tétrafluoroprop-1-ène		A2L	7	-	
R1234 yf	2,3,3,3-tétrafluoroprop-1-ène	CF ₃ CF = CH ₂	A2L	4	-	
R1233 zd	Trans-1-chloro-3,3,3-trifluoroprop-1-ène	CF ₃ CH = CHCl	A1	4.5	-	

* HFC = hydrofluorocarbones



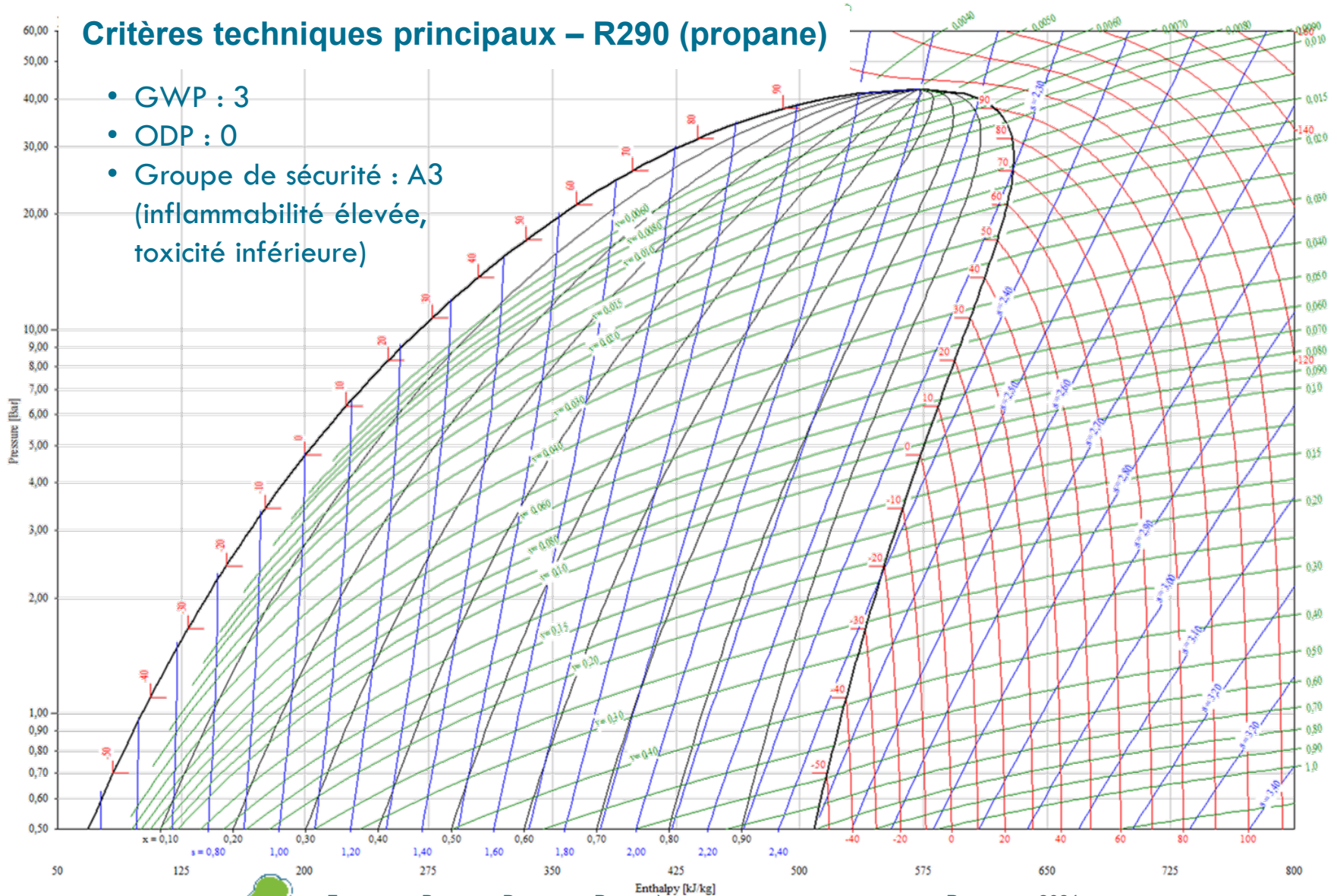
Critères techniques principaux – R410A

- GWP : 2088
- ODP : 0
- Groupe de sécurité : A1
(pas de propagation de flamme,
toxicité inférieure)



Critères techniques principaux – R290 (propane)

- GWP : 3
- ODP : 0
- Groupe de sécurité : A3
(inflammabilité élevée,
toxicité inférieure)



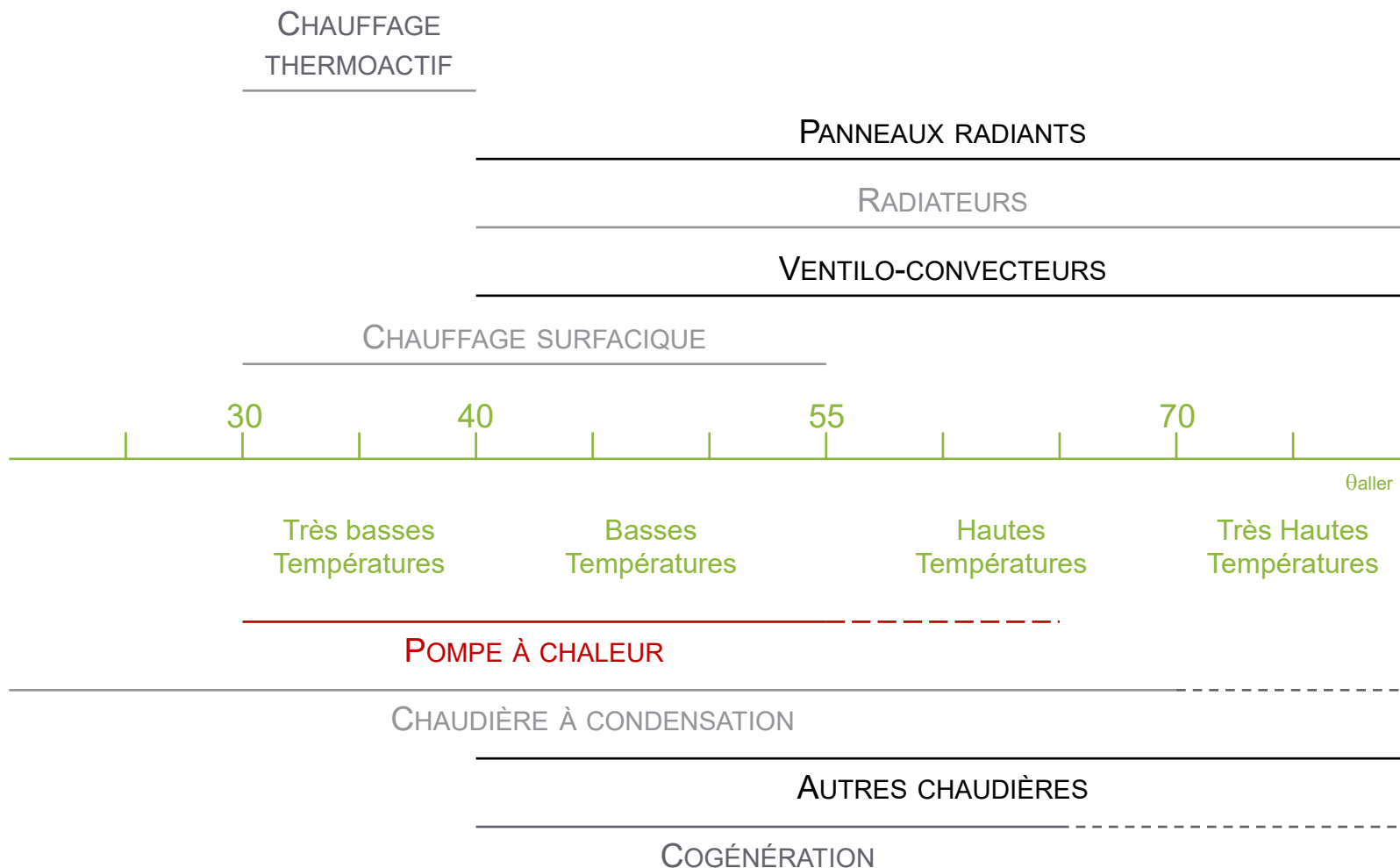
PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT
PRÉSENTATION DES TECHNOLOGIES

EMISSION

EAU CHAUDE SANITAIRES
SOLUTIONS HYBRIDES
RÉVERSIBILITÉ ET SIMULTANÉITÉ
RÉGLEMENTATIONS ET SOUTIENS



Compatibilité émission / production



Source : ecorce



Emetteurs

Radiateur →



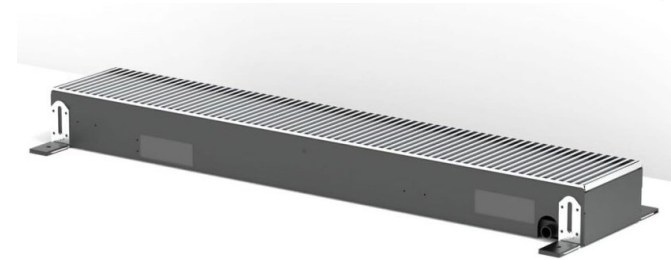
Source : Radson



Source : SpeedComfort



Ventilo-convecteurs →



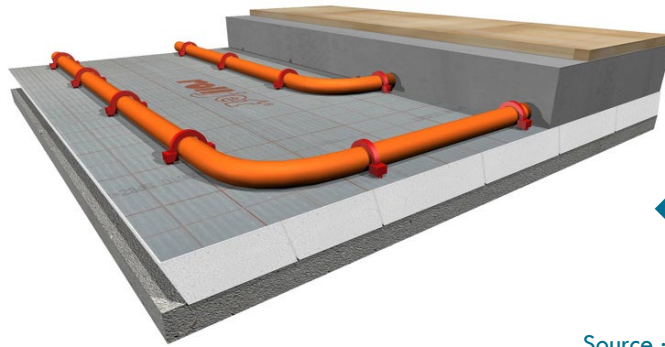
Source : Jaga

← Radiateur dynamisé



Emetteurs – chauffage surfacique

Système sec →



Source : Radson

← Système humide



Source : Vasco

← Rainurage



Source : Vasco

Système mural →



Source : Vasco



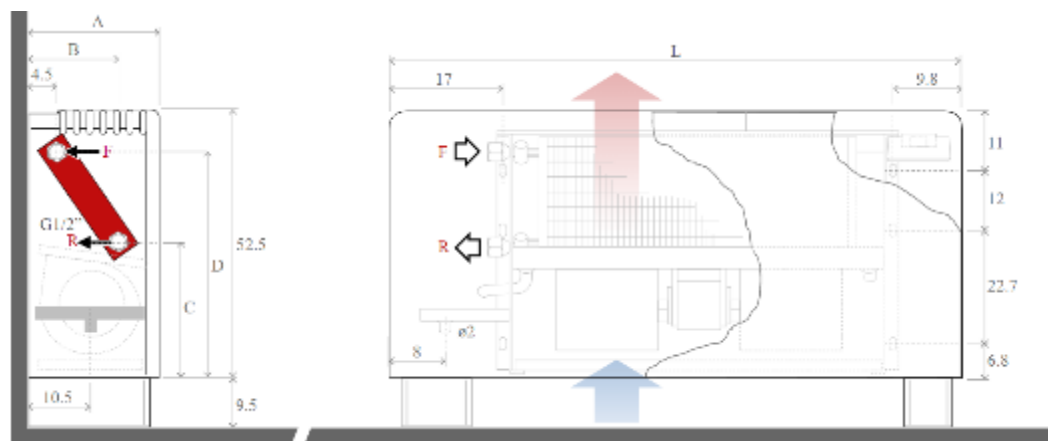
Et en refroidissement ?

- ▶ Il existe habituellement 2 régimes de température
 - 7/12°C « refroidissement »,
 - ⇒ production de condensats
 - 16/18°C → « rafraichissement »,
 - ⇒ sans production de condensat,
 - ⇒ puissance limitée,
 - ⇒ compatible au refroidissement passif
- ▶ Emetteurs compatibles :
 - Identiques au chauffage excepté les radiateurs,
 - Doivent être prévus et dimensionnés pour la production de froid, et éventuellement la gestion des condensats,
 - Éventuellement réversibles chaud/froid, bi-tube ou 4-tubes



Dimensionnement ?

- La température de départ a une forte influence sur la puissance d'émission.
- Exemple pour un ventilo-convecteur réversible :



Type	Hauteur [cm]	Longueur [cm]	Largeur [cm]	Position	CHAUFFER 75/65/20 [Watts]	CHAUFFER 55/45/20 [Watts]	CHAUFFER 45/35/20 [Watts]	CHAUFFER 35/30/20 [Watts]	LIGHT COOLING Non condensant 16/18/27 50% R.V. [Watts]	DEEP COOLING Total 7/12/27 50% R.V. [Watts]	DEEP COOLING sensible 7/12/27 50% R.V. [Watts]
02	Tous	Tous	Tous	max	4000	2386	1571	990	769	1833	1304

Source : Jaga



Dimensionnement ?

- La température de départ a une forte influence sur la puissance d'émission.
- ⇒ En rénovation, le passage d'un système de production à haute température vers une pompe à chaleur implique de s'assurer que le système d'émission est suffisamment puissant.
- Exemple pour les radiateurs :

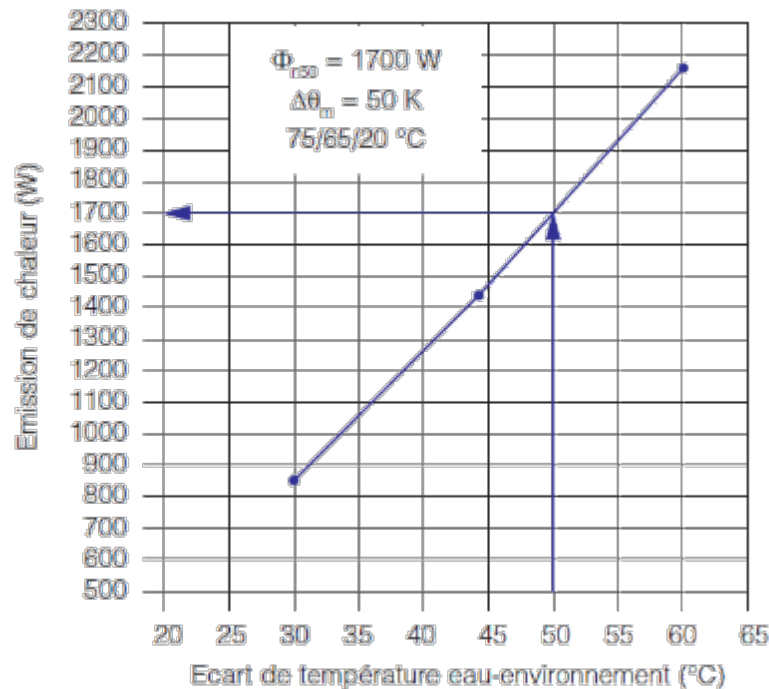
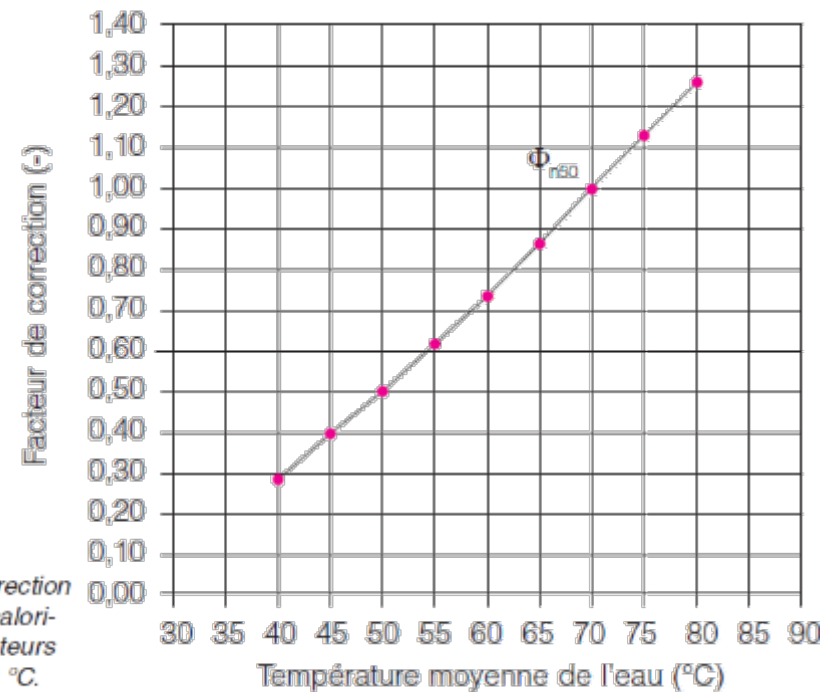


Fig. 10
Exemple de courbe caractéristique d'un radiateur (détermination de l'émission calorifique selon la norme NBN EN 442-2) [B9].

Fig. 11

Facteur de correction de l'émission calorifique des radiateurs d'un local à 20 °C.





Exercice

Une pièce contient un radiateur (type 21) dont la puissance est de 1500 W pour un régime de température de 75/65/20. Le calcul de déperdition selon la norme indique un besoin de 1200 W.

- Quelle est la dimension du radiateur ?

Standard HP																							
Supply		75	°C	Heat output		1500	W																
Return		65	°C	Tolerance + / -		5	%																
Room temperature		20	°C																				
ΔT		50,00																					





Exercice

- ▶ Quelle est sa puissance en régime 55/45/20 ?
- ▶ $P_{55/45/20} = 1500 \times 0,51 = 765 \text{ W} \rightarrow$ Sera-ce toujours suffisant pour chauffer le local ? Sinon, quelle(s) solution(s) envisager ?

Tableau D.1 Valeurs de Φ/Φ_{n50} à diverses températures ambiantes et diverses températures d'eau pour un débit nominal (exposant $n = 1,3$) (suite).

Température de l'eau de départ $\theta_{w,d}$ (°C)	Température ambiante θ_a (°C)	Température de l'eau de retour $\theta_{w,r}$ (°C)											
		30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
55	24	0,21	0,29	0,36	0,42	0,48							
	22	0,26	0,33	0,40	0,47	0,53							
	20	0,30	0,38	0,45	0,51	0,57							
	18	0,35	0,42	0,49	0,56	0,62							
	16	0,40	0,47	0,54	0,60	0,67							
50	24	0,19	0,26	0,32	0,37								
	22	0,23	0,30	0,36	0,42								
	20	0,27	0,34	0,40	0,46								
	18	0,31	0,38	0,44	0,50								
	16	0,36	0,42	0,49	0,55								
45	24	0,16	0,22	0,27									
	22	0,20	0,26	0,31									
	20	0,24	0,30	0,35									
	18	0,28	0,34	0,40									
	16	0,32	0,38	0,44									

$$\Phi/\Phi_{n50} = (\Delta\theta_m/49,83)^n$$

où :

$$\Delta\theta_m = (\theta_{w,d} - \theta_{w,r}) / \ln[(\theta_{w,d} - \theta_a) / (\theta_{w,r} - \theta_a)]$$

Source : Buildwise, Rapport 14





Exercice

- Booster le radiateur : $765 \text{ W} + 20 \% = 918 \text{ W} < 1200 \text{ W}$
- Remplacer le radiateur par un plus grand

Standard HP					
Supply	55	°C	Heat output	1200	W
Return	45	°C	Tolerance + / -	5	%
Room temperature	20	°C			
ΔT	30,00				



Typ	11						21						22						33					
H	300	400	500	600	750	900	300	400	500	600	750	900	300	400	500	600	750	900	300	400	500	600	750	900
L	Wat	Wat	Wat	Wat	Wat	Wat	Wat	Wat	Wat	Wat	Wat	Wat	Wat	Wat	Wat	Wat	Wat	Wat	Wat	Wat	Wat	Wat	Wat	Wat
400	113	146	178	208	251	291	158	199	237	273	326	376	197	249	299	346	413	478	275	345	411	473	564	651
500	141	183	223	260	314	364	198	249	296	341	407	470	246	311	373	432	517	597	344	432	514	592	705	814
600	169	219	267	313	377	437	237	298	356	409	488	563	295	374	448	518	620	717	413	518	617	710	847	976
700	197	256	312	365	440	510	277	348	415	478	570	657	345	436	522	605	723	836	482	604	719	828	988	1139
800	225	292	356	417	503	583	317	398	474	546	651	751	394	498	597	691	827	956	551	691	822	946	1129	1302
900	253	329	401	469	566	655	356	448	533	614	733	845	443	560	672	777	930	1075	620	777	925	1065	1270	1465
1000	281	366	445	521	629	728	396	497	593	682	814	939	492	623	746	864	1033	1194	688	863	1028	1183	1411	1627
1100	309	402	490	573	691	801	435	547	652	751	895	1033	542	685	821	950	1137	1314	757	950	1131	1301	1552	1790
1200	338	439	534	625	754	874	475	597	711	819	977	1127	591	747	896	1037	1240	1433	826	1036	1233	1420	1693	1953
1300	366	475	579	677	817	947	514	646	771	887	1058	1221	640	810	970	1123	1343	1553	895	1122	1336	1538	1834	2116
1400	394	512	623	729	880	1019	554	696	830	955	1140	1315	689	872	1045	1209	1447	1672	964	1209	1439	1656	1975	2278
1500	422	548	668	781	943	1092	594	746	889	1023	1221	1409	738	934	1119	1296	1550	1792	1033	1295	1542	1775	2116	2441
1600	450	585	712	834	1006	1165	633	796	948	1092	1302	1502	788	996	1194	1382	1653	1911	1101	1381	1645	1893	2257	2604
1800	506	658	801	938	1131	1311	712	895	1067	1228	1465	1690	886	1121	1343	1555	1860	2150	1239	1554	1850	2129	2540	2929
2000	563	731	890	1042	1237	1458	791	994	1185	1365	1628	1878	985	1245	1493	1728	2066	2389	1377	1726	2056	2366	2822	3255
2200	0	0	0	0	0	0	871	1094	1304	1501	1791	2066	1083	1370	1642	1900	2273	2628	1515	1899	2261	2603	3104	3580
2400	0	0	0	0	0	0	950	1193	1423	1638	1954	2254	1182	1494	1791	2073	2480	2867	1652	2072	2467	2839	3386	3906
2600	0	0	0	0	0	0	1029	1293	1541	1774	2116	2442	1280	1619	1940	2246	2686	3106	1790	2244	2672	3076	3668	4231
2800	0	0	0	0	0	0	1108	1392	1660	1910	2279	2629	1378	1744	2090	2419	2893	3345	1928	2417	2878	3312	3950	4557
3000	0	0	0	0	0	0	1187	1492	1778	2047	2442	2817	1477	1868	2239	2591	3100	3583	2065	2590	3084	3549	4233	4882





Exercice

- Remplacer le radiateur par un ventilo-convecteur

Selectiontool LowH2O Hybrids

jaga
CLIMATE
DESIGNERS

Copy all data

Taal/Language/Sprache/Språk/Jazyk	Français
Appareil Hybrid	Strada Hybrid
Version [centimeter]	MAX 50 11 1,5

Vitesse ventilateur Hauteur Type Profondeur

Températures

Chauffer:

Entrée de l'eau	55 °C
Retour de l'eau	45 °C
Ambiante (bulbe sec)	20 °C

Refroidir:

Entrée de l'eau	16 °C
Retour de l'eau	18 °C
Ambiante (bulbe sec)	27 °C
hum. rel.	50%

Système unitaire

☒ SI-units
☐ Imperial-units

Longueur [cm]	Puissance de chauffer [W]	Débit d'eau [kg/h]	Perte de charge [kPa]	Puissance de refroidir [W]**	Débit d'eau [kg/h]	Perte de charge [kPa]	Pression sonore [dB(A)]****	Puissance sonore [dB(A)]****	Puissance absorbée elec. [W]	Volume d'eau [l]
Strada Hybrid, Hauteur 50cm, Type 11										
60	819	70	0,04	242	104	0,08	40,0	48,0	6,8	0,8
70	1015	87	0,06	300	129	0,13	41,0	49,0	7,9	0,9
80	1210	104	0,09	358	154	0,20	41,8	49,8	9,1	1,1
90	1405	121	0,13	415	178	0,27	42,4	50,4	10,3	1,2
100	1600	138	0,18	473	203	0,37	43,0	51,0	12,2	1,3
110	1795	154	0,23	531	228	0,48	43,5	51,5	14,0	1,5
120	1990	171	0,29	589	253	0,60	44,0	52,0	14,8	1,6
140	2380	205	0,44	704	303	0,91	44,8	52,8	17,5	1,9
160	2771	238	0,62	819	352	1,29	45,5	53,5	19,2	2,1

Selectiontool LowH2O Hybrids

jaga
CLIMATE
DESIGNERS

Copier toutes des données

Taal/Language/Sprache/Språk/Jazyk	Français
Appareil Hybrid	Strada Hybrid
Version [centimeter]	MAX 50 21 21,5

Vitesse ventilateur Hauteur Type Profondeur

Températures

Chauffer:

Entrée de l'eau	55 °C
Retour de l'eau	45 °C
Ambiante (bulbe sec)	20 °C

Refroidir:

Entrée de l'eau	16 °C
Retour de l'eau	18 °C
Ambiante (bulbe sec)	27 °C
hum. rel.	50%

Système unitaire

☒ Unités-SI
☐ Unités-Impériales

Longueur [cm]	Puissance de chauffer [W]	Débit d'eau [kg/h]	Perte de charge [kPa]	Puissance de refroidir [W]**	Débit d'eau [kg/h]	Perte de charge [kPa]	Pression sonore [dB(A)]****	Puissance sonore [dB(A)]****	Puissance absorbée elec. [W]	Volume d'eau [l]
Strada Hybrid, Hauteur 50cm, Type 21										
60	1488	128	0,09	332	143	0,11	41,1	49,1	7,2	1,6
70	1633	140	0,11	341	147	0,12	41,1	49,1	7,2	1,9
80	2197	189	0,21	490	211	0,26	42,4	50,4	9,0	2,1
90	2552	219	0,28	570	245	0,35	43,3	51,3	10,7	2,4
100	2906	250	0,37	649	279	0,46	44,1	52,1	10,7	2,7
110	3051	262	0,42	658	283	0,48	44,1	52,1	12,5	2,9
120	3615	311	0,59	807	347	0,73	44,8	52,8	14,3	3,2
140	4324	372	0,86	965	415	1,07	45,4	53,4	16,1	3,7
160	5033	433	1,20	1123	483	1,48	46,4	54,4	19,6	4,3



PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT
PRÉSENTATION DES TECHNOLOGIES
EMISSION

EAU CHAUDE SANITAIRE

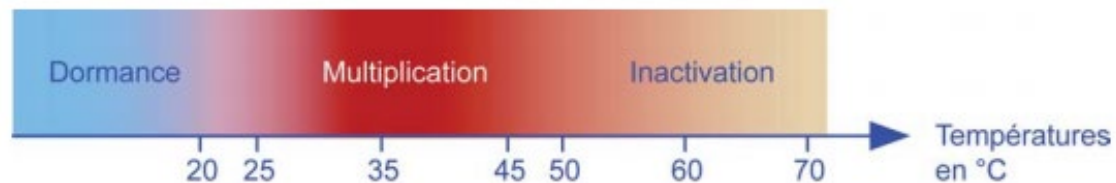
SOLUTIONS HYBRIDES
RÉVERSIBILITÉ ET SIMULTANÉITÉ
RÉGLEMENTATIONS ET SOUTIENS



Particularités de la production d'ECS

- Besoin : Température de puisage jusqu'à 50-55°C
- Hygiène : Limiter la prolifération des légionnelles

La température est un facteur essentiel conditionnant le développement des légionnelles



▲ Figure 13 : La croissance des légionnelles en fonction de la température. L'optimum de croissance se situe entre 25 et 45°C environ.

Source/Bron : Guide installations d'eau chaude sanitaire, règles de l'art Grenelle Environnement 2012

⇒ Température de production

- 50°C (nécessite désinfections périodiques) à 60°C
- 60°C

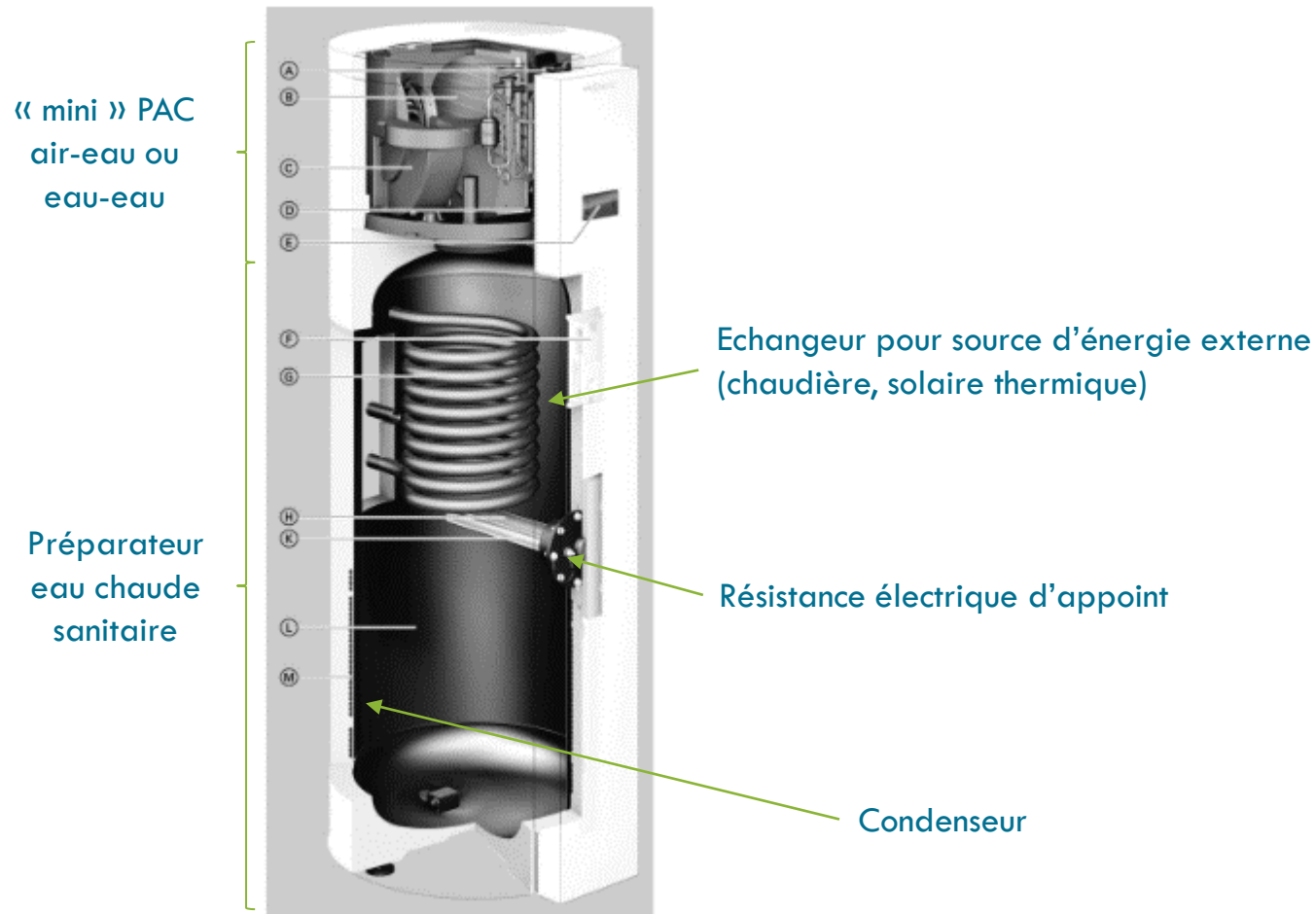


Différentes solutions existent :

- ▶ le ballon thermodynamique,
- ▶ le ballon booster,
- ▶ la PAC haute température dédiée (aéro- ou géo- thermique),
- ▶ la PAC mixte chauffage/ECS.



Ballon thermodynamique



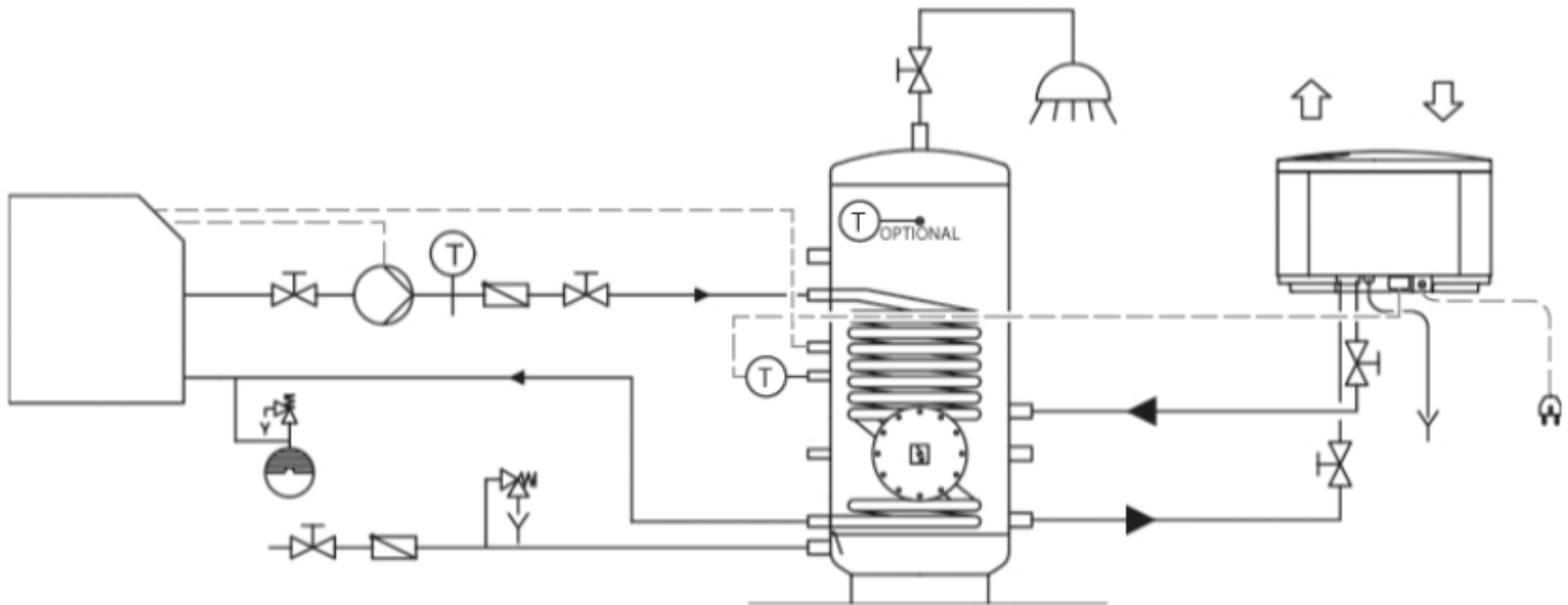
Source : Viessmann



Source : Öchsner



Ballon thermodynamique – Solution en rénovation ?



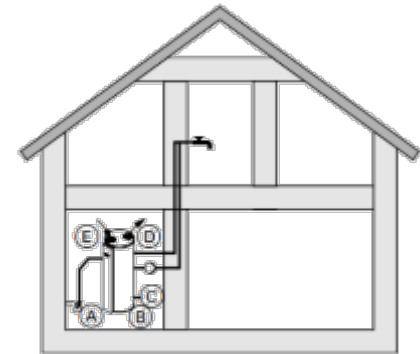
Source : Ochsner



Ballon thermodynamique - Source froide

- ▶ **Air ambiant d'un local non chauffé :**
 - Profite en hiver de T° plus élevées que sur air extérieur
 - MAIS prélève une partie de l'énergie en volume chauffé (car l'EANC est indirectement chauffé par le volume adjacent)
- ▶ **Air extrait de la ventilation :**
 - Lié à la ventilation → débit d'air plus faible que pour les autres types d'appareils (200 m³/h à 350 m³/h)
 - T° moyenne de la source froide plus élevée

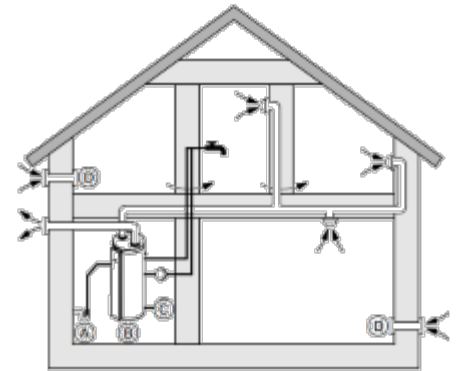
Représentation système pour une utilisation sur air ambiant



Exemple avec le type T2E-ze

- (A) Evacuation des condensats
- (B) Vitocal 262-A
- (C) Raccordement eau froide
- (D) Sortie d'air
- (E) Arrivée d'air

Représentation système pour une utilisation sur air évacué



Exemple avec le type T2E-ze

- (A) Evacuation des condensats
- (B) Vitocal 262-A
- (C) Raccordement eau froide
- (D) Air extérieur



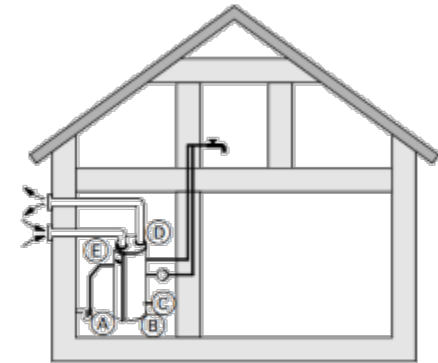
Ballon thermodynamique - Source froide

- ▶ **Air extérieur :**
 - Débit d'air non limité
 - T° moyenne de la source froide plus faible en hiver (performance moindre)
 - Pas d'incidence sur l'ambiance du bâtiment

Solaire thermique

- ▶ Exemple : 6m² de capteurs plans pour un volume de 300 litres

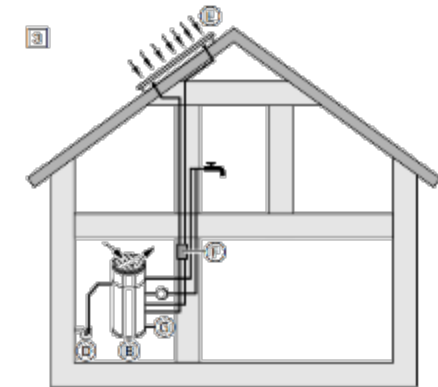
Représentation système pour une utilisation sur air extérieur



Exemple avec le type T2E-ze

- (A) Evacuation des condensats
- (B) Vitocal 262-A
- (C) Raccordement eau froide
- (D) Sortie d'air vers l'extérieur
- (E) Arrivée d'air depuis l'extérieur

Type WWKS (avec utilisation de l'énergie solaire)



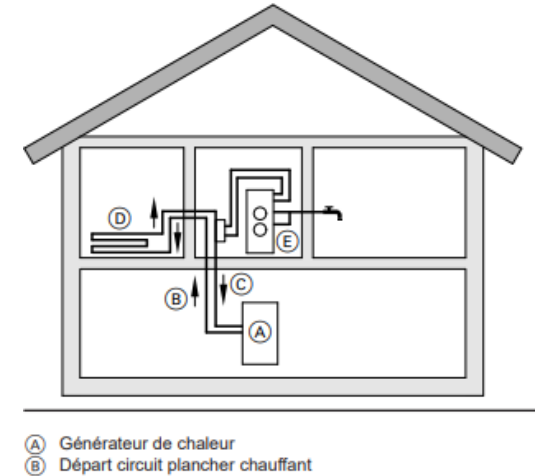
- (B) Vitocal 160-A, type WWKS (pour le mode à circulation d'air)
- (C) Evacuation des condensats
- (D) Capteurs solaires
- (F) Divisor solaire
- (G) Raccordement eau froide



Ballon thermodynamique - Source froide

- Eau préchauffée ou tempérée, peut être connecté :
 - A de l'eau de chauffage à basse température,
 - À des sondes géothermiques

⇒ « **Ballon booster** »



Source : Viessmann



Ballon thermodynamique - Spécificités

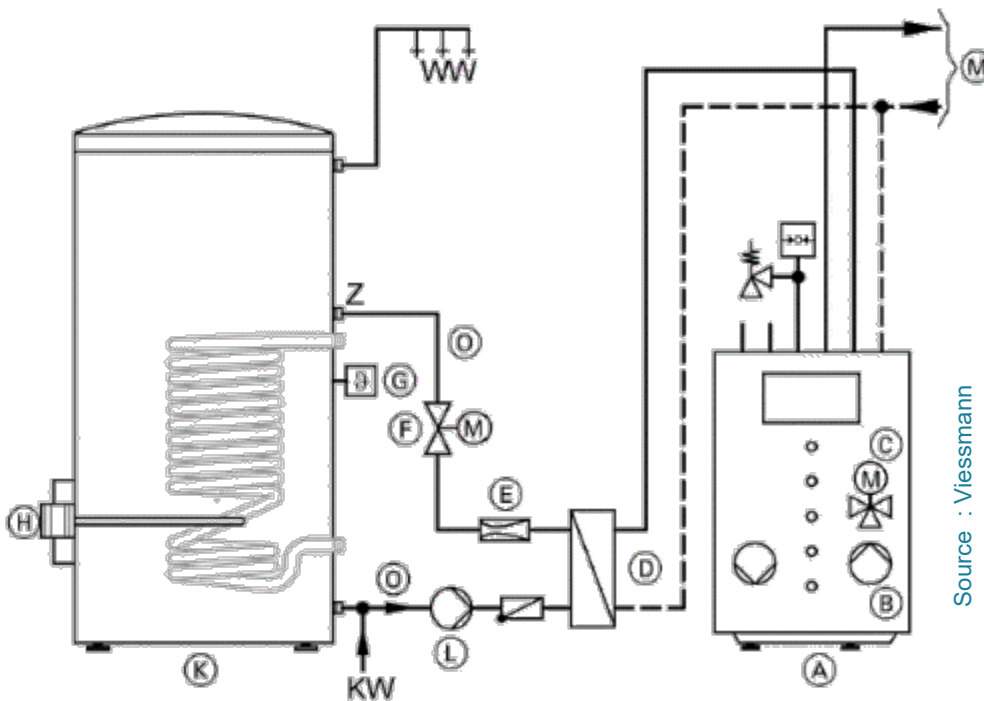
- ▶ 100 à 300 litres
- ▶ Puissance thermique de 4 à 6 W/litre,
 - Le raccordement électrique est similaire à celui d'un chauffe-eau électrique
 - Le temps de charge est long (> 6 heures)
- ▶ Options possibles :
 - résistance électrique,
 - un second échangeur (autre producteur, solaire thermique),
 - « Smartgrid ready »
- ▶ Production d'eau à ~55-60°C (attention, certains modèles utilisent la résistance électrique pour monter de 55°C à 60-65°C)
- ▶ Efficacité énergétique η_{WH} de 110-130 % (COP 2,75 à 3,25)
- ▶ Encombrement : Ø 50-65 cm et H 120-200 cm
- ▶ Prix : entre 1500 € et 3000 €
- ▶ Prévoir une évacuation des condensats et raccordement vers l'extérieur

/!\ **Acoustique !**

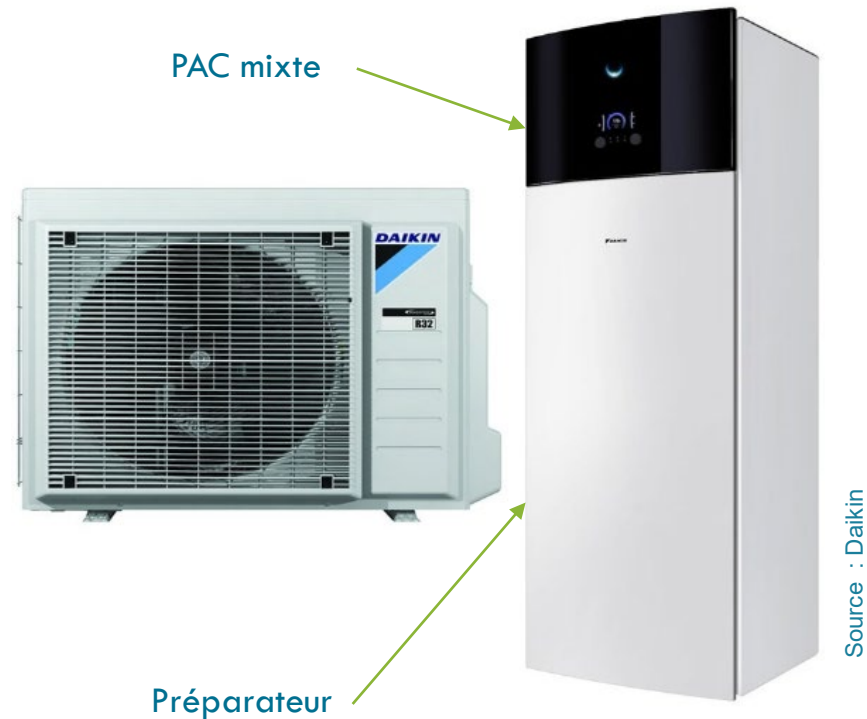


PAC Mixte - Principe

- ▶ Principalement air/eau ou eau (glycolée)/eau
- ▶ Couplée à un ballon à échangeur à serpentin pour la production d'ECS (Attention, différent d'un éventuel ballon tampon pour le chauffage)
- ▶ Ballon intégré ou séparé



Source : Viessmann



Source : Daikin



Boiler thermodynamique – Cas concret

- ▶ Existant : Préparateur ECS dans une école avec cuisine connecté sur les chaudières et boucle sanitaire
- ▶ Nouvelle installation : Deux boilers thermodynamiques connectés en parallèle et rationalisation des points de puisage pour supprimer la boucle sanitaire



Source : Ecorce



A combiner à du solaire photovoltaïque (PV) ?

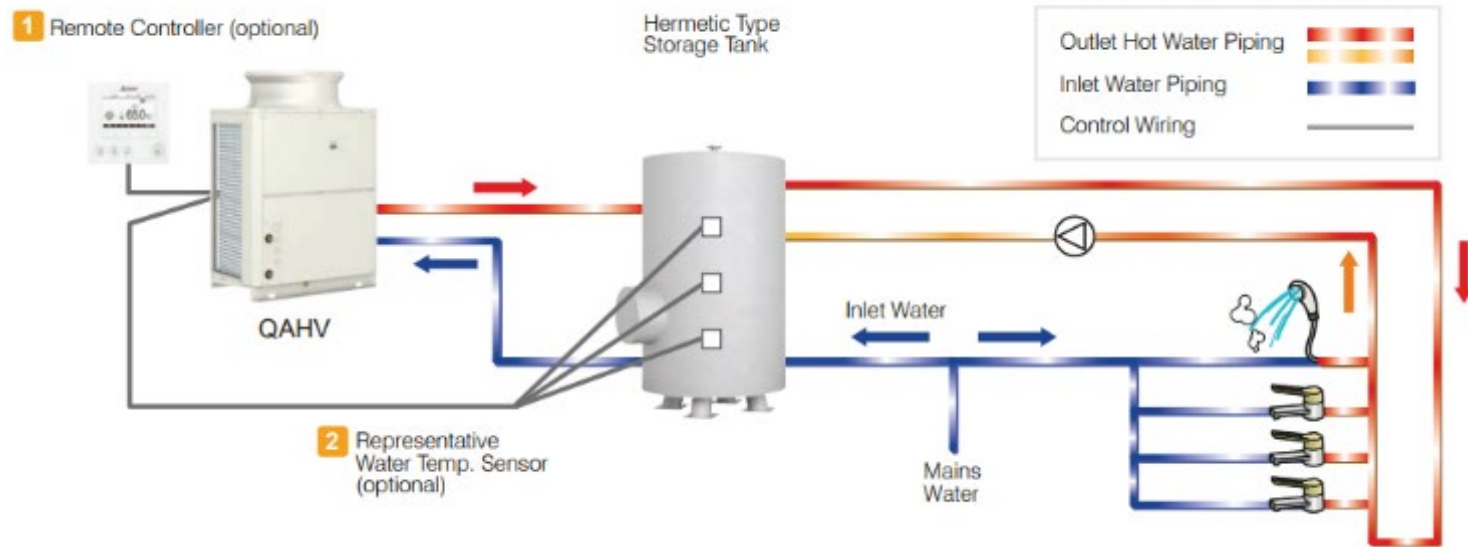


- ▶ La performance de la PAC permet de démultiplier l'énergie solaire produite et permet de compenser le rendement relativement faible des panneaux PV
- ▶ Le ballon d'ECS permet de stocker une partie de l'énergie solaire produite de manière intermittente (/!\ à la régulation – option SmartGrid Ready)

En comparaison au solaire thermique (PST) ?

- ▶ Pour une production équivalente, l'emprise est similaire en toiture (PV+PAC vs PST).
- ▶ Production PV polyvalente : lorsque le ballon ECS est plein, l'électricité peut être attribuée à d'autres usages.
- ▶ La température atteinte avec une solution PAC+PV est indépendante de l'intensité du rayonnement.
- ▶ Seuil de démarrage plus faible en PV.



PAC CO₂

Source : Mitsubishi electric

- Utilise le CO₂ comme fluide frigo (R744)
- GWP (Global Warming Potential) de 1
- Puissance : 40 kW (t° d'entrée à 10 °C, t° de sortie à 65°C)
- COP entre 3,6 et 3,8
- Applications: centres commerciaux, hôtels, wellness, usines, etc



PAC CO₂

Source : Mitsubishi Electric



PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT
PRÉSENTATION DES TECHNOLOGIES
EMISSION
EAU CHAUDE SANITAIRE
SOLUTIONS HYBRIDES
RÉVERSIBILITÉ ET SIMULTANÉITÉ
RÉGLEMENTATIONS ET SOUTIENS



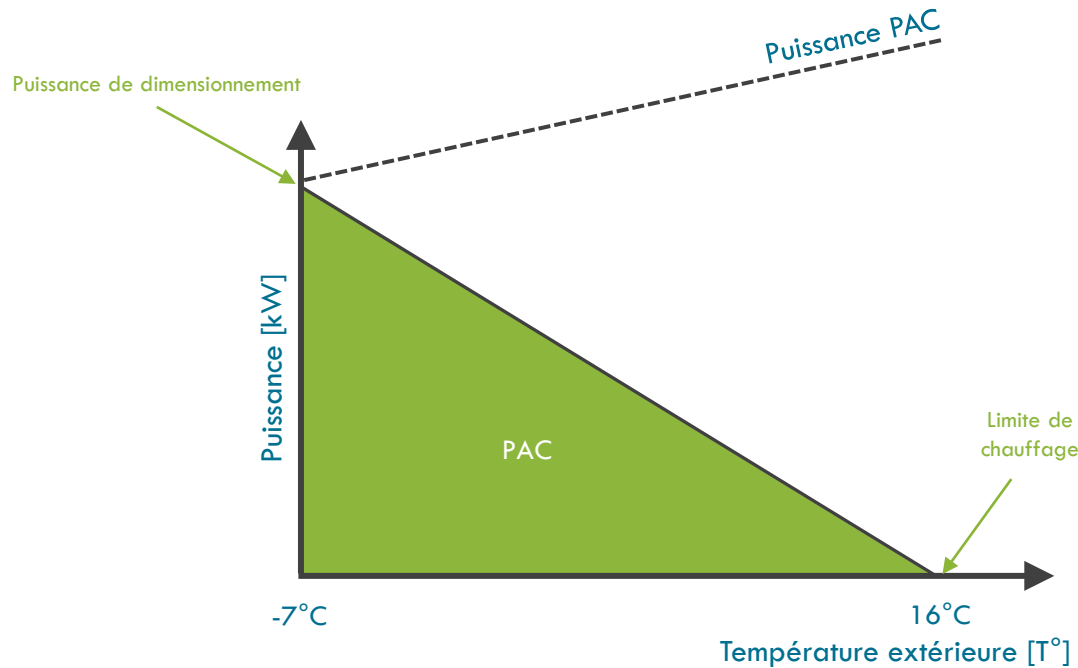
Comment choisir la puissance de la PAC ? Selon des critères :

- ▶ Avec ou sans puissance de relance ?
- ▶ Fonctionnement continu ou intermittent ?
- ▶ Modèles disponibles sur le marché ?
- ▶ Présence d'une chaudière existante ?
- ▶ Rénovation envisagée de l'enveloppe ?



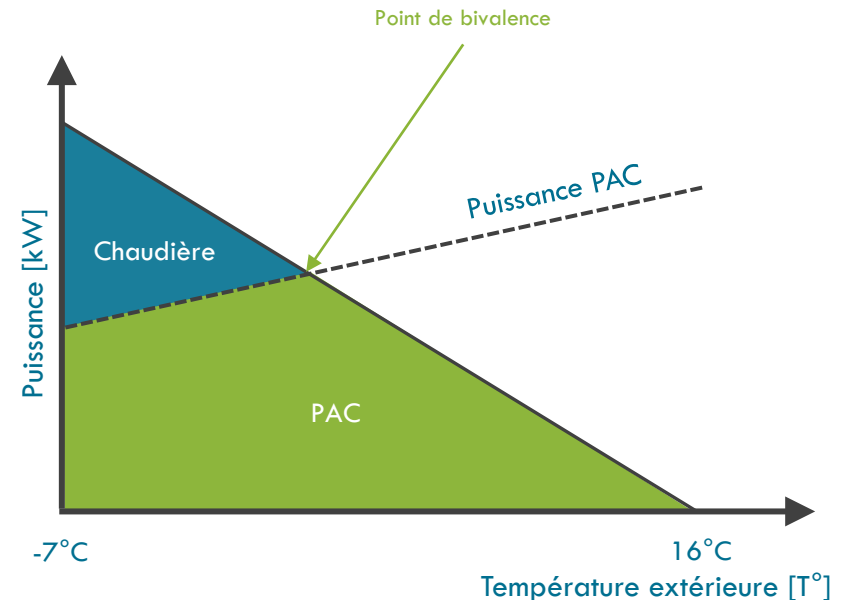
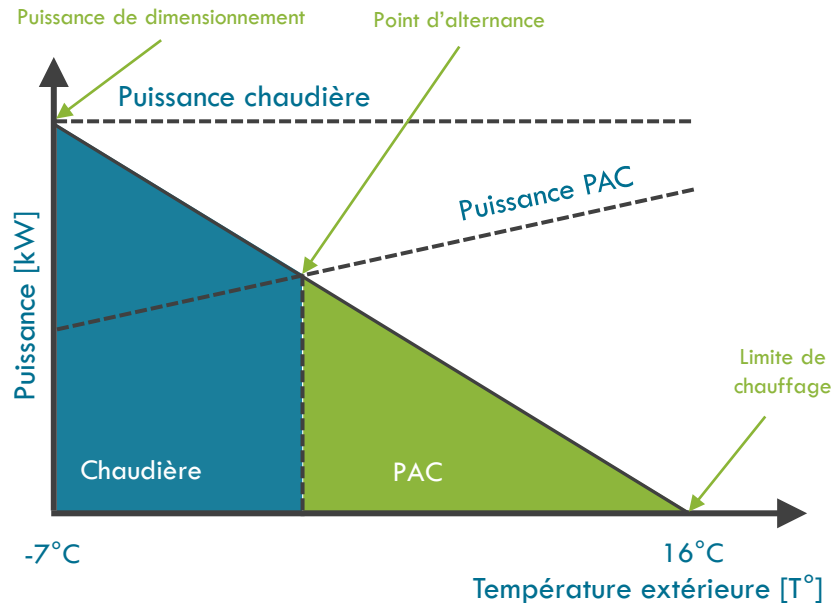
Fonctionnement monovalent :

- ▶ La PAC est l'unique producteur de chaleur
- ▶ La PAC couvre tous les besoins en énergie de chauffage du bâtiment (+ éventuellement ECS)



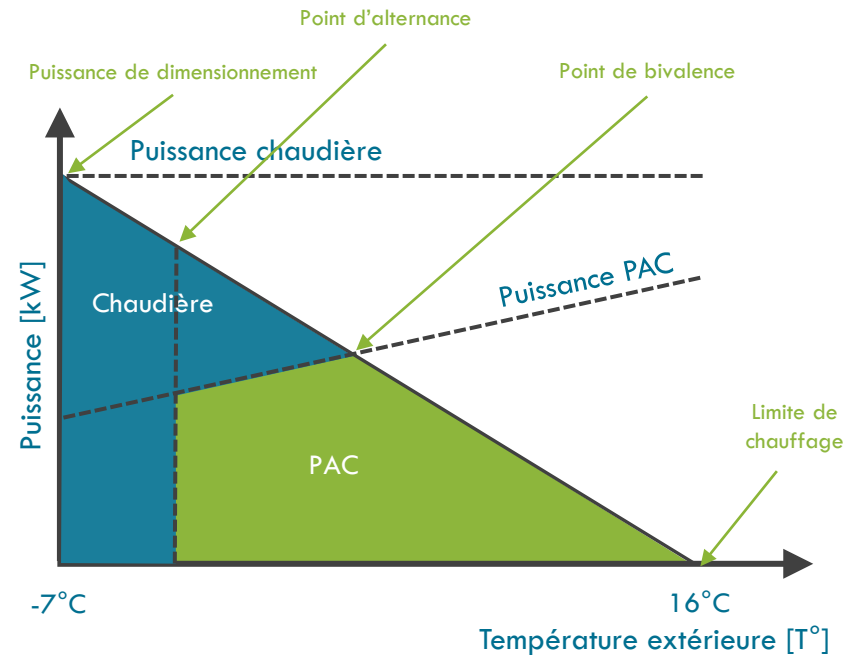
Fonctionnement bivalent :

- En plus de la PAC, un producteur de chaleur supplémentaire est à disposition (chaudière, résistance électrique...)
- Bivalent-parallèle: $T_{\text{ext}} < T_{\text{bivalence}}$ → 2 producteurs travaillent parallèlement
- Bivalent-alternatif = $T_{\text{ext}} < T_{\text{alternance}}$ → basculement entre les 2 producteurs

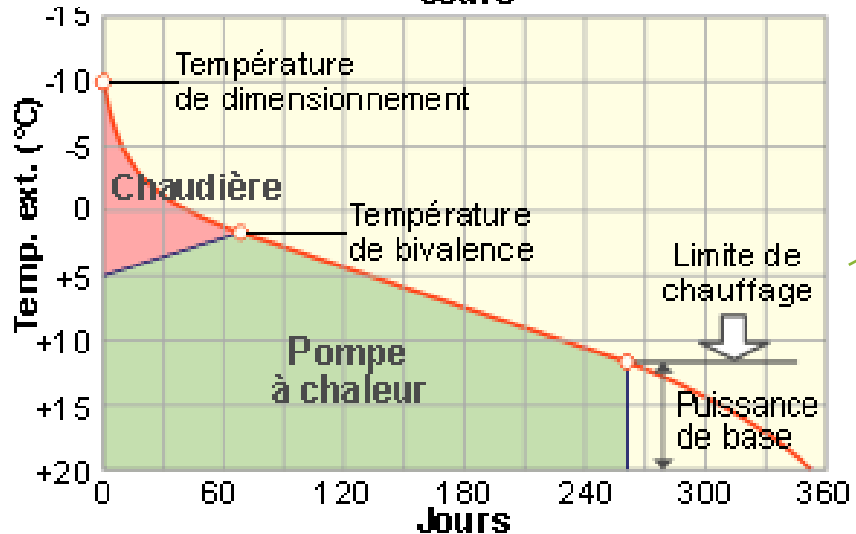
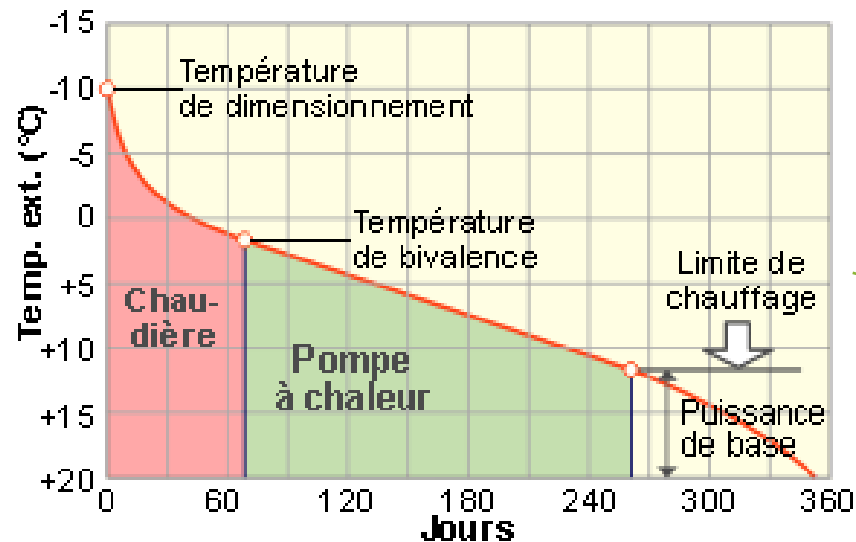


Fonctionnement bivalent :

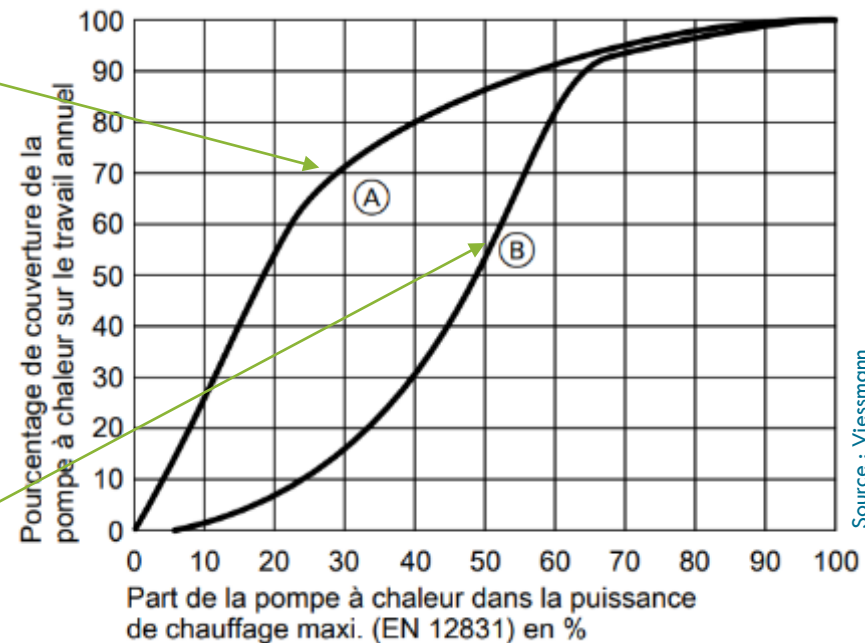
- Parallèle puis alternatif



Fonctionnement bivalent :



Source : EnergiePlus



Source : Viessmann



Comment choisir le point de bivalence ? Selon des critères :

- ▶ **Technique** :
 - la PAC ne fournit plus assez de puissance
 - la PAC ne fournit pas de l'eau assez chaude pour l'usage défini
- ▶ **Ecologique** : la PAC fonctionne avec un COP trop faible
- ▶ **Economique** : le kWh thermique produit par la PAC coûte plus cher que celui produit par la chaudière

Dépend :

- ▶ Du prix de l'électricité et du gaz (du rapport entre les deux)
- ▶ De l'auto-production d'électricité
- ▶ De la puissance nominale de la PAC
- ▶ Du COP de la PAC aux conditions de fonctionnement :
 - Température de départ
 - Température de la source d'énergie

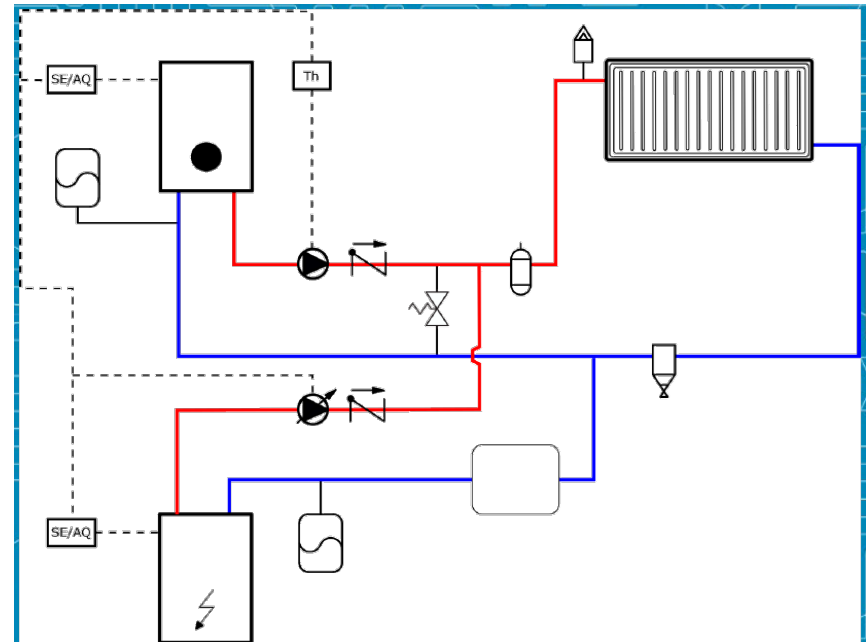


Il existe :

- ▶ des solutions **sur mesure** : par la combinaison de divers systèmes de productions selon des schémas et régulations plus ou moins complexes,
- ▶ des solutions « **all-in-one** » : les deux systèmes de production sont combinés dans un seul produit commercialisé tel quel.



Source : Daikin



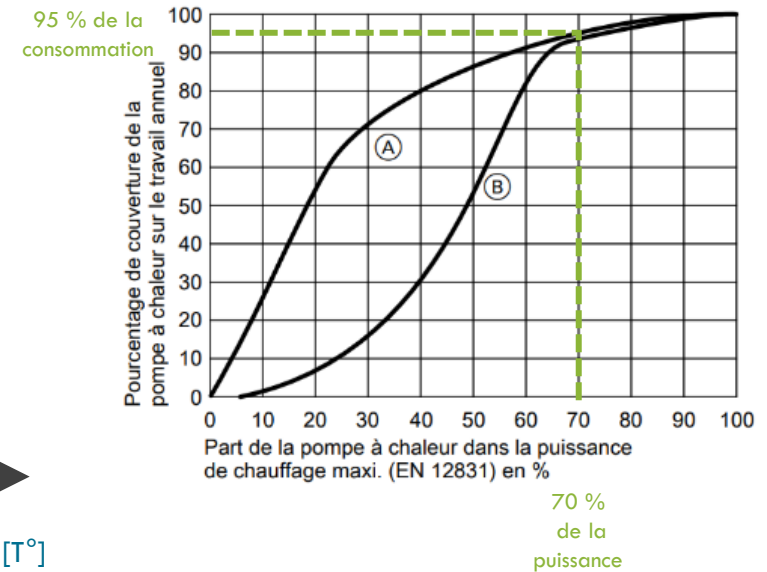
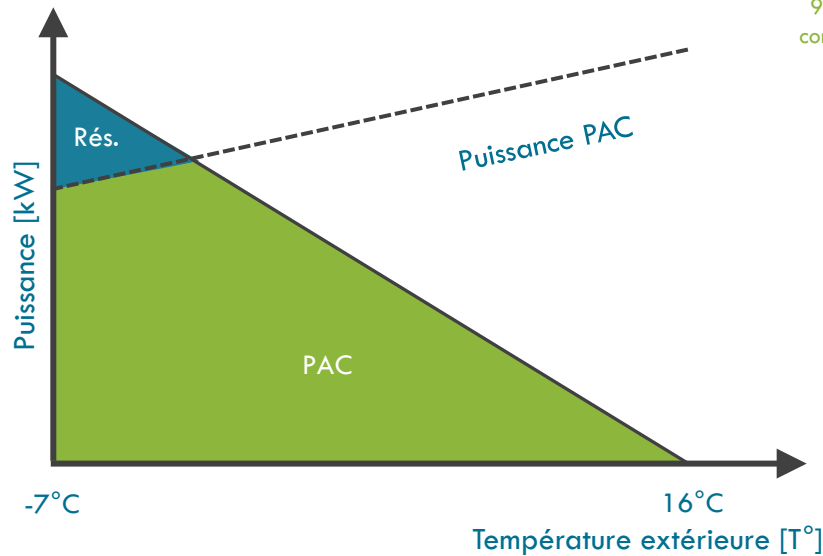
Source : Buildwise



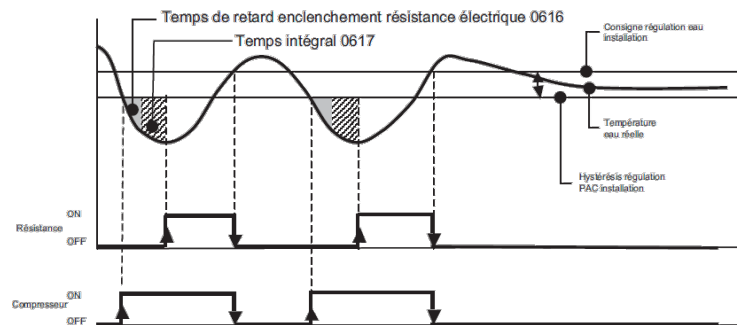
INFLUENCE DE LA RÉGULATION

L'électricité comme solution d'appoint ?

- Part acceptable ?



- Attention à la régulation

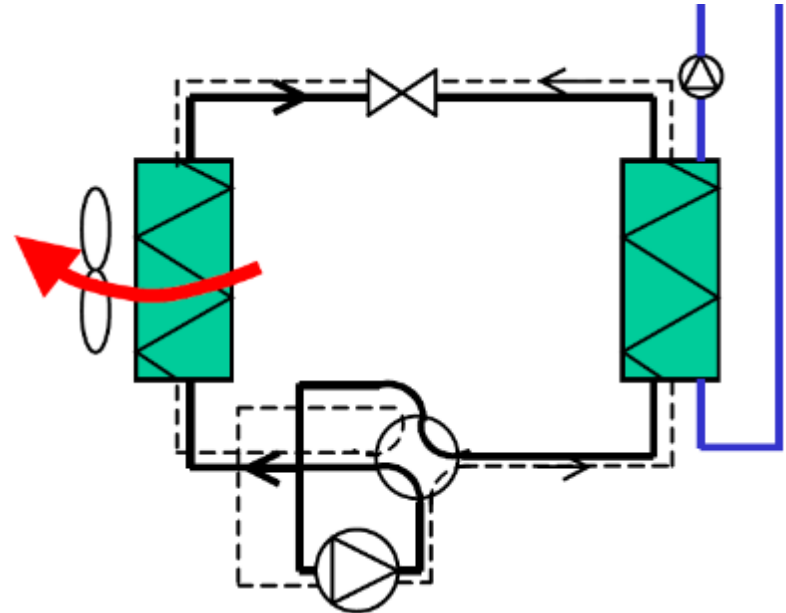
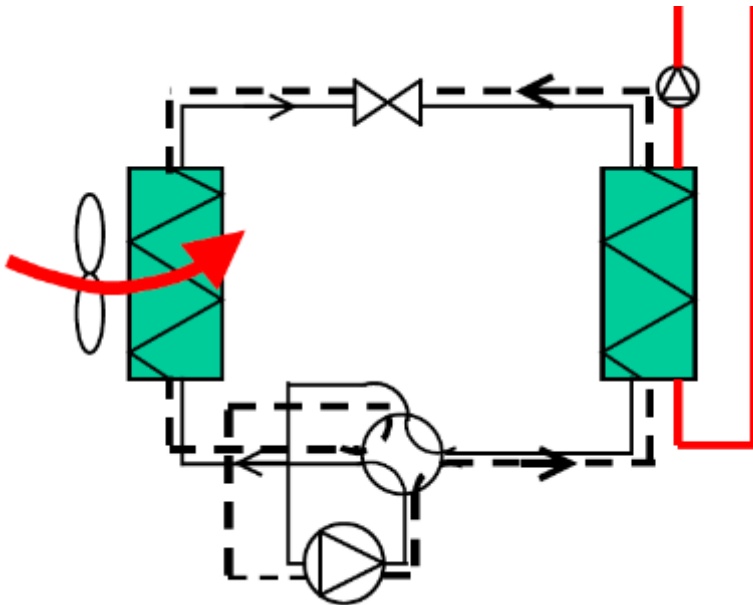


PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT
PRÉSENTATION DES TECHNOLOGIES
EMISSION
EAU CHAUDE SANITAIRE
RÉGULATION
RÉVERSIBILITÉ ET SIMULTANÉITÉ
RÉGLEMENTATIONS ET SOUTIENS



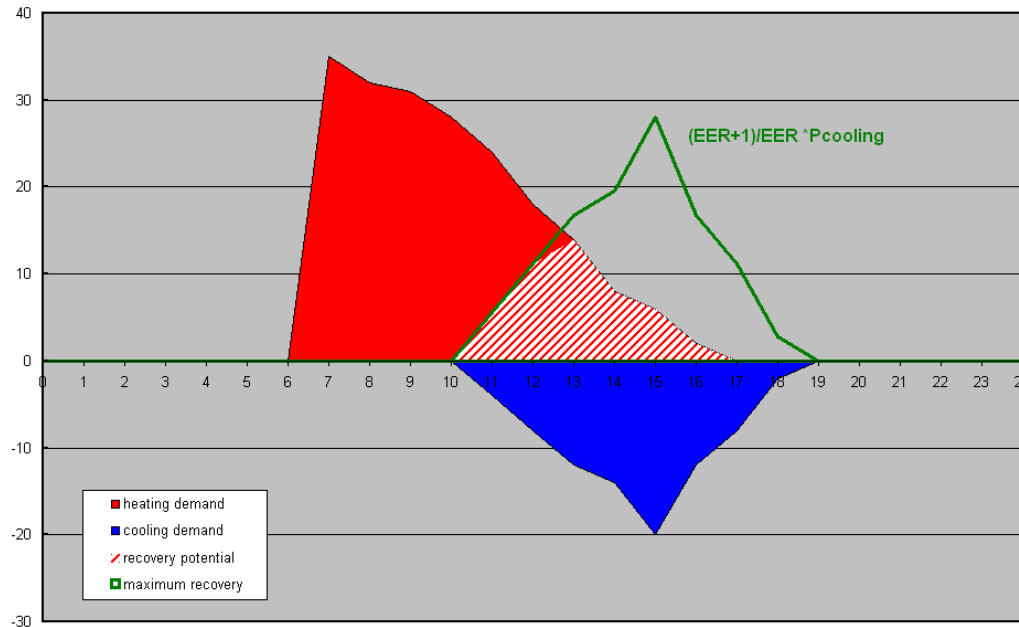
Réversibilité:

- ▶ PAC peut fonctionner:
 - En chauffage
 - En refroidissement/rafraîchissement
- ▶ Utilisation d'une vanne 4 voies (vanne d'inversion de cycle)

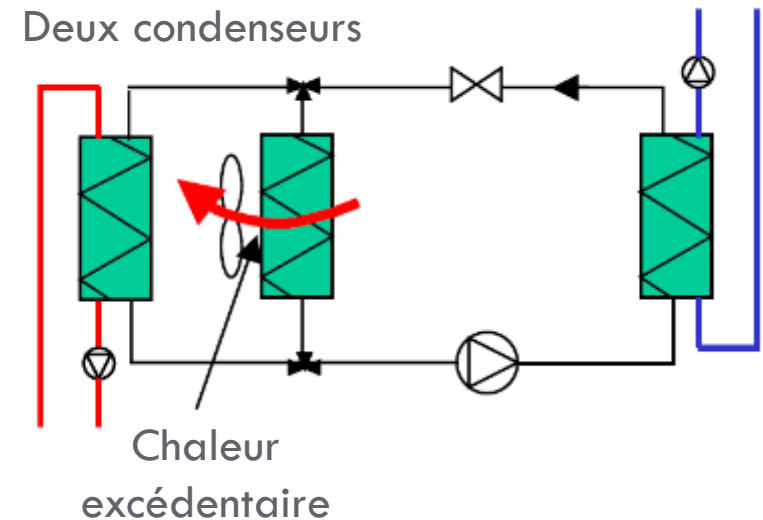


Possibilité de récupération de chaleur lorsqu'une installation est en demande simultanée de chauffage et de refroidissement:

- ▶ Exemple local informatique et bureau
- ▶ Deux condenseurs sont nécessaires



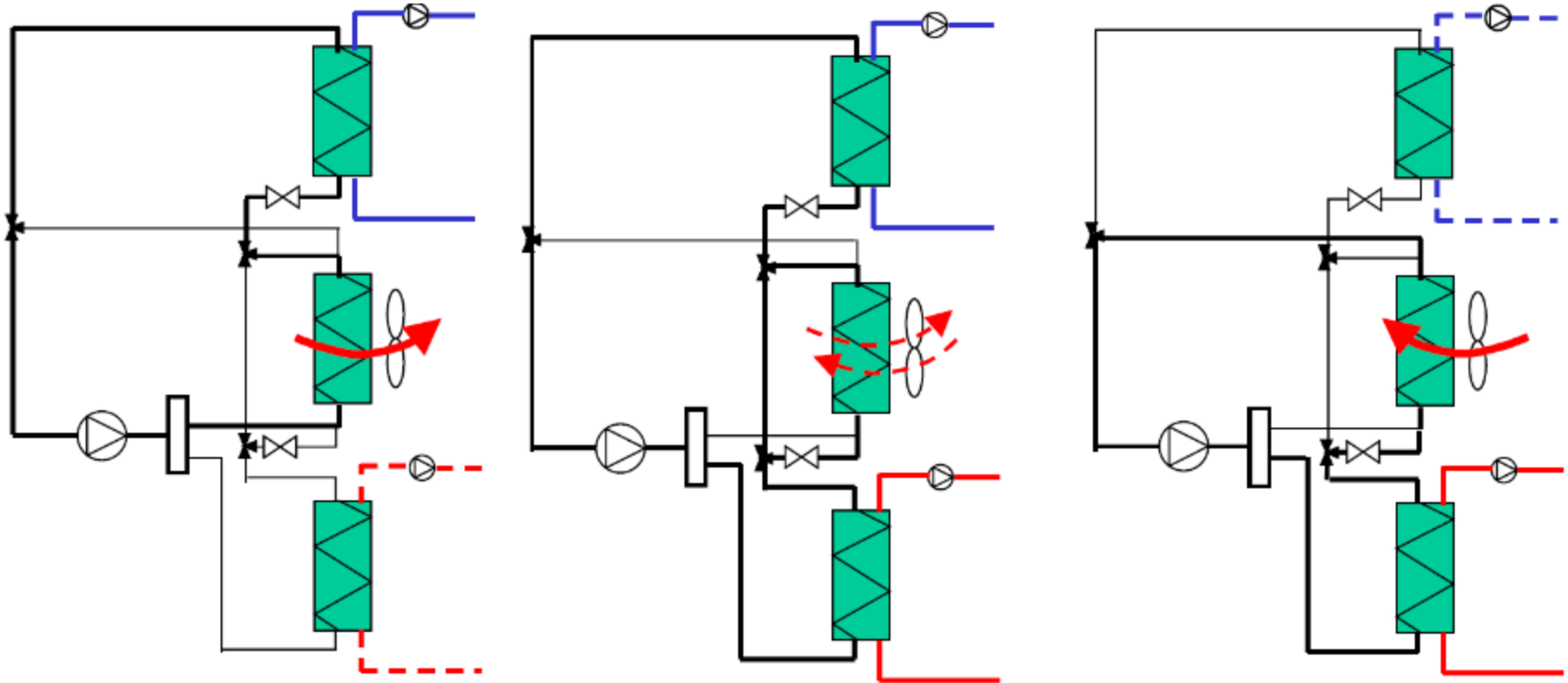
Source : ULiège



RÉVERSIBILITÉ ET SIMULTANÉITÉ

Possibilité de trouver de PAC permettant à la fois la simultanéité et la réversibilité:

- ▶ Mode refroidissement principal / chauffage secondaire
- ▶ Mode chauffage principal / refroidissement secondaire
- ▶ Mode chauffage et refroidissement principal



Attention aux implications :

- ▶ Dimensionnement en chaud ou en froid ? De la PAC, de l'hydraulique ?
- ▶ Faut-il refroidir tout l'immeuble ? Solution décentralisée ?
- ▶ Production alternative ou simultanée ? 2 tubes ou 4 tubes ?
- ▶ Mode de « change-over » ?
- ▶ Choix des émetteurs
- ▶ Calorifuge adapté



PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT
PRÉSENTATION DES TECHNOLOGIES
SOURCES CHAUDES
EAU CHAUDE SANITAIRES
RÉGULATION
RÉVERSIBILITÉ ET SIMULTANÉITÉ
RÉGLEMENTATIONS ET SOUTIENS

► **CoBrACE**

- Label & Ecodesign
- PEB
- Autres Règlementations
- Soutiens financiers



La RBC a traduit ses engagements en termes de lutte contre le réchauffement climatique au travers du CoBrACE (Code Bruxellois de l'air, du climat et de la maîtrise de l'énergie) :

- ▶ A partir du 01/01/2025, les projets soumis à PU pour des **unités neuves ou assimilées** produisent de la chaleur uniquement à partir :
 - d'**électricité**,
 - et/ou d'une **énergie produite à partir de sources renouvelables**,
et/ou sont raccordés à un **réseau d'énergie thermique efficace**.
- ▶ A partir du 01/01/2030, l'exigence s'étend aux projets soumis à PU pour des unités en **rénovation lourde**.



PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT
PRÉSENTATION DES TECHNOLOGIES
SOURCES CHAUDES
EAU CHAUDE SANITAIRES
RÉGULATION
RÉVERSIBILITÉ ET SIMULTANÉITÉ

RÉGLEMENTATIONS ET SOUTIENS

- ▶ CoBrACE
- ▶ **Label & Ecodesign**
- ▶ PEB
- ▶ Autres Règlementations
- ▶ Soutiens financiers



A partir du 26/09/2015, les directives relatives à l'**écoconception** et à l'**étiquetage** énergétique sont entrées en vigueur pour les appareils de production de chaleur pour le chauffage et l'ECS (appareils de petite taille dont la **puissance thermique nominale ≤ 400 kW** non alimentés par de la biomasse).

Ces directives ont été complétées par des règlements délégués :

- ▶ 811/2013 (étiquetage) et 813/2013 (éco-conception) : **chauffage** par boucle d'eau, y compris les appareils mixtes produisant l'ECS
- ▶ 812/2013 (étiquetage) et 814/2013 (éco-conception) : **chauffe-eaux** et aux ballons d'eau chaude
- ▶ 206/2012 (éco-conception) : climatiseurs de moins de 12 kW (fluide caloporteur = air)



Etiquetage : règlements européens 811/2013 et 812/2013

Toutes les PAC

- ▶ mises sur le marché et/ou en service depuis le **26 septembre 2015**
- ▶ d'une puissance thermique nominale ≤ 70 kW
- ▶ destinées à la production
 - de **chauffage** uniquement
 - **combinée** de chauffage et d'eau chaude sanitaire
 - d'**eau chaude sanitaire** uniquement

doivent être munies d'une **étiquette** caractérisant leurs performances

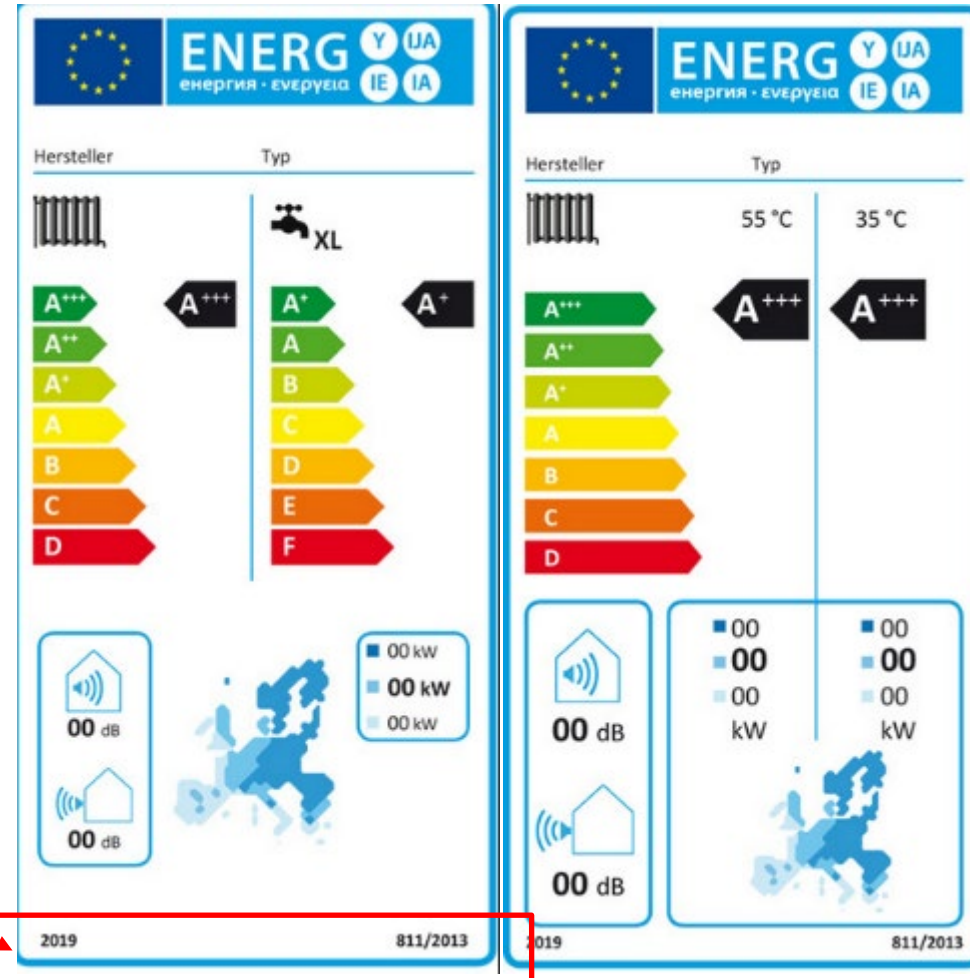
- ▶ Énergétiques
- ▶ Acoustiques



Evolution de l'étiquetage pour les systèmes chauffage simple et mixte :

- Ancien étiquetage 9 classes de A++ à G
- Depuis le 26 septembre 2019
 - 7 classes en ECS
A+ à F
 - 7 classes en chauffage :
A+++ à D

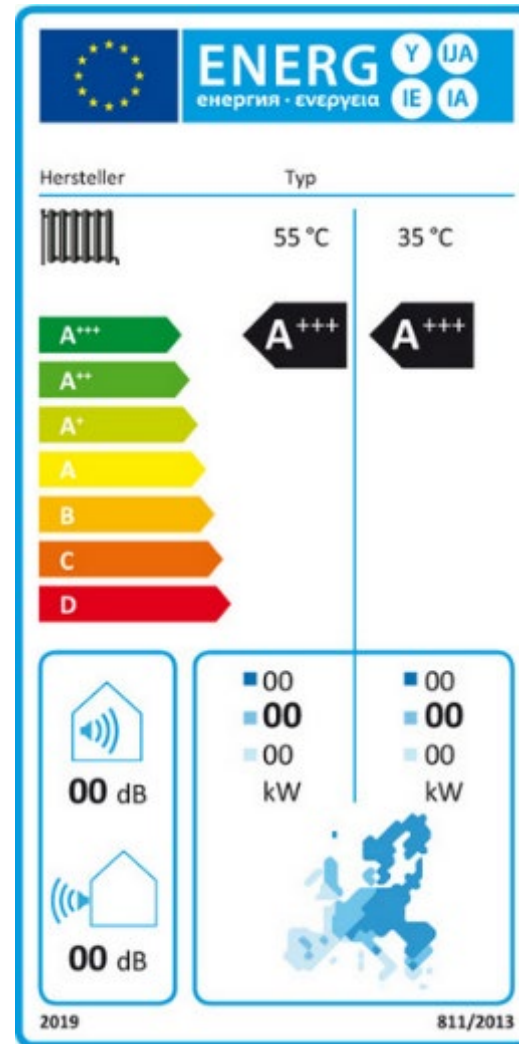
Etiquette 2019



Etiquette PAC chauffage

Nom fabricant et modèle

Niveau de bruit
(intérieur et extérieur)

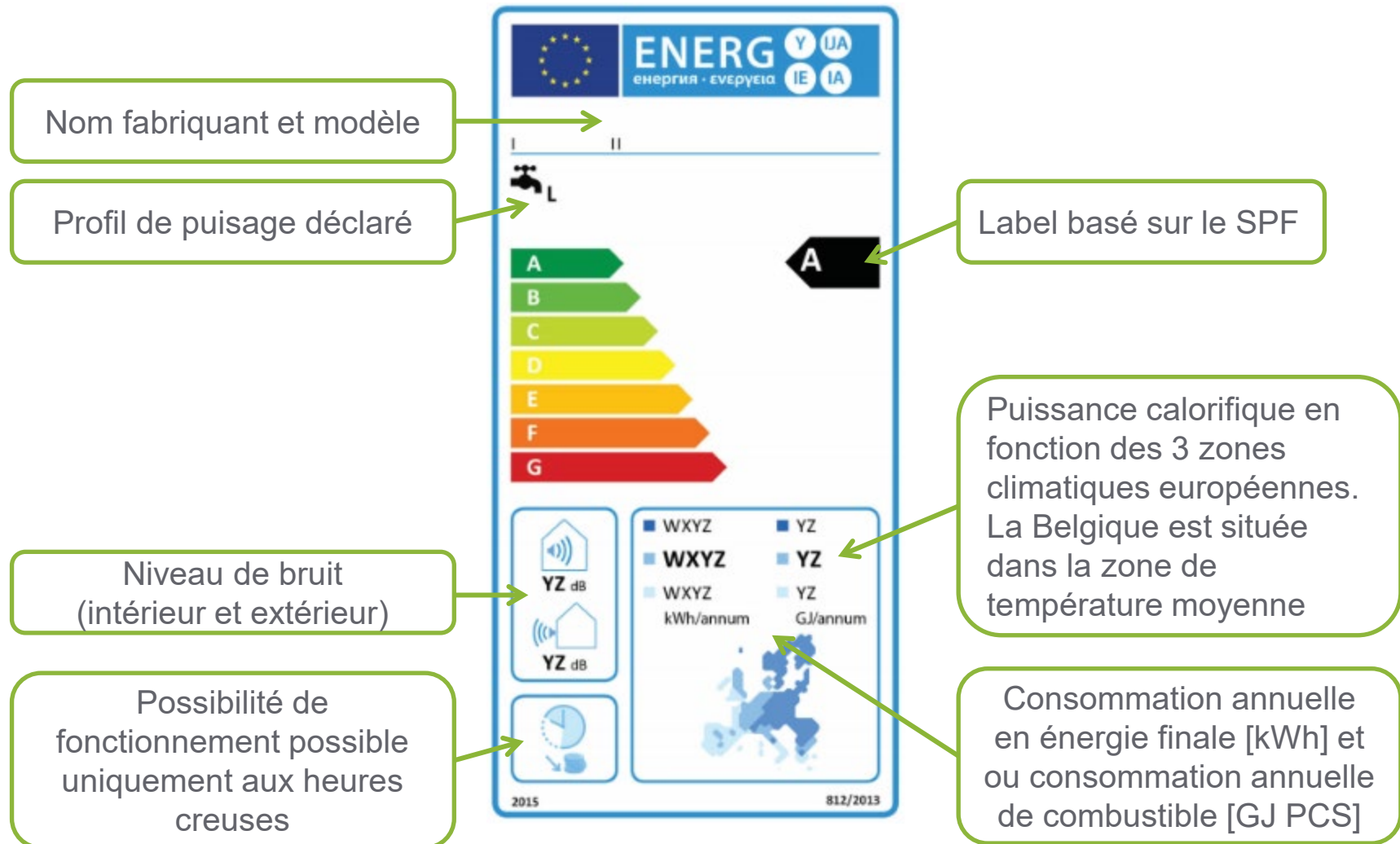


Label

- basé sur le SPF
- dépend de la température de l'eau de chauffage (moyenne et basse)

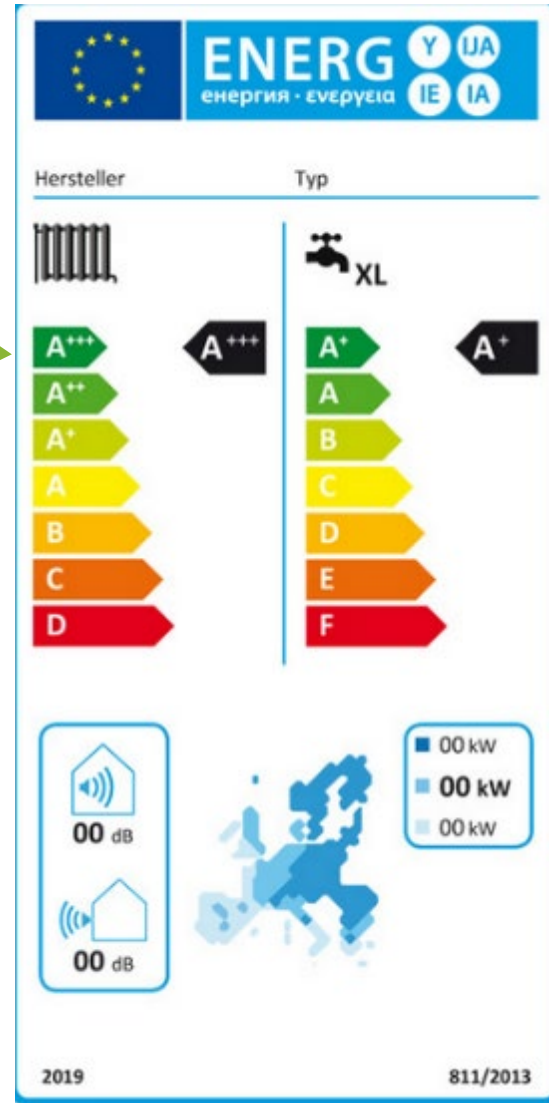
Puissance calorifique en fonction des 3 zones climatiques européennes. La Belgique est située dans la zone de température moyenne



Etiquette PAC ECS

Etiquette PAC chauffage + ECS

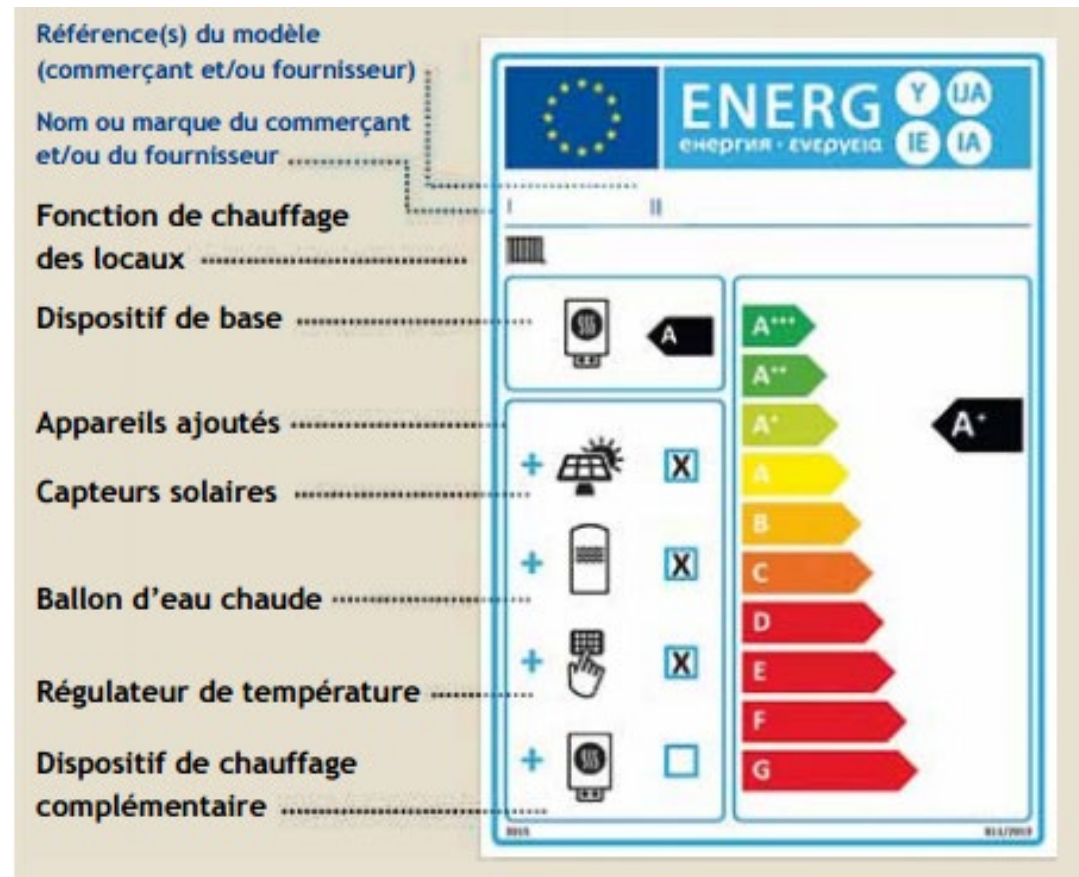
Label pour le
chauffage à
température moyenne



LABEL – COMBINAISON DE SYSTÈMES

Combinaison de systèmes → permet d'augmenter la classe énergétique (jusqu'à A+++!)

- régulation / solaire / stockage / appoint
- Par l'INSTALLATEUR



Classes énergétiques PAC qui ne sont pas « basse température »

Classes d'efficacité énergétique saisonnière, pour le chauffage des locaux, des dispositifs de chauffage, à l'exception des pompes à chaleur basse température et des dispositifs de chauffage des locaux par pompe à chaleur conçus pour l'application à basse température

Classe d'efficacité énergétique saisonnière pour le chauffage des locaux	Efficacité énergétique saisonnière pour le chauffage des locaux η_s en %
A ⁺⁺⁺	$\eta_s \geq 150$
A ⁺⁺	$125 \leq \eta_s < 150$
A ⁺	$98 \leq \eta_s < 125$
A	$90 \leq \eta_s < 98$
B	$82 \leq \eta_s < 90$
C	$75 \leq \eta_s < 82$
D	$36 \leq \eta_s < 75$
E	$34 \leq \eta_s < 36$
F	$30 \leq \eta_s < 34$
G	$\eta_s < 30$

**Facteur conversion
énergie primaire
2.5**

**SCOP $\geq 3,75$
 $3,13 \leq \text{SCOP} < 3,75$
 $2,5 \leq \text{SCOP} < 3,13$**

Exigence Ecodesign :
 $\eta_s > 110\%$ ($\Rightarrow \text{SCOP} > 2,75$)

ex :

Label A⁺⁺⁺ :
 SCOP $\geq 2,5 \times 150\%$
 SCOP $\geq 3,75$

Classes énergétiques PAC « basse température »

Classes d'efficacité énergétique saisonnière, pour le chauffage des locaux, des pompes à chaleur basse température et des dispositifs de chauffage des locaux par pompe à chaleur conçus pour l'application à basse température

Classe d'efficacité énergétique saisonnière pour le chauffage des locaux	Efficacité énergétique saisonnière pour le chauffage des locaux η_s en %
A ⁺⁺⁺	$\eta_s \geq 175$
A ⁺⁺	$150 \leq \eta_s < 175$
A ⁺	$123 \leq \eta_s < 150$
A	$115 \leq \eta_s < 123$
B	$107 \leq \eta_s < 115$
C	$100 \leq \eta_s < 107$
D	$61 \leq \eta_s < 100$
E	$59 \leq \eta_s < 61$
F	$55 \leq \eta_s < 59$
G	$\eta_s < 55$

**Facteur conversion
énergie primaire
2.5**

**SCOP $\geq 4,38$
 $3,75 \leq \text{SCOP} < 4,38$
 $3,1 \leq \text{SCOP} < 3,75$**

**Exigence Ecodesign : η_s
 $> 125\%$ ($\Rightarrow \text{SCOP} > 3,13$)**

Classes énergétiques ECS uniquement

Classes d'efficacité énergétique pour le chauffage de l'eau, selon les profils de soutirage déclarés, η_{wh} en %

	3XS	XXS	XS	S	M	L	XL	XXL
A ⁺⁺⁺	$\eta_{wh} \geq 62$	$\eta_{wh} \geq 62$	$\eta_{wh} \geq 69$	$\eta_{wh} \geq 90$	$\eta_{wh} \geq 163$	$\eta_{wh} \geq 188$	$\eta_{wh} \geq 200$	$\eta_{wh} \geq 213$
A ⁺⁺	$53 \leq \eta_{wh} < 62$	$53 \leq \eta_{wh} < 62$	$61 \leq \eta_{wh} < 69$	$72 \leq \eta_{wh} < 90$	$130 \leq \eta_{wh} < 163$	$150 \leq \eta_{wh} < 188$	$160 \leq \eta_{wh} < 200$	$170 \leq \eta_{wh} < 213$
A ⁺	$44 \leq \eta_{wh} < 53$	$44 \leq \eta_{wh} < 53$	$53 \leq \eta_{wh} < 61$	$55 \leq \eta_{wh} < 72$	$100 \leq \eta_{wh} < 130$	$115 \leq \eta_{wh} < 150$	$123 \leq \eta_{wh} < 160$	$131 \leq \eta_{wh} < 170$
A	$35 \leq \eta_{wh} < 44$	$35 \leq \eta_{wh} < 44$	$38 \leq \eta_{wh} < 53$	$38 \leq \eta_{wh} < 55$	$65 \leq \eta_{wh} < 100$	$75 \leq \eta_{wh} < 115$	$80 \leq \eta_{wh} < 123$	$85 \leq \eta_{wh} < 131$
B	$32 \leq \eta_{wh} < 35$	$32 \leq \eta_{wh} < 35$	$35 \leq \eta_{wh} < 38$	$35 \leq \eta_{wh} < 38$	$39 \leq \eta_{wh} < 65$	$50 \leq \eta_{wh} < 75$	$55 \leq \eta_{wh} < 80$	$60 \leq \eta_{wh} < 85$
C	$29 \leq \eta_{wh} < 32$	$29 \leq \eta_{wh} < 32$	$32 \leq \eta_{wh} < 35$	$32 \leq \eta_{wh} < 35$	$36 \leq \eta_{wh} < 39$	$37 \leq \eta_{wh} < 50$	$38 \leq \eta_{wh} < 55$	$40 \leq \eta_{wh} < 60$
D	$26 \leq \eta_{wh} < 29$	$26 \leq \eta_{wh} < 29$	$29 \leq \eta_{wh} < 32$	$29 \leq \eta_{wh} < 32$	$33 \leq \eta_{wh} < 36$	$34 \leq \eta_{wh} < 37$	$35 \leq \eta_{wh} < 38$	$36 \leq \eta_{wh} < 40$
E	$22 \leq \eta_{wh} < 26$	$23 \leq \eta_{wh} < 26$	$26 \leq \eta_{wh} < 29$	$26 \leq \eta_{wh} < 29$	$30 \leq \eta_{wh} < 33$	$30 \leq \eta_{wh} < 34$	$30 \leq \eta_{wh} < 35$	$32 \leq \eta_{wh} < 36$
F	$19 \leq \eta_{wh} < 22$	$20 \leq \eta_{wh} < 23$	$23 \leq \eta_{wh} < 26$	$23 \leq \eta_{wh} < 26$	$27 \leq \eta_{wh} < 30$	$27 \leq \eta_{wh} < 30$	$27 \leq \eta_{wh} < 30$	$28 \leq \eta_{wh} < 32$
G	$\eta_{wh} < 19$	$\eta_{wh} < 20$	$\eta_{wh} < 23$	$\eta_{wh} < 23$	$\eta_{wh} < 27$	$\eta_{wh} < 27$	$\eta_{wh} < 27$	$\eta_{wh} < 28$

812/2013

Exigence Ecodesign

Profil de soutirage déclaré	3XS	XXS	XS	S	M	L	XL	XXL	3XL	4XL
Efficacité énergétique pour le chauffage de l'eau	32 %	32 %	32 %	32 %	36 %	37 %	37 %	37 %	37 %	38 %

814/2013

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT
PRÉSENTATION DES TECHNOLOGIES
SOURCES CHAUDES
EAU CHAUDE SANITAIRES
RÉGULATION
RÉVERSIBILITÉ ET SIMULTANÉITÉ

RÈGLEMENTATIONS ET SOUTIENS

- ▶ CoBrACE
- ▶ Label & Ecodesign
- ▶ **PEB**
- ▶ Autres Règlementations
- ▶ Soutiens financiers





La PEB, une réglementation à 3 volets



Source : Environnement.brussels



PEB Chauffage & Climatisation

- <https://environnement.brussels/thematiques/batiment-et-energie/obligations/la-performance-energetique-des-batiments-peb/chauffage-3>

Contrôles et entretien obligatoires pour votre système de chauffage et chauffe-eau

Votre situation	Quoi ?	Quand ?	Par qui ?
J'installe une pompe à chaleur $P_{th} > 12$ kW	Réception PEB (pas encore réalisable - logiciel en cours de développement)	Au plus tard un mois après la mise en service	Conseillèr-e chauffage PEB type 2 ou conseillèr-e climatisation PEB
Nous avons une pompe à chaleur $P_{th} > 12$ kW	Diagnostic chauffage PEB (pas encore réalisable - logiciel en cours de développement)	Tous les 5 ans	Conseillèr-e chauffage PEB type 2 ou conseillèr-e climatisation PEB



PEB Travaux

En cas de travaux soumis à permis d'urbanisme, la performance énergétique du bâtiment à atteindre (CEP [kWh/m²an]) est définie en fonction de certains critères :

- ▶ De la nature des travaux
 - Neuf,
 - Assimilé à du neuf,
 - Rénové lourdement ou simplement,
- ▶ De la compacité et du volume,
- ▶ De l'affectation (en non résidentiel),

⇒ <https://www.guidebatimentdurable.brussels/fr/vademecum2017-8-les-exigences-peb.html?IDC=10747>



Calcul du rendement de production :

► Selon :

- Annexe XVII (PER) – Méthode de calcul de Performance Energétique Non résidentielle
- Annexe XVIII (PEN) : Méthode de calcul de Performance Energétique Résidentielle

⇒ <https://environnement.brussels/thematiques/batiment-et-energie/obligations/la-performance-energetique-des-batiments-peb/travaux-p-5>

► Trois méthodes de calcul :

- Méthode simplifiée : des valeurs par défaut sont définies pour le rendement des PAC
- Calcul à l'aide de valeurs issues des règlements européens (10.2.3.3.2)
- Calcul non basé sur des données issues d'un règlement européen (10.2.3.3.3.)



91 **ENCODAGE LOGICIEL PEB 12.5 - CHAUFFAGE****Calcul du rendement de production : Méthode simplifiée**

Type de PAC	Rendement du générateur ($\eta_{\text{gen,heat}}$)
Air – Air	125 %
Autres	200%



92 **ENCODAGE LOGICIEL PEB 12.5 - CHAUFFAGE****Calcul du rendement de production à l'aide de valeurs issues des Règlements européens**

- ▶ n°206/2012,
- ▶ n°813/2013
- ▶ n°2016/2281

Puissance thermique nominale Durée d'utilisation

$$\text{Eq. 333 } \eta_{\text{gen, heat}} = \frac{P_{\text{nom}} \cdot t_{\text{on}}}{\boxed{\text{SCOP}_{\text{inst}}}} + \underbrace{P_{\text{TO}} \cdot t_{\text{TO}} + P_{\text{CCH}} \cdot t_{\text{CCH}} + P_{\text{off}} \cdot t_{\text{off}} + P_{\text{SB}} \cdot t_{\text{SB}}}_{\text{Consommations auxiliaires}}$$

Coefficient de performance de la PAC en mode actif en tenant compte des conditions de fonctionnement de l'installation

Consommations auxiliaires

- En mode arrêt par thermostat (TO)
- En mode résistance de carter active (CCH)
- En mode arrêt (OFF)
- En mode veille (SB)

⇒ **Toutes les durées sont fournies par les annexes PEB, les autres valeurs sont fournies par la fiche technique du matériel et établies selon les règlements européens.**



93 **ENCODAGE LOGICIEL PEB 12.5 - CHAUFFAGE****Calcul du rendement de production à l'aide de valeurs issues des Règlements européens**

$$\text{Eq. 334 } SCOP_{inst} = \underbrace{f_{\theta,em} \cdot f_{\theta,source} \cdot f_{\Delta\theta} \cdot f_{pumps} \cdot f_{AHU}}_{\text{Facteurs de correction pour tenir compte des différences entre les valeurs de conception et les conditions auxquelles le } SCOP_{on} \text{ a été déterminé}} \cdot \underbrace{f_{dim,gen,heat}}_{\text{Facteur pour tenir compte du dimensionnement} = 1} \cdot SCOP_{on}$$

- ▶ $SCOP_{ON}$: Coefficient de performance de la pompe à chaleur électrique en mode actif pour des conditions climatiques moyennes, dépendant de
 - Fluide caloporteur (air ou eau)
 - PAC haute ou basse température (35° ou 55°C)
 - Différence de température vis-à-vis de la référence
 - Cette valeur est communiquée directement par le fabricant
- ▶ Les facteurs de corrections sont établis par la méthode PEB.



94 **ENCODAGE LOGICIEL PEB 12.5 - CHAUFFAGE****Exemple****Unités**

Code Combi:

Unité extérieure:	ERGA06DV	Unité intérieure 1:	EHVH08S23D6V
Chaudière:		Unité intérieure 2:	

Conditions de mesure

Norme:	Demande de construction pour 2018 EN14511	Application de bâtiment à partir de 2018 Ecodesign lot 1&2
Température extérieure Chauffage:	2°CDB/1,1°CWB	
Température extérieure Rafraîchissement:	35°C	Climat moyen (température de conception -10 ° C)
Température de sortie d'eau: chauffage:	35°C	En Belgique, conditions climatiques moyennes
Température de sortie d'eau: refroidissement:	7°C	



95 **ENCODAGE LOGICIEL PEB 12.5 - CHAUFFAGE****Exemple**

Résultats	CC		
Type d'unité:	Air/eau	Pompe de circulation:	Marche humide
Rafrâchissement/Chauffer:	Chauffage seul	Pompe à énergie:	52
Blocage de la fonction rafraîchissement possible ?:	Non	*E.E.I:	
COP***:	3,75	SEER:	0,00
SCOP _{on} 35°C:	4,52	SCOP _{on} 55°C:	3,27
η_{sh} 35°C:	176,00	η_{sh} 55°C:	127,00
P _{rated} 35°C:	7,00	P _{rated} 55°C:	7,00
EER **:	0,00	Résistance électrique au point (support chauffage):	6,00
P _{ck} kW:	0,0000	P _{off} kW:	0,0100
P _{sb} kW:	0,0100	P _{to} kW:	0,0100
Puissance calorifique pompe à chaleur 2°CDB kW:	4,00	Différence de température entre le départ et le retour:	5°C
Puissance frigorifique pompe à chaleur kW:	0,00	Augmentation de la température du condenseur (35 °C):	5°C
Source de chaleur:	Uniquement l'air extérieur	Augmentation de la température du condenseur (55 °C):	8°C
Medium de transfert:	Eau	Condenseur d'augmentation de température pour 2018:	5°C



96 ENCODAGE LOGICIEL PEB 12.5 - CHAUFFAGE

Exemple

☒ Chauffage	☐ Eau chaude sanitaire	☐ Humidification	☐ Refroidissement	Récapitulatif des liaisons
---	---	---	--	----------------------------

Application d'EcoDesign chauffage

Puissance nominale > 400 kW : ☐ Oui ☒ Non

Pour les générateurs de ce type, la Réglementation PEB utilise les données venant du Règlement Ecodesign n°813/2013.

Puissance (nominale ou thermique) : kW

Valeur par défaut pour le rendement : ☐ Oui ☒ Non

Puissance OFF : kW

Puissance TO : kW

Puissance SB : kW

Puissance CCH : kW

La PAC est utilisée comme refroidissement actif : ☐ Oui ☒ Non

Température à laquelle est déterminé le $SCOP_{on}$ ou $SGUE_h$:

Encodage du $SCOP_{on}$:

η_s 55°C : %

Facteur de correction sur l'augmentation de température à travers le condenseur

Conditions test connue : ☒ Oui ☐ Non

Augmentation de la T° à travers le condenseur : °C



97 **ENCODAGE LOGICIEL PEB 12.5 - CHAUFFAGE****Exemple : valeurs par défaut vs encodage détaillé**

Paramètres de calcul		Valeur par défaut	Facteur de correction par défaut	Exemple de valeur précise	Exemple de facteur de correction (précis)
Température de départ de conception	$\theta_{\text{supply,design}}$	55°C	0,88 (chauffage de surface) (0.53 si radiateurs !!)	40°C	1,03
Différence de température de conception entre le départ et le retour	$\Delta\theta_{\text{design}}$	-	0,93	5°C	1,00
Augmentation de la température de l'eau du condenseur lors de la mesure	$\Delta\theta_{\text{test}}$			5°C	
Rapport des puissances électriques de la pompe de circulation et de la pompe à chaleur	$P_{\text{pumps}}/P_{\text{HP}}$	-	0,83	0,5kW/5kW	0,91
Facteur de correction total		0,88 x 0,93 x 0,83 = 0,68		1,03 x 1,00 x 0,91 = 0,94	



Cas des systèmes soumis aux règlements

- Les données nécessaires au calcul détaillé des rendements de production et de stockage sont :

- L'efficacité énergétique η_{WH} pour le chauffage de l'eau, en % ;
- le profil de soutirage déclaré ;
- si stockage, les pertes statiques S en W.

Rendement du
générateur : η_{gen}

Rendement du
stockage : η_{stor}

- Le rendement du générateur, pour une PAC, le vecteur = électricité

$$\eta_{gen,water} = (\eta_{WH} / 100) \cdot \underbrace{CC}_{\text{facteur de Conversion = 2,5}} \cdot \underbrace{f_{stock>gen,water} \cdot f_{dim,gen,water}}_{\text{influence du Stockage sur le rendement de prod.}} \cdot \underbrace{1}_{\text{Facteur de correction = 1}}$$

- **Les données ne sont pas toujours disponibles.** L'efficacité énergétique est déterminée en fonction du classement du système de production d'ECS.





AGRBC
21/12/07
Ann_XII
§10.3.3.3

Cas des systèmes soumis aux règlements

Si l'efficacité énergétique n'est pas disponible

- ▶ Exemple pour les systèmes soumis aux règlements 811 et 812/2013
 - Si la **classe d'efficacité énergétique est connue**, l'efficacité énergétique peut être prise comme l'efficacité énergétique minimale de la classe pour le profil de soutirage déclaré (voir slide suivant)
 - Si la classe d'efficacité énergétique OU le profil de soutirage ne sont pas connus, la **valeur par défaut η_{WH} de 22%**

Le générateur est soumis à EcoDesign et plus précisément au Règlement délégué n°811/2013.

Avec stockage de chaleur (pas instantané) :

☐ Oui ☐ Non

Configuration du stockage :

un ballon de stockage unique et commun aux 2 producteurs

Profil de soutirage déclaré connu :

☒ Oui ☐ Non

Profil :

L

Efficacité énergétique connue :

☐ Oui ☒ Non

Efficacité énergétique η_{wh}

75,00 %

PAC équipée d'une résistance électrique :

☒ Oui ☐ Non

Cette efficacité est-elle déterminée en intégrant la résistance électrique :

☐ Oui ☐ Non

Classe énergétique connue :

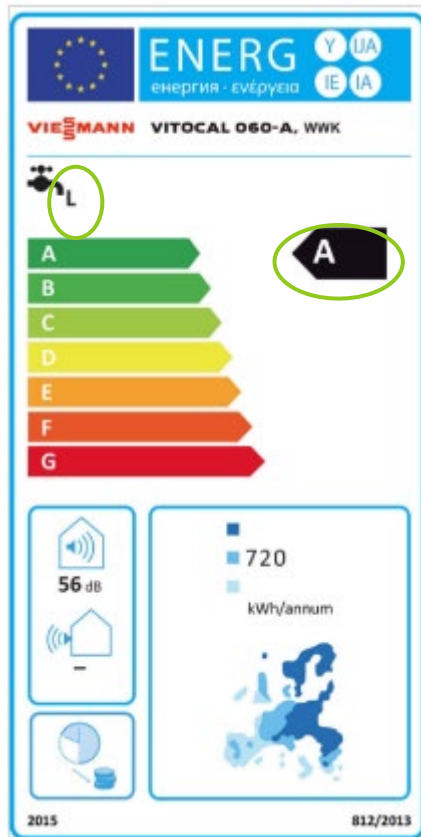
☒ Oui ☐ Non

Classe :

A



► Exemple



		Profil de soutirage déclaré							
		3XS	XXS	XS	S	M	L	XL	XXL
Classe d'efficacité énergétique	A+++	62	62	69	90	163	188	200	213
	A++	53	53	61	72	130	150	160	170
	A+	44	44	53	55	100	115	η_{WH}	131
	A	35	35	38	38	65	75	80	85
	B	32	32	35	35	45	50	55	60
	C	29	29	32	32	36	37	38	40
	D	26	26	29	29	33	34	35	36
	E	22	23	26	26	30	30	30	32
	F	19	20	23	23	27	27	27	28

Si l'efficacité énergétique pour le chauffage de l'eau n'est pas connue mais que la classe d'efficacité énergétique est connue, l'efficacité énergétique peut être prise comme l'efficacité énergétique minimale de la classe pour le profil de soutirage déclaré



PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT
PRÉSENTATION DES TECHNOLOGIES
SOURCES CHAUDES
EAU CHAUDE SANITAIRES
RÉGULATION
RÉVERSIBILITÉ ET SIMULTANÉITÉ

RÉGLEMENTATIONS ET SOUTIENS

- ▶ CoBrACE
- ▶ Label & Ecodesign
- ▶ PEB
- ▶ **Autres Réglementations**
- ▶ Soutiens financiers



Le guide d'exploitation des installations de réfrigération présente l'ensemble des obligations applicables en RBC :

- ▶ https://environnement.brussels/sites/default/files/user_files/gids_installation_de_refrigeration_fr.pdf
- ▶ en vue :
 - d'assurer la sécurité,
 - de préserver l'environnement et, en particulier, de lutter contre le réchauffement de la planète en limitant les émissions de gaz à effet de serre fluorés,
 - d'éviter la destruction de la couche d'ozone.
- ▶ se base principalement sur l'Arrêté du Gouvernement de la Région de Bruxelles-Capitale du 29 novembre 2018 relatif aux installations de réfrigération. L'arrêté impose notamment le respect de :
 - la réglementation européenne relative aux gaz à effet de serre fluorés : règlement UE n° 517/2014 et règlement UE n° 2015/2067,
 - la norme NBN EN 378/2016 ou toute norme équivalente.



Le guide d'exploitation des installations de réfrigération présente l'ensemble des obligations applicables en RBC :

- ▶ Règlementation acoustique
 - Arrêté du 21 novembre 2002 relatif à la lutte contre le **bruit de voisinage**
- ▶ Permis d'environnement



Bruit de voisinage

- ▶ <https://environnement.brussels/thematiques/bruit/cadre-legal/les-normes-de-bruit-de-voisinage-en-region-bruxelloise>
- ▶ Arrêté du 21 novembre 2002 relatif à la lutte contre le bruit de voisinage
 - ⇒ fixe les seuils de bruit maximum qui ne doivent pas être dépassés par toute source sonore audible (installation ou activité bruyante) dans le voisinage de cette source.
- ▶ Il existe des seuils différents en fonction de plusieurs éléments :
 - l'endroit où la gêne est perçue (intérieur ou extérieur, type de local),
 - l'heure de la journée et le jour de la semaine,
 - l'affectation urbanistique de la zone définie au Plan Régional d'Affectation du Sol (PRAS).
- ▶ Le principe général est que les seuils sont plus sévères dans les zones plus sensibles ou le soir et la nuit.
- ▶ Certains bruits sont exclus du champ d'application de cette législation, notamment :
 - les bruits en provenance d'installations classées s'ils sont perçus et mesurés à l'extérieur (exigences fixées par [l'AG de la RBC du 21/11/2002 relatif à la lutte contre le bruit et les vibrations générés par les installations classées](#))
 - Le transport, les activités scolaires, les tondeuses, etc.



Permis d'environnement

- ▶ Guide pratique : <https://environnement.brussels/le-permis-denvironnement/le-guide-pratique-du-permis-denvironnement>
- ▶ Liste des installations classées:
https://app.bruxellesenvironnement.be/listes/?nr_list=IC_LIST
- ▶ Encadré via les rubriques
 - 62-4A et 4B si forages (respectivement géothermie fermée ou ouverte)
 - 55 si pompes électriques > 100 kW
 - 132 si pompe à chaleur

Fonction	Critères déterminant le seuil pour la rubrique 132	Puissance absorbée / quantité de fluide	Rubrique	Classe
Installation de réfrigération, système de climatisation, pompes à chaleur	Puissance électrique absorbée/ circuit	> 10 kW	132 A	3
		>= 100 kW	132 B	2
Installation de réfrigération, système de climatisation, pompes à chaleur	Quantité de fluide par circuit	>= 5 tonnes équivalent CO2	132 A	3
		>= 3 kg de fluide frigorigène toxique ou inflammable	132 B	2
Tour de refroidissement humide		présence	132 C	2

Source : <https://environnement.brussels/>

NB : Puissance électrique = puissance électrique au compresseur de la machine frigo.



Au niveau de la Région de Bruxelles-Capitale, l'inventaire des gaz à effet de serre montre que

- ▶ La proportion des F-gaz (fluorinated greenhouse gases) atteint 8 % des émissions de gaz à effet de serre, contre 3% pour l'ensemble du territoire européen.
- ▶ Le secteur de la réfrigération est responsable de la grande majorité de ces émissions de F-gaz .
- ▶ Environ 97 % des fuites de gaz à effet de serres fluorés sont dues à des fuites de fluides frigorigènes de type HFC/HCFC.

⇒ **Potentiel d'économie important**

*GWP = « Global Warming Potential »



Réduction des émissions de gaz à effet de serre des installations frigorifiques

- ▶ Interdiction des CFC et HCFC ((hydro)chlorofluorocarbures). Depuis le 01 janvier 2015, il est interdit d'exploiter une installation de réfrigération classée contenant des HCFC (responsables de la destruction de la couche d'ozone)
- ▶ Réduction progressive de l'usage des HFC (F-gaz EU No [2024/573](#), mise en application le 11/03/2024) via l'allocation de quotas par la Commission européenne (tous usages compris)
- ▶ Usage d'HFC au GWP moins élevé Usage d'autres types de fluides :
 - CO₂, propane, propène, isobutane, ammoniac
 - HFO



Réduction des émissions de gas à effet de serre des installations frigorifiques

- ▶ Réduction des fuites à moins de 5% par an (consignées dans un registre).
 - Si fuites > 10 % 2 années de suite, installation doit être démantelée,
 - Possibilité de dérogation par permis d'environnement,
 - Via la mise en place de contrôles et entretiens périodiques,
 - Pour les installations contenant > 5 T_{éq} CO₂ l'étanchéité des équipements doit être régulièrement contrôlée par un technicien frigoriste qualifié selon une fréquence définie (entre 3 et 24 mois).



- ▶ De manière générale, l'intégration d'une unité extérieure de PAC nécessite un permis d'urbanisme.
- ▶ Les communes sont compétentes pour octroyer les permis d'urbanismes.

⇒ Toujours se renseigner au préalable au service urbanisme de votre commune

- ▶ L' "**arrêté minime importance**" prévoit des **dispenses de permis d'urbanisme** pour le placement, la suppression et l'enlèvement d'une pompe à chaleur au sol, sur un bien **non protégé**, moyennant le respect des **conditions suivantes** :
 - la pompe à chaleur a un volume capable **maximal d'un m³**;
 - elle est à une distance de **minimum trois mètres par rapport aux limites mitoyennes**;
 - elle est **non visible depuis l'espace public**.
- ▶ Des dispenses procédurales sont prévues pour le placement, la suppression et l'enlèvement d'une pompe à chaleur au sol, sur un bien protégé, moyennant le respect des mêmes conditions

Source : Vade-mecum « Les améliorations énergétiques et le permis d'urbanisme »



PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT
PRÉSENTATION DES TECHNOLOGIES
SOURCES CHAUDES
EAU CHAUDE SANITAIRES
RÉGULATION
RÉVERSIBILITÉ ET SIMULTANÉITÉ

RÈGLEMENTATIONS ET SOUTIENS

- ▶ PAC = SER ?
- ▶ Label & Ecodesign
- ▶ PAC dans la PEB
- ▶ Autres Règlementations
- ▶ **Soutien financier**





Primes 2024

J4 - Chauffage et chauffe-eau: Chauffage via pompe à chaleur

- ▶ PAC chauffage, mixte ou hybride
- ▶ Accessible aux particuliers (personne physique) et aux professionnels (personne morale).
- ▶ Tous bâtiments > 10 ans
- ▶ Dépend du type de PAC :
 - air/eau, eau/eau ou sol/eau
 - les PAC air/air et les PAC réversibles sont exclues.
- ▶ Conditions techniques :
 - PAC installée (ou certifiée) par un entrepreneur certifié RESCert
 - Performance minimale selon puissance thermique et régime de température
 - Placement des compteurs 'électrique et thermique)
- ▶ Dépend de la catégorie de revenu : il existe 3 catégories pour les particuliers et 1 pour les professionnels.
 - <https://renolution.brussels/fr/aidesfinancieres/j4-chauffage-et-chauffe-eau-chauffage-pompe-chaaleur>



Primes 2024

J9 - Chauffage et chauffe-eau: Chauffe-eau via pompe à chaleur

- ▶ PAC ECS uniquement
- ▶ Accessible aux particuliers (personne physique) ou aux professionnels (personne morale).
- ▶ Bâtiments résidentiels > 10 ans
- ▶ Dépend de la catégorie de revenu : il existe 3 catégories pour les particuliers et 1 pour les professionnels.
- <https://renolution.brussels/fr/aidesfinancieres/j9-chauffage-et-chauffe-eau-chauffe-eau-pompe-chaleur>





Primes 2024

► Voir aussi :

J5 - Chauffage et chauffe-eau: Radiateurs basse température

- <https://renolution.brussels/fr/aidesfinancieres/j5-chauffage-et-chauffe-eau-radiateurs-basse-temperature>

J6 - Chauffage et chauffe-eau: Régulation thermique

- <https://renolution.brussels/fr/aidesfinancieres/j6-chauffage-et-chauffe-eau-regulation-thermique>

► Déductions fiscales pour entreprises: investissements économiseurs d'énergie

- <https://environnement.brussels/pro/services-et-demandes/primes-et-aides-financieres/realisez-des-investissements-en-economie-denergie>





- ▶ Les solutions intégrant des PAC sont très nombreuses et peuvent s'adapter à de multiples configurations/besoins.
- ▶ Les performances et donc l'intérêt économique et environnemental d'une PAC varient fortement en fonction de la conception du système dans son ensemble.

⇒ **Nécessite une vision globale de l'installation**

- ▶ La performance PEB est fortement dépendante de la précision d'encodage.
- ▶ L'installation d'une PAC demande généralement de respecter certaines exigences fixées par la réglementation (PE, PU, ...)
- ▶ Des aides financières et outils d'aide sont disponibles pour promouvoir l'installation de ces systèmes.





Guide bâtiment durable

<https://www.guidebatimentdurable.brussels/>

- ▶ Thème Energie

[Dossier | Garantir l'efficience des installations de chauffage et ECS \(distribution et émission\)](#)

[Dossier | Optimiser la production et le stockage pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire](#)

[Dossier | Choisir les meilleurs modes de production de refroidissement renouvelable](#)

[Solution | Pompe à chaleur](#)

[Solution | Chauffe-eau solaire](#)



Sites internet

- ▶ Permis urbanisme et améliorations énergétiques :

<https://urbanisme.irisnet.be/publications/publications-1/2022/vade-mecum-les-ameliorations-energetiques-et-le.pdf>

- ▶ Permis d'environnement

<https://environnement.brussels/le-permis-denvironnement/le-guide-pratique-du-permis-denvironnement>

- ▶ Bruit de voisinage

<https://environnement.brussels/thematiques/bruit/cadre-legal/les-normes-de-bruit-de-voisinage-en-region-bruxelloise>

- ▶ Guide des installations de réfrigération

https://environnement.brussels/sites/default/files/user_files/gids_installation_de_refrigeration_fr.pdf

- ▶ Installations de réfrigération

<http://www.environnement.brussels/thematiques/batiment/la-gestion-de-mon-batiment/installations-de-refrigeration>

- ▶ Entreprises agréées technique du froid

http://app.bruxellesenvironnement.be/listes/?nr_list=1

- ▶ Permis d'environnement et installations classées

<http://www.environnement.brussels/le-permis-denvironnement>





Sites internet

- ▶ Réglementation PEB chauffage et climatisation
<https://environnement.brussels/thematiques/batiment/la-performance-energetique-des-batiments-peb/chauffage-et-climatisation-peb>
- ▶ Labels
811/2013 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32013R0811>
812/2013 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32013R0812>
- ▶ EcoDesign
813/2013
<https://eurlex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32013R0813&qid=1712323294680>
814/2013 <https://eur-lex.europa.eu/legal-ontent/EN/TXT/?uri=CELEX:32013R0814>
- ▶ Réglementation F-Gas (V3)
<https://www.batirama.com/article/70457-le-nouveau-reglement-europeen-f-gaz-hate-la-fin-du-r32-et-favorise-les-fluides-naturels.html>
- ▶ Buildwise
[PEB – Chauffage par pompe à chaleur](#)
[Pompes à chaleur en rénovation](#)
- ▶ Outils de calcul
[PowerHeat](#)
[HeatLoad - Déperditions calorifiques](#)
[Évaluation géothermique \(SmartGeotherm\)](#)





Formations et séminaires

- ▶ Inscrivez-vous aux formations organisées par Bruxelles Environnement
<https://environnement.brussels/formationsbatidurable>
Et notamment, en lien avec cet exposé :
- ▶ Energies renouvelables
- ▶ Acoustique et mise en œuvre
- ▶ Energie : principes fondamentaux
- ▶ Chauffage et eau chaude sanitaire : conception
- ▶ Régulation des bâtiments
- ▶ Chauffage et ECS

- ▶ Consultez tous les supports [gratuitement](#) !
 - ▶ [Supports des séminaires Bâtiment durable \(2023\) | Professionnel - Bruxelles Environnement](#)



Pierre GUSTIN

Ingénieur projet
écorce sa

☎ + 32 4 226 91 60

✉ info@ecorce.be



MERCI POUR VOTRE ATTENTION

