



POMPES À CHALEUR OPPORTUNITÉS & CONTRAINTES EN MILIEU URBAIN

Mise en contexte

Les particularités de la pompe à chaleur

17 novembre 2023

Nicolas CUVELIER
Facilitateur Bâtiment Durable





PRÉSENTATION DE L'ORATEUR

Diplômé en 2012 d'un master en Biologie des Organismes et Écologie, Nicolas Cuvelier a commencé sa carrière dans l'enseignement des sciences. Depuis 2019, il travaille chez Deplasse et Associés, un bureau d'études et de conseils actif dans la transition énergétique et environnementale des bâtiments et infrastructures. Fort de cette expérience, Nicolas travaille également au Facilitateur Bâtiment Durable, un service offert par Bruxelles Environnement afin de soutenir les professionnels du bâtiment sur des questions techniques à toutes les étapes de leurs projets. Il y occupe le rôle de spécialiste Utilisation Rationnelle de l'Energie.

Pour plus d'informations : <https://environnement.brussels/pro/services-et-demandes/conseils-et-accompagnement/facilitateur-batiment-durable-et-facilitateur-copropriete>

Après un rappel du fonctionnement et des différents types de pompes à chaleur, cette présentation dressera un état des lieux sur leur pertinence dans le contexte actuel d'adaptation aux changements climatiques ; réduction des émissions de CO₂, production de chaleur renouvelable, mais également enjeux liés aux réfrigérants. Différents moyens concrets d'en optimiser la performance seront ensuite abordés : isolation, choix des émetteurs, système d'appoint... Cette conférence fera également le point sur les coûts des pompes à chaleur ainsi que sur la réglementation liée à leur installation.



OBJECTIFS DE LA PRÉSENTATION

- Cerner le fonctionnement des PAC ainsi que les facteurs l'influençant
- Situer l'importance des PAC dans la décarbonation du secteur bâtiment
- Comprendre les situations (dé)favorables pour la mise en place d'une PAC
- Identifier les principaux freins et leviers pour les PAC en milieu urbain



PLAN DE L'EXPOSÉ

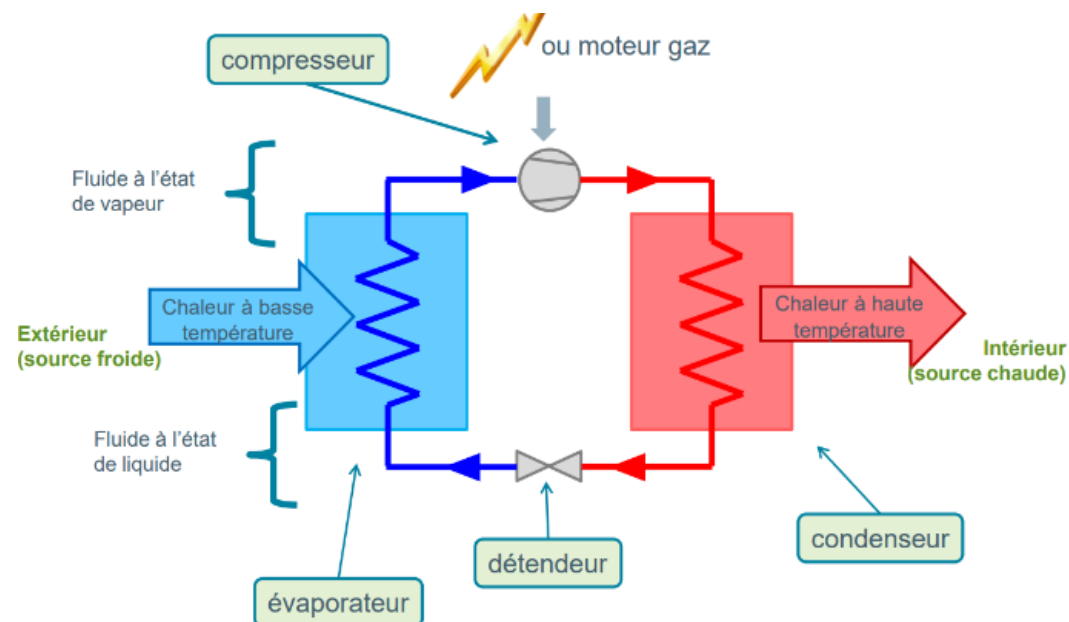
- I. Pompe à chaleur – Késako ?
- II. Pompe à chaleur – Intérêt
- III. Pompe à chaleur – Renouvelable ?
- IV. Pompe à chaleur – CO2
- V. Pompe à chaleur – Coûts
- VI. Pompe à chaleur – Optimisation du fonctionnement
- VII. Pompe à chaleur - Réglementations
- VIII. Rénovation de chaufferie



I. POMPE À CHALEUR – KÉSAKO ?

Une PAC – Wat is dat ?

- ▶ Un **fluide** réfrigérant qui circule dans un circuit fermé ;
- ▶ Un **évaporateur** qui permet au fluide réfrigérant de capter l'énergie thermique depuis un milieu appelé la source froide ;
- ▶ Un **condenseur** qui permet au fluide réfrigérant de relâcher de l'énergie thermique dans un milieu appelé la source chaude ;
- ▶ Un **compresseur** et un **détendeur** qui permettent de faire passer le fluide réfrigérant d'une basse pression à une haute pression et inversement. Ce changement d'état du fluide dans des conditions optimales permet de réaliser un transfert de la chaleur efficace.



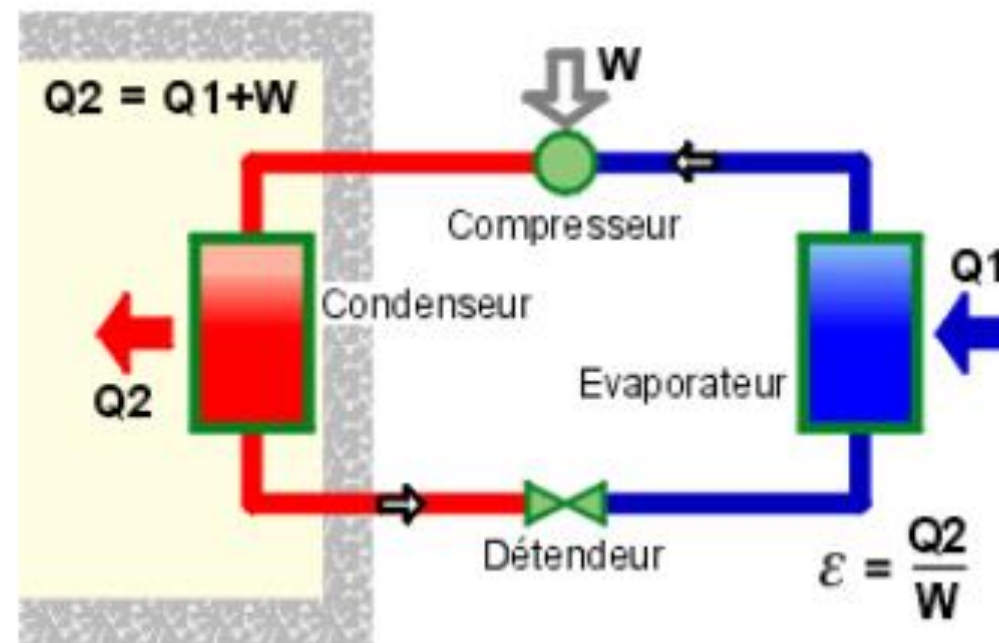
Fonctionnement du cycle thermodynamique d'une pompe à chaleur
(source : Formation Bâtiment Durable : systèmes d'énergie renouvelable :
conception et régulation)



I. POMPE À CHALEUR – KÉSAKO ?

Coefficient de performance

- ▶ $\text{COP} = \frac{\text{chaleur fournie (Q2)}}{\text{travail du compresseur (W)}}$
- ▶ $\text{COP} = \frac{Q2}{(Q2-Q1)}$
- ▶ Seuil de rentabilité : $\text{COP} > 3$



$\varepsilon = \text{chaleur au condenseur/travail du compresseur} = Q2 / W.$

Chaleur, travail, et COP d'une PAC
(Source : Énergie plus)



I. POMPE À CHALEUR – KÉSAKO ?

Les différents types de PAC

En fonction de la source froide à laquelle elles puisent leur énergie thermique

- Les pompes à chaleur aérothermiques
- Les pompes à chaleur hydrauliques
- Les pompes à chaleur géothermiques

En fonction de la source chaude à laquelle elles transmettent leur énergie thermique

- Les pompes à chaleur qui utilisent l'air comme source chaude
- Les pompes à chaleur qui utilisent l'eau comme source chaude

En fonction de la présence ou non d'un échangeur de chaleur complémentaire

- Les pompes à chaleur avec comme fluide caloporteur uniquement le réfrigérant dites «à détente directe »
- Les pompes à chaleur avec comme fluide caloporteur de l'eau ou de l'eau glycolée dans un circuit complémentaire dites «à détente indirecte»

En fonction de leur application

- Les PAC non réversibles
- Les PAC réversibles
- Les PAC qui ne produisent que de l'ECS

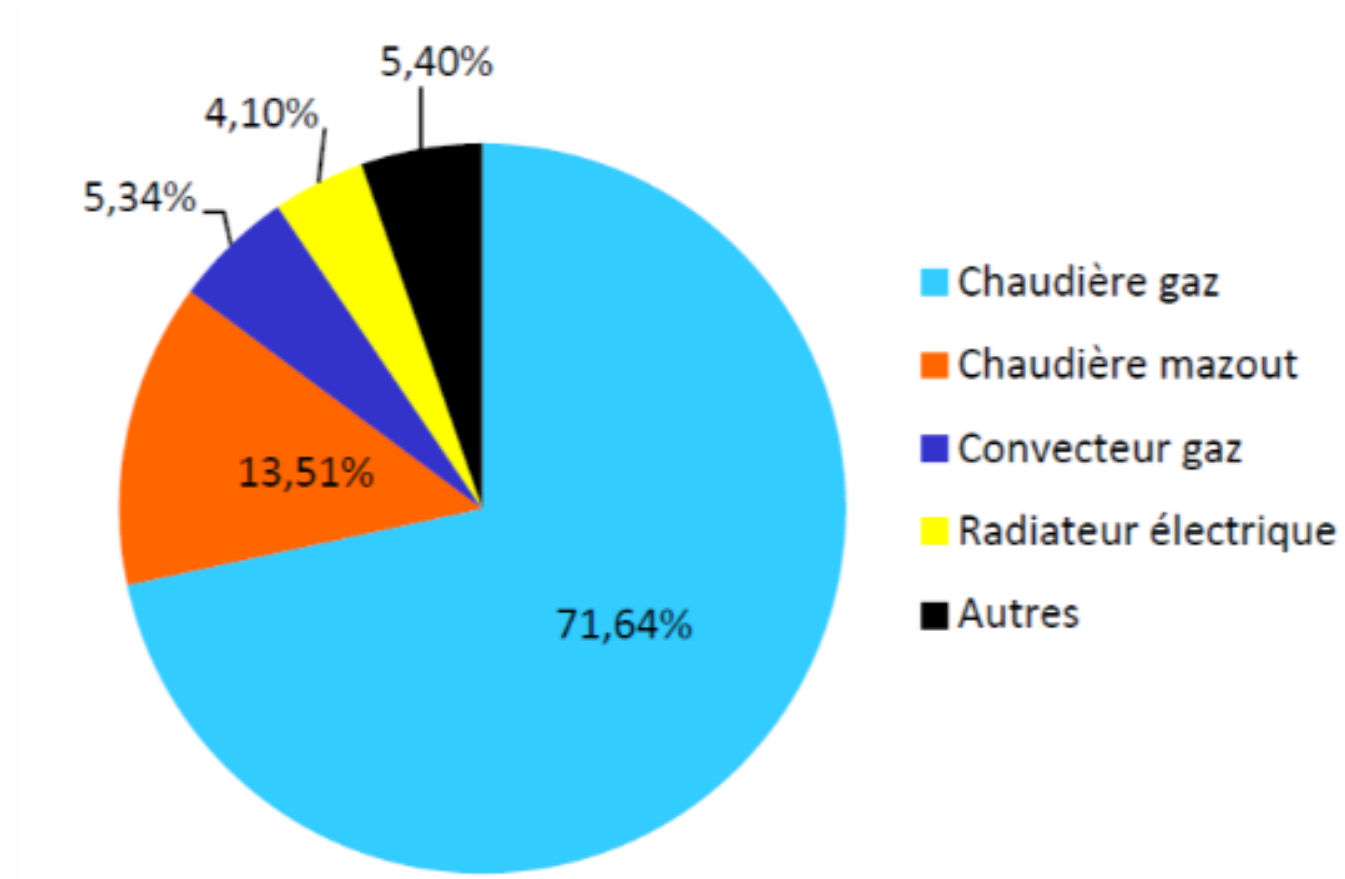
En fonction de leur vecteur énergétique

- Les pompes à chaleur qui utilisent l'électricité (> 90% du marché)
- Les pompes à chaleur qui utilisent le gaz



II. POMPE À CHALEUR - INTÉRÊT

Pourquoi parle-t-on de plus en plus des PAC ?



*Parc bruxellois des installations de chauffage en 2020
(Source : Rapport statistique certification 2020)*

Les installations fossiles sont prépondérantes



II. POMPE À CHALEUR - INTÉRÊT

Pourquoi parle-t-on de plus en plus des PAC ?

Vecteurs énergétiques

Charbon

- Interdiction de placer des nouveaux appareils à partir de 1^{er} septembre 2021

Mazout

- Interdiction de placer des nouveaux appareils à partir du 1^{er} juin 2025
- Fin du gaz pour les bâtiments publics à partir de 2030
- Fin totale du mazout à partir de 2035

Objectifs européens 2030-2050

- 2030 : Part des énergies renouvelables d'au moins 30 %
- 2030 : Diminution de 40 % des émissions des gaz à effet de serre
- 2050 : Neutralité climatique

Contribution bruxelloise

- Réduction de 21 % de la consommation finale
- Production de 1.250 GWh à partir de sources renouvelables
- Diminution de 40 % des émissions des gaz à effet de serre



II. POMPE À CHALEUR - INTÉRÊT

Intérêt des PAC

- ▶ Réduction des émissions de CO₂
- ▶ Production de chaud et de froid
- ▶ Production de chaleur renouvelable



II. POMPE À CHALEUR - FREINS

Freins au déploiement des PAC

- ▶ Bâti bruxellois
- ▶ Réseau électrique bruxellois
- ▶ Pénurie de professionnels qualifiés
- ▶ Besoins en ECS



III. PAC – RENOUVELABLE ?

Energie renouvelable

- ▶ Energie produite à partir de sources « renouvelables »
 - Energie éolienne
 - Energie solaire : solaire thermique et solaire photovoltaïque
 - Energie géothermique
 - **Energie ambiante**
 - Energie marémotrice et houlomotrice ou autres énergies marines
 - Energie hydroélectrique
 - Biomasse
 - Gaz de décharge
 - Gaz des stations d'épuration d'eaux usées
 - Biogaz

$$E_{RES} = Q_{utilisable} * (1 - 1/FPS)$$

*Formule de calcul pour la part d'énergie SER d'une PAC
(Source : Directive 2009/28/CE)*

Note : une PAC n'est considérée comme renouvelable uniquement si son FPS >2,36



IV. POMPE À CHALEUR – CO₂

Emission de CO₂

- ▶ Chaudière gaz :
 - Emission de CO₂ par kWh gaz : 202 g CO₂/kWh
 - Emission de CO₂ par kWh chaleur : 224 g CO₂/kWh

- ▶ PAC air-eau :
 - Emission de CO₂ par kWh électrique : 220 g CO₂/kWh
 - Emission de CO₂ par kWh chaleur : 77 g CO₂/kWh

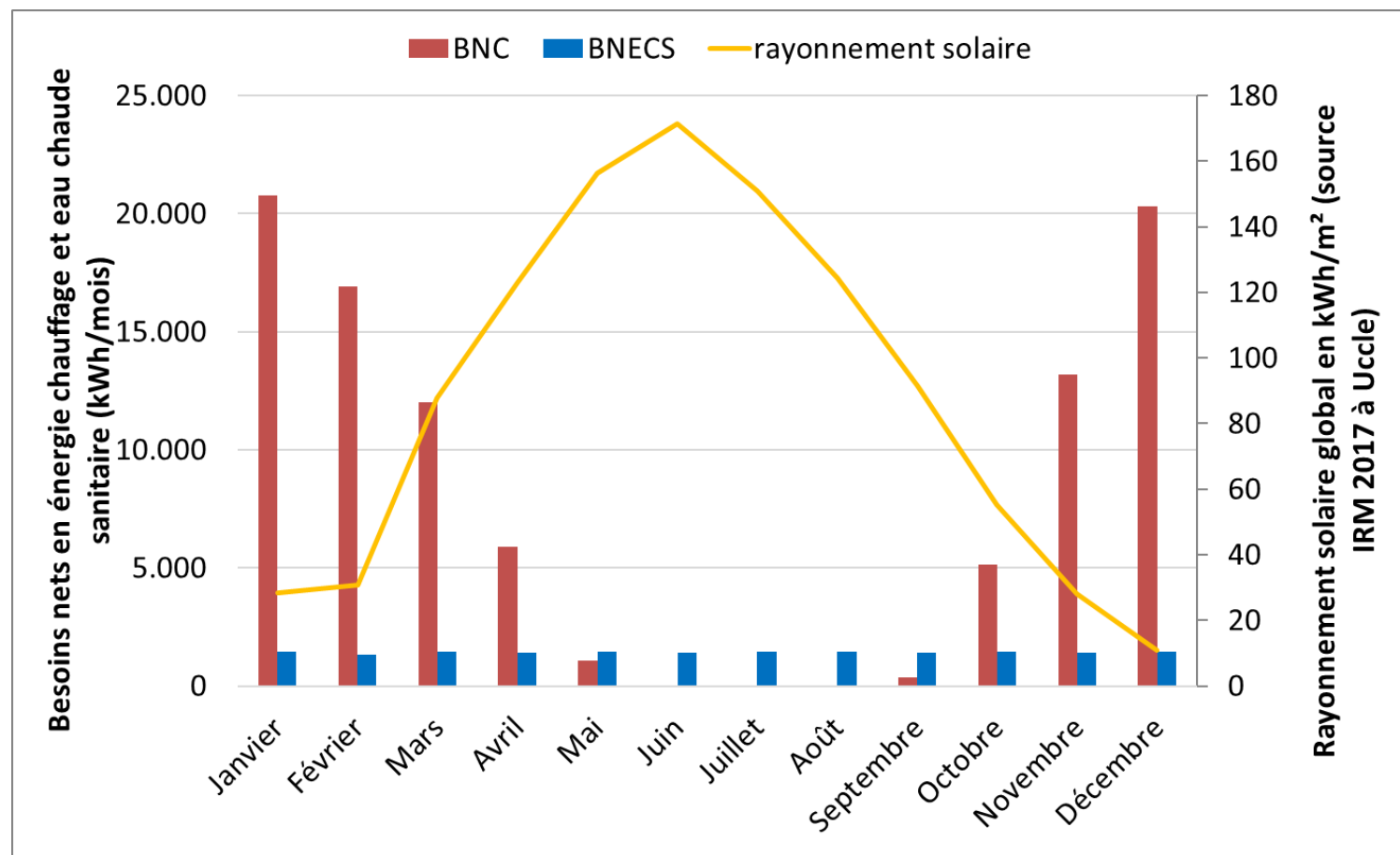
- ▶ Chauffage électrique :
 - Emission de CO₂ par kWh électrique : 220 g CO₂/kWh
 - Emission de CO₂ par kWh chaleur : 244 g CO₂/kWh



IV. POMPE À CHALEUR – CO₂

Emission de CO₂

- ▶ Fluide frigo :
 - GWP/PRG R410A : 2.100
 - 1 kg de R410A => 2.100 kg de CO₂ ou **1.040 m³ de gaz brûlés.**
- ▶ PV ? Simultanéité besoin/production



Évolution du besoin net de chauffage, du besoin net d'eau chaude sanitaire et du rayonnement solaire au cours de l'année



IV. POMPE À CHALEUR – CO₂

Emission de CO₂ : impact des réfrigérants

- ▶ Le réfrigérant présente souvent un potentiel de réchauffement planétaire (GWP - Global Warming Potential) important

Exemple : le R410A : GWP = 2100

1 kg de R410A réchauffera autant la planète que **2,1 T** de CO₂

→ une PAC avec 15 kg de R410A

= autant d'impact que 200.000 km en voiture

- ▶ Réglementation F-Gas : Objectif : réduire l'impact CO₂ des réfrigérants



V. POMPE À CHALEUR - COUTS

Coût de l'énergie

- ▶ Gaz : ~ 8 c€/kWh
- ▶ Électricité : ~ 33 c€/kWh

Investissement pour une maison de 120 m²

- ▶ PAC air-eau : entre 7.000 et 11.000 euros
- ▶ Chaudière gaz : entre 4.000 et 5.000 euros

Durée de vie :

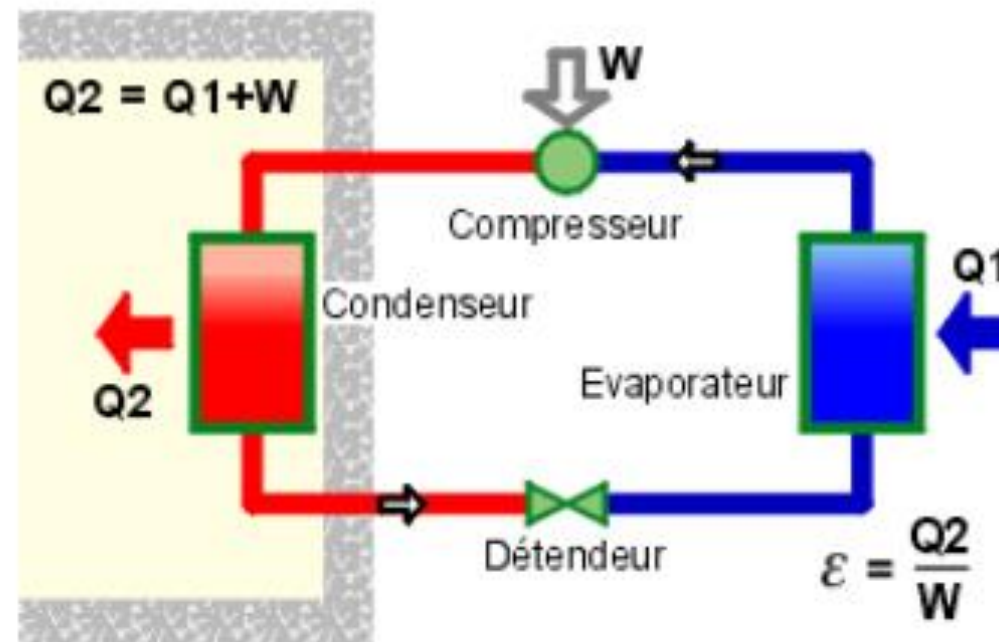
- ▶ PAC air-eau : 15 ans
- ▶ Chaudière gaz : 20 ans



VI. POMPE À CHALEUR – OPTIMISATION DU FONCTIONNEMENT

Rappel : Coefficient de performance

- ▶ COP = chaleur fournie (Q_2) / travail du compresseur (W)
- ▶ $COP = Q_2 / (Q_2 - Q_1)$
- ▶ Seuil de rentabilité : $COP > 3$



$\varepsilon = \text{chaleur au condenseur} / \text{travail du compresseur} = Q_2 / W.$

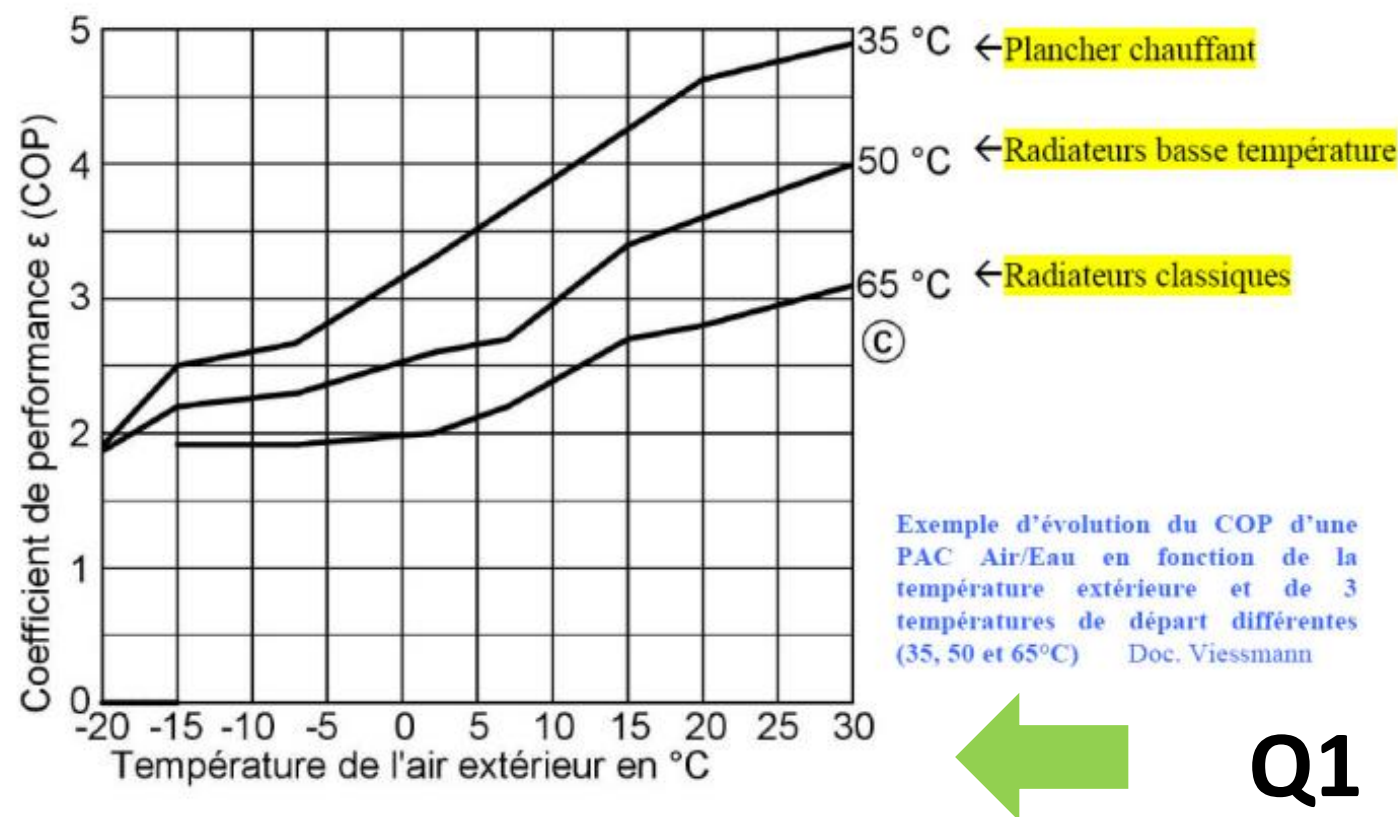
Chaleur, travail, et COP d'une PAC
(Source : Énergie plus)



VI. POMPE À CHALEUR – OPTIMISATION DU FONCTIONNEMENT

Comment optimiser le COP

- ▶ Diminuer Q_2
- ▶ Augmenter Q_1



Évolution du COP selon la température d'émission et la température extérieure (Source : Viessman)



VI. POMPE À CHALEUR – OPTIMISATION DU FONCTIONNEMENT

Comment optimiser le COP

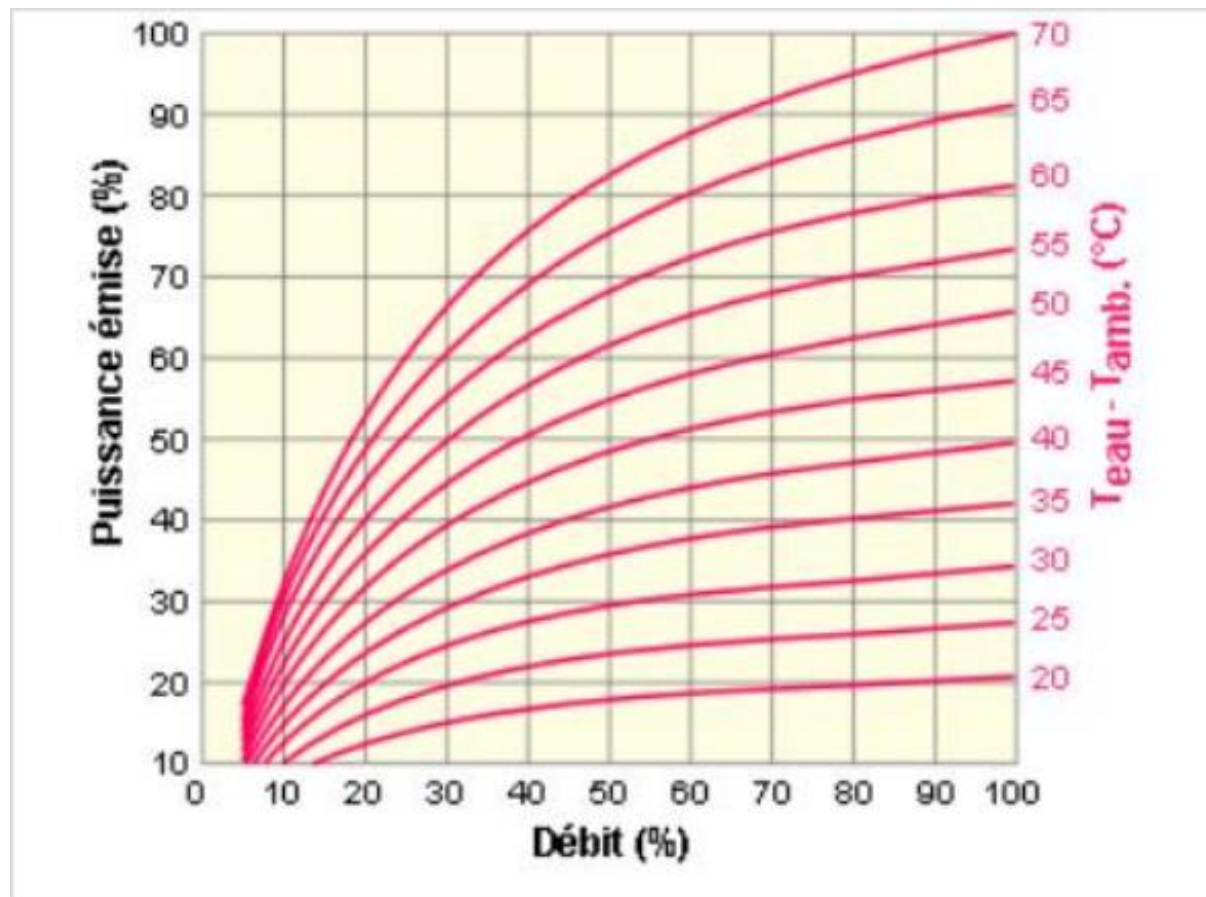
- ▶ Diminuer Q_2 = réduire la température de distribution
 - Diminuer les besoins de chaleur : Isolation
 - Utiliser des émetteurs adaptés
 - Dimensionnement
 - Types d'émetteurs



VI. POMPE À CHALEUR – OPTIMISATION DU FONCTIONNEMENT

Comment optimiser le COP

- ▶ Diminuer Q_2
 - Isolation !
 - Surdimensionner les émetteurs de chaleur.



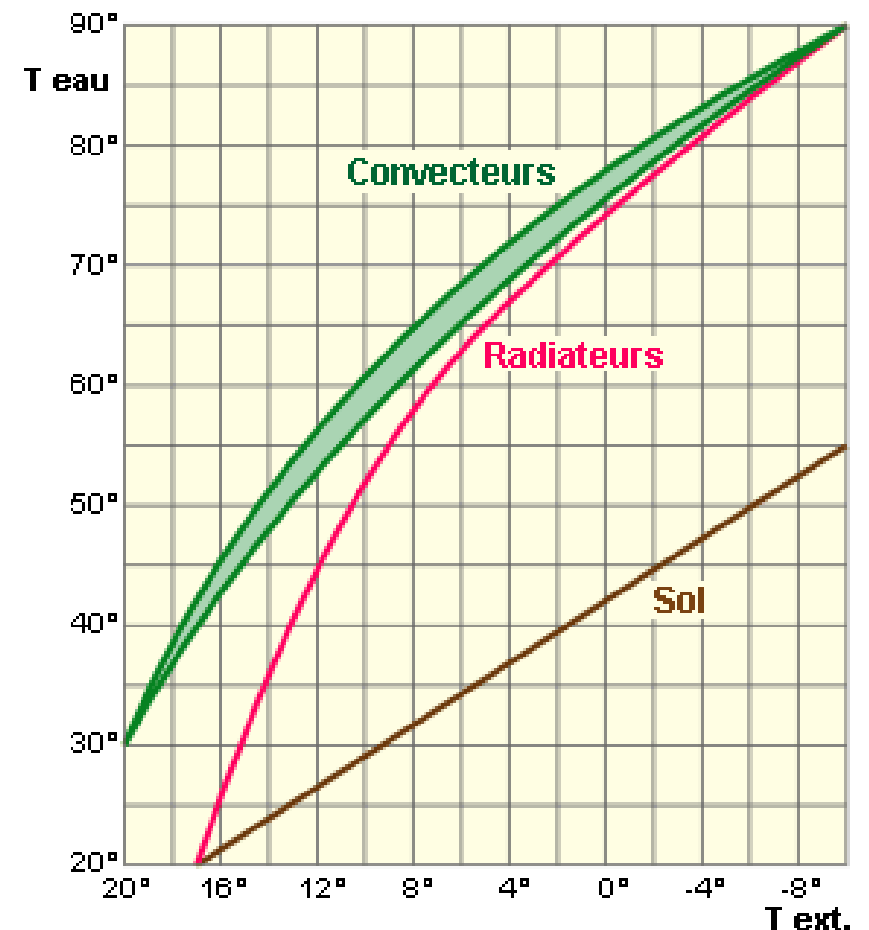
Puissance des émetteurs en fonction de la température d'émission et du débit (Source : Énergie Plus)



VI. POMPE À CHALEUR – OPTIMISATION DU FONCTIONNEMENT

Comment optimiser le COP

- ▶ Diminuer Q_2 – importance des émetteurs
- ▶ Basse $T^\circ \rightarrow$ besoin d'émetteurs adaptés
- Chauffage rayonnant (chauffage sol, radiateur...)
=> **Go !**
- Chauffage convectif (convecteur, radiateur à ailettes...)
=> **à réfléchir!**



Courbe de chauffe type pour des convecteurs, des radiateurs et du chauffage par le sol.
(Source : Énergie Plus)



VI. POMPE À CHALEUR – OPTIMISATION DU FONCTIONNEMENT

Comment optimiser le COP

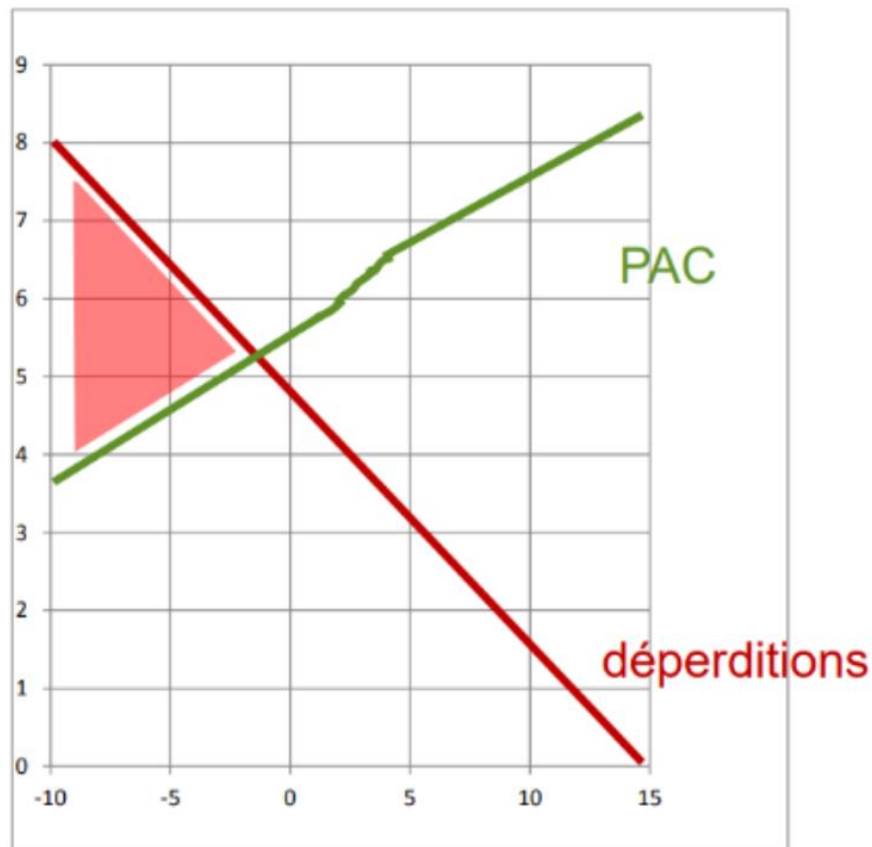
- ▶ Augmenter Q_1
 - Utiliser une source froide « plus chaude » : éviter que la source de chaleur soit basse lorsque le besoin de chaleur est haut (hiver)
 - Éviter air extérieur
 - Géothermie
 - Riothermie
 - Chaleur fatale
 - Réseau de chaleur
 - Utiliser un appoint pour les périodes où la température extérieure est (très) basse



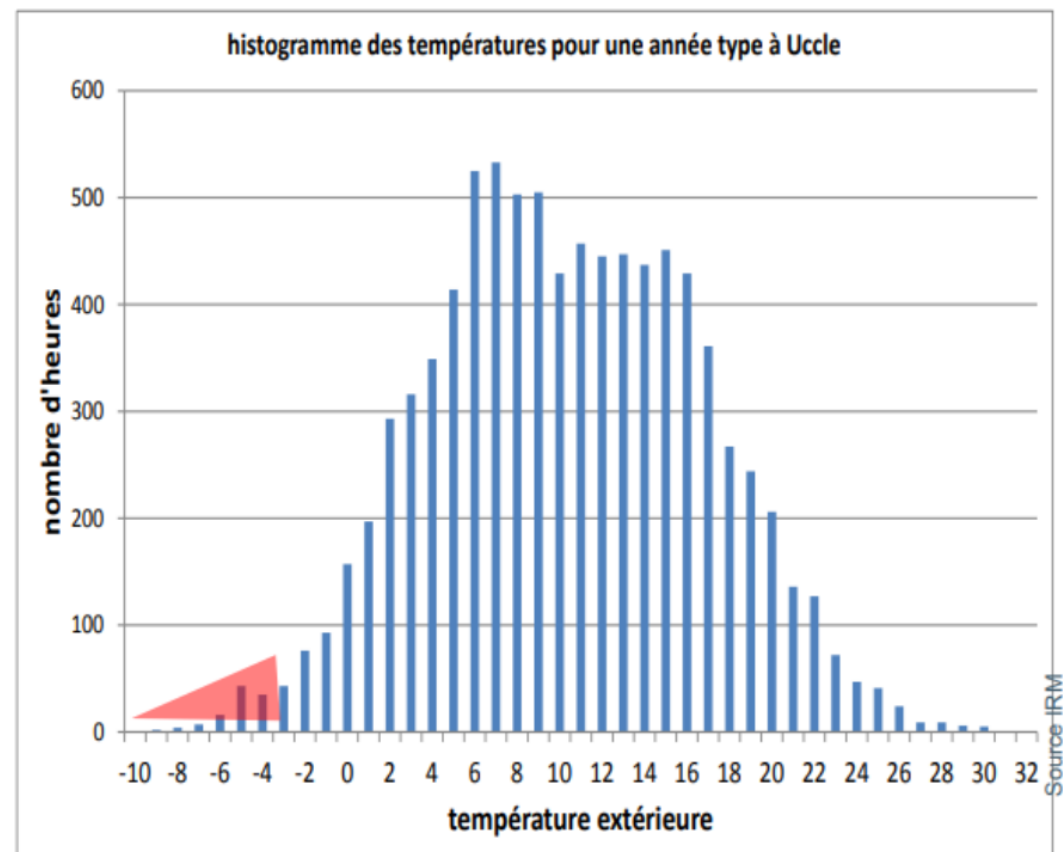
VI. POMPE À CHALEUR – OPTIMISATION DU FONCTIONNEMENT

Comment optimiser le COP

- Augmenter Q_1
 - Prévoir un système d'appoint



Puissance thermique d'une PAC et déperditions de chaleur en fonction de la température extérieure
(Source : formation bâtiment durable-SER-les pompes à chaleur)



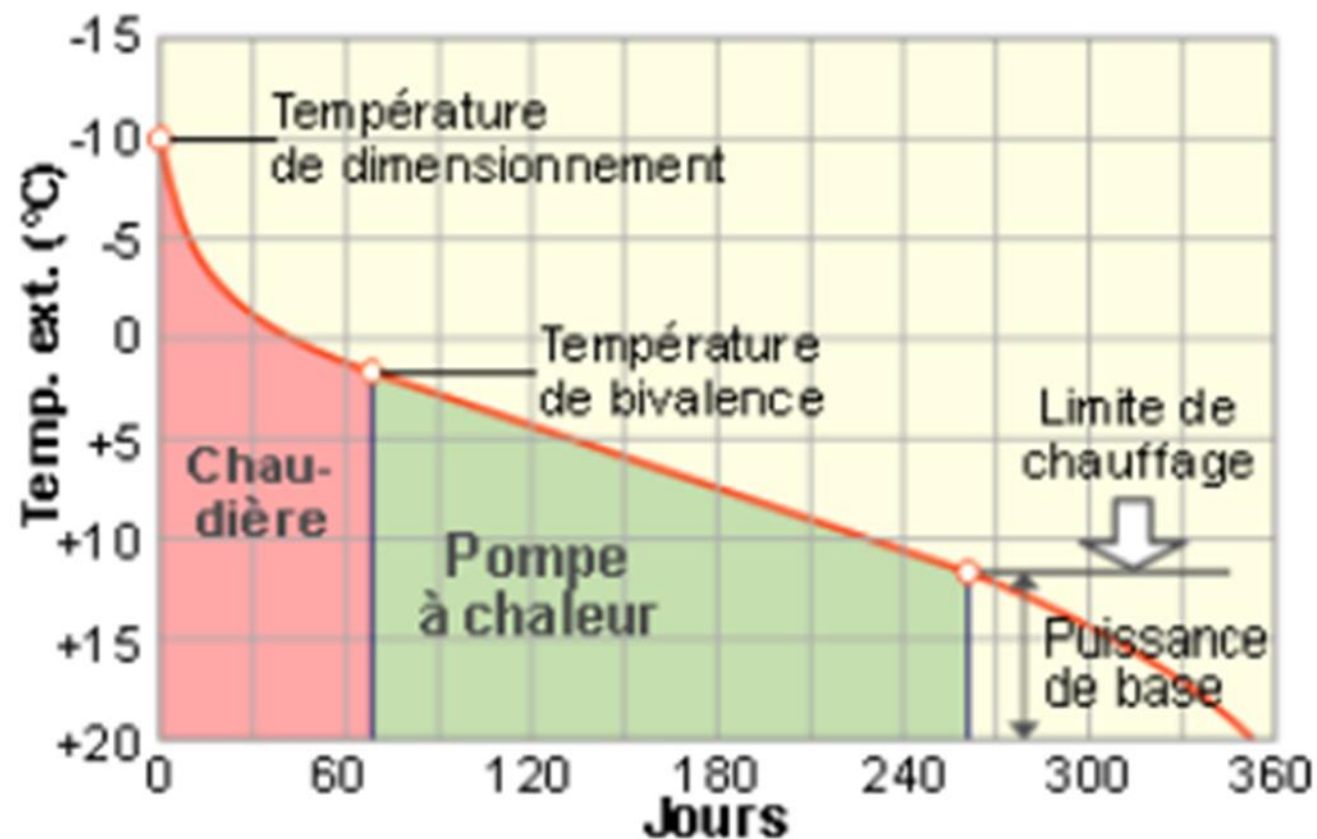
Cumul des températures rencontrées à Uccle sur un an
(Source : formation bâtiment durable-SER-les pompes à chaleur)



VI. POMPE À CHALEUR – OPTIMISATION DU FONCTIONNEMENT

Comment optimiser le COP

- Augmenter Q_1
 - Prévoir un système d'appoint



*Fonctionnement d'un système bivalent : générateur
de chaleur selon la température extérieure
(Source : Énergie Plus)*



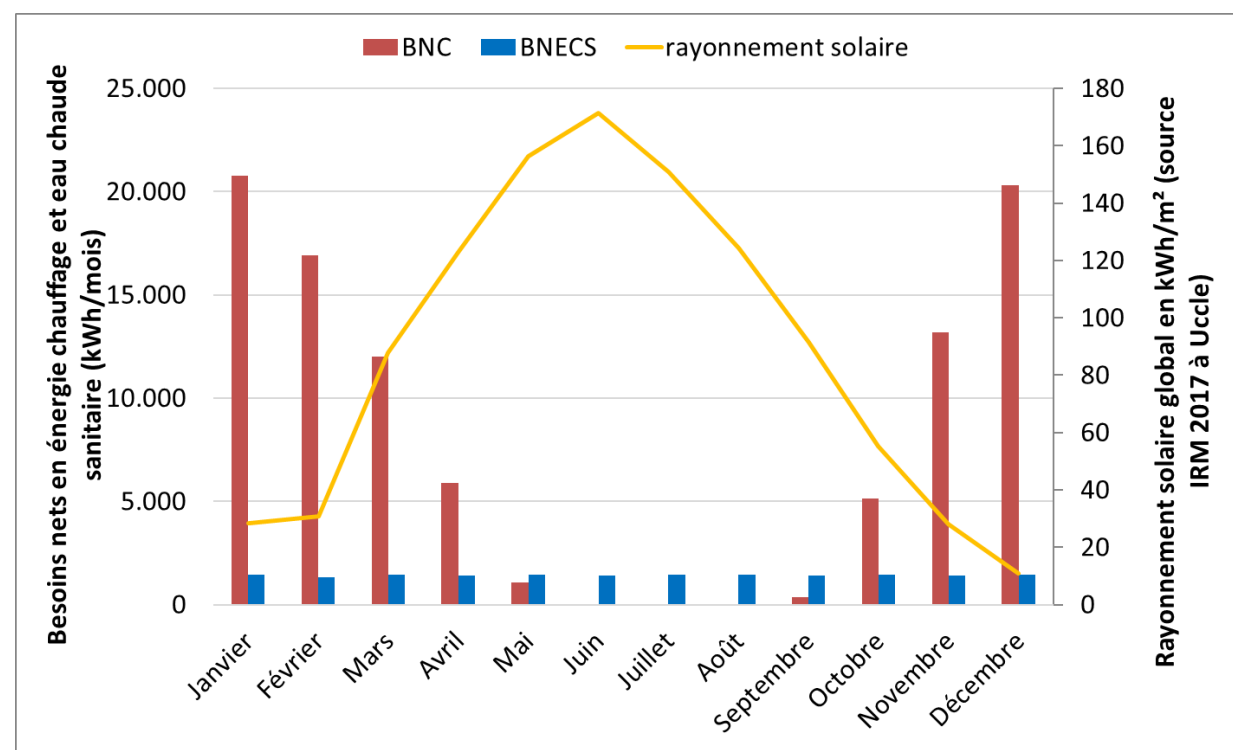
VI. POMPE À CHALEUR – OPTIMISATION DES COÛTS

Primes

- ▶ J4 : chauffage via PAC
 - résidentiel
 - tertiaire
- ▶ J5 : radiateurs basse température
- ▶ J9 : chauffe-eau via PAC

Coût de l'énergie

- ▶ Production locale plutôt qu'achat sur le réseau
- ▶ Mais simultanéité faible !





VII. POMPE À CHALEUR - RÉGLEMENTATIONS

Fonctionnement et entretien : PEB installations techniques chauffage et climatisation

- ▶ Exigences de fonctionnement
- ▶ Exigences de sécurité
- ▶ Actes réglementaires (réception, contrôle périodique)

Réglementation liée au réfrigérant : F-gaz

Réglementation liée au bruit :

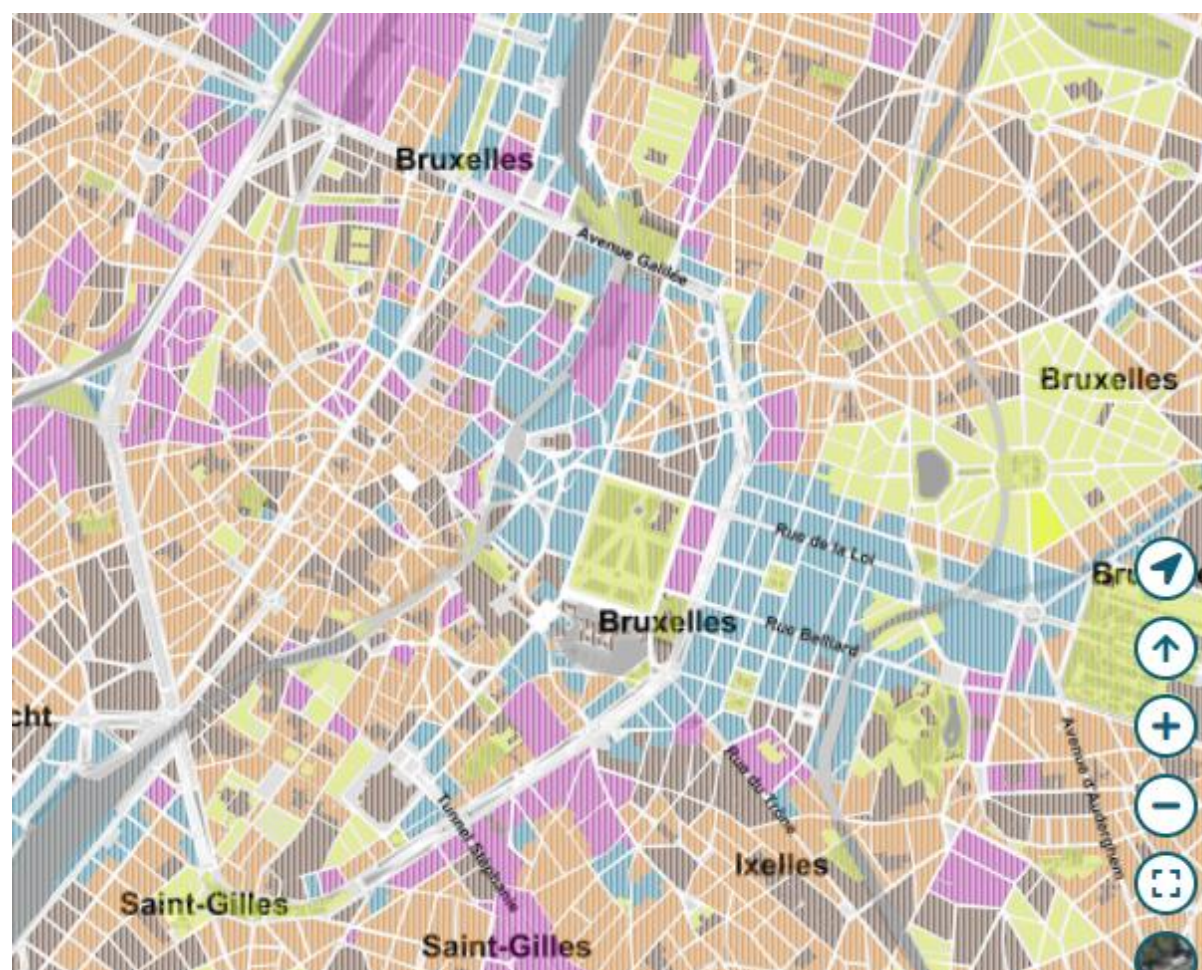
- ▶ AGRBC relatif à la lutte contre le bruit de voisinage
- ▶ AGRBC relatif à la lutte contre le bruit et les vibrations générés par les installations classées

Réglementation liée à l'Urbanisme : RRU



VII. POMPE À CHALEUR - RÉGLEMENTATIONS

Bruit



Cartes liées

- Antennes émettrices

Liens

- 🔗 [Les normes](#)
- 🔗 [Les obligations](#)

Légende

- zone 1 : zones d'habitation à prédominance résidentielle, zones vertes, zones de haute valeur biologique, zones de parc, zones de cimetière, zones forestières
- zone 2 : zones d'habitation
- zone 3 : zones mixtes, zones de sports ou de loisirs en plein air, zones agricoles, zones d'équipements d'intérêt collectif ou de service public
- zone 4 : zones d'intérêt régional, zones de forte mixité, zones d'entreprises en milieu urbain
- zone 5 : zones administratives
- zone 6 : zones d'industries urbaines, zones de transport et d'activité portuaire, zones de chemin de fer, zones d'intérêt régional à aménagement différé

Zones de bruit PRAS
(Source : Bruxelles Environnement)



VII. POMPE À CHALEUR - RÉGLEMENTATIONS

Bruit

	Lu.	Ma	Me	Je.	Ve.	Sa.	Di./ fériés
7h à 19h	A	A	A	A	A	B	C
19h à 22h	B	B	B	B	B	C	C
22h à 7h	C	C	C	C	C	C	C

Valeurs limites s'appliquant au bruit extérieur spécifique (L_{sp}) généré par des installations classées

Sources : les AGRBC du 21/11/2002 relatif au bruit des installations classées et au bruit de voisinage

	Bruit perçu à l'extérieur en limite des parcelles												
Périodes	A			B				C					
Zones	L _{sp}	N	S _{pte}	L _{sp}		N	S _{pte}	L _{sp}		N		S _{pte}	
Zone 1	42	20	72	36	42 ¹	10	66	30		5		60	
Zone 2	45	20	72	39	45 ¹	10	66	33	39 ^{1,2}	5	10 ²	60	66 ²
Zone 3	48	30	78	42	48 ¹	20	72	36	42 ^{1,2}	10	20 ²	66	72 ²
Zone 4	51	30	84	45	51 ¹	20	78	39	45 ^{1,2}	10	20 ²	72	78 ²
Zone 5	54	30	90	48	54 ¹	20	84	42	48 ^{1,2}	10	20 ²	78	84 ²
Zone 6	60	30	90	54	60 ¹	20	84	48	54 ^{1,2}	10	20 ²	78	84 ²

¹ Limites applicables aux magasins pour la vente au détail

² Limites applicables aux installations dont le fonctionnement ne peut pas être interrompu (ventilation, installations frigorifiques, etc.)

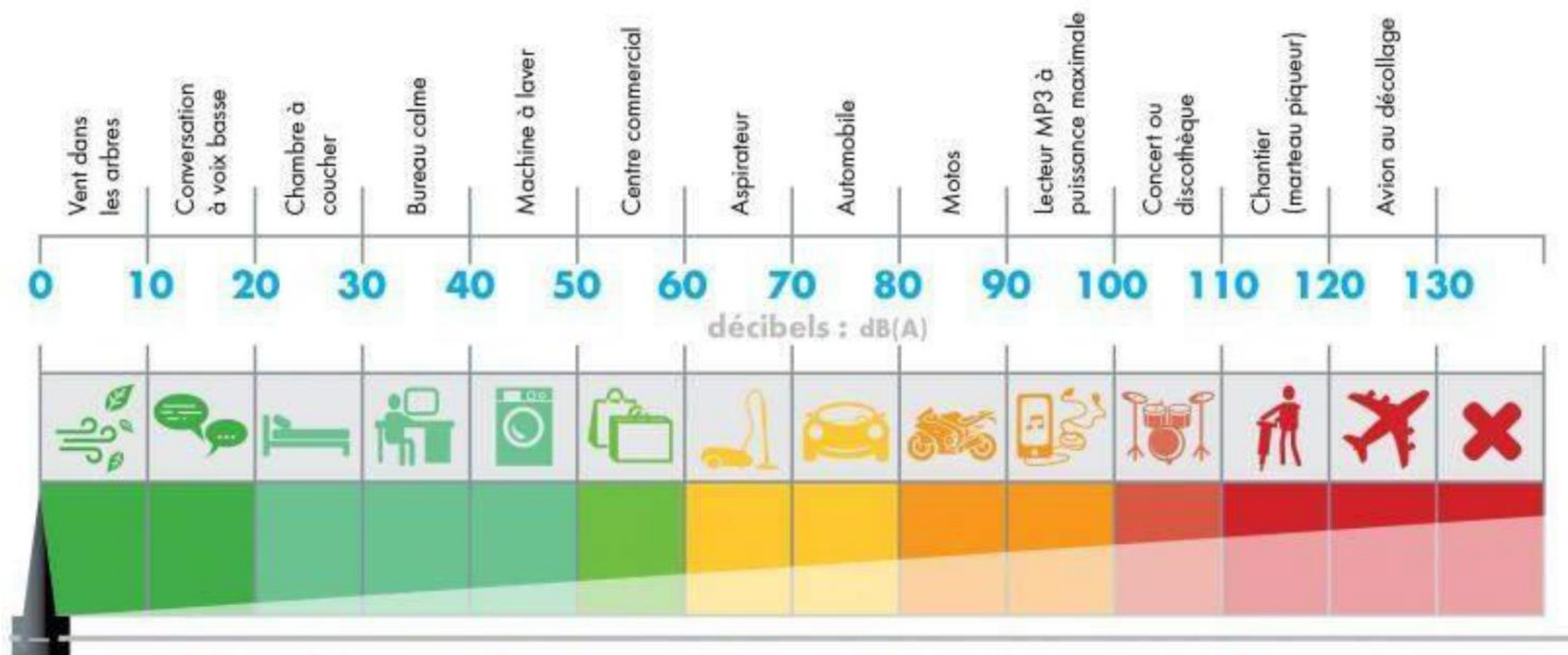
Valeurs limite d'émission de bruit selon la zone et l'heure
(Source : Bruxelles Environnement)



VII. POMPE À CHALEUR - BRUIT

Bruit – PAC aérothermiques

- Majorité de zone 2 : zone d'habitation
- Valeur à respecter en limite de parcelle : 33 dB(A)
- Puissance acoustique d'une PAC : entre 50 et 65 dB



Valeurs de pression acoustique (dBa) de bruits du quotidien
(source : Knaufinsulation)



VII. POMPE À CHALEUR - BRUIT

Bruit – PAC aérothermiques

- ▶ Bien choisir sa PAC
 - Puissance acoustique (50 dB --> 65 dBa)
 - Dimensionnement
 - Modulation de puissance

- ▶ Implantation :

Puissance sonore PAC (Lw)	50 dB(a)	55 dB(a)	60 dB(a)	65 dB(a)
Distance minimale nécessaire pour obtenir une pression acoustique $\leq 33\text{dB(a)}$	3,8 m	6,7 m	11,9 m	21,2 m

*Distance minimale nécessaire pour obtenir une PA < 33db selon la puissance sonore d'une PAC
(Source : Bruxelles Environnement)*

- Distance suffisante
- Possibilité de caisson acoustique, mais :
 - Coûts ++
 - Peut affecter le COP



VII. POMPE À CHALEUR - BRUIT

Bruit



*Unités extérieures en façade
(Source Pexels)*



VII. POMPE À CHALEUR - RRU

Règlement Régional d'Urbanisme (RRU)

- ▶ Interdit en façade avant.
- ▶ Ne peut pas être visible depuis la voie publique.



Unités extérieures en façade (Source : Cache Climatisation)



VII. POMPE À CHALEUR – FGAZ

Emission de CO₂ : F-Gaz

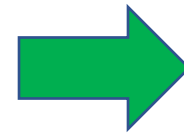
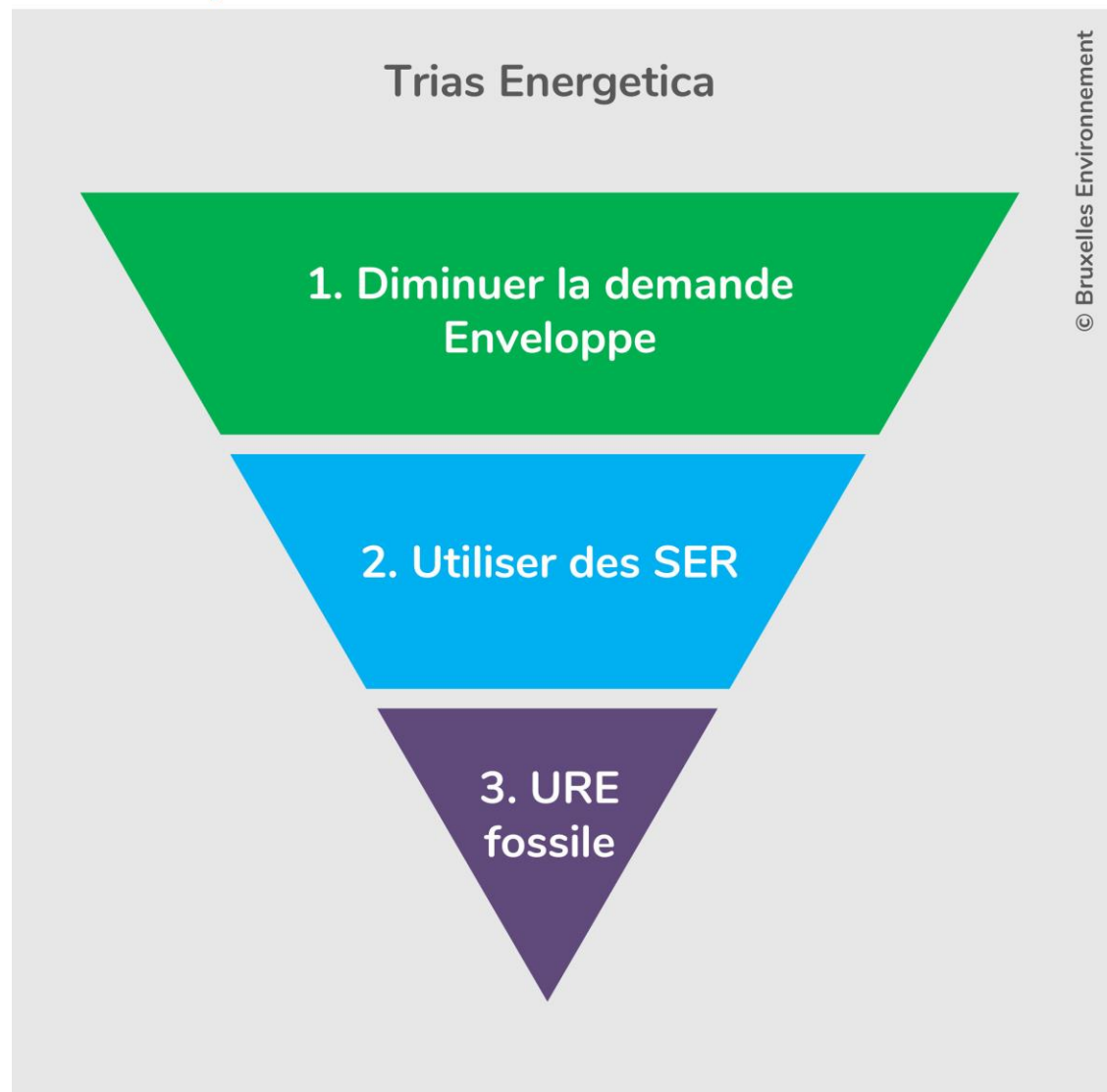
- ▶ Objectif : réduire l'impact CO₂ des réfrigérants
 - Interdiction progressive des fluides à haut GWP
 - Selon application
 - Selon GWP
 - Mesures pour éviter les fuites en fonctionnement
 - Détecteurs
 - Contrôles
 - Mesure pour éviter les pertes en fin de vie



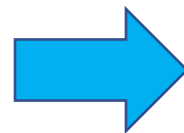
VIII. RÉNOVATION DE CHAUFFERIE

Réflexion à tenir

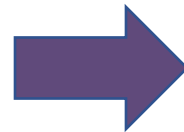
LOGIQUE DU TRIAS ENERGETICA



Isolation



PAC, panneaux solaires, ...



Chaudière gaz !

Trias Energetica (Source : Guide bâtiment durable)



VIII. RÉNOVATION DE CHAUFFERIE

Différentes configurations

- ▶ Bâtiment neuf, fortement isolé, chauffage sol :
 - PAC + photovoltaïques

- ▶ Bâtiment ancien, moyennement isolé, radiateurs classiques :
 - chauffage hybride : chaudière gaz + PAC

- ▶ Bâtiment ancien, faiblement isolé, convecteurs :
 - Chaudière gaz
 - Planifier l'isolation du bâtiment + remplacement des émetteurs

CE QU'IL FAUT RETENIR DE L'EXPOSÉ

- Les PAC représentent un grand potentiel pour le passage à une chaleur renouvelable/décarbonée
- Le COP est fortement influencé par les choix de source froide, par les caractéristiques de source chaude et par le dimensionnement
- La rentabilité d'une PAC est fortement influencée par le COP
- Des contraintes existent en milieu urbain (bruit, urbanisme, réseau électrique, ...)
- En rénovation, il est possible de passer à une PAC sous réserve de quelques adaptations



OUTILS, SITES INTERNET, SOURCES

- Facilitateur Bâtiment durable

Réponses à des questionnements techniques à toutes les étapes d'un projet

- Choix des technologies
- Adaptation du bâtiment (enveloppe, émetteurs, ...)
- Quicksan énergétique
- Réglementation

- Guide bâtiment durable

- Plan Régional d'Affectation du sol

- Rapport vecteurs – Synthèse des études relatives au chauffage au moyen de PAC

https://document.environnement.brussels/opac_css/index.php?lvl=more_results&autolevel1=1



CONTACT

Nicolas Cuvelier

Facilitator Duurzame Gebouwen

Contact informatie

Tel : **0800 85 775**

E-mail : **facilitator@leefmilieu.brussels**

Leefmilieu Brussel

www.leefmilieu.brussels

