

## **La pompe à chaleur, du potentiel à Bruxelles !**

Points d'attention, de la conception à l'utilisation

**4 mars 2016**



PAC BATEX avenue des grands prix



**IBGE INSTITUT BRUXELLOIS POUR LA GESTION DE L'ENVIRONNEMENT | BIM BRUSSELS INSTITUUT VOOR MILIEUBEHEER**

Site de Tour & Taxis · Avenue du Port 86C/3000 · 1000 Bruxelles  
T +32 2 775 75 11 · F +32 2 775 76 11  
info@environnement.brussels · www.environnement.brussels  
N° d'entreprise 0236.916.956

Site van Thurn & Taxis · Havenlaan 86C/3000 · 1000 Brussel  
T +32 2 775 75 11 · F +32 2 775 76 11  
info@leefmilieu.brussels · www.leefmilieu.brussels  
Ondernemingsnr. 0236.916.956







# La pompe à chaleur, du potentiel à Bruxelles !

Séminaire bilingue ( traduction simultanée)

Bruxelles, 4 mars 2016

Auditoire du siège de Bruxelles Environnement  
Tour et Taxis – Avenue du Port 86c/3000, 1000 Bruxelles



8 :30	Accueil des participants
9 :15	<b>Quelles technologies pour quelles situations à Bruxelles?</b> Panel circonstancié des solutions PAC actuelles et futures <i>Raphaël CAPART (FR), Service du Facilitateur Bâtiment Durable- Spécialiste PAC</i>
10 :00	<b>Les pompes à chaleur dans le contexte bruxellois</b> Cadre réglementaire et soutien public <i>Julien DONEUX (FR), Bruxelles Environnement</i>
10 :25	<b>Les pompes à chaleur en rénovation de logements</b> Technologies et retour d'expérience <i>Dr Ir Eric Dumont (FR), Université de Mons</i>
11 :00	<i>Pause-café et discussions avec les orateurs</i>
11 :25	<b>Conception et dimensionnement de systèmes de PAC</b> Points d'attention et outils, sur base d'exemples <i>Fabrice Deryn (FR), Matriciel</i>
12 :10	<b>La pompe à chaleur du bâtiment de Bruxelles Environnement (BEL) : un exemple à suivre</b> Projet de stockage énergétique par puits ouverts <i>Michel Hermans (FR), Facility Manager Bruxelles Environnement</i>
12 :45	<i>Discussion autour d'un lunch et visite des installations techniques du BEL</i>
14 :00	<b>Les pompes à chaleur, une technologie en évolution qui convainc !</b> Stratégies de communication avec les futurs clients de systèmes de PAC et retour d'expérience sur des projets utilisant des technologies innovantes (DRV et CO2) <i>Etienne de Montigny (FR), DTC</i>
14 :30	<b>Intégration, régulation et association des pompes à chaleur avec les autres énergies renouvelables</b> Points d'attention sur base d'exemples <i>Raphaël CAPART (FR), Service du Facilitateur Bâtiment Durable- Spécialiste PAC</i>
15 :00	<i>Pause-café et discussions avec les orateurs</i>
15 :30	<b>Optimisation d'une PAC dans les bureaux de 3E</b> Importance du monitoring, suivi et optimisation <i>Clara Verhelst (NL), 3E</i>
16 :10	Conclusions de la journée
16 :30	<b>Fin du séminaire</b>



**«La pompe à chaleur, du potentiel à Bruxelles !» - 04/03/2016**

**“De warmtepomp, een niet te onderschatten potentieel in Brussel !” - 04/03/2016**

---

## **Orateurs/Sprekers**

### **Monsieur Raphaël CAPART**

Service du Facilitateur Bâtiment Durable  
Spécialiste Pompe à Chaleur  
1000 BRUXELLES  
Email [facilitateur@environnement.irisnet.be](mailto:facilitateur@environnement.irisnet.be)

### **Monsieur Julien DONEUX**

Bruxelles Environnement (IBGE) - Leefmilieu Brussel (BIM)  
Avenue du Port 86c /3000  
1000 BRUXELLES  
Email [jdoneux@environnement.brussels](mailto:jdoneux@environnement.brussels)

### **Monsieur Eric DUMONT**

Umons  
Thermodynamique, Physique mathématique  
Boulevard Dolez 31  
7000 MONS  
Email [eric.dumont@umons.ac.be](mailto:eric.dumont@umons.ac.be)

### **Monsieur Fabrice DERNY**

Responsable de Projets Senior  
MATRICIEL sa  
Place de l'Université 25 Etage 2  
1348 LOUVAIN-LA-NEUVE  
Email [derny@matriciel.be](mailto:derny@matriciel.be)

### **Monsieur Michel HERMANS**

Facility Manager  
Bruxelles Environnement (IBGE) - Leefmilieu Brussel (BIM)  
Avenue du Port 86c /3000  
1000 BRUXELLES  
Email [mhermans@environnement.brussels](mailto:mhermans@environnement.brussels)

### **Monsieur Etienne DE MONTIGNY**

Administrateur Délégué  
Distribution de Techniques Climatiques sa  
Rue Terre à Briques 37  
7503 FROYENNES  
Email [etienne.demontigny@dtc.be](mailto:etienne.demontigny@dtc.be)

### **Mevrouw Clara VERHELST**

Programme Manager  
3E  
Quai à la Chaux 6  
1000 BRUXELLES  
Email [clra.verhelst@3e.eu](mailto:clra.verhelst@3e.eu)

### **Commanditaire / Odrachtgever**

Bruxelles Environnement (IBGE) - Leefmilieu Brussel (BIM)  
**Monsieur Pierre MASSON**  
Site Tours et Taxis  
Avenue du Port 86c/3000  
1000 BRUXELLES/BRUSSEL  
@ : [pmasson@environnement.irisnet.be](mailto:pmasson@environnement.irisnet.be)

### **Encadrement – Omkadering**

CERAA asbl – Cenergie bvba – ICEDD asbl  
**Madame Cécile ROUSSELOT**  
Rue Ernest Allardstraat 21  
1000 BRUXELLES/BRUSSEL  
@ : [cecile.rousselot@ceraa.be](mailto:cecile.rousselot@ceraa.be)



---

# Quelles technologies pour quelles situations à Bruxelles?

## Panel circonstancié des solutions PAC actuelles et futures

---

**Raphaël CAPART**  
**Service du Facilitateur Bâtiment Durable- Spécialiste PAC**

En guise d'introduction à la journée, un très bref rappel des éléments essentiels d'une pompe à chaleur et de son principe de fonctionnement sera fait et on en déduira l'importance du choix des sources froides et chaudes qui est déterminant pour les performances.

Les différents types de PAC envisageables à Bruxelles seront présentés sous l'angle de la source froide : la disponibilité, l'accessibilité ainsi que les contraintes liées à chacune d'elle sont exposées dans le contexte bruxellois. Y seront abordées des technologies relativement classiques comme l'aérothermie et la géothermie mais on mentionne également des technologies moins répandues comme l'exploitation des eaux de surface (canal), de la chaleur des égouts (riothermie) ou encore la récupération de la chaleur fatale de l'industrie.

Ensuite, les points d'attention concernant les sources chaudes, c'est-à-dire les émetteurs de chaleur, sont abordés, tant pour des applications résidentielles que tertiaires. On abordera également brièvement la production d'eau chaude sanitaire au moyen de PAC.

Enfin, on rappellera l'importance de la régulation et du monitoring afin de garantir de bonnes performances.

Cette présentation a entre autres pour but de pouvoir situer les différents exemples qui seront abordés au cours de la journée dans un contexte global.



# La pompe à chaleur, du potentiel à Bruxelles !

4 mars 2016

Bruxelles Environnement

**Quelles technologies pour quelles situations à Bruxelles?  
Panel circonstancié des solutions PAC actuelles et futures**

Raphaël CAPART

Service du Facilitateur Bâtiment Durable- Spécialiste PAC



**BRUXELLES ENVIRONNEMENT**  
IBGE - INSTITUT BRUXELLOIS POUR LA GESTION DE L'ENVIRONNEMENT

## Plan de l'exposé

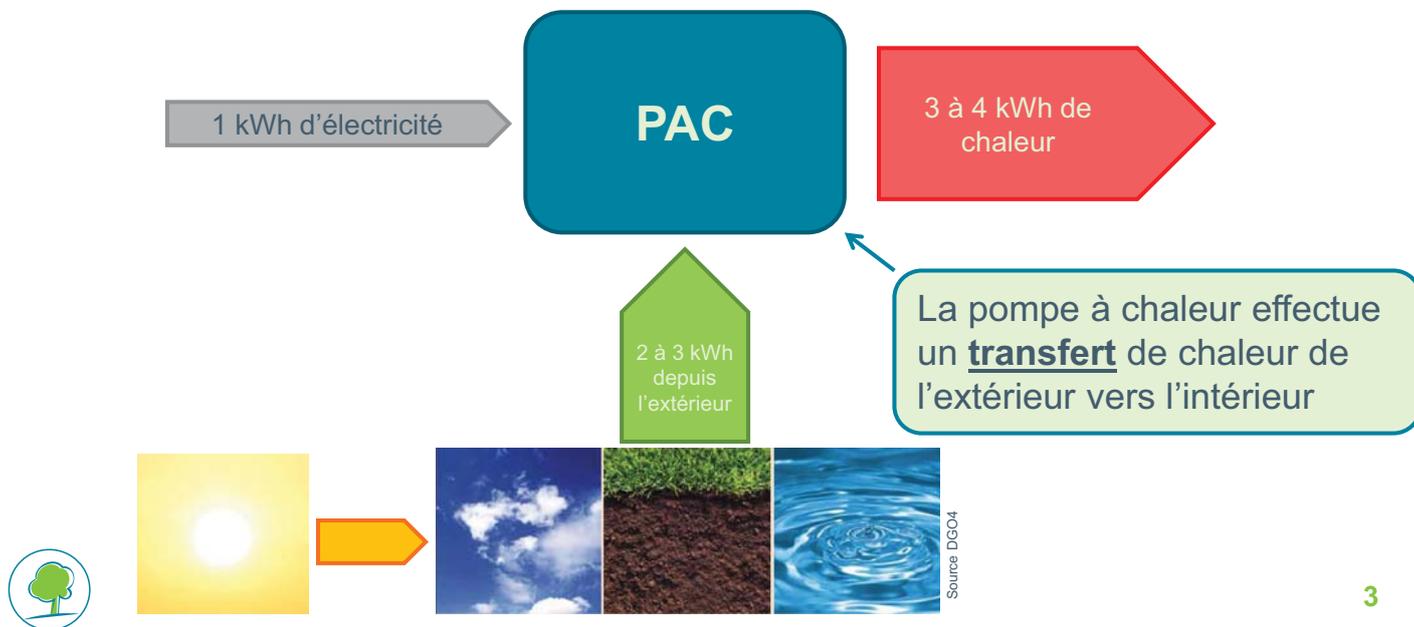
1. Principe général de fonctionnement des pompes à chaleur
2. L'accès aux différentes sources froides à Bruxelles
3. L'optimisation de la source chaude
4. L'importance de la régulation et du monitoring



# 1. Principe de fonctionnement

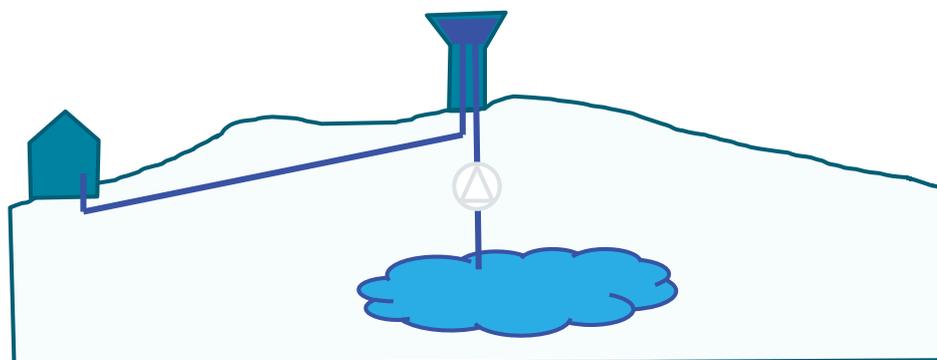
Un rendement (COP) supérieur à 1 !!  
est-ce vraiment possible ??

Non, il n'est pas possible de « créer » de l'énergie ...  
et pourtant on nous promet :



# 1. Principe de fonctionnement

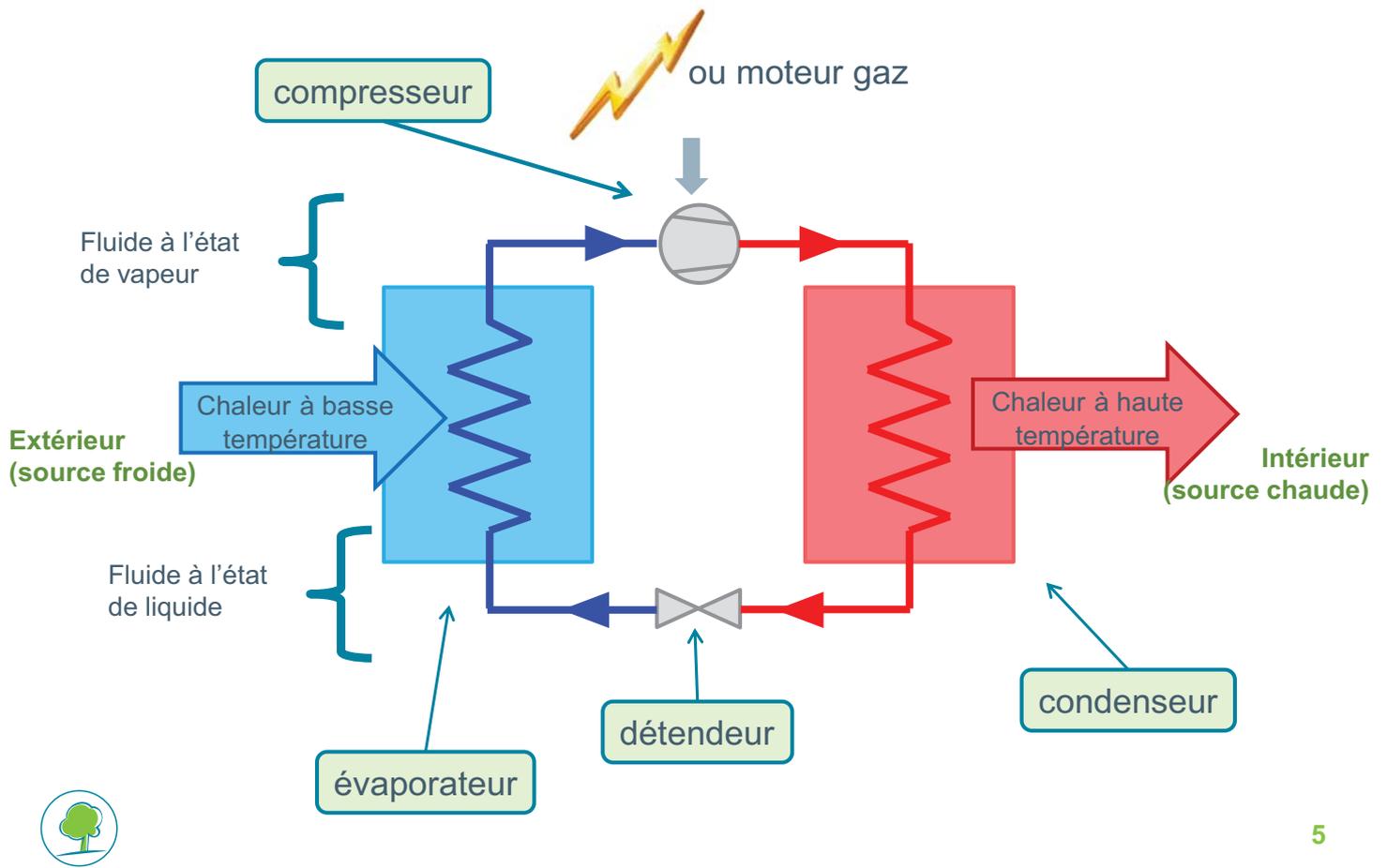
La chaleur s'écoule toujours du plus chaud vers le plus froid  
=> comment la faire rentrer dans un bâtiment?



De manière analogue à l'eau qui est pompée en hauteur pour augmenter sa pression,  
on pompe la chaleur pour augmenter sa température

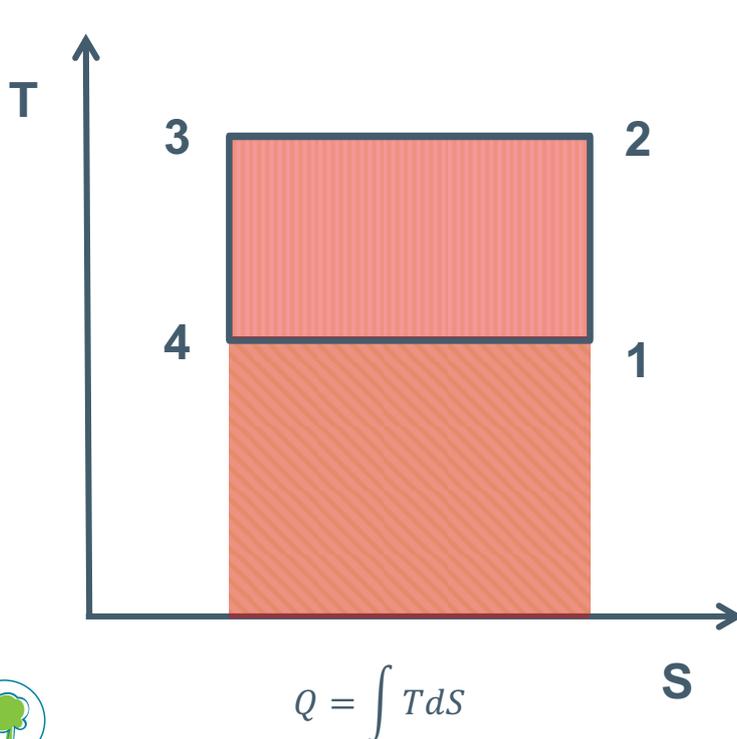


# 1. Principe de fonctionnement



## Un peu de thermodynamique

Les limites théoriques: le cycle de Carnot

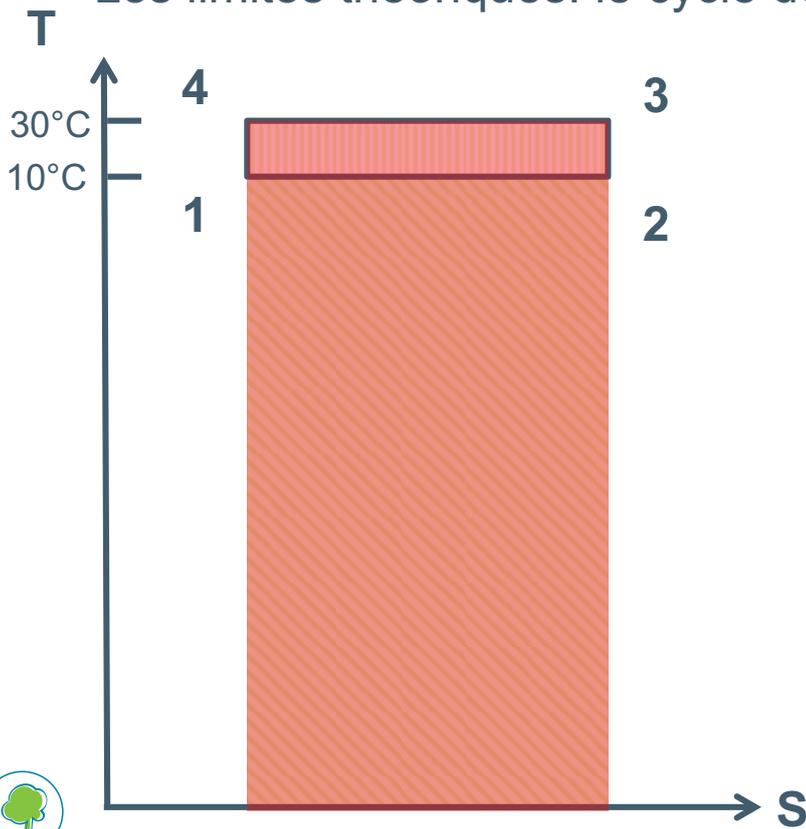


$$\begin{aligned} \text{Rendement ou COP} &= \frac{\text{Chaleur restituée à la source chaude}}{\text{Travail effectué sur le fluide}} \\ &= \frac{\text{Chaleur restituée à la source chaude}}{\text{Chaleur restituée à la source chaude} - \text{Chaleur prise à la source froide}} \end{aligned}$$

$$COP_C = \frac{T_3}{T_3 - T_1}$$

# Un peu de thermodynamique

Les limites théoriques: le cycle de Carnot

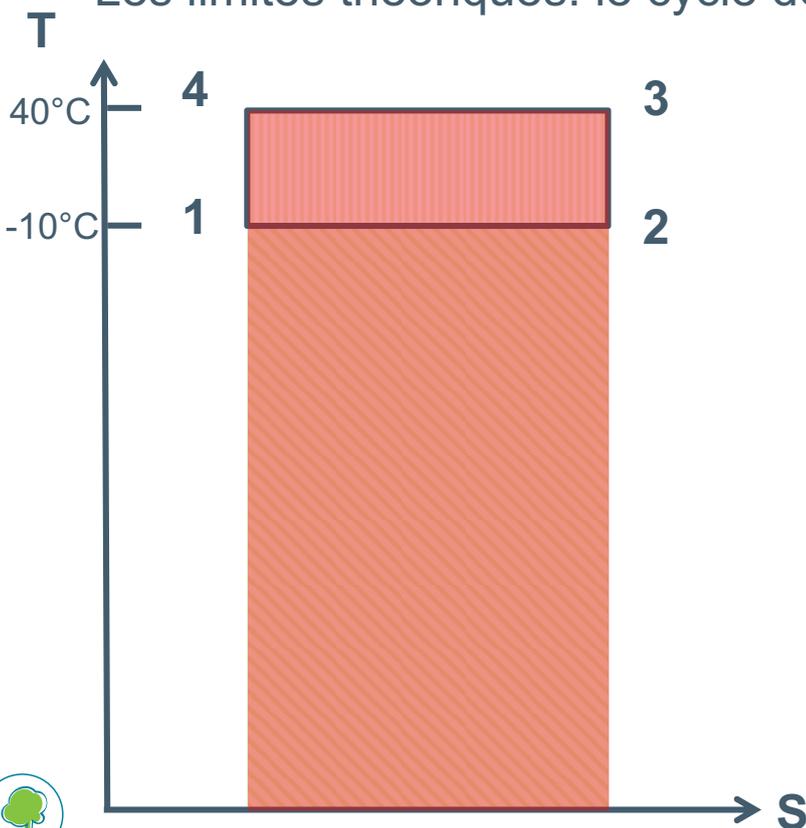


$$COP_C = \frac{T_3}{T_3 - T_1} \approx 15$$



# Un peu de thermodynamique

Les limites théoriques: le cycle de Carnot

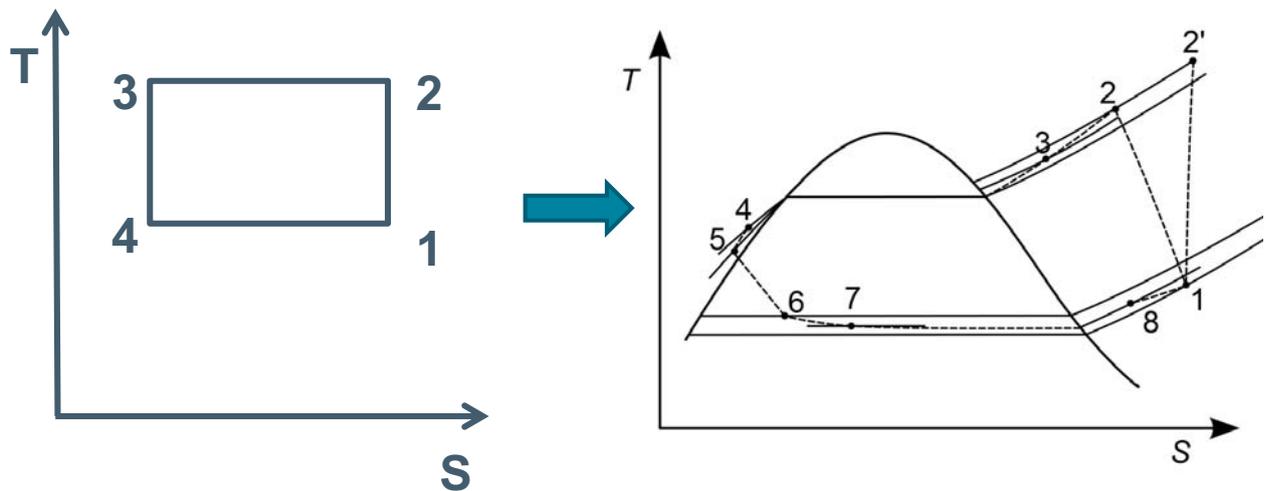


$$COP_C = \frac{T_3}{T_3 - T_1} \approx 8$$



# Un peu de thermodynamique

## Les limites physiques et technologiques



En pratique :

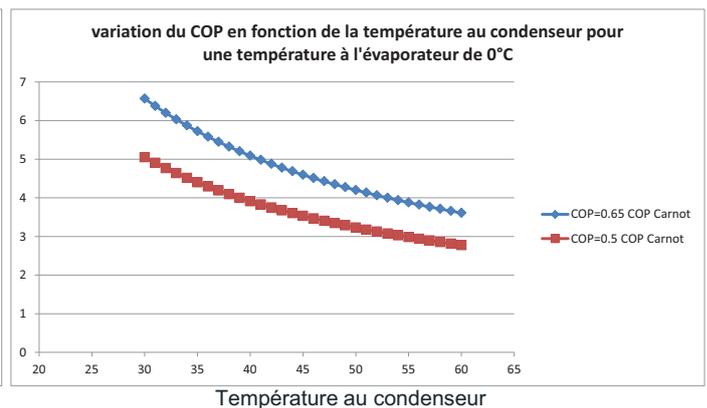
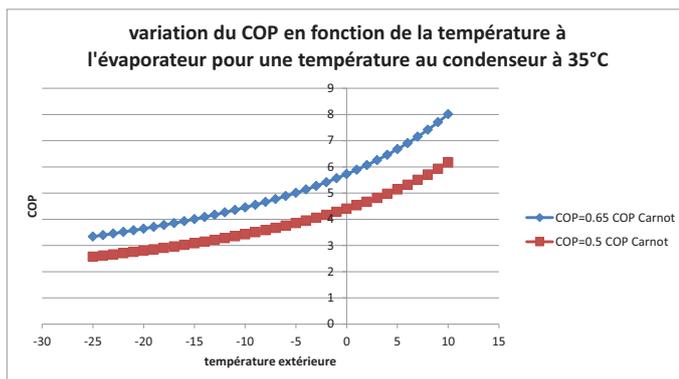
- Les machines et le fluide utilisés donnent un cycle différent du cycle de Carnot
- Les auxiliaires grèvent le rendement (circulateur, ventilateur, électronique, dégivrage, ...)
- Ecart de température nécessaires pour les transferts de chaleur au niveau de l'évaporateur et du condenseur



$$\text{COP}_{\text{PAC}} = 0,50 \dots 0,65 \text{ COP}_{\text{C}}$$

9

## A quelles performances s'attendre?

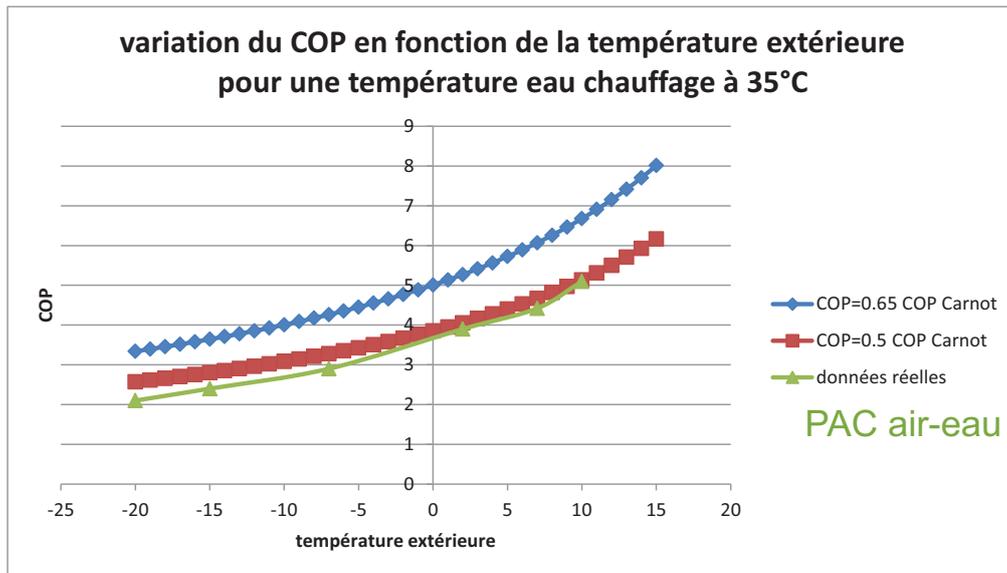


- Diminution 1°C évaporateur => -2% de COP
- Augmentation 1°C condenseur => -1,8% de COP



10

# A quelles performances s'attendre?



11

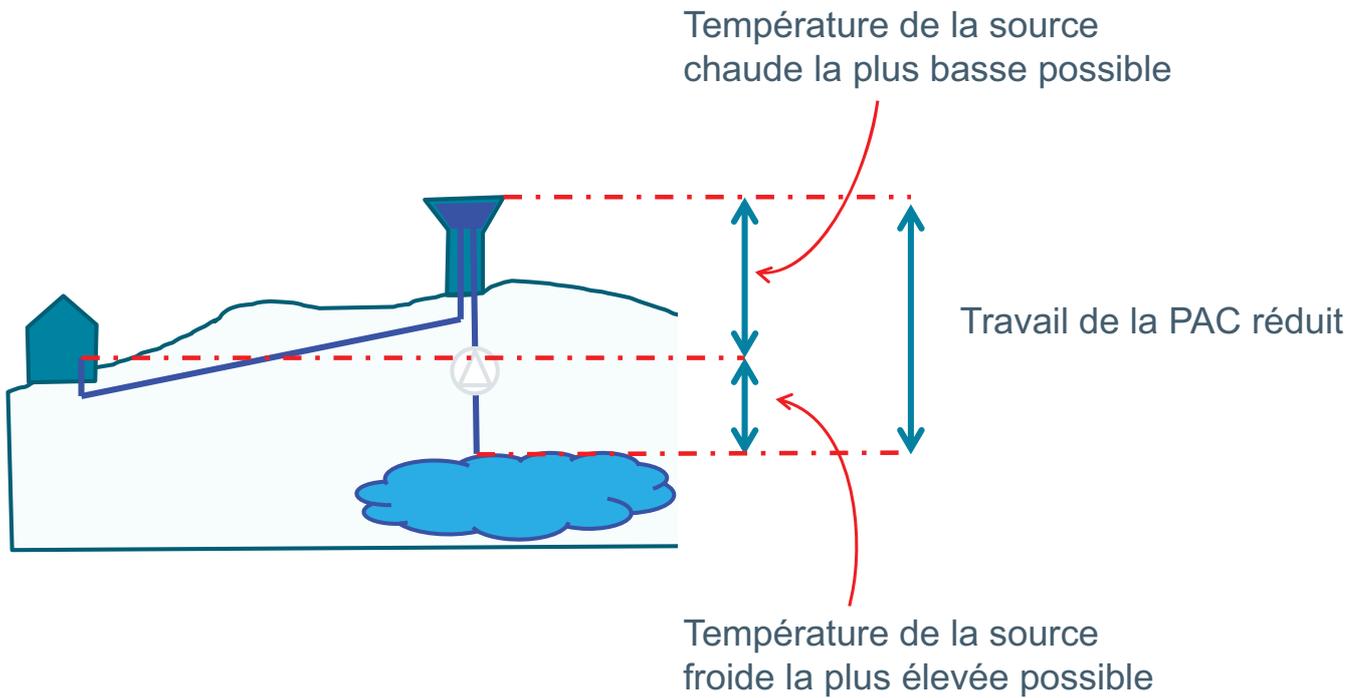
## COP => FPS

- COP = coefficient de performance = rendement instantané dans des conditions de **température déterminées**
  - ▶ P.ex. COP pour un régime A2/W35
- Durant un saison de chauffe, les températures de la source froide et de la source chaude fluctuent en continu => le COP fluctue en continu!
- FPS = Facteur de performance saisonnier
  - ▶ Moyenne du COP pondérée par la puissance calorifique délivrée sur toute la saison de chauffe
  - ▶ ou plus simplement  $\frac{\text{quantité de chaleur fournie}}{\text{quantité d'énergie consommée}}$  sur toute la saison de chauffe
- Il est fonction :
  - ▶ des performances intrinsèques de la PAC
  - ▶ du bâtiment dans lequel la PAC est installée
  - ▶ de la conception et du dimensionnement de l'installation
  - ▶ de la régulation de l'installation



12

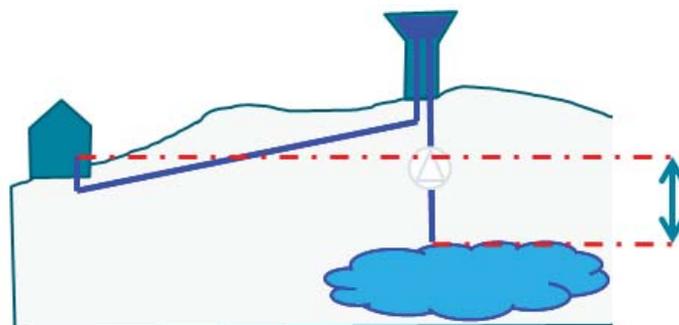
# Optimiser les performances



13

## 2. L'accès aux différentes sources froides à Bruxelles

### Les différentes sources froides

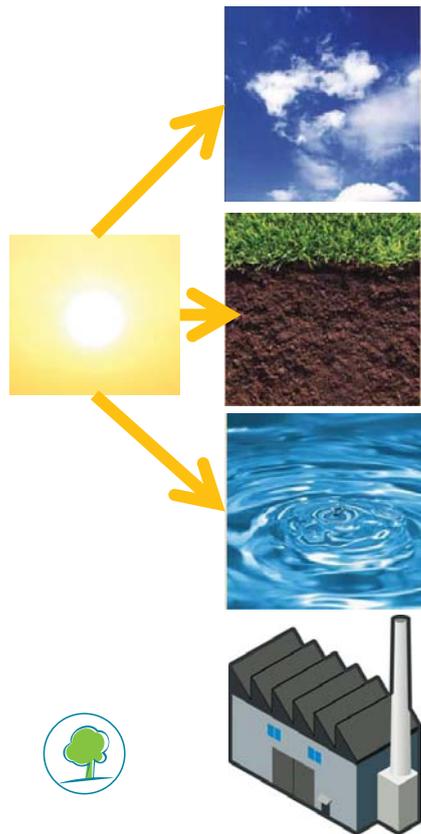


14

# Les différentes sources froides

Stockage de l'énergie solaire => captation indirecte de l'énergie solaire

## Les sources froides



### Air :

- Dynamique ou statique
- Air extérieur ou air extrait de la ventilation

### Sol :

- Proche de la surface (horizontal)
- En profondeur (vertical)

### Eau :

- En surface : étang, rivière
- En profondeur : nappe phréatique

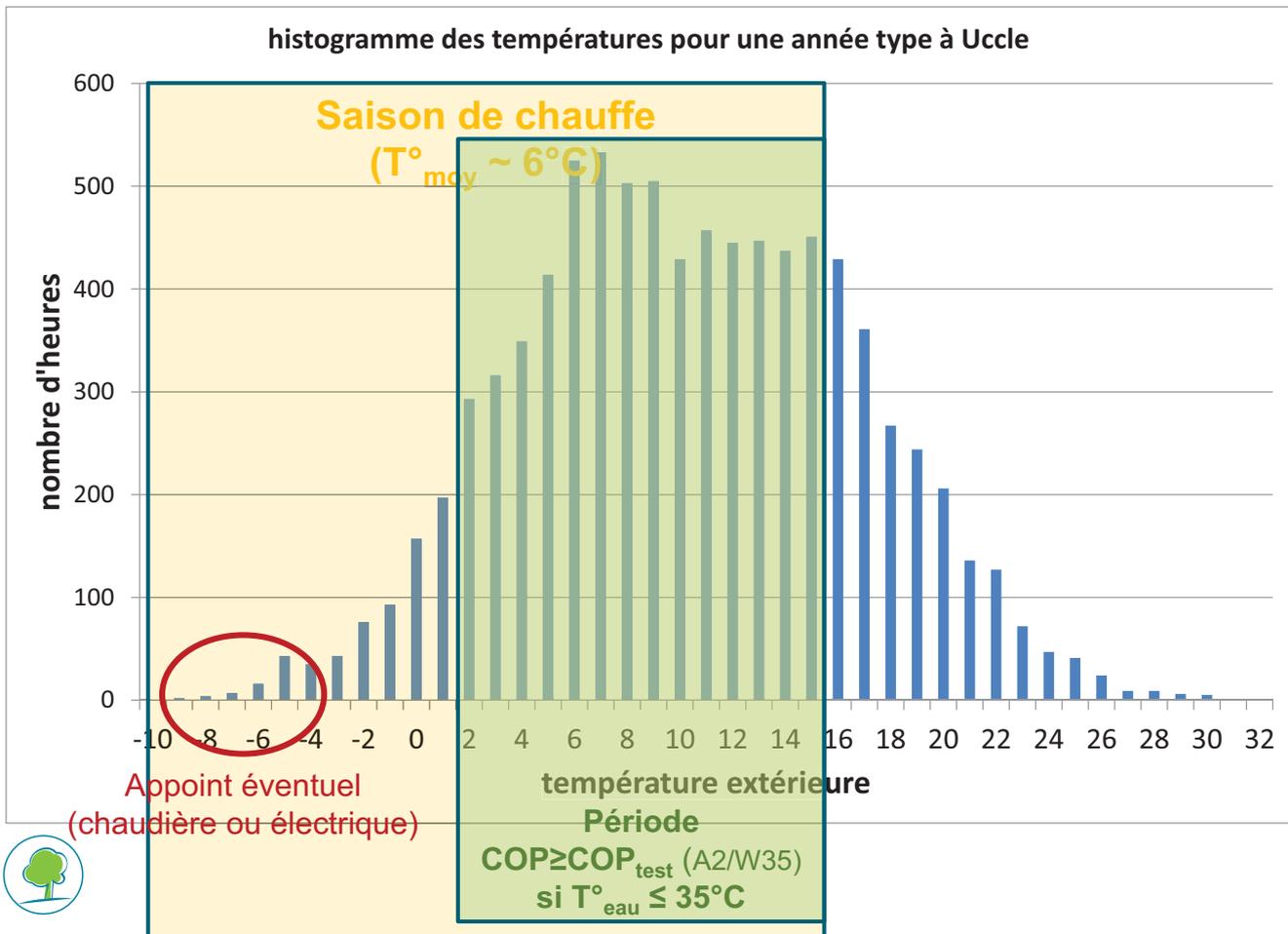
### « Chaleur fatale » :

- Egouts
- Centrale, industrie, ...

15

## Air dynamique

histogramme des températures pour une année type à Uccle



16

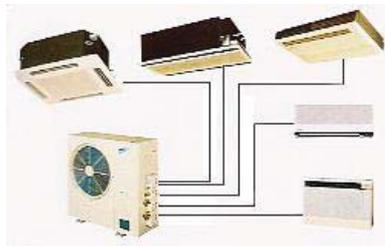
# Air dynamique



Source DGO4

- Nuisance sonores
  - ▶ Il existe des limites à respecter => cf. réglementation
    - › Info générales législation bruit :  
<http://www.environnement.brussels/thematiques/bruit/laction-de-la-region/legislation-et-incitants>
    - › AGRBC 21/11/2002 :  
[http://www.ejustice.just.fgov.be/cgi\\_loi/change\\_lg.pl?language=fr&la=F&cn=2002112140&table\\_name=loi](http://www.ejustice.just.fgov.be/cgi_loi/change_lg.pl?language=fr&la=F&cn=2002112140&table_name=loi)
    - › Bruit dans la réglementation permis d'environnement :  
<http://www.environnement.brussels/le-permis-denvironnement/les-conditions-generales-dexploitation/les-obligations-en-matiere-de-bruit>

- Emplacement



Source : énergie+



- ▶ En général les unités extérieures sont placées en toiture
    - › Un local technique situé au sous-sol rend l'installation plus complexe.
  - ▶ Un placement à l'intérieur du bâtiment est possible par l'utilisation de gaines de dimensions importantes
- Utilisation répandue dans les commerces (unités air/air multisplit) et le « petit tertiaire » (p.ex. agence bancaire)

17

# Air extrait du bâtiment

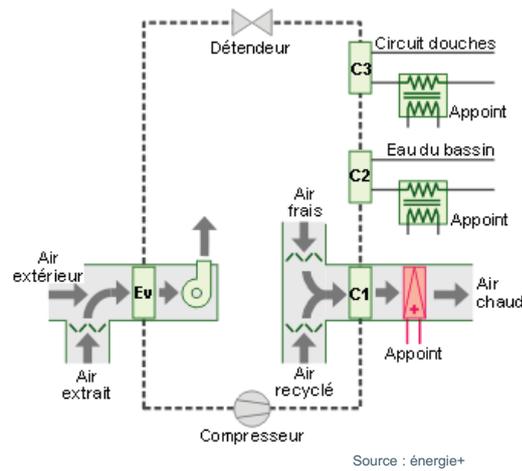
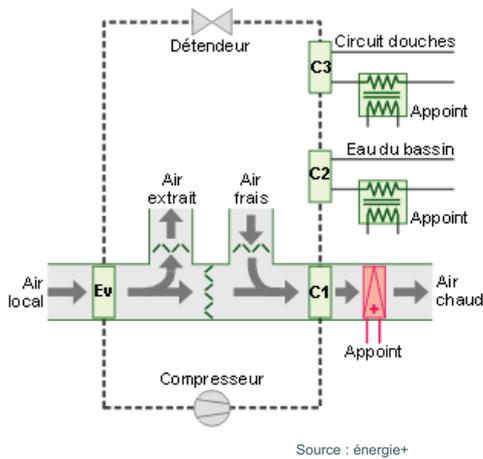
- Il est sans doute préférable de privilégier la récupération directe par échangeur
  - ▶ Projets neuf
  - ▶ Bâtiment tertiaire si GE et GP sont situés dans le même local (échangeur à plaque, roue de récupération, ...)
- En cas de rénovation, un système de ventilation de type C est facilement mis en place
  - ▶ La récupération de chaleur par PAC sur l'air extrait donne de bonnes performances car  $T^{\circ}$  air toujours  $\geq 20^{\circ}\text{C}$
  - ▶ Solution bien adaptée à la production d'ECS
    - Ex : immeuble de logement : existence de trémies de ventilation naturelle utilisées pour une extraction mécanique



18

# Air extrait humide / air à déshumidifier

- Piscine, blanchisserie, cuisine, ...
- Récupération de la chaleur latente de condensation de l'humidité

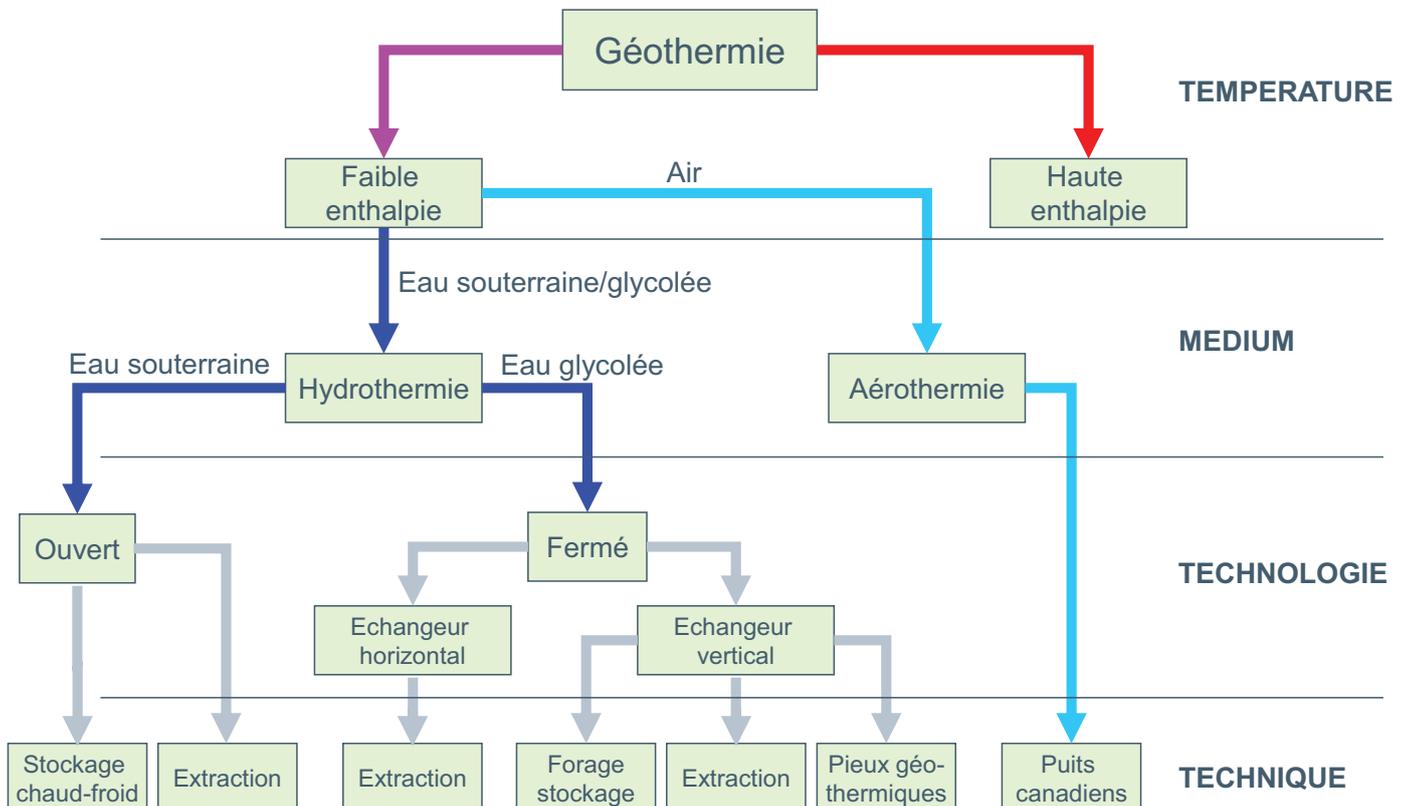


déshumidification

récupération

19

# Géothermie



20

# Géothermie fermée horizontale



Source DGO4



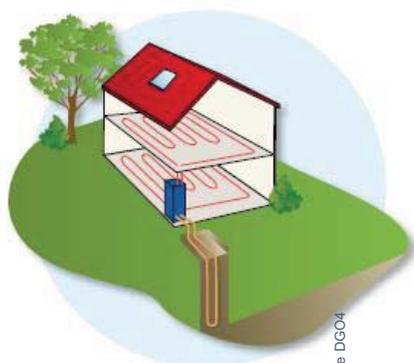
- Technologie applicable dans un nombre restreint de situations dans le contexte Bruxellois
  - ▶ Nécessite une superficie de terrain sans plantation importante (~1.2...1.4 x la superficie chauffée pour une maison neuve)
    - › Adapté aux maisons unifamiliales
  - ▶ Accessibilité du terrain aux engins de chantier
    - › Plus aisé pour les maison « 3-4 façades »
- L'amélioration des performances justifie-t-elle l'investissement plus conséquent par rapport à la technologie air/eau?

Source Raphaël L'HOMME

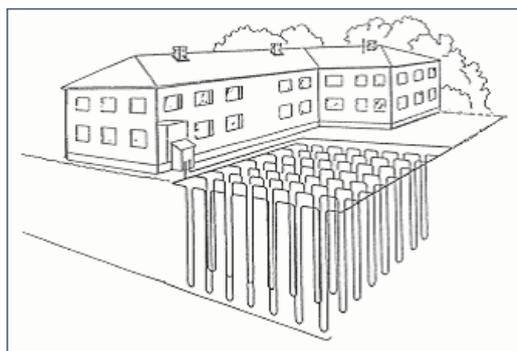


21

# Géothermie fermée verticale



Source DGO4



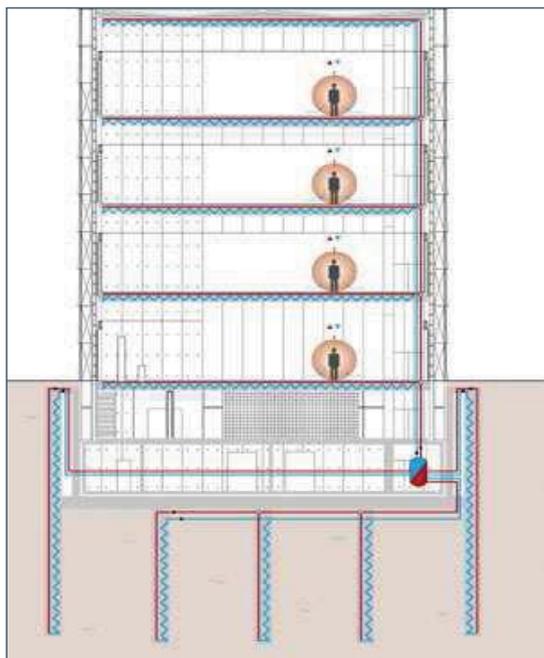
- Emprise au sol moindre en résidentiel mais l'accessibilité au terrain pour réaliser les forages reste un point critique
- Les solutions avec stockage intersaisonnier s'appliquent aux bâtiments tertiaires (besoin de chaud et de froid)  
En résidentiel, régénération par « freecooling »
- Un test de réponse thermique du sol est toujours nécessaire
- Pour les projets tertiaires, nécessité de réaliser une simulation d'évolution de la température du sol sur le long terme

Source VITO



22

# Géothermie fermée verticale



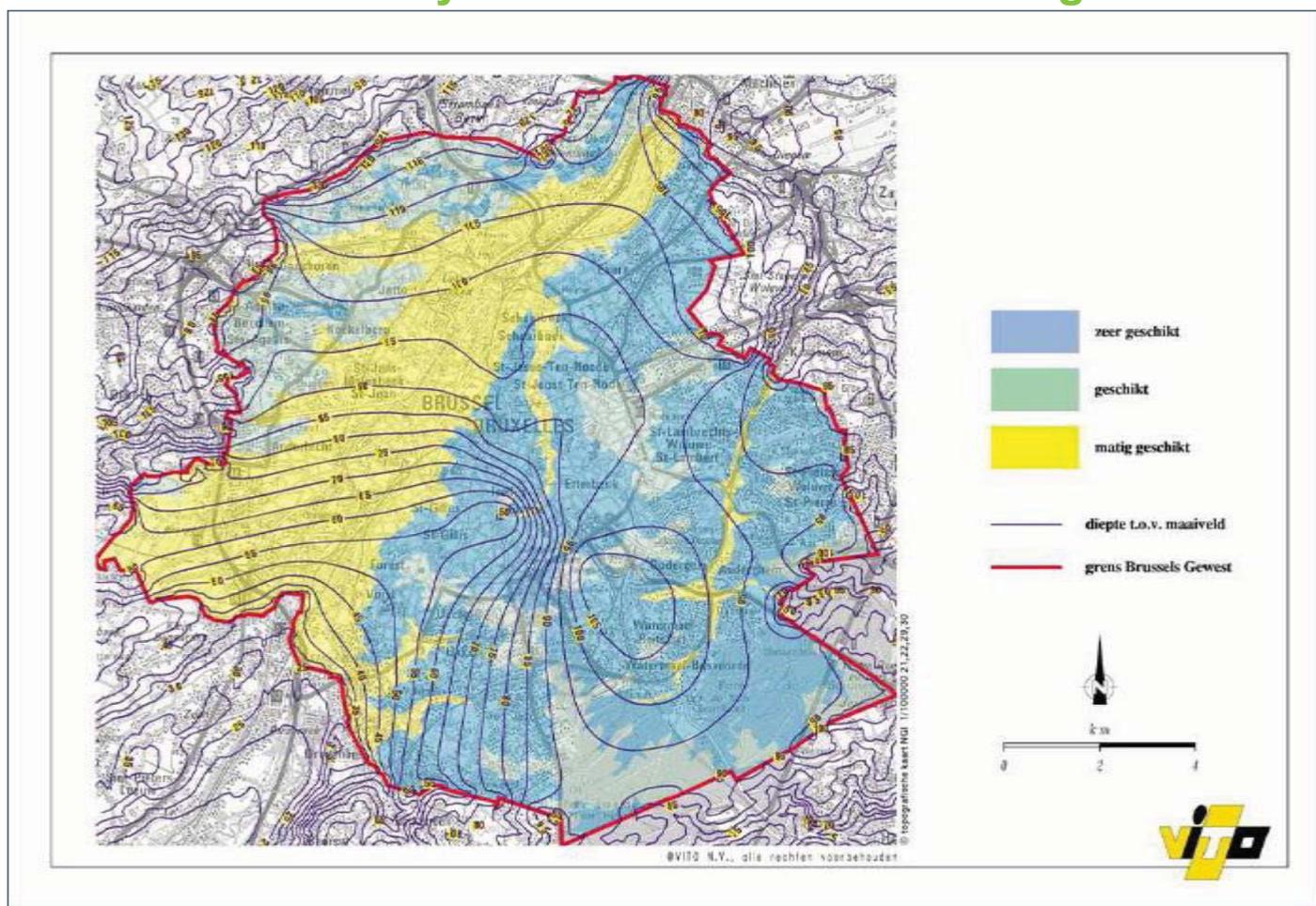
Les sondes peuvent être intégrées aux fondations : pieux géothermiques (uniquement pour le tertiaire)

Source VITO

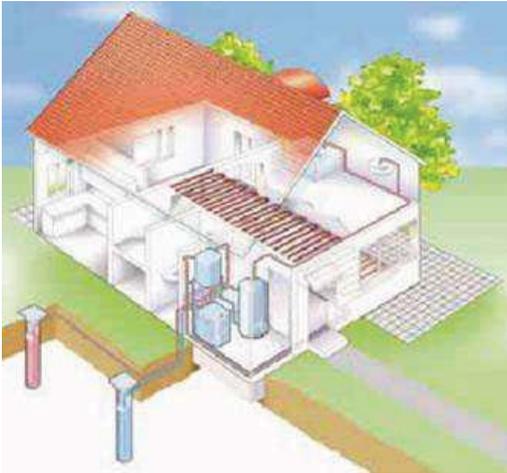


23

# Potentiel des systèmes fermés avec stockage



# Géothermie ouverte



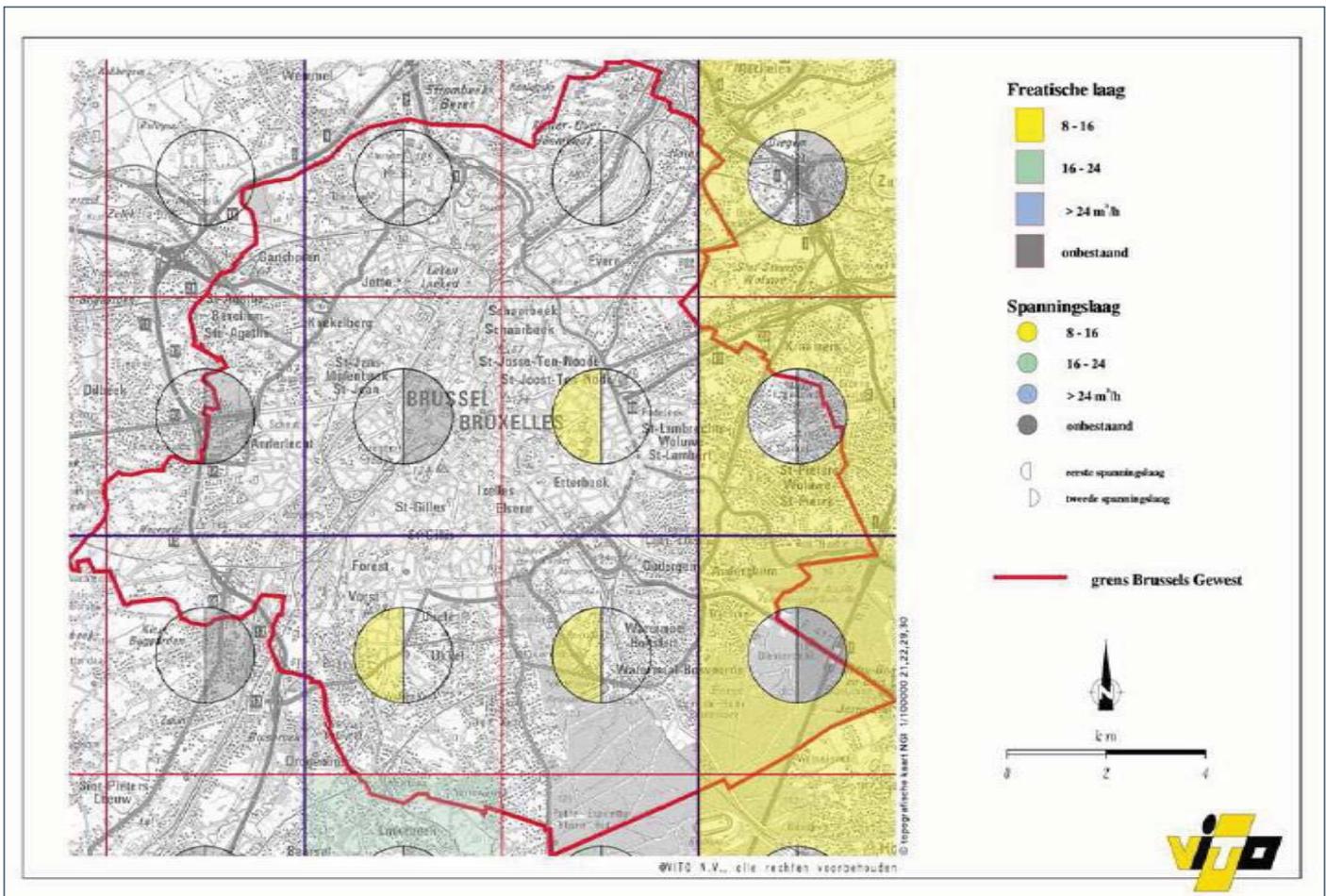
Source VITO

- Captation indirecte : eau pompée par un puits et rejetée dans un autre
- Bonnes performances car  $T^\circ$  relativement constante et élevée
- Permet un stockage de chaleur intersaisonnier
- Voir exemple du BEL



25

## Potentiel des systèmes ouverts avec stockage



# Etudes de potentiel du VITO

## • Remarque sur les cartes du VITO

- ▶ Il s'agit d'une première évaluation des possibilités d'avoir recours à un système géothermique ouvert ou fermé avec stockage
- ▶ Ces cartes ne dispensent pas d'une étude approfondie en fonction du site
- ▶ Ne tiennent pas compte du Landénien (couche géologique « relativement profonde »)
  - › Pas suffisamment perméable pour les systèmes ouverts
  - › Pour les systèmes fermés : forer dans cette couche devient non rentable (grande profondeur et capacités thermiques moindres)

## • Documents disponibles en ligne:

[http://document.leefmilieu.brussels/opac\\_css/elecfile/Studie\\_Energie\\_geothermischI\\_2007\\_nl.PDF?langtype=2060](http://document.leefmilieu.brussels/opac_css/elecfile/Studie_Energie_geothermischI_2007_nl.PDF?langtype=2060)

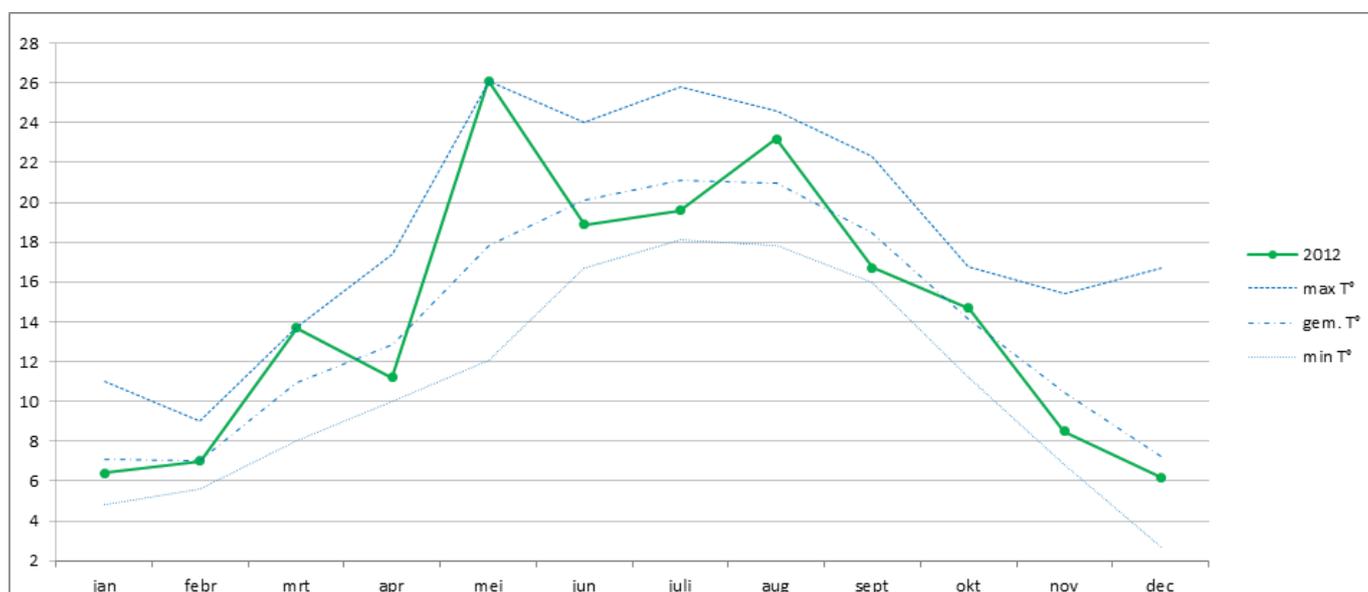
[http://document.leefmilieu.brussels/opac\\_css/elecfile/Studie\\_milieuexploitatie\\_geothermielI\\_feb2009.PDF?langtype=2060](http://document.leefmilieu.brussels/opac_css/elecfile/Studie_milieuexploitatie_geothermielI_feb2009.PDF?langtype=2060)



27

## Eaux de surface

### Exemple du canal

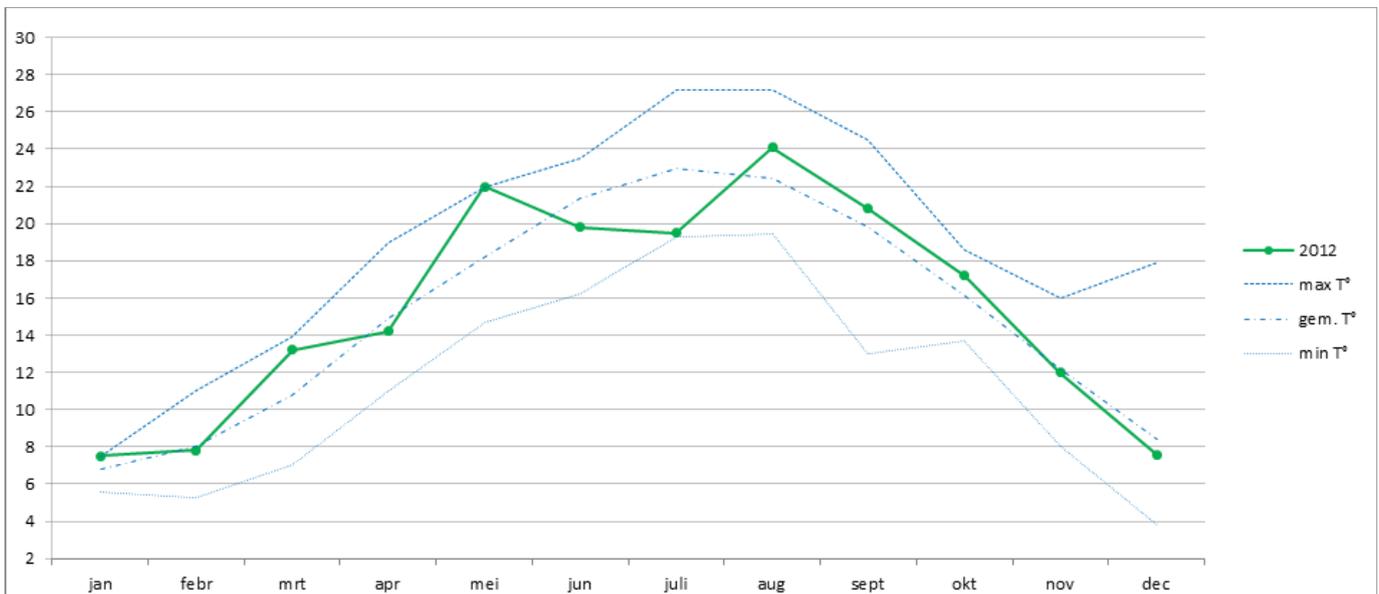


Température à l'entrée de Bruxelles

28

# Eaux de surface

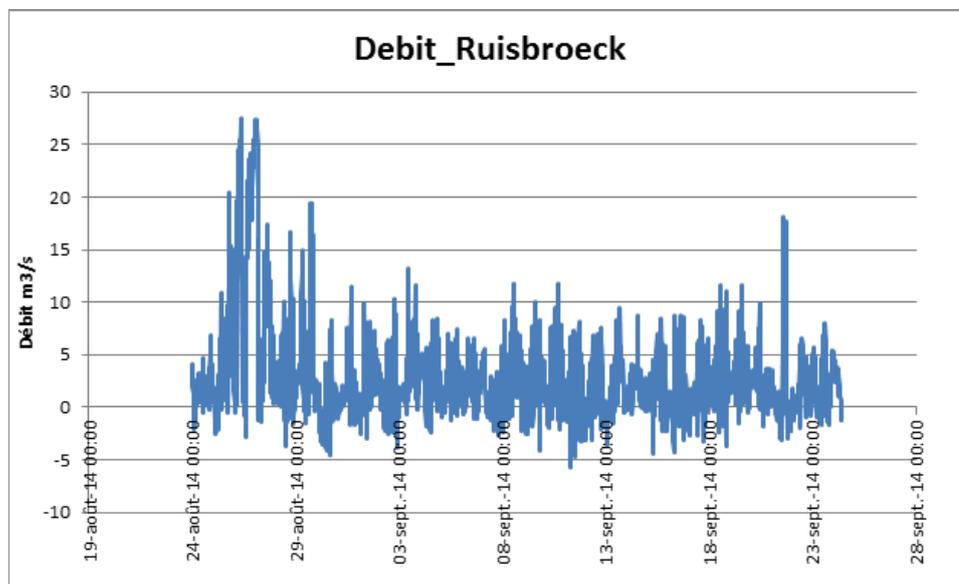
## Exemple du canal



Température à la sortie de Bruxelles

# Eaux de surface

## Exemple du canal



Évolution du débit

# Eaux de surface

## Exemple du canal

- Niveaux de température
  - ▶ En hiver, comparable à la géothermie ouverte
  - ▶ En été, niveau de température plus faible que l'air (en journée) mais plus élevé qu'en géothermie ouverte
- Débit
  - ▶ Peut être très faible voir négatif en été (pas de données en hiver) => quel est le potentiel global du canal?
- La captation de chaleur peut se faire par
  - ▶ Échangeur immergé  
=> cout, protection, entretien?
  - ▶ Pompage, filtration, échangeur à plaque  
=> pertes de charge, échangeur supplémentaire



31

# Eaux de surface

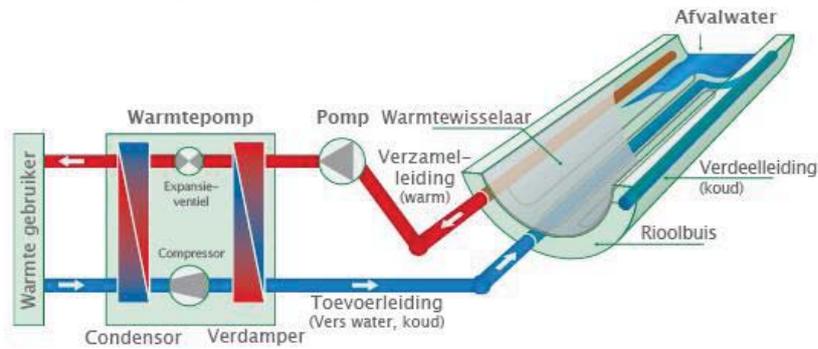
## 2 exemples

- Entreprise Riebel
  - ▶ chauffage/refroidissement de bureaux
  - ▶ Eau pompée dans le canal
- Centre de calcul à Anderlecht
  - ▶ Refroidissement uniquement
  - ▶ Eau pompée dans le canal en combinaison avec des aéro-refroidisseurs
    - › Optimisation des performances en fonctions des températures de l'air et de l'eau
- Dans les 2 cas :
  - ▶ Entretien/maintenance délicate
    - › Nettoyage des filtres
    - › Présences d'algues dans les échangeurs
  - ▶ Gestion/régulation délicate



32

# Riothermie



Riothermie = récupération de la chaleur contenue dans l'eau des égouts

Source [www.kdinternational.nl](http://www.kdinternational.nl)

- Température située entre 10 et 15 °C
- Captation de chaleur : 2 possibilités :
  - ▶ Echangeur intégré dans les canalisations d'égouttage
  - ▶ Echangeur à plaque avec eau pompée et filtrée
- Perte de rendement non négligeable si les conduites récoltent également les eaux de pluie (chute de la température durant les précipitations)



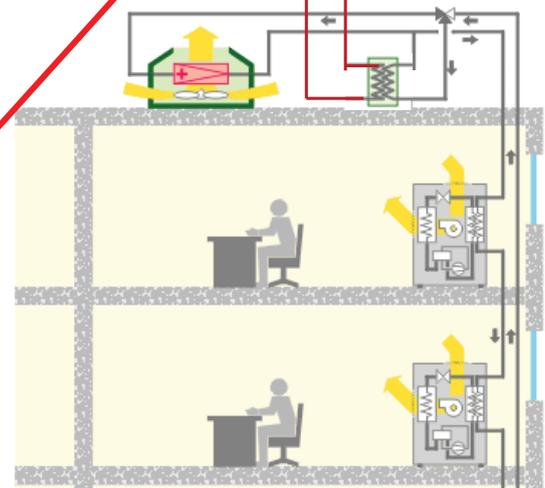
33

# Récupération de chaleur fatale

- Projet « Docks Bruxsel » (complexe commercial)
- Alimentation d'une boucle tiède en chaud depuis l'incinérateur
  - ▶ Régime boucle hiver : 27-32°C
  - ▶ Régime circuit primaire (depuis incinérateur) : 110-50°C
    - › chaleur captée sur les fumées de l'incinérateur



Source [www.rtbf.be](http://www.rtbf.be)



34

Source : énergie+



# Récupération de chaleur fatale

- dans l'absolu, le recours à des PAC n'est pas nécessaire mais se justifie
  - ▶ par la nature du projet : la technologie de boucle tiède est bien adaptée aux centres commerciaux
  - ▶ pour des raisons d'investissement : les PAC sont individuelle et sont financé par le locataire du commerce
- Si la chaleur était captée au niveau du rejet provenant du refroidissement du condenseur de la vapeur en sortie des turbines
  - ▶ Chaleur disponible à 35 °C -> PAC nécessaire
  - ▶ Débits entre incinérateur et complexe commercial beaucoup plus importants
    - › surcouts importants pour canalisations
    - › consommation des pompes



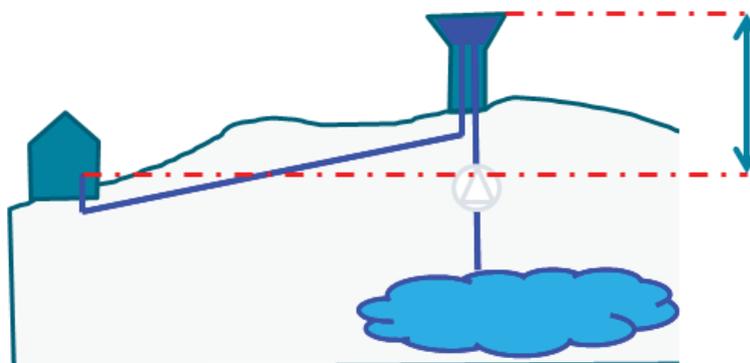
Source www.rtbf.be

35



## 3. L'optimisation de la source chaude

### Température de la source chaude



= température requise par le système d'émission



36

# Emission basse température = Enveloppe performante

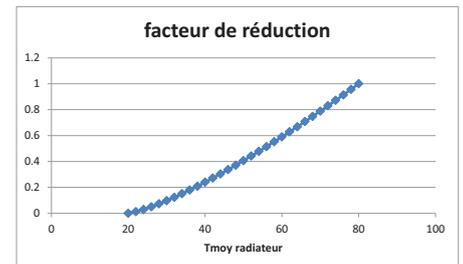
La puissance délivrée par un système d'émission décroît proportionnellement à la température  
=> un système d'émission à basse température nécessite des besoins faibles et donc une enveloppe performante

Exemple pour un radiateur :



Source : énergie+

Régime 90/70/20 °C par rapport à 45/40/20 °C

$$\left( \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right)^{1,3} = \left( \frac{22,5^\circ\text{C}}{60^\circ\text{C}} \right)^{1,3} = 0,28$$


$\Delta T$  = différence entre la température moyenne du radiateur et la température du local

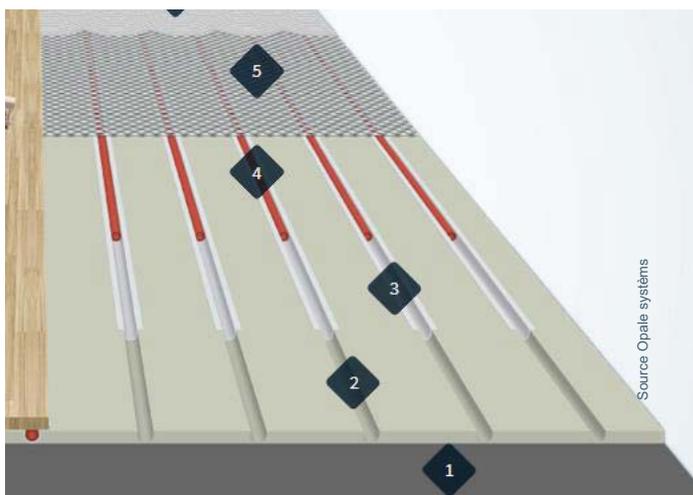
## Systemes d'émission pour le résidentiel

### Le plancher chauffant

- Confort accru
- Gain de place
- Difficulté à réguler si puissance nécessaire < 35 W/m<sup>2</sup>  
=> si en deçà (maison basse-énergie), envisager un système à faible inertie



Source DCO4



Source Opale systèmes



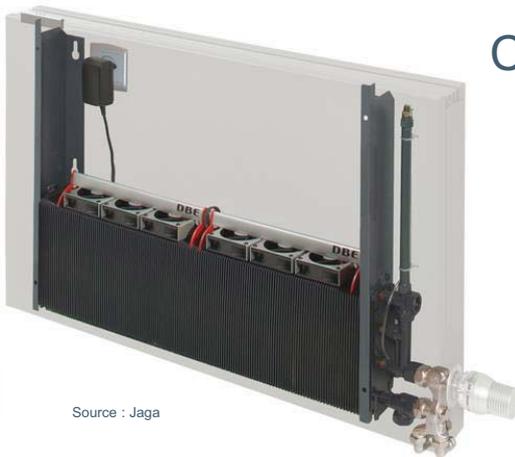
# Systemes d'émission pour le résidentiel



Source : énergie+

## Radiateurs « surdimensionnés »

- C'est-à-dire dimensionnés pour fonctionner en régime basse température
- En cas de rénovation, après isolation de l'enveloppe, les radiateurs sont souvent suffisamment surdimensionnés
- Encombrement peut être important



Source : Jaga

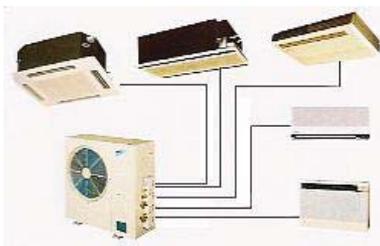
## Convecteurs « boostés »

- Puissance renforcée à basse température
- Très silencieux (convient pour les chambres à coucher)
- Régulation électronique des ventilateurs
- Faible puissance électrique des ventilateurs (~ 6W)

39

# Systeme d'émission pour le tertiaire

## Echangeur direct : système split/multi-split



Source : énergie+

- Pas d'échangeur supplémentaire entre fluide frigorigène et air

## ● Chauffage et refroidissement des locaux par système à Débit de Réfrigérant Variable



Source : énergie+

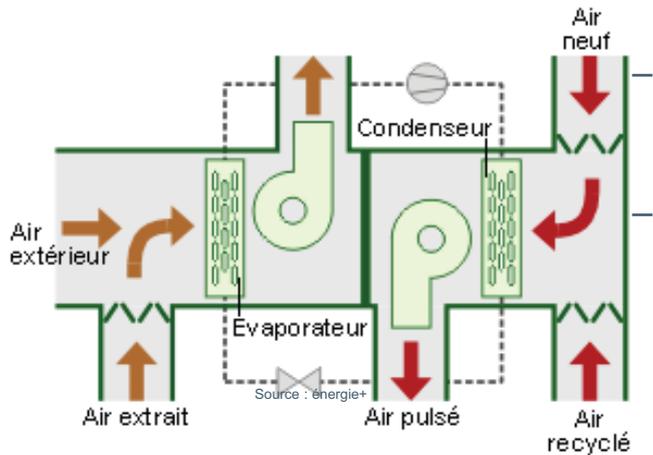
- En mi-saison, certains locaux doivent être chauffés, d'autres refroidis => le système transfère la chaleur d'un local à un autre



40

# Système d'émission pour le tertiaire

## Chauffage/refroidissement dans les groupes de préparation d'air



- Pas nécessairement de fluide caloporteur et donc d'échangeur supplémentaire entre fluide frigorigène et air

- Dimensionnement de l'échangeur détermine la température de la source chaude :

=>compromis à trouver avec augmentation des perte de charge et augmentation du cout de l'investissement

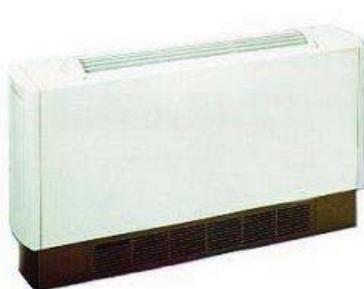
- Récupération de la chaleur contenue dans l'air extrait



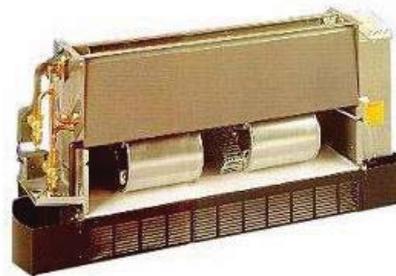
41

# Système d'émission pour le tertiaire

## Ventilo-convecteurs



Source : énergie+

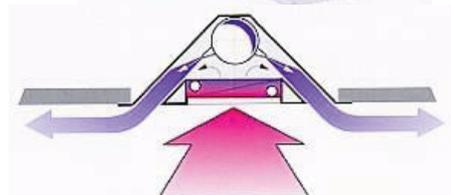
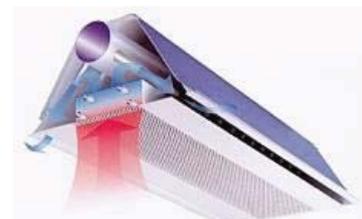


Source : énergie+

- Convection forcée -> puissance importante même à basse température
- Les modèles récents avec ventilateurs à courant continu consomment très peu d'électricité et sont relativement silencieux

## Poutres « chaudes/froides »

- Une partie du chaud/froid est apporté par l'air neuf
- Une autre partie par un échangeur traversé par une circulation d'air du local induite par la pulsion de l'air neuf



42

# Systeme d'émission pour le tertiaire

## Plafond rayonnant



Source : Matriciel+

## Dalles actives



Source : energie+

Transmission de chaleur essentiellement par rayonnement => température relativement faible (ou haute en refroidissement)

Inertie thermique très élevée :  
=> régulation délicate, risque de

- surchauffe
- destruction d'énergie



43

## Eau chaude sanitaire

- Performances moindres car température de la source chaude plus élevée
  - ▶ Le rendement sur énergie primaire risque d'être comparable à un bon appareil au gaz => c'est essentiellement intéressant en remplacement d'un boiler électrique
  - ▶ Des appareils performants pour des températures relativement élevées (p.ex. PAC CO<sub>2</sub>)
- Prévoir un réservoir de stockage suffisamment important pour stocker à température modérée
- Attention à la régulation :
  - ▶ une PAC qui se remet en route au moindre puisage présentera des performances fortement détériorée
- Les performances sont indépendantes des caractéristiques du bâtiment => grand potentiel en rénovation



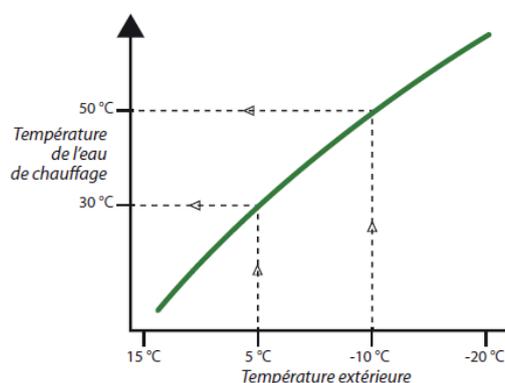
Source : energreen.be



44

## 4. Importance de la régulation

Les performances annuelles sont optimisées si la température de la source chaude est abaissée lorsque les conditions climatiques le permettent :



S'assurer que cette régulation soit bien paramétrée (conforme au dimensionnement des émetteurs) et effective (éviter le passage en mode manuel !)

45



## 4. Importance du monitoring

- Les performances d'une pompe à chaleur sont très sensibles aux conditions de fonctionnement
- Un monitoring permettant le suivi du COP permet de détecter d'éventuelles dérives le plus souvent dues
  - ▶ à un mauvais paramétrage de la régulation
  - ▶ à un dysfonctionnement de l'installation
- Le suivi du COP nécessite le suivi de la consommation électrique (compteur électrique) et de la chaleur produite (compteur d'énergie)

46



# Outils, sites internet, etc... intéressants :

- Info sur le site de Bruxelles Environnement :  
<http://www.environnement.brussels/thematiques/energie/quest-ce-que-lenergie-verte/les-pompes-chaleur>
- Brochure éditée par la région wallonne :  
<http://energie.wallonie.be/fr/les-pompes-a-chaleur.html?IDC=6190&IDD=26697>
- <http://www.energieplus-lesite.be>
- Monitoring de PAC installées en direct : <http://www.liveheatpump.be>
- Fiches de l'AFPAC sur la problématique des nuisances sonore en aérothermie :  
[http://www.afpac.org/sites/default/files/afpac\\_fiche\\_acoustique\\_n1\\_v1\\_1\\_2014.pdf](http://www.afpac.org/sites/default/files/afpac_fiche_acoustique_n1_v1_1_2014.pdf)  
[http://www.afpac.org/sites/default/files/afpac\\_fiche\\_acoustique\\_n2\\_v1\\_1\\_2014.pdf](http://www.afpac.org/sites/default/files/afpac_fiche_acoustique_n2_v1_1_2014.pdf)



47

## Ce qu'il faut retenir de l'exposé

- De multiples sources de chaleur sont disponibles à Bruxelles, le potentiel est important
- A l'échelle d'un bâtiment, toutes ne sont pas toujours disponibles, cela dépend de son environnement immédiat ...
  - ▶ Nuisances sonores
  - ▶ Espace disponible, accessibilité du terrain
  - ▶ Proximité d'eau de surface
  - ▶ Nature du sous-sol
  - ▶ Rejet de chaleur à proximité (égouts, industrie, ... )
  - ▶ ...... ainsi que du type de bâtiment
- Une bonne partie du territoire de la région semble être favorable à la géothermie avec stockage
- Influence directe et continue des températures sur les performances
  - ▶ La géothermie, l'eau de surface et les rejets de chaleurs proposent les sources froides avec les niveaux de températures les plus élevés
  - ▶ La performance énergétique de l'enveloppe et le dimensionnement du système d'émission détermine le niveau de température de la source chaude



48

# Contact

## Raphaël Capart

Service du facilitateur bâtiment durable

*Spécialiste PAC pour la Région Bruxelles Capitale*

Tel : 0800 85 775

Courriel : [facilitateur@environnement.irisnet.be](mailto:facilitateur@environnement.irisnet.be)

## ICEDD asbl

Institut de Conseil et d'Etudes en Développement Durable asbl

Bvd Frère Orban, 4

B-5000 Namur (Belgique)

 : 081 25 04 80

E-mail : [rc@icedd.be](mailto:rc@icedd.be)





---

## **Les pompes à chaleur dans le contexte bruxellois**

### **Cadre réglementaire et soutien public**

---

**Julien DONEUX**  
**Bruxelles Environnement**

La Région de Bruxelles-Capitale s'est donné des objectifs en matières de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Elle a, par ailleurs, des obligations européennes en matière de production et d'utilisation d'énergie à partir de sources renouvelables. Entre autres, elle doit multiplier par 2 d'ici 2020 son pourcentage de consommation d'énergie produite à partir de sources renouvelables.

Pour répondre à cet objectif, les pompes à chaleur sont une technologie intéressante qui permet d'y contribuer. En effet, sous condition d'être performantes, les PAC utilisent les sources aérothermiques, géothermiques et hydrothermiques pour couvrir les besoins en chaud, froid ou eau chaude sanitaires de différents types de bâtiments (tertiaire, logement,...).

La RBC entend donc favoriser l'installation de PAC efficaces par le biais de diverses mesures, qu'elles soient d'ordre réglementaire, financier ou promotionnel.

L'exposé tentera de faire le tour de toutes ces mesures d'application en 2016.



# Séminaire Bâtiment Durable : La pompe à chaleur : du potentiel à Bruxelles!

4 mars 2016

Bruxelles Environnement

**Les pompes à chaleur dans le contexte bruxellois**

Julien DONEUX

Bruxelles-Environnement



**BRUXELLES ENVIRONNEMENT**  
IBGE - INSTITUT BRUXELLOIS POUR LA GESTION DE L'ENVIRONNEMENT

## Objectifs de la présentation

Survol du  
**cadre réglementaire** et des  
**soutiens publics** destinés à  
**promouvoir** le développement des  
**PAC** en Région de Bruxelles-Capitale



# Plan de l'exposé

- I. Objectifs SER en RBC
  - ▶ -30% GES en 2025
  - ▶ 4% SER en 2020
- II. PAC = SER?
  - ▶ Définition EU - FPS
- III. Promotion
  - ▶ Réglementations
  - ▶ Aides financières
  - ▶ Infos et accompagnement
- IV. Conclusions



3

## I. Objectifs SER en RBC

- GES : la RBC s'est engagée à réduire de 30% ses émissions de gaz à effet de serre pour l'année 2025
  
- SER : Objectifs européens fixés à 20% pour 2020
  - ▶ 13% SER en Belgique
  - ▶ « Burdensharing » => **4% SER** en RBC
    - › Actuellement : **2 %**
    - › Reste 4 ans...
  
- Les PAC font-elles partie de la solution?



4

## II. PAC = SER?

- Une pompe à chaleur est-elle un système d'utilisation ou de production d'énergie renouvelable?
  - ▶ Principe de fonctionnement
    - › Sources : air, eau et sol (~ soleil)
    - › Moteur : gaz ou électricité
  - ▶ Rendement
    - › Elec réseau : 40% (facteur EP - énergie primaire = 2,5)
    - › PAC : Facteur de Performance Saisonnier (FPS)



5

## Définition Européenne : Directive 2009/28/CE ANNEXE VII

### Comptabilisation de l'énergie produite à partir de pompes à chaleur

La quantité d'énergie aérothermique, géothermique ou hydrothermique capturée par des pompes à chaleur, devant être considérée comme énergie produite à partir de sources renouvelables aux fins de la présente directive, E RES, se calcule selon la formule suivante:

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

sachant que:

- $-Q_{\text{utilisable}}$  = la chaleur utilisable totale estimée qui est délivrée par des pompes à chaleur répondant aux critères indiqués à l'art. 5, §4, et mis en œuvre comme suit : seules sont prises en compte les pompes à chaleur pour lesquelles  $FPS > 1,15 * 1/\eta$ ,
- $-FPS$  = le **facteur de performance saisonnier** moyen estimé pour lesdites pompes à chaleur,
- $-\eta$  représente le ratio entre la production brute totale d'électricité et la consommation énergétique primaire requise pour la production d'électricité et se calcule en tant que moyenne à l'échelle de l'Union, fondée sur les données Eurostat



6

# Facteur de Performance Saisonnier

- $\eta = 46,4\%$  (Eurostat 2013)  $\Rightarrow$  si **FPS > 2.48**, alors PAC = SER
- On peut s'attendre aux SPF suivants pour des installations correctement dimensionnées et régulées avec PAC modulante :

TYPE DE POMPE A CHALEUR	SPF	Rendement sur énergie primaire
AIR – EAU	3,5	140 %
SOL <sub>H</sub> – EAU	3,6	144 %
SOL <sub>V</sub> – EAU	4,4	170 %

- Et on peut aller plus haut...
- Attention : plusieurs manières de calculer/mesurer le FPS!



7

## PAC = SER si...

Donc, une PAC...

- ▶ Performante
- ▶ Bien dimensionnée
- ▶ Bien installée
- ▶ Bien régulée
- ▶ Bien entretenue

et seulement sous ces conditions, lui permettant un rendement saisonnier (*FPS*) **réel** supérieur à 2.5

... est un Système d'utilisation ou de production d'Énergie Renouvelable (SER)



8

## III. Promotion des PAC

- ▶ **Le réglementaire**
  - › PEB
  - › Permis environnement – PU
  - › Ordonnance Sols pollués
  - › Ecodesign et Energy labelling
- ▶ **Les soutiens financiers**
  - › Primes
  - › Déductions fiscales
  - › Aides à l'investissement
- ▶ **Outils de communication et d'aide**
  - › Sites (Guide Bâtiment Durable – Bruxelles Environnement)
  - › Formations – séminaires bâtiment durable
  - › Facilitateur – Maison - PLAGE



9

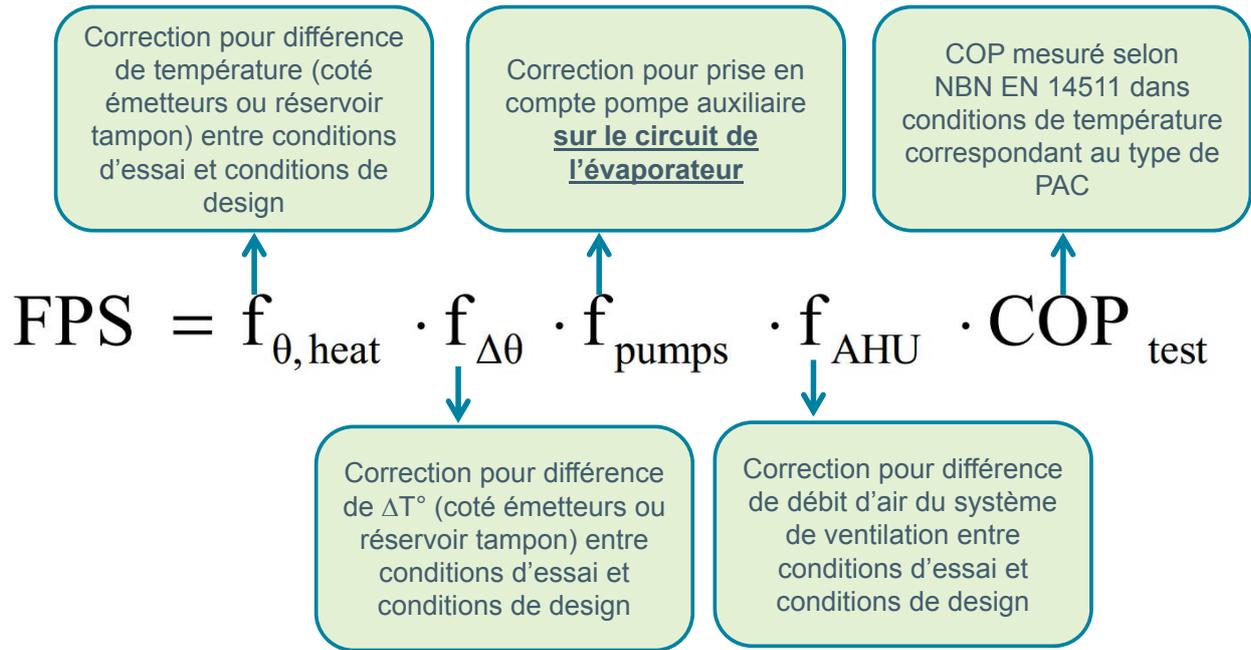
## REGLEMENTAIRE

- Bâtiments:
  - ▶ **PEB 2015** - bâtiments neufs et rénovations lourdes
    - ›  $E_p < 45 \text{ kWh/m}^2.\text{an}$
  - ▶ **Certification PEB** - bâtiments existants
    - › valeurs par défaut en fonction du type de PAC
- Installations:
  - ▶ **PEB climatisation**
    - › Si la PAC est réversible et puissance frigorifique  $> 12 \text{ kW}$
  - ▶ **Permis d'Environnement et Permis d'Urbanisme**
    - › Fluide frigo / captage d'eau / bruit
  - ▶ **Sols pollués**
  - ▶ **Energy labelling**
  - ▶ **Ecodesign**



10

# PEB 2015



Conditions d'essai sont définies par la norme NBN EN 14511

## Encodage logiciel PEB 2015

- Différents types de PAC sont prises en compte dans la méthode

- ▶ Au niveau des sources de chaleur :

- ▶ Au niveau du fluide caloporteur :



# Encodage logiciel PEB 2015

## Conditions de test norme EN 14511

Source de chaleur	Emission de chaleur	Conditions de test
<b>sur base du tableau 3 de la NBN EN 14511-2</b>		
air extérieur, éventuellement en combinaison avec de l'air rejeté	air recyclé, éventuellement en combinaison avec de l'air extérieur	A2/A20
air extérieur, éventuellement en combinaison avec de l'air rejeté	uniquement de l'air extérieur, sans utilisation d'un appareil de récupération de chaleur	A2/A2
uniquement de l'air extérieur	uniquement de l'air extérieur, en utilisant un appareil de récupération de chaleur	A2/A20
uniquement de l'air rejeté, sans utilisation d'un appareil de récupération de chaleur	air recyclé, éventuellement en combinaison avec de l'air extérieur	A20/A20
uniquement de l'air rejeté, sans utilisation d'un appareil de récupération de chaleur	uniquement de l'air extérieur, sans utilisation d'un appareil de récupération de chaleur	A20/A2
uniquement de l'air rejeté, en utilisant un appareil de récupération de chaleur	air recyclé, éventuellement en combinaison avec de l'air extérieur	A2/A20



13

# Encodage logiciel PEB 2015

## 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
	$\Delta\theta_{\text{test}}$			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 = <b>0,68</b>		1,03 x 1,00 x 0,91 = <b>0,94</b>	

Attention: FPS Théorique! Importance dimensionnement et installation



14

# PEB Climatisation

si la PAC est réversible  
et puissance nominale effective (frigorigifique) > 12 kW

Volet « chauffage et climatisation PEB »  
de l'Ordonnance PEB

Règlementation chauffage PEB

Règlementation climatisation PEB

Entrée en vigueur : 1<sup>er</sup> septembre 2012

Exigences

Actes réglementaires

Agréments

Entretien minimum

Technicien  
clim. PEB

Contrôle périodique  
des systèmes de clim.

Contrôleur



15

## Permis d'Environnement

- Géothermie: presque toujours **installations classées** soumises à déclaration ou à permis d'environnement
- **Systemes géothermiques ouverts** : captage  
=> toujours soumis à PE
  - ▶ captage d'eau souterraine → rubrique 62
  - ▶ pompe à chaleur (PAC) → rubrique 132 (réfrigération)
  - ▶ (si seuils atteints : pompes électriques → rubrique 55)ET à autorisation de pompage!

› Uniformisation de ces deux demandes en cours



16

## Permis d'Environnement

- **Systemes géothermiques fermés** : soumis à déclaration ou à permis d'environnement *si la PAC est classée* → rubrique 132 (Installations de refroidissement, réfrigération)
  - ▶ P compresseur < 10kWél et < 3 kg de fluide frigorigène
    - › Installation non classée = non soumise à autorisation
  - ▶ 10 kWél < P < 100 kWél ou > 3 kg de fluide
    - › Classe 3 et donc soumise à déclaration
  - ▶ P > 100 kWél
    - › classe 2 et donc soumise à PE

(Ou si pompes électriques classées → rubrique 55)

Remarque: les *forages* géothermiques ainsi que les *sondes* géothermiques ne sont actuellement pas classés mais modifications prévues à court terme



17

## Permis d'Environnement

- Conditions d'exploitation (AGRBC 22 mars 2012):
- Contrôle **étanchéité** fluide réfrigérant GES Fluorés
  - à pd **5 Téq CO2 - nouveau** Règlement européen GAZ Fluorés (EU 517/2014)
  - Fréquence fonction des Téq CO2
  - Par technicien FRIGORISTE qualifié – entreprise enregistrée
    - Formation sur réfrigérants alternatifs (CO2, NH3, HFO) - attention inflammabilité et toxicité
- **HCFC : c'est fini!** Depuis le 01 janvier 2015, il est interdit d'exploiter une installation de réfrigération classée contenant des HCFC
  - ▶ Attention fluide!!!
  - ▶ Attention fuites!!!



18

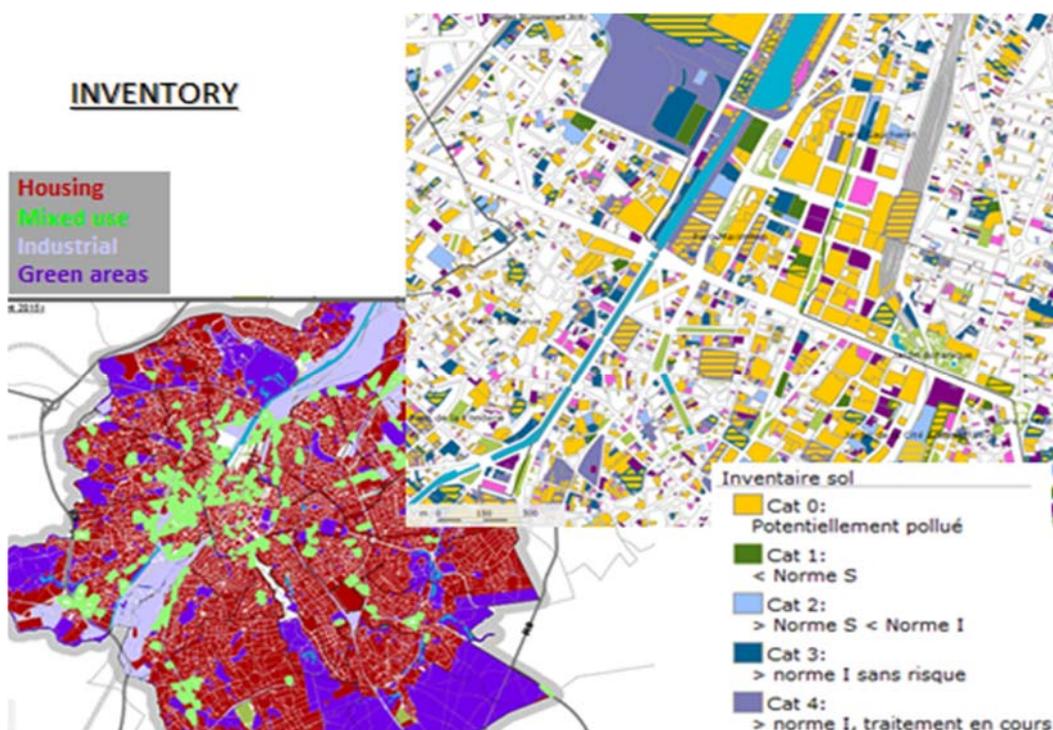
## Permis d'Urbanisme et Bruit

- Réglementation urbanistique (COBAT) stipule que les forages **géothermiques** sont soumis à rapport d'incidence
  - ▶ Permis d'urbanisme
    - › Se renseigner à la commune
- **Bruit** de voisinage (AGRBC 21/11/2002 complété en 2011)
  - ▶ Niveaux max à respecter!
    - › Attention aux évaporateurs des PAC air dynamique



19

## Ordonnance Sols Pollués

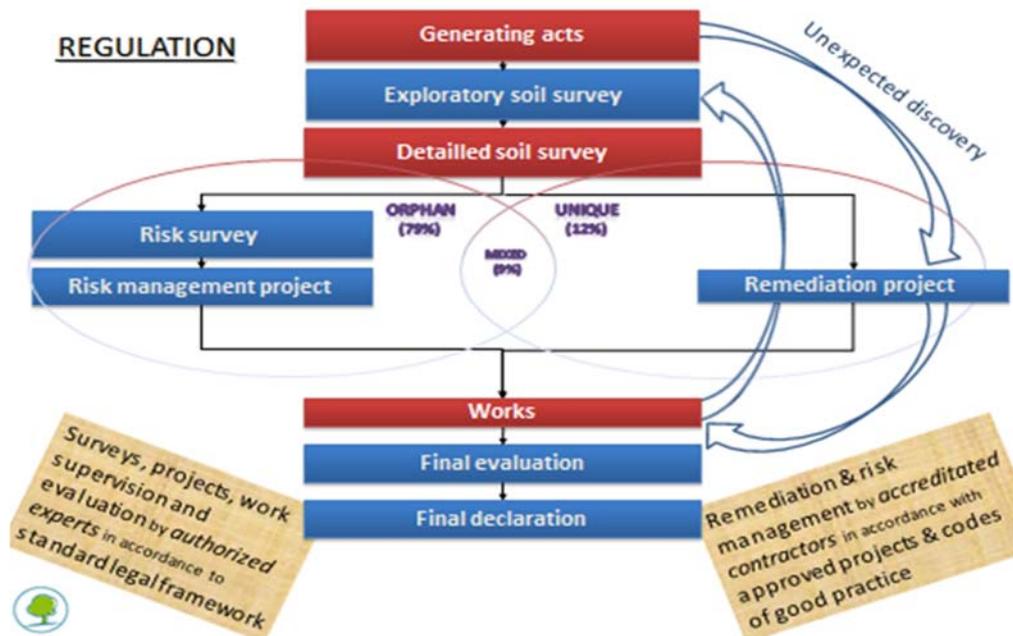


**Vérifier le plus tôt possible!!!**

[http://geoportal.ibgebim.be/webgis/inventaire\\_sol.phtml](http://geoportal.ibgebim.be/webgis/inventaire_sol.phtml)

20

# Ordonnance Sols Pollués



- Géothermie – peut aider à l’assainissement!

▶ [www.environnement.brussels/traitementinnovant](http://www.environnement.brussels/traitementinnovant)

▶ Outil en ligne

# Energy Label

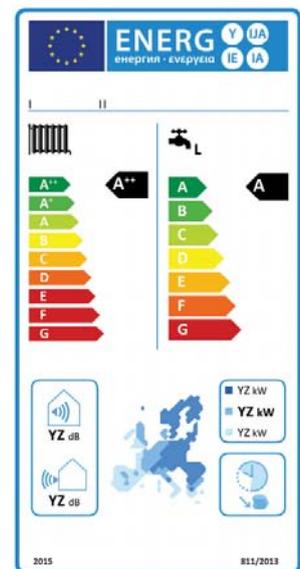
**Etiquetage** : règlements européens 811/2013 et 812/2013

Toutes les PAC

- ▶ mises sur le marché et/ou en service depuis le **26 septembre 2015**
- ▶ d’une puissance thermique nominale  $\leq 70$  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



# Ecodesign – Ecoconception

## Exigences : règlements européens 813/2013 et 814/2013

### Toutes les PAC

- ▶ mises sur le marché et/ou en service depuis le 26 septembre 2015
- ▶ d'une puissance thermique nominale  $\leq 400$  kW
- ▶ destinées à la production
  - › de chauffage uniquement
  - › combinée de chauffage et d'eau chaude sanitaire
  - › d'eau chaude sanitaire uniquement

### sont soumises à des exigences :

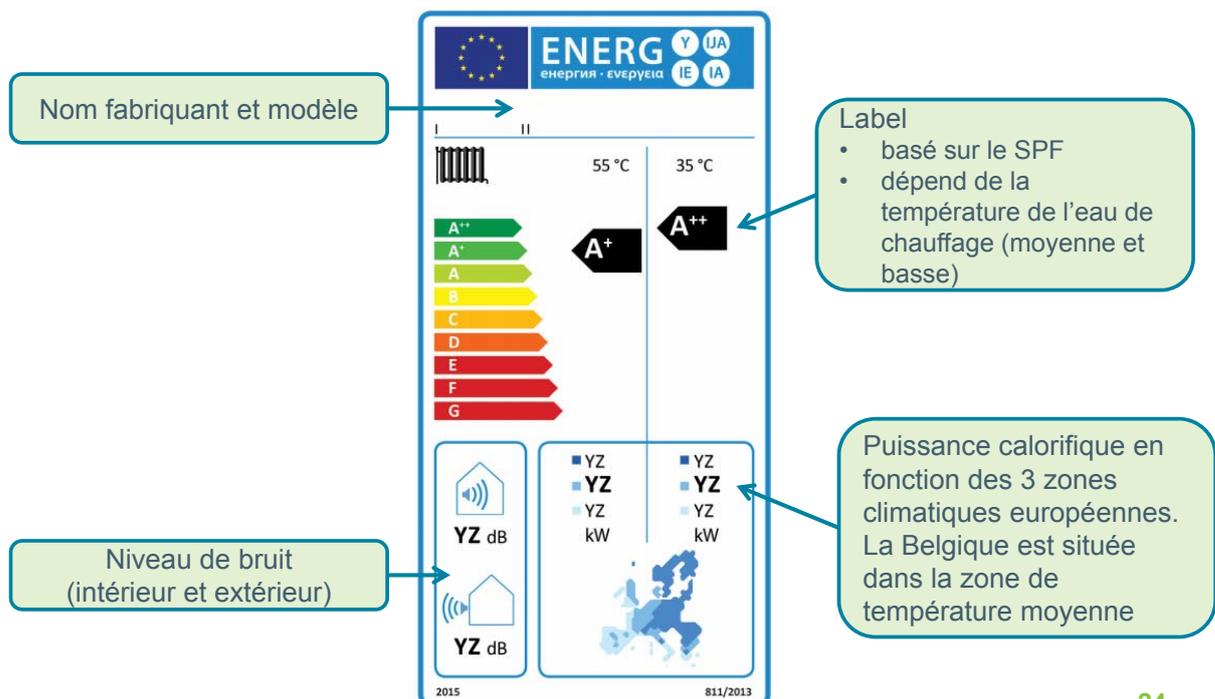
- ▶ Efficacité *énergétique* minimale
- ▶ Niveaux *acoustiques* maximaux
- ▶ *Informations* sur les produits (données devant figurer sur la fiche technique)



23

## Energy Label

### Etiquette PAC chauffage



24

# Ecodesign

## 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 $\eta_s$ en %
A <sup>+++</sup>	$\eta_s \geq 150$
A <sup>++</sup>	$125 \leq \eta_s < 150$
A <sup>+</sup>	$98 \leq \eta_s < 125$
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**

**SPF  $\geq 3.75$**

**SPF  $\geq 3.13$**

**SPF  $\geq 2.45$**

Exigence Ecodesign :  $\eta_s > 100\%$   
( $\Rightarrow$  SPF  $> 2.5$ )



25

# Ecodesign

## 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 $\eta_s$ en %
A <sup>+++</sup>	$\eta_s \geq 175$
A <sup>++</sup>	$150 \leq \eta_s < 175$
A <sup>+</sup>	$123 \leq \eta_s < 150$
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**

**SPF  $\geq 4.38$**

**SPF  $\geq 3.75$**

**SPF  $\geq 3.08$**

**SPF  $\geq 2.88$**

**SPF  $\geq 2.68$**

**SPF  $\geq 2.5$**

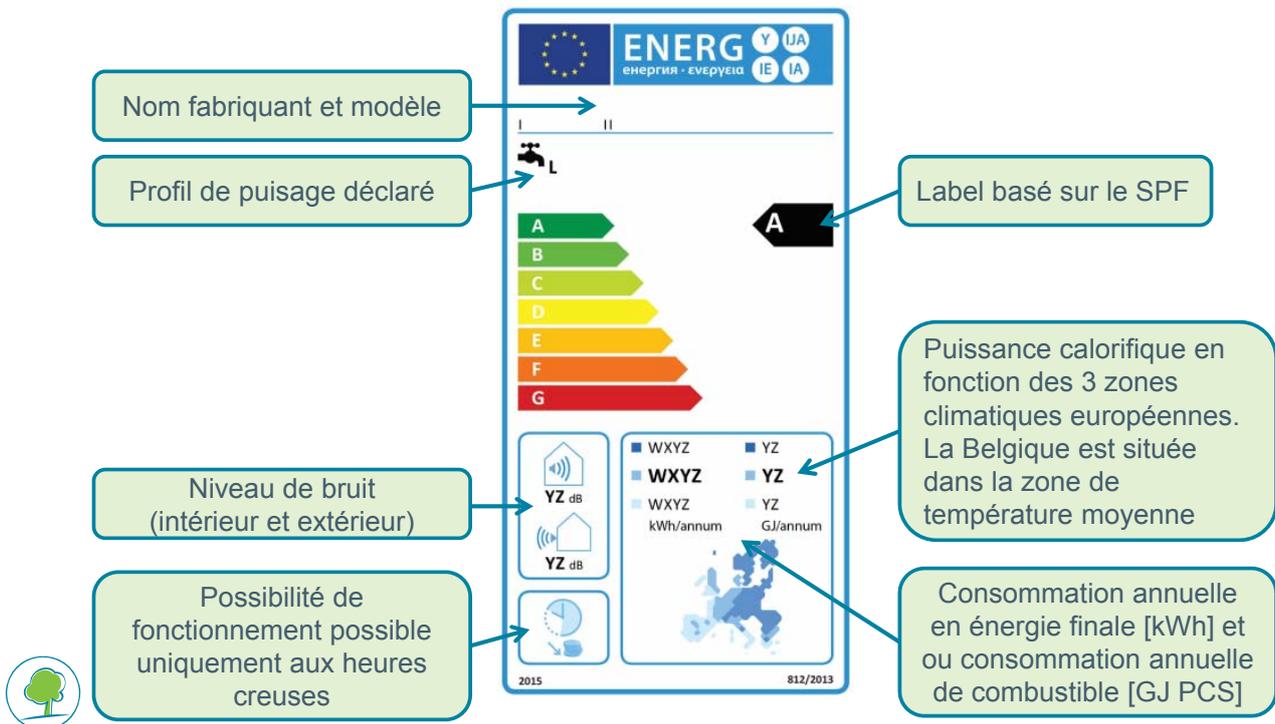
Exigence Ecodesign :  $\eta_s > 115\%$   
( $\Rightarrow$  SPF  $> 2.88$ )



26

# Energy Label

## Etiquette PAC ECS



# Ecodesign

## Classes énergétiques ECS uniquement

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

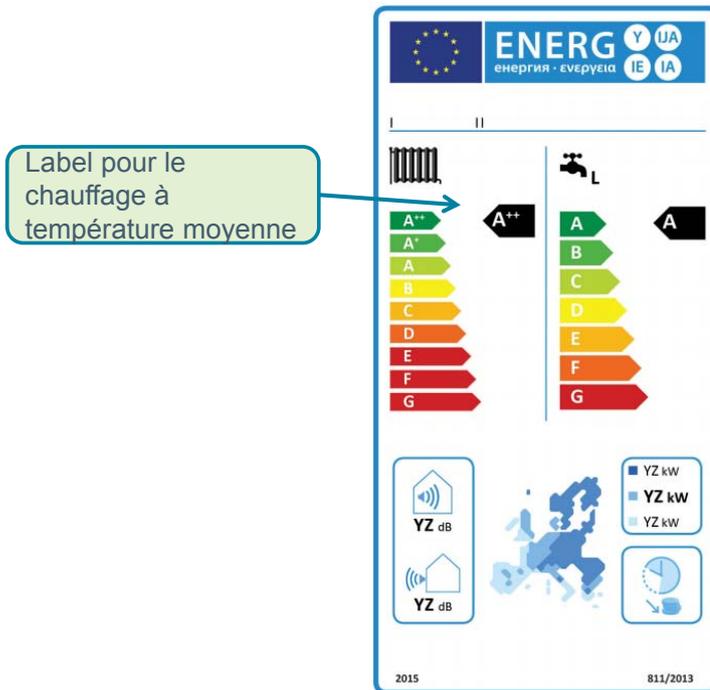
	3XS	XXS	XS	S	M	L	XL	XXL
A***	$\eta_{wh} \geq 62$	$\eta_{wh} \geq 62$	$\eta_{wh} \geq 69$	$\eta_{wh} \geq 90$	$\eta_{wh} \geq 163$	$\eta_{wh} \geq 188$	$\eta_{wh} \geq 200$	$\eta_{wh} \geq 213$
A**	$53 \leq \eta_{wh} < 62$	$53 \leq \eta_{wh} < 62$	$61 \leq \eta_{wh} < 69$	$72 \leq \eta_{wh} < 90$	$130 \leq \eta_{wh} < 163$	$150 \leq \eta_{wh} < 188$	$160 \leq \eta_{wh} < 200$	$170 \leq \eta_{wh} < 213$
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	$\eta_{wh} < 19$	$\eta_{wh} < 20$	$\eta_{wh} < 23$	$\eta_{wh} < 23$	$\eta_{wh} < 27$	$\eta_{wh} < 27$	$\eta_{wh} < 27$	$\eta_{wh} < 28$

### Exigence Ecodesign

Profil de soutirage déclaré	3XS	XXS	XS	S	M	L	XL	XXL	3XL	4XL
Efficacité énergétique pour le chauffage de l'eau	22 %	23 %	26 %	26 %	30 %	30 %	30 %	32 %	32 %	32 %

# Energy Labelling

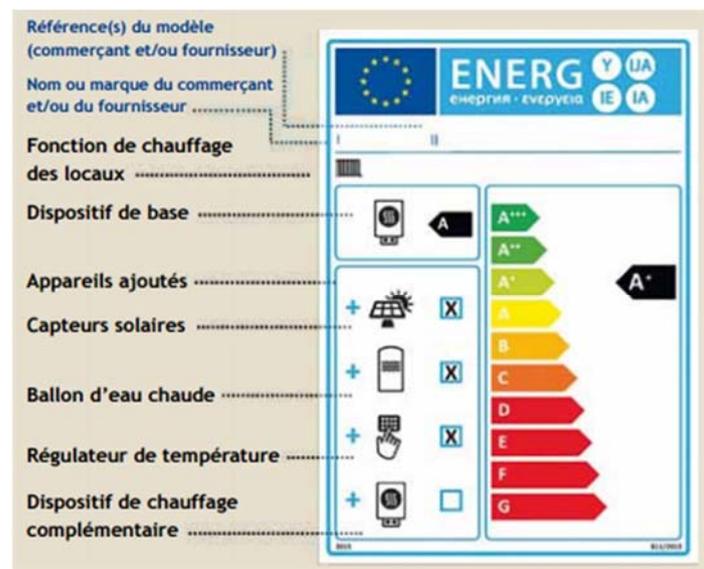
## Etiquette PAC chauffage + ECS



# Packet Label

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

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



# AIDES FINANCIERES

- Primes Energie 2016



- ▶ <http://www.environnement.brussels/thematiques/energie/primes-et-incitants/les-primes-energie-en-2016>

- Primes à la rénovation

- ▶ <http://logement.brussels/primes-et-aides/primes-a-la-renovation>

Cumulable avec primes énergie (max 90% montant éligible)

- Déductions fiscales pour investissements économiseurs d'énergie – entreprises – 13,5% (cat. 2.5.f)

- ▶ <http://www.environnement.brussels/thematiques/energie/primes-et-incitants/primes-et-autres-avantages-pour-les-entreprises-0>

- Aides à l'investissement - entreprises

- ▶ 20 à 40 % du montant de l'investissement admissible

[http://www.ecosubsibru.be/index.cfm?fuseaction=aides.aides\\_one&aide\\_id=255&language=FR](http://www.ecosubsibru.be/index.cfm?fuseaction=aides.aides_one&aide_id=255&language=FR)

- ▶ **Non cumulable** avec les primes énergie



## Primes Energie 2016

Tableau synthétique					Tertiaire et Industriel		Résidentiel Collectif			Résidentiel Unifamilial				
					Cat. A	Cat. C	Cat. A	Cat. B	Cat. C	Cat. A	Cat. B	Cat. C		
<b>A : Primes aux études &amp; audits</b>														
A1	Audit et Etude énergétique	R	max 50 % de la facture	€			3000			400				
<b>B : Isolation et ventilation</b>														
B1	Isolation du toit	R		R ≥ 4 m² K/W	€/m²	15	25	15	20	25	15	20	25	
						Bonus - matériau isolant naturel + 10 €/m²								
B2	Isolation des murs	R	max 50 % de la facture	par l'intérieur R ≥ 2 m² K/W par l'extérieur R ≥ 3,5 m² K/W en coulisse R ≥ 1 m² K/W	€/m²	20	30	20	25	30	20	25	30	
						Bonus - matériau isolant naturel + 10 €/m²								
B3	Isolation du sol	R		dalle de sol R ≥ 2 m² K/W plafond de cave R ≥ 3,5 m² K/W	€/m²	20	30	20	25	30	20	25	30	
						Bonus - matériau isolant naturel + 10 €/m²								
B4	Placement de vitrage isolant	R		dans nouveaux châssis avec U ≤ 1.1 dans châssis existants avec U ≤ 1.2	€/m²	10	20	10	15	20	10	15	20	
B5	Ventilation mécanique contrôlée	R	max 50 % de la facture	système D système C centralisé	€	25 % facture		2500	3000	3500	2500	3000	3500	
						/		1250	1500	1750	1250	1500	1750	
<b>C : Chaleur</b>														
C1	Chaudière à condensation au gaz	R		jusqu'à 40 kW + à partir de 40 kW	€	500	700	500	600	700	500	600	700	
						+ tubage (max 10 mètres)		€/m	50	70	50	60	70	
C2	Convecteur Performant	R	max 50 % de la facture	uniquement pour les locataires	€	/			100	200	300	100	200	300
C3	Régulation thermique	R		thermostat d'ambiance ou optimiseur vanne thermostatique	€	25	100	25	50	100	25	50	100	
						10	30	10	20	30	10	20	30	
C4	Pompe à chaleur - Chauffage	N&R	max 50 % de la facture		€	25% facture		4250	4500	4750	4250	4500	4750	
C5	Pompe à chaleur - Eau Chaude Sanitaire	N&R	max 50 % de la facture		€	/		1400	1500	1600	1400	1500	1600	
C6	Tubage collectif	R			% facture	/			30	35	40	/		
C7	Chauffe-eau solaire	N&R	max 50 % de la facture	jusqu'à 4 m² de panneaux + au-delà de 4m²	€	2500	3500	2500	3000	3500	2500	3000	3500	
						200	200	200	200	200	200	200	200	



# Primes PAC 2016

- **C4 : POMPE À CHALEUR - CHAUFFAGE**

- Uniquement **chauffage** ou **combinée**
- **Réversible** OK pour le tertiaire

- **C5 : POMPE À CHALEUR - ECS**

- Uniquement **ECS**
- Pas pour tertiaire

- ▶ Système « **E+** » repris dans les primes PAC

- Conditions techniques:

- Installateur **certifié RESCERT** (jusqu'à 50kWth)

- ▶ Voir les formulaires!

<http://www.environnement.brussels/thematiques/energie/primes-et-incitants/les-primes-energie-en-2016/formulaires-des-primes-energie>



33

## INFOS et ACCOMPAGNEMENT



- SITE internet de BE

- <http://www.environnement.brussels/thematiques/energie/quest-ce-que-lenergie-verte/les-pompes-chaaleur>
- Formations – Séminaires:  
<http://www.environnement.brussels/guichet/seminaires-et-formation>
- PLAGE:  
<http://www.environnement.brussels/thematiques/energie/economiser-votre-energie/plan-local-daction-pour-la-gestion-energetique>

- GUIDE Bâtiment Durable

- <http://www.bruxellesenvironnement.be/guidebatimentdurable>

- FACILITATEUR Bâtiments Durables (pros)

- <https://be.linkedin.com/in/facilitateur-bâtiment-durable-166498110>

- MAISON de l'énergie (particuliers)

- <http://www.maisonenergiehuis.be/>



34

## Outils, sites internet, etc... intéressants

- Info-fiche du CSTC (encodage d'une PAC dans le logiciel PEB)
  - ▶ <http://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=infofiches&pag=48&art=4>
- Permis d'environnement et installations classées
  - ▶ <http://www.environnement.brussels/le-permis-denvironnement>
- Réglementation CLIM PEB
  - ▶ <http://www.environnement.brussels/thematiques/energie/la-performance-energetique-des-batiments-peb/les-installations-techniques-4>
- 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](http://app.bruxellesenvironnement.be/listes/?nr_list=1)
- Ordonnance Sols
  - ▶ <http://www.environnement.brussels/thematiques/sols-0>
- Ecodesign
  - ▶ <http://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficient-products/heaters>
- Facilitateur PAC Région Wallonne
  - ▶ <http://www.ef4.be/fr/pompes-a-chaaleur>



35

## IV. Ce qu'il faut retenir de l'exposé

- Objectifs à atteindre en RBC (4% SER...)
  - ▶ PAC partie de la solution
- Intéressant sous réserve de bonnes **performances** !
  - ▶ Performance de la PAC (energy label ecodesign) (SPFmin = 2,5)
  - ▶ Adéquation aux besoins énergétiques du bâtiment
  - ▶ Dimensionnement de l'installation
  - ▶ Système d'émission (très) basse température
  - ▶ Bonne installation (installateur certifié)
  - ▶ Régulation paramétrée correctement et effective
  - ▶ Bon suivi des performances (monitoring)
- Divers dispositifs favorisant l'installation de PAC de QUALITE:
  - ▶ Dispositions réglementaires
  - ▶ Octroi d'aides financières
  - ▶ Nombreux services d'aide pour vous aider !



36

## Contact

### **Julien DONEUX**

Gestionnaire de projets Bâtiments Durables

Bruxelles Environnement

Div. Energie, air, climat

Dpt. Bâtiments durables

Accompagnement des professionnels

Avenue du Port 86C/3000 B-1000 Bruxelles

E-mail : [jdoneux@environnement.brussels](mailto:jdoneux@environnement.brussels)





---

# Les pompes à chaleur en rénovation de logements

## Technologies et retour d'expérience

---

**Eric Dumont**  
**UMONS**

L'exposé concerne l'étude des performances pendant au moins une année complète de deux pompes à chaleur (PAC) installées dans deux maisons individuelles non ou peu isolées ainsi que l'étude énergétique/économique de l'isolation combinée avec la PAC dans la seconde maison.

Le premier cas concerne une pompe à chaleur haute température avec cycle dit 'à injection', installée dans une maison quatre façades non isolée. Cette PAC a remplacé une chaudière au gaz et sert pour le chauffage de l'habitation et la production d'eau chaude sanitaire. Au début de l'étude, la PAC a été testée quelques mois avec les anciens radiateurs utilisés avec la chaudière au gaz. Ensuite, les radiateurs ont été remplacés par des ventilo-convecteurs et les performances de la PAC ont été suivies pendant deux ans. Enfin, les ventilo-convecteurs ont été remplacés par un plancher chauffant et les performances de la PAC ont été suivies pendant un an.

Le second cas concerne une pompe à chaleur haute température avec cycle dit 'en cascade', installée dans une maison quatre façades peu isolée. Cette PAC a remplacé une chaudière au gaz (qui a été conservée) et sert pour le chauffage de l'habitation et la production d'eau chaude sanitaire. Elle a été connectée aux radiateurs existants et ses performances suivies pendant un an complet.

L'étude énergétique/économique s'attache à évaluer les économies d'énergie finale, d'énergie primaire et d'émissions de CO<sub>2</sub> dans différents scénarios d'isolation de la seconde habitation, combinés ou pas avec l'installation de la PAC. Un calcul de temps de retour simple sur investissement pour les différents scénarios sera également présenté.



# La pompe à chaleur, du potentiel à Bruxelles !

4 mars 2016

Bruxelles Environnement

## LA POMPE À CHALEUR EN RÉNOVATION : DEUX CAS CONCRETS EN LOGEMENT INDIVIDUEL

Eric DUMONT, assistant professeur  
Université de Mons – Faculté Polytechnique



**BRUXELLES ENVIRONNEMENT**  
IBGE - INSTITUT BRUXELLOIS POUR LA GESTION DE L'ENVIRONNEMENT

## Objectifs de la présentation

- Présenter deux cas concrets de PAC de technologies différentes utilisées lors de la rénovation de deux maisons individuelles
- Présenter une étude énergétique/économique d'un des deux cas qui compare l'isolation de l'habitation et/ou l'installation d'une PAC



# Plan de l'exposé

1. Introduction
2. Suivi d'une PAC haute température (cycle à injection)
3. Suivi d'une PAC haute température (cycle en cascade)
4. Etude énergétique et économique
5. Conclusions

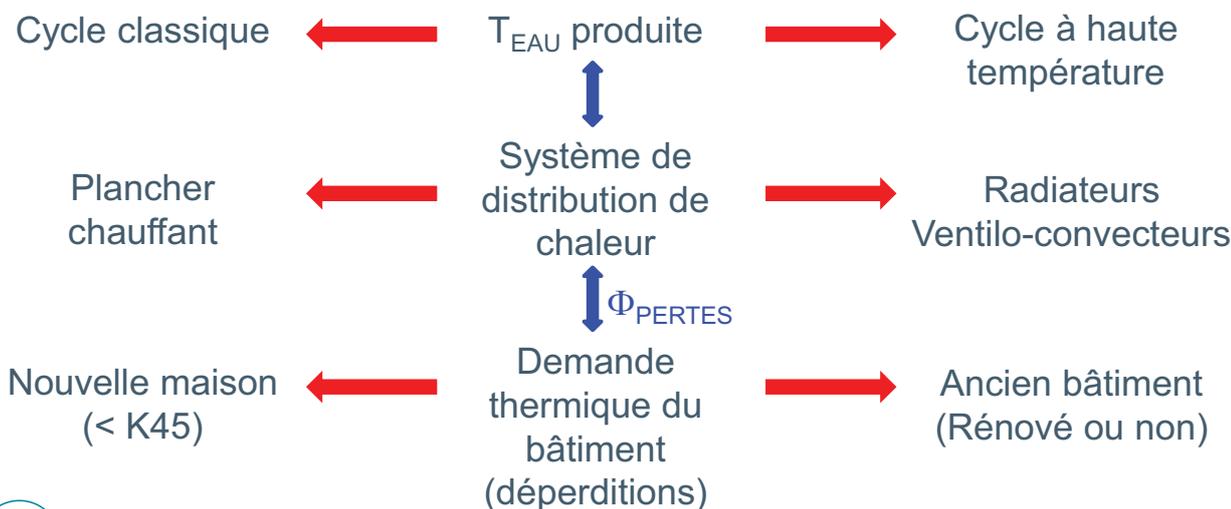


## Introduction



# PAC et rénovation

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



5

# PAC et rénovation

- Première solution
  - Changer les émetteurs de chaleur à haute température (60-70°C) par des émetteurs à moyenne température (ventilo-convecteurs : 40-50°C) ou à basse température (plancher chauffant : 30-35°C)
  - Investissement important (isolation de l'habitation, changement d'émetteur, investissement dans une PAC)
  - Technologie :
    - PAC « standard » avec un cycle thermodynamique « classique » (plancher chauffant)
    - PAC haute température avec cycle plus complexe (ventilo-convecteurs)



6

# PAC et rénovation

- Deuxième solution

- Placer un système de chauffage qui utilise une pompe à chaleur mais avec les émetteurs de chaleur haute température existants (60-70°C)

- Investissement moindre (isolation légère ou pas d'isolation, investissement dans une PAC)

- Technologie :

- PAC haute température avec cycle plus complexe

- PAC hybride

- PAC à absorption/adsorption

- PAC à moteur à gaz



## Suivi d'une PAC haute température (cycle à injection)



# Introduction

- PAC installée dans une maison 4 façades faiblement isolée bâtie en 1995 (K100) à Châtelet :  $\Phi_{\text{PERTES}} (T_{\text{EXT}} = -10^{\circ}\text{C}) = 11 \text{ kW}$
- La PAC est utilisée pour le chauffage et pour la production d'eau chaude sanitaire (ECS, ballon de 200 l)



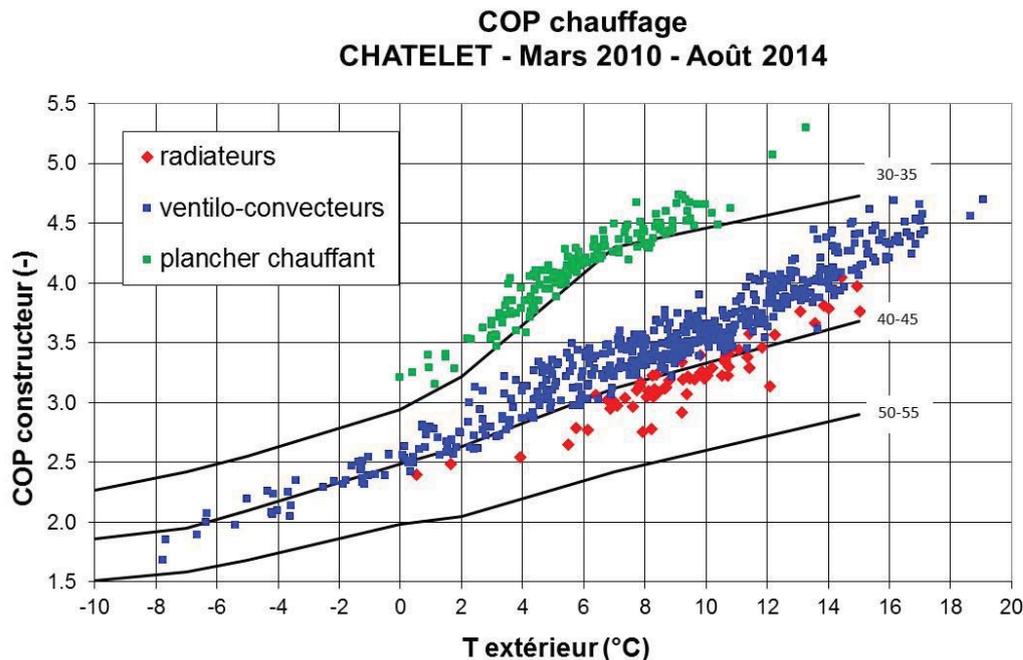
# Introduction

- Monitoring d'une PAC air-eau (AJ TECH/ARKTEOS ZURAN 100) qui utilise un cycle à injection avec compresseur à vitesse variable
- Flux chaud nominal PAC = 12 kW
- La PAC a été complètement instrumentée pour des mesures détaillées en avril 2010



# Résultats en chauffage

- COP journaliers – période mars 2010 – août 2014



# Résultats en chauffage

- Résultats annuels pour les saisons 2010-2011 et 2011-2012 (ventilo-convecteurs)

Period	$E_{HP}$ (kWh)	$E_{WP}$ (kWh)	$E_{DEF}$ (kWh)	$E_{SB}$ (kWh)	$E_{CONV}$ (kWh)	$E_{RES}$ (kWh)	Q (kWh)	$COP_{SYS}$ (-)	$COP_{TOT}$ (-)
1/7/2010-30/6/2011	4952.53	148.20	54.20	205.31	72.59	2.31	15060.48	2.95	2.81
1/7/2011-30/6/2012	5034.21	178.70	20.46	200.51	86.25	0.00	16405.16	3.15	3.02

94.5%    3.0%    0.7%    3.8%  
 PAC    Circ.    Deg.    Stand-by

PER = 1.28 à 1.37

- Résultats annuels pour la saison 2013-2014 (plancher chauffant)

Period	$E_{HP}$ (kWh)	$E_{WP}$ (kWh)	$E_{DEF}$ (kWh)	$E_{SB}$ (kWh)	$E_{RES}$ (kWh)	Q (kWh)	$COP_{SYS}$ (-)	$COP_{TOT}$ (-)
1/9/2013-31/8/2014	2337.37	110.61	14.35	232.91	0.00	10013.06	4.09	3.72

86.7%    4.1%    0.6%    8.6%  
 PAC    Circ.    Deg.    Stand-by

PER = 1.69



# Résultats production ECS

- Résultats annuels pour les saisons 2010-2011, 2011-2012 et 2013-2014

Period	$E_{HP}$ (kWh)	$E_{WP}$ (kWh)	Q (kWh)	$COP_{sys}$ (-)
1/7/2010-30/6/2011	713.41	19.97	1828.88	2.49
1/7/2011-30/6/2012	653.59	17.07	1714.26	2.56
1/9/2013-31/8/2014	763.12	20.84	2057.44	2.62

97.4% 2.6%

PAC Circ. PER = 1.13 à 1.19



## Suivi d'une PAC haute température (cycle en cascade)



# Introduction

- PAC installée dans une maison 4 façades non isolée bâtie en 1973 (K98) à Froyennes
- La PAC est utilisée pour le chauffage (avec les radiateurs existants) et pour la production d'eau chaude sanitaire (ECS)
- Flux chaud nominal PAC = 14.5 kW



15

# Introduction

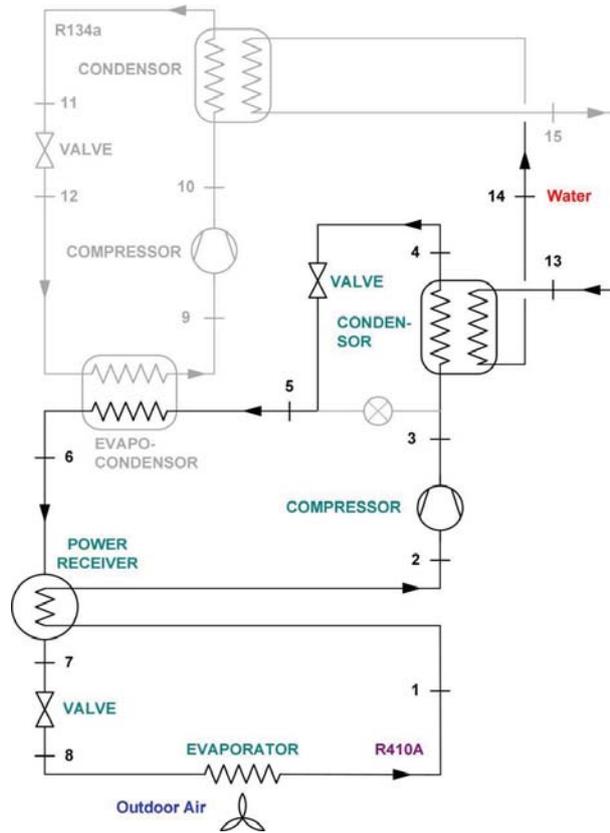
- PAC air-eau (AJ-TECH) qui utilise un cycle en cascade original avec compresseur à vitesse variable
- La chaudière au gaz a été conservée pour les jours les plus froids (fonctionnement séparé)
- La PAC a été complètement instrumentée pour des mesures détaillées en septembre 2013



16

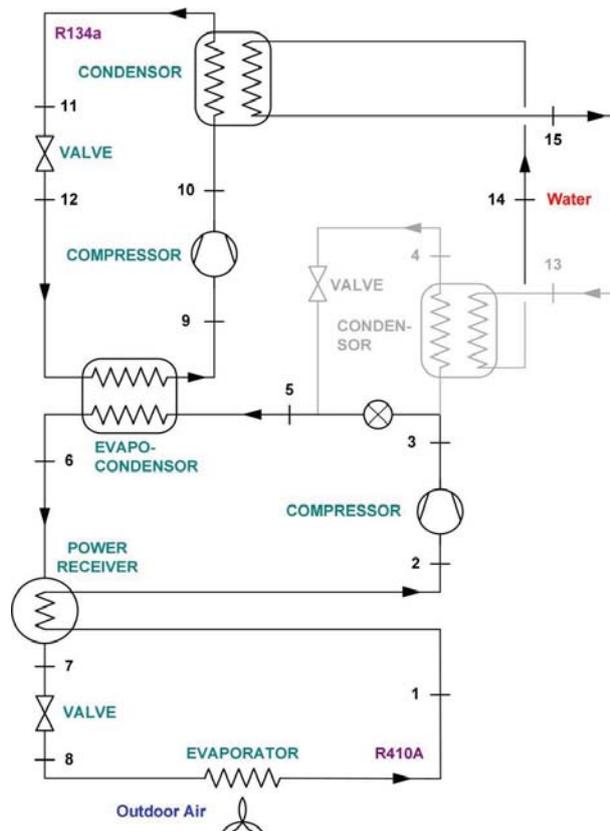
# Fonctionnement

## Mode #1



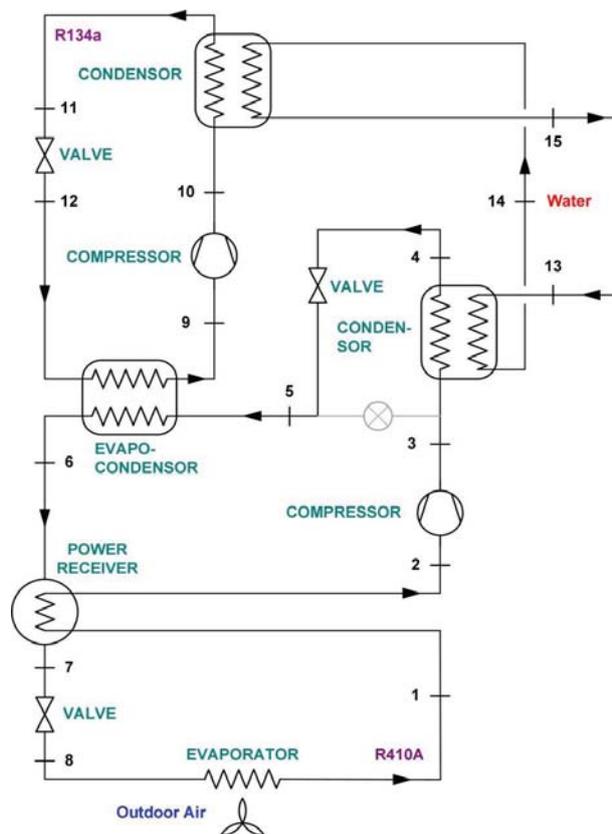
# Fonctionnement

## Mode #3



# Fonctionnement

Mode #2



# Régulation

- Combinaison des modes de la PAC et de la température d'eau à l'entrée des radiateurs (♦)
- Loi d'eau :  $T_{EAU} = 60 - 1.75 * T_{EXT}$

T outdoor (°C)	Water temperature (°C)						
	<25	25-35	36-45	46-55	56-65	66-75	76-85
<-15							♦
-15 to -10							♦
-9 to -5						♦	
-4 to 0					♦		
1 to 5				♦			
6 to 10			♦	♦			
11 to 15			♦				
>15		♦					

Mode 1
Mode 1 or 2
Mode 2
Mode 3



# Résultats en chauffage

- Résultats annuels pour la période octobre 2013 – septembre 2014

Month	$E_{HP}$ (kWh)	$E_{WP}$ (kWh)	$E_{DEF}$ (kWh)	$E_{SB}$ (kWh)	Q (kWh)	$COPM_{SYS}$ (-)	$COPM_{TOT}$ (-)
October	135.1	4.0	0.0	7.0	521.5	3.75	3.57
November	650.9	15.5	1.2	15.9	2229.2	3.35	3.26
December	963.2	18.5	2.0	17.3	2953.3	3.01	2.95
January	942.4	19.9	1.1	16.2	3039.4	3.16	3.10
February	795.6	18.5	0.4	14.2	2679.1	3.29	3.23
March	313.7	8.4	0.2	19.9	1074.3	3.34	3.14
April	188.3	6.1	0.0	15.6	714.6	3.68	3.40
May	154.8	5.1	0.0	14.5	612.1	3.83	3.51
June	34.3	1.3	0.0	12.8	132.4	3.71	2.74
July	8.6	0.4	0.0	10.2	42.1	4.65	2.19
August	14.4	0.5	0.0	15.2	66.3	4.44	2.21
September	7.1	0.2	0.0	15.0	31.1	4.25	1.40
Year	4208.2	98.5	4.9	173.5	14095.3	3.27	3.14

93.8%    2.2%    0.1%    3.9%  
 PAC    Circ.    Dégivrage Stand-by    PER = 1.43



# Résultats production ECS

- Résultats annuels pour la période octobre 2013 – septembre 2014
- $T_{ECS} = 55^{\circ}C$  (semaine) ou  $65^{\circ}C$  (week-end)

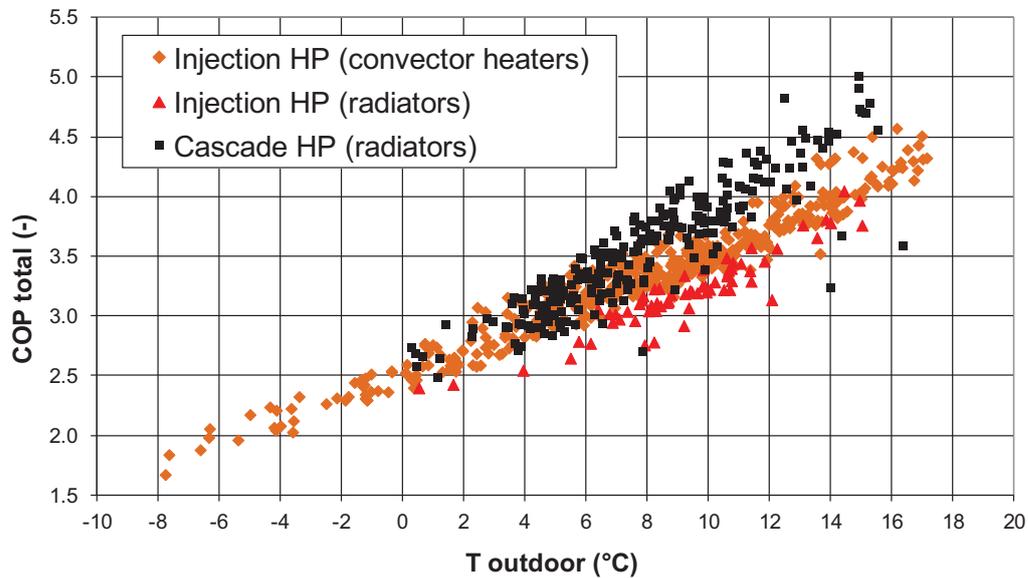
Month	$E_{HP}$ (kWh)	$E_{WP}$ (kWh)	Q (kWh)	$COPM_{SYS}$ (-)
October	49.9	1.5	125.5	2.45
November	110.0	3.2	285.5	2.52
December	128.8	3.8	338.5	2.55
January	102.7	3.0	271.2	2.57
February	114.5	3.5	317.1	2.69
March	74.8	2.4	209.7	2.72
April	79.7	2.7	228.2	2.77
May	97.5	3.4	285.9	2.83
June	79.6	2.9	233.8	2.84
July	79.0	2.7	220.0	2.70
August	76.5	3.1	223.3	2.80
September	64.9	2.2	174.0	2.59
Year	1057.7	34.1	2912.6	2.67

96.9%    3.1%  
 PAC    Circ.    PER = 1.21



# Comparaison Cascade-Injection

- COP journalier (sans énergie de Stand-by, en chauffage)
- PAC avec cycle en cascade meilleur que PAC avec cycle à injection



## Etude énergétique et économique



# Etude énergétique

- Le comportement thermique de la maison a été modélisé grâce au logiciel TRNSYS
  - modèle thermique dynamique (3 zones)
  - modèle stationnaire de la chaudière et de la PAC
  - modèle dynamique des radiateurs
- Résultats comparables aux données disponibles :

Q (kWh/year)	House as is	Refurbished
Gas bill (2010)	30758	/
Energy Audit (2013)	29684	18975
TRNSYS (Ideal control T=20°C)	29837	21500
TRNSYS (Gas boiler control T=19-21°C)	31656	/
TRNSYS (HP control T=19-21°C)	33778	/

Le taux d'infiltration d'air extérieur n'est pas facile à déterminer !  
Les données météo ne sont pas les mêmes !



25

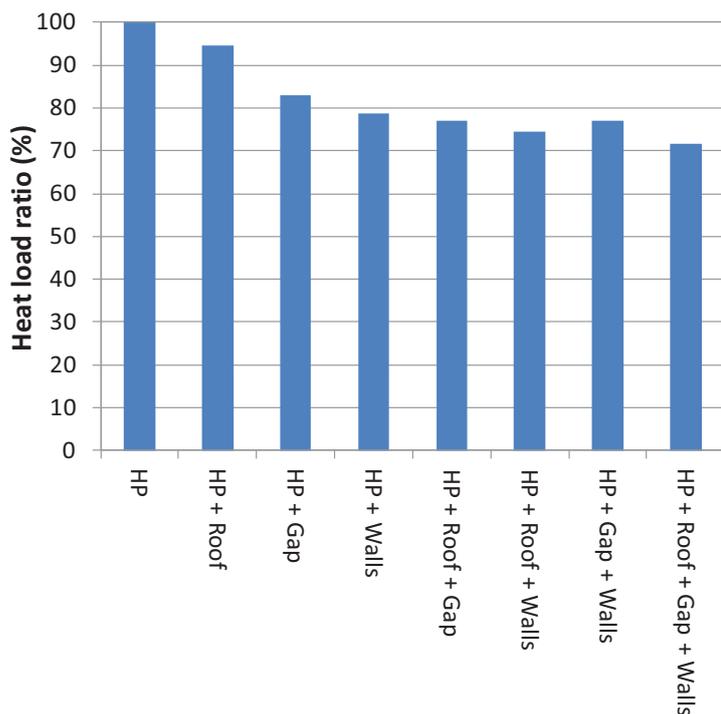
# Etude énergétique

- Différents scénarios d'isolation ont été modélisés sous TRNSYS  
Combinaison d'une ou de plusieurs mesures :
  - Isolation du toit (passage de 6 à 24 cm laine de cellulose) ('Roof')
  - Isolation de la coulisse entre les blocs de béton et les briques de parement (6 cm d'isolant) ('gap')
  - Isolation extérieure des murs (8 cm d'EPS) ('walls')
- VMC avec récupération de chaleur installée/non installée dans la maison ('CMV')



26

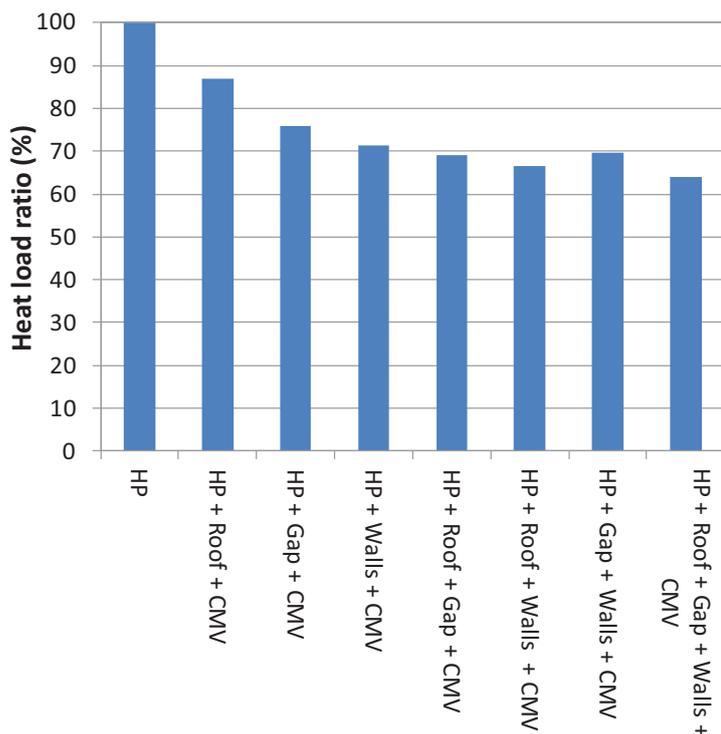
# Etude énergétique



Case	Q (kWh/year)	SPF HP (-)
HP	33778	3.01
HP + Roof	31954	3.01
HP + Gap	28036	3.03
HP + Walls	26542	3.03
HP + Roof + Gap	25971	3.04
HP + Roof + Walls	25125	3.04
HP + Gap + Walls	26016	3.03
HP + Roof + Gap + Walls	24216	3.04



# Etude énergétique



Case	Q (kWh/year)	SPF HP (-)
HP	33778	3.01
HP + Roof + CMV	29333	3.03
HP + Gap + CMV	25586	3.04
HP + Walls + CMV	24070	3.05
HP + Roof + Gap + CMV	23355	3.05
HP + Roof + Walls + CMV	22507	3.05
HP + Gap + Walls + CMV	23554	3.05
HP + Roof + Gap + Walls + CMV	21581	3.06

Le taux d'infiltration d'air extérieur a diminué !



# Etude énergétique

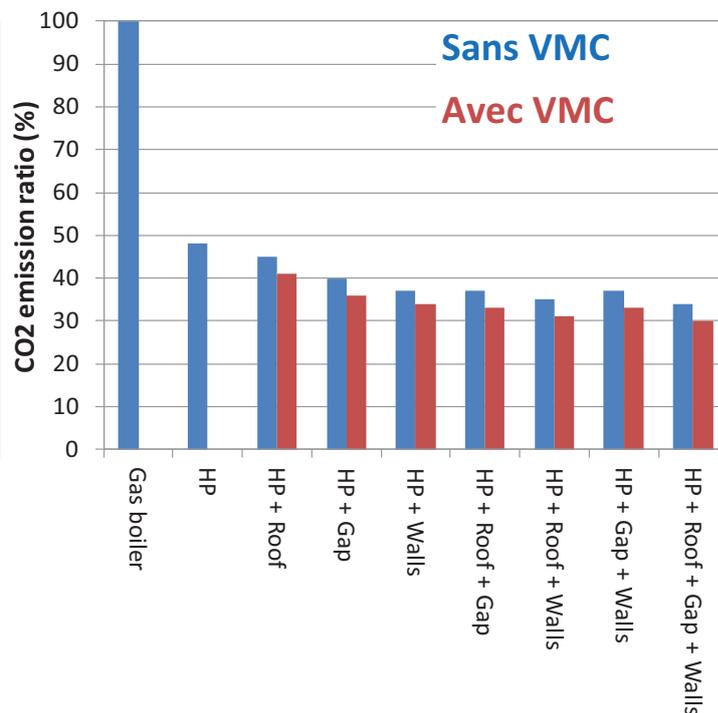
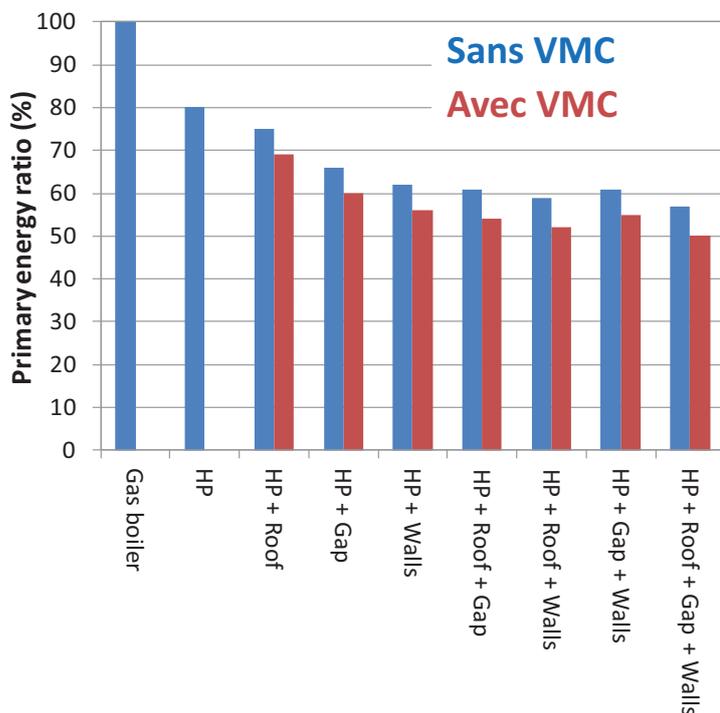
PER

1 kWh Elec = 2.5 kWh Energie primaire

Emissions de CO<sub>2</sub>

0.347 kg CO<sub>2</sub>/kWh Elec

0.231 kg CO<sub>2</sub>/kWh Gaz



# Etude économique

- Coûts d'investissement : rapport Région wallonne CO-ZEB 2013 (TVAC)

-PAC : 15000 Eur

-Isolation du toit : 12381 Eur

-Isolation de la coulisse : 6202 Eur

-Isolation extérieure des murs : 27152 Eur

-VMC : 9051 Eur

- Prix de l'énergie :

-Gaz : 0.08 Eur/kWh

-Electricité : 0.19 Eur/kWh

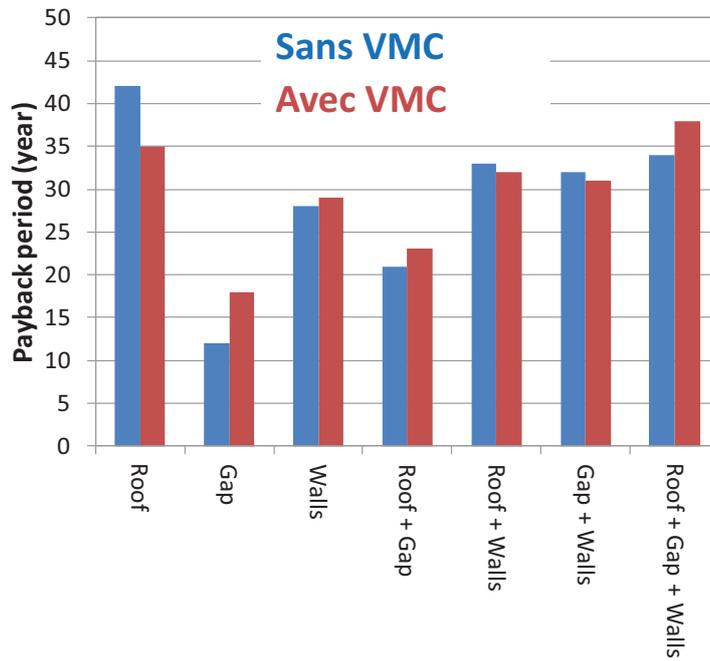
- Pas de prise en compte des subsides, ni des coûts d'entretien
- Le temps de retour simple est calculé par rapport au scénario de base chaudière au gaz



# Etude économique

Scénarios d'isolation

Taux d'inflation du gaz de 3%

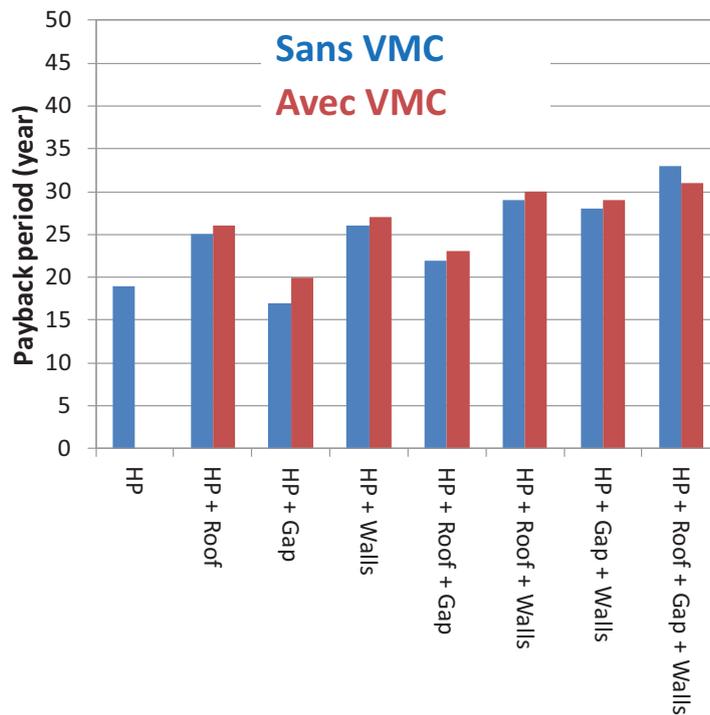


# Etude économique

Scénarios d'isolation + PAC

Taux d'inflation du gaz : 3%

Taux d'inflation de l'électricité : 3%



# Conclusions



33

## Conclusions

- Deux cas concrets d'utilisation de PAC en rénovation :
- **Premier cas** : on rénove les émetteurs de chaleur
  - 1) Ventilo-convecteurs + PAC air/eau à injection
    - Investissement dans une PAC mais faible investissement dans les émetteurs : SPF=2.81 à 3.02 (PER=1.28 à 1.37)
  - 2) Plancher chauffant + PAC air/eau à injection
    - Investissement dans une PAC et gros investissement dans les émetteurs : SPF=3.72 (PER=1.69)
    - Eau chaude sanitaire : SPF=2.49 à 2.62 (PER=1.13 à 1.19)



34

# Conclusions

- **Deuxième cas** : on place uniquement une PAC
  - Investissement dans une PAC mais pas d'autre investissement : SPF=3.14 (PER=1.43)
  - Eau chaude sanitaire : SPF=2.67 (PER=1.21)
- **Isolation** : toujours utile de réduire sa consommation.
  - Selon le scénario, on peut diminuer la consommation de 5% à 35% mais les temps de retour sur investissement sont longs.
  - La combinaison PAC ou PAC+isolation peut donner des temps de retour plus courts mais dépend beaucoup des coûts des énergies !



35

# Contact

**Eric DUMONT**

Fonction : assistant professeur – Université de Mons

Coordonnées : UMONS - Faculté Polytechnique  
Service de Thermodynamique  
31 Boulevard Dolez  
B-7000 MONS

☎ : 065/37 42 04

E-mail : [eric.dumont@umons.ac.be](mailto:eric.dumont@umons.ac.be)



36

---

# Conception et dimensionnement de systèmes de PAC

## Points d'attention et outils, sur base d'exemples

---

**Fabrice Derny**  
**Matriciel**

La présentation aborde le choix et la conception des installations de pompes à chaleur dans le contexte des bâtiments tertiaires énergétiquement performants.

A partir d'une évaluation initiale des besoins en chauffage et en refroidissement pour le bâtiment, les différents types d'installation techniques envisageables seront présentés.

Ensuite, on décrira de manière détaillée la solution PAC géothermique (réversible ou avec géocooling) avec chaudière gaz pour l'appoint en chauffage et groupe de froid pour l'appoint en refroidissement. On énoncera les points d'attentions relatifs à la régulation, au dimensionnement de la source géothermique ainsi qu'au choix des émetteurs.

Enfin, une comparaison de la consommation d'énergie primaire pour les différents types d'installation sera donnée pour des bâtiments avec différents niveaux d'isolation.



# La pompe à chaleur, du potentiel à Bruxelles !

4 mars 2016

Bruxelles Environnement

**Conception et dimensionnement de systèmes de PAC**  
**Points d'attention et outils, sur base d'exemples**

Fabrice DERNY



MATRIciel SA



**BRUXELLES ENVIRONNEMENT**  
IBGE - INSTITUT BRUXELLOIS POUR LA GESTION DE L'ENVIRONNEMENT

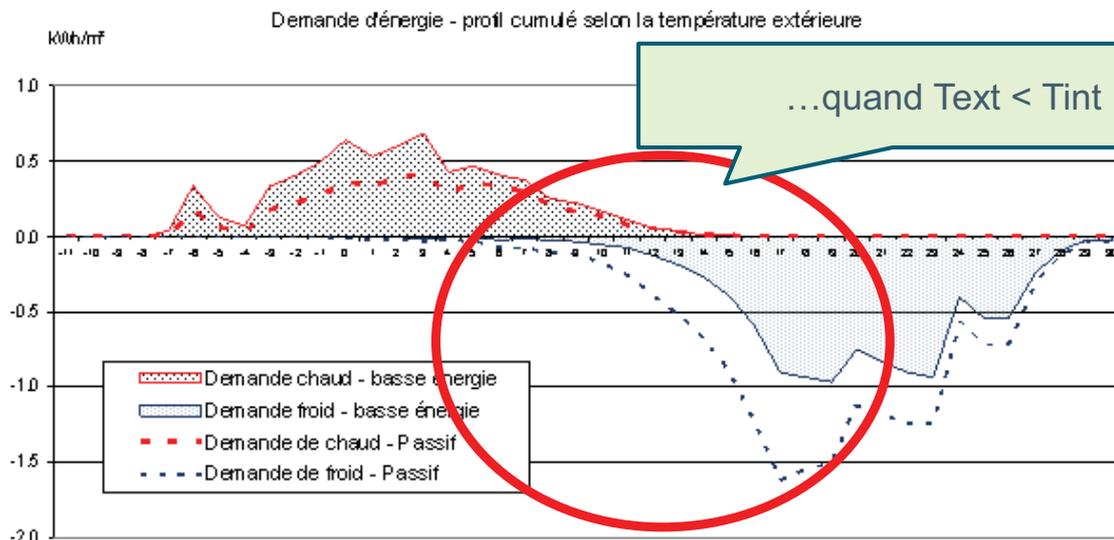
## Objectif(s) de la présentation

- Quelle PAC dans un bâtiment basse énergie (... zéro énergie) ?
- Comment concevoir un projet avec une PAC, aperçus



## Point de départ : comment évolue le besoin énergétique d'un bâtiment fortement isolé ?

Plus on isole un bâtiment plus sa demande de refroidissement augmente :



3

## Isoler se combine avec la recherche d'une source de refroidissement naturelle

- Solution 1 : l'air extérieur via ventilation naturelle intensive quand  $T_{ext} < T_{int}$  (en mi-saison ou durant les nuits d'été).
- Contraintes :
  - ▶ Besoin d'inertie thermique : absence de faux plafond et/ou de faux plancher
  - ▶ Nécessité d'ouverture du bâtiment en façade, en toiture : implication esthétique, contraintes de l'environnement (intrusion, bruit, pollution, ...)
  - ▶ Puissance de refroidissement non maîtrisée : température intérieure fluctuante
  - ▶ Collaboration des occupants : gestion de certaines ouvertures.
- Solution 2 : le sol



4

# Le choix du type de production de chaleur dépend du choix de la production de froid

Production de froid	Groupe de froid	Free cooling	Geocooling
Production de chaud possible	Chaudière gaz à condensation		Pompe à chaleur eau/eau électrique (+ chaudière d'appoint)
	Chaudière biomasse		
	Pompe à chaleur air/eau électrique (+ chaudière d'appoint)		Pompe à chaleur eau/eau gaz (+ chaudière d'appoint)
	Pompe à chaleur air/eau gaz (+ chaudière d'appoint)		



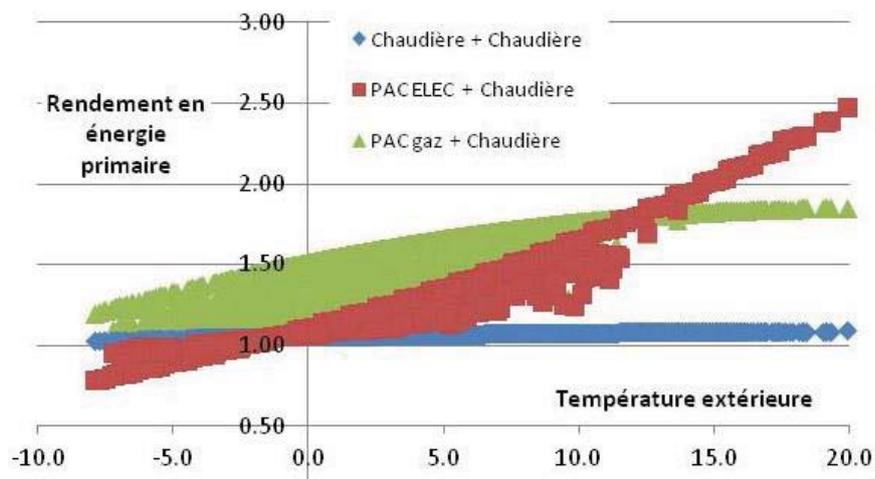
## Choix d'une PAC air/eau

- Comparaison chaudières / PAC

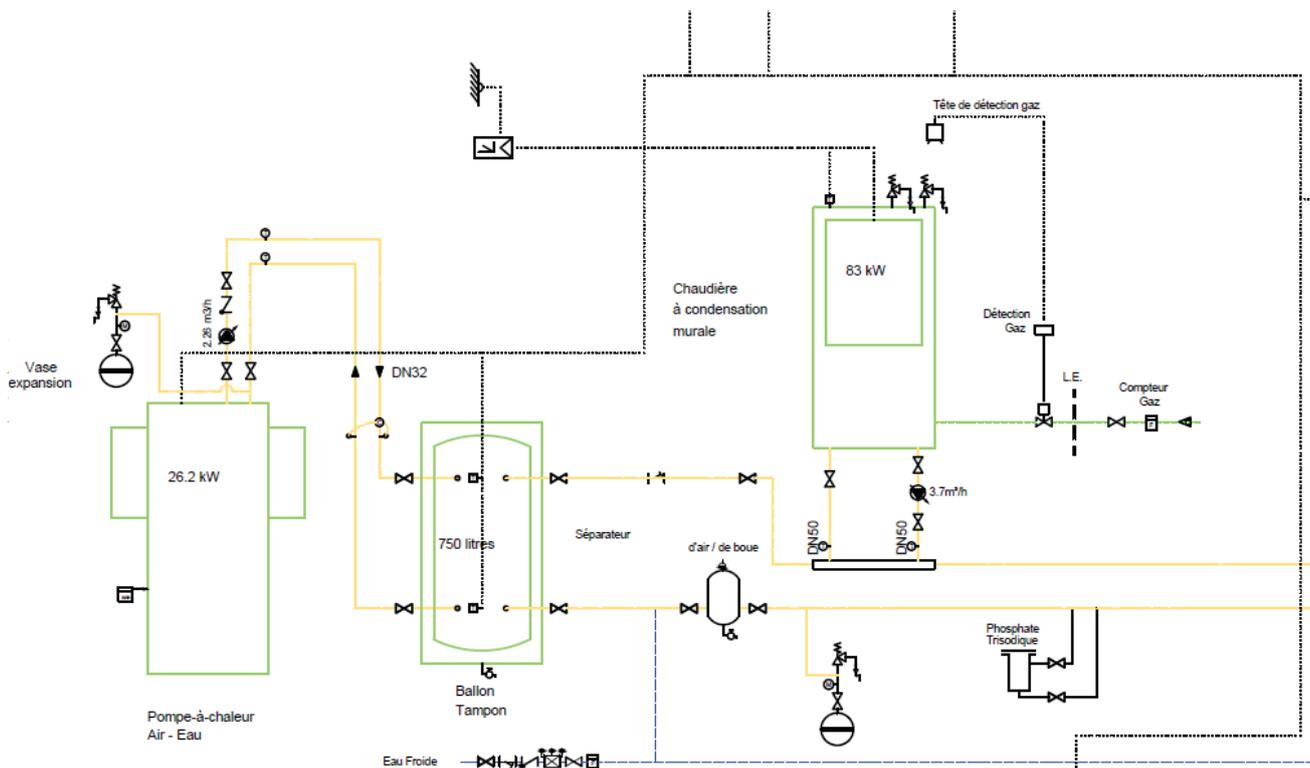
Exemple : installation de 120 kW dans un immeuble de bureaux :

- ▶ Soit 1 chaudière de 120 kW
- ▶ Soit 1 PAC électrique de 34 kW + 1 chaudière de 90 kW
- ▶ Soit 1 PAC gaz de 35 kW + 1 chaudière de 90 kW

Bilan	Chaudière	PAC ELEC + Chaudière	PAC gaz + Chaudière
Cons énergie primaire	<b>100%</b>	<b>89%</b>	<b>76%</b>
Rend énergie primaire	<b>1.06</b>	<b>1.19</b>	<b>1.39</b>

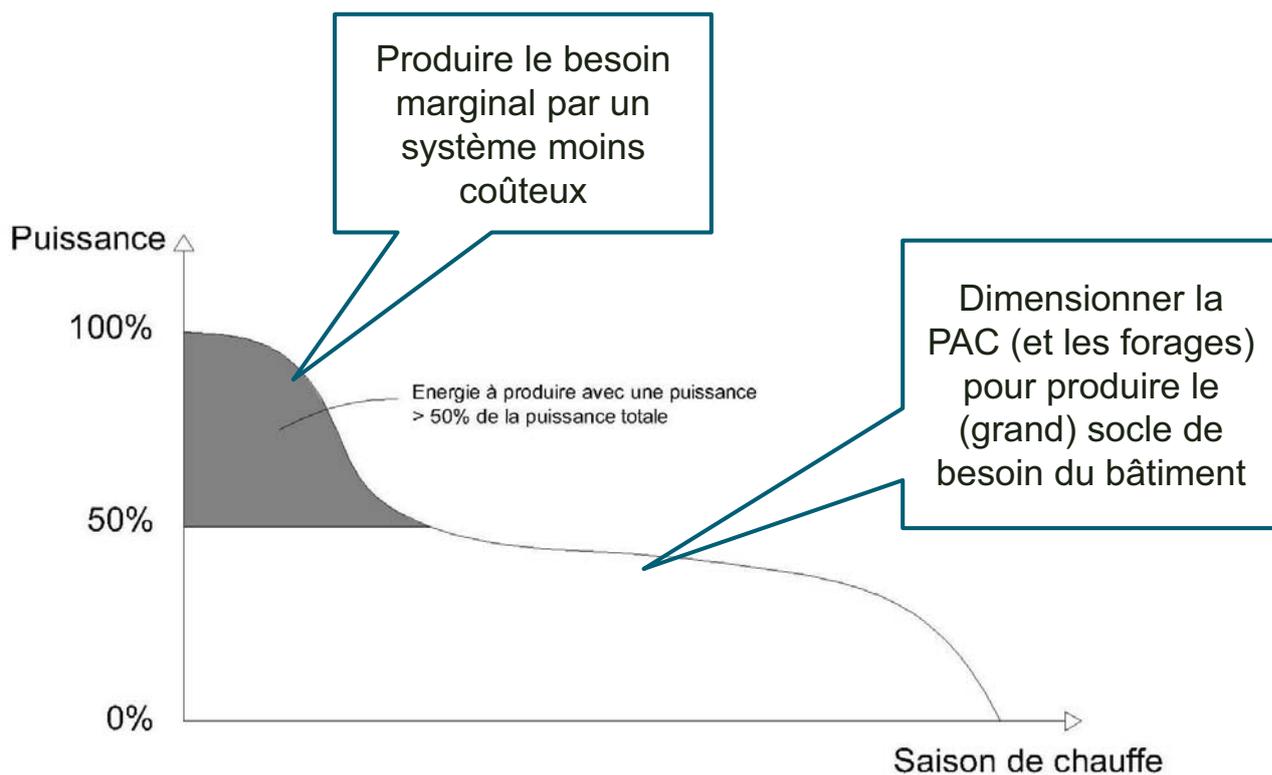


## Pourquoi une chaudière d'appoint ?



7

## Pourquoi une chaudière d'appoint ?



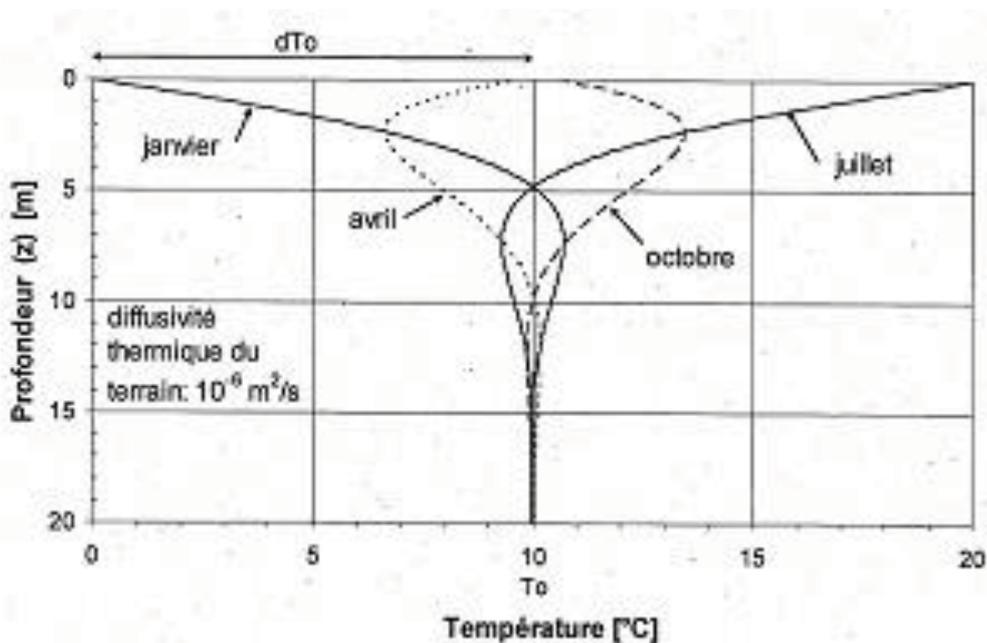
8

# Le choix du type de production de chaleur dépend du choix de la production de froid

Production de froid	Groupe de froid	Free cooling	Geocooling
Production de chaud possible	Chaudière gaz à condensation		Pompe à chaleur eau/eau électrique (+ chaudière d'appoint)
	Chaudière biomasse		
	Pompe à chaleur air/eau électrique (+ chaudière d'appoint)		Pompe à chaleur eau/eau gaz (+ chaudière d'appoint)
	Pompe à chaleur air/eau gaz (+ chaudière d'appoint)		



## Le sous-sol comme source de froid



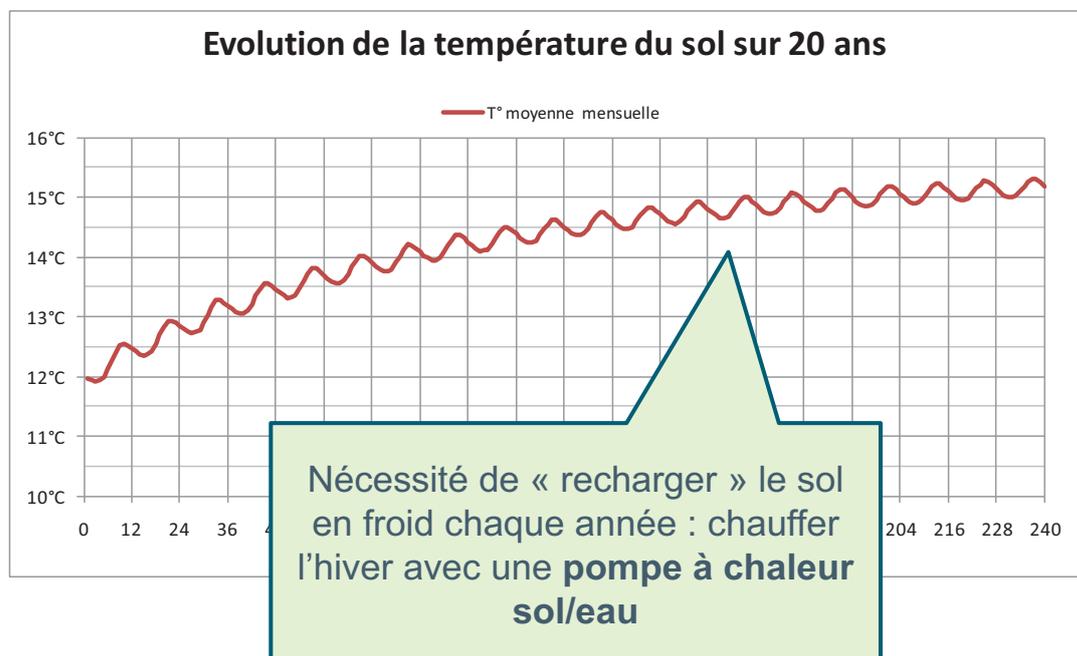
## Comment ça marche ?

- Echangeur géothermique :
  - ▶ Forages verticaux (diam 150 mm)
  - ▶ Profondeur de 50 à 400 m (souvent 100 .. 150 m)
  - ▶ avec sondes en double U (polyéthylène DN 32)
  - ▶ remplis d'un coulis ciment/bentonite



## Equilibre de la température du sol

- Puiser du froid dans le sol augmente sa température



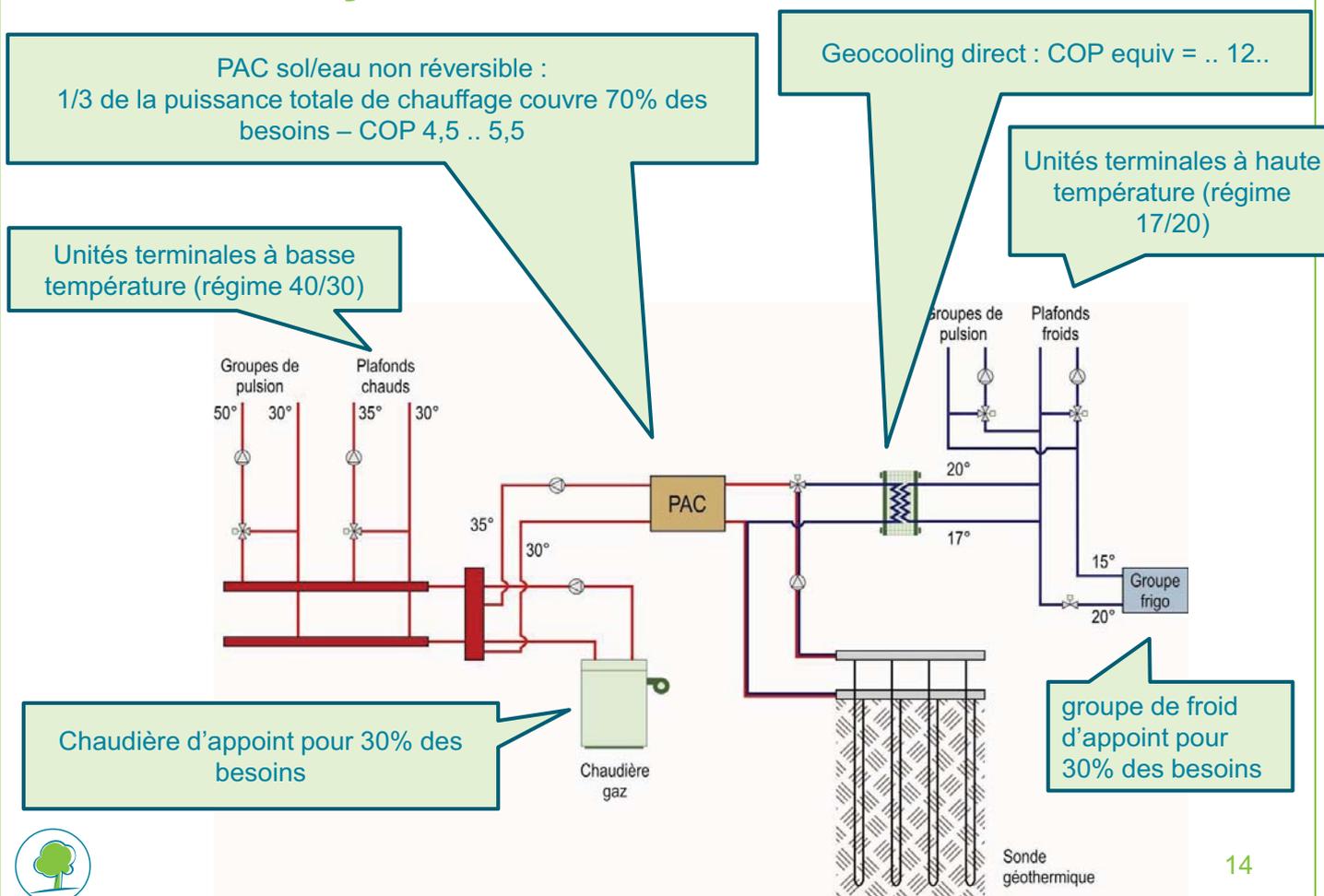
## Equilibre de la température du sol

- = notion de « STOCKAGE GEOTHERMIQUE » :
  - ▶ La géothermie se justifie et fonctionne au mieux si elle permet de couvrir un **besoin de chauffage en hiver** et un **besoin de refroidissement en été, équilibrés** l'un par rapport à l'autre.
  - ▶ Dans ce cas, on peut considérer que l'on stocke la chaleur de l'été dans le sol pour l'utiliser en hiver.



13

## Comment ça marche ?

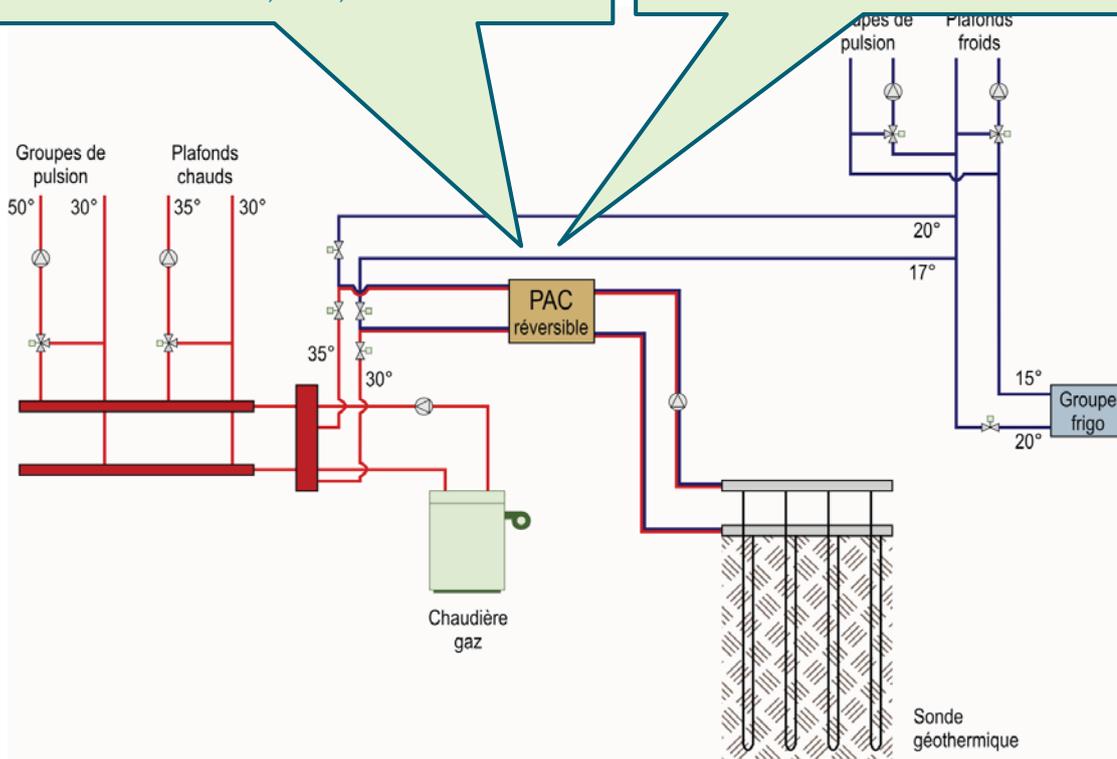


14

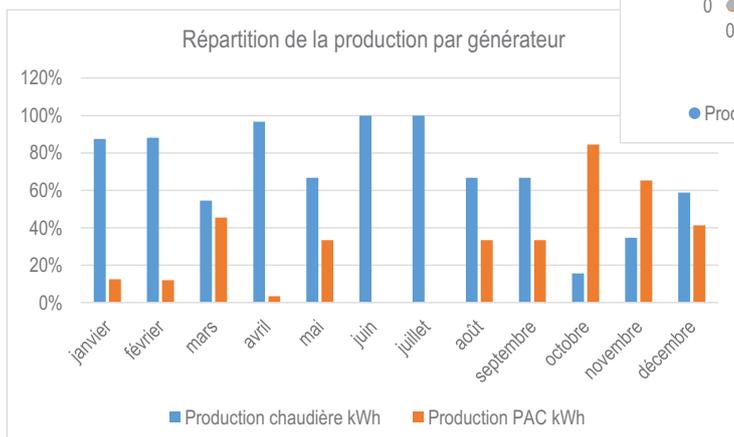
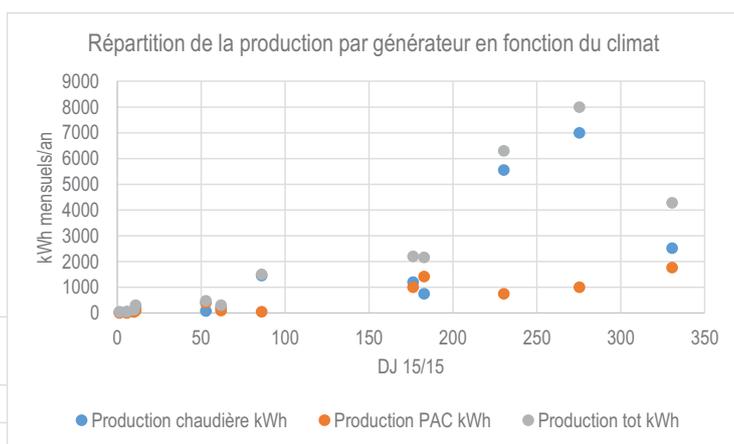
# Comment ça marche ?

PAC sol/eau :  
1/3 de la puissance totale de chauffage couvre 70% des besoins – COP 4,5 .. 5,5

Recharge du sol par PAC sol/eau réversible – COP 4,5 .. 5,5



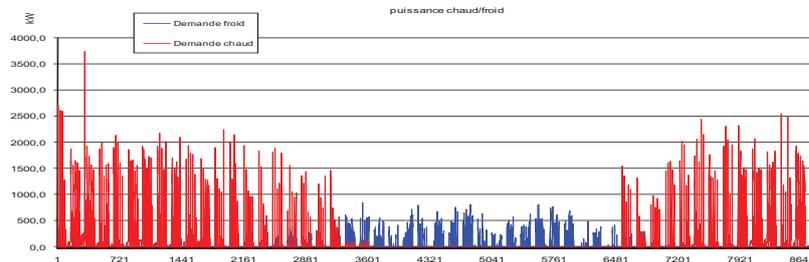
## Point d'attention : suivi du fonctionnement d'une installation combinée





# Point d'attention : étude du projet de PAC géothermique

- Définir les besoins par simulations dynamiques. Evaluer différentes variantes de manière à trouver le bon équilibre entre le besoin de chaud et de refroidissement du bâtiment (niveau d'isolation, type de vitrage, protections solaires, ...).



- Connaître la nature du sol par étude géologique et test de réponse thermique. Objectif : connaître la conductibilité et la capacité thermique du sol, la résistance thermique des sondes.
- Dimensionner le champ de sondes, simuler le comportement du sol compte tenu du besoin du bâtiment (heure par heure) et des caractéristiques thermiques des sondes prévues : optimiser le COP de la PAC en s'assurant de l'équilibre à long terme de la température du sol.



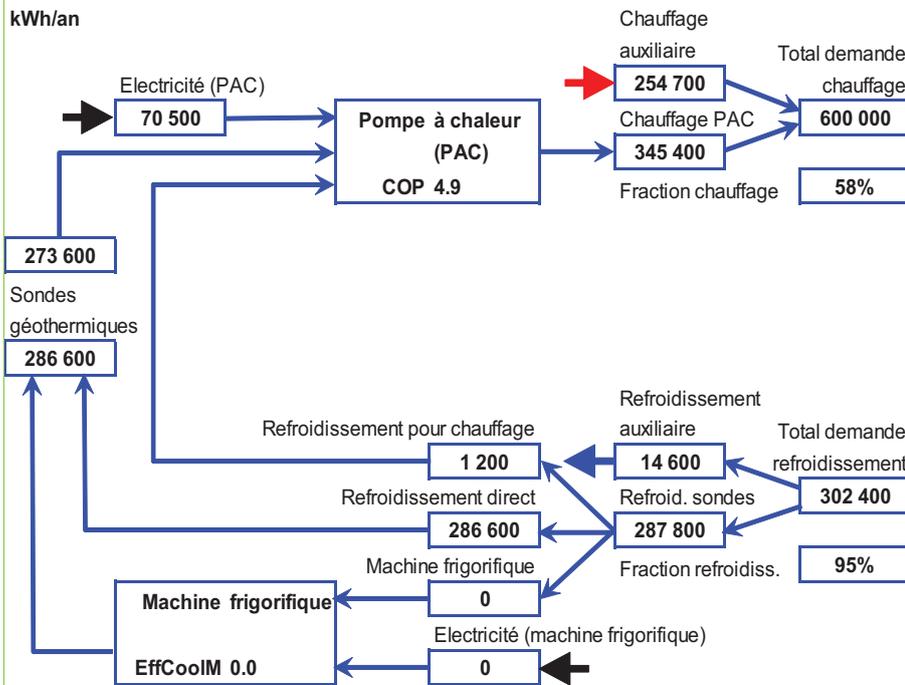
Type de roche – rock type	Conductivité thermique – Thermal conductivity $\lambda$ (W/mK)			Capacité thermique volumétrique – Volumetric thermal capacity $\rho C$ (MJ/m <sup>3</sup> K)
	min	valeur typique	max	
<b>Roches magmatiques – Magmatic rocks</b>				
Basalte – basalt	1.3	1.7	2.3	2.3 – 2.6
Diorite – diorite	2.0	2.6	2.9	2.9
Gabbro – gabbro	1.7	1.9	2.5	2.6
Granit – granite	2.1	3.4	4.1	2.1 – 3.0
Péridolite – peridotite	3.8	4.0	5.3	2.7
Rhyolithe – rhyolite	3.1	3.3	3.4	2.1
<b>Roche métamorphiques – Metamorphous rocks</b>				
Gneiss – gneiss	1.9	2.9	4.0	1.8 – 2.4
Marbre – marble	1.3	2.1	3.1	2.0
Métaquartzite – metaquartzite		env. 5.8		2.1
Micaschistes – micaschists	1.5	2.0	3.1	2.2
Schistes argilleux – argillaceous schists	1.5	2.1	2.1	2.2 – 2.5
<b>Roches sédimentaires – Sedimentary rocks</b>				
Calcaire – limestone	2.5	2.8	4.0	2.1 – 2.4
Marne – marl	1.5	2.1	3.5	2.2 – 2.3
Quartzite – quartzite	3.6	6.0	6.6	2.1 – 2.2
Sel – salt	5.3	5.4	6.4	1.2
Grès – sandstone	1.3	2.3	5.1	1.6 – 2.8
Roches argilleuses, limoneuses – claystone/siltstone	1.1	2.2	3.5	2.1 – 2.4
<b>Roches non consolidées – Unconsolidated rocks</b>				
Gravier, sec – gravel, dry	0.4		0.5	1.4 – 1.6
Gravier, saturé d'eau – gravel, watersaturated		env. 1.8		env. 2.4
Moraine – moraine	1.0	2.0	2.5	1.5 – 2.5
Sable, sec – sand, dry	0.3	0.4	0.8	1.3 – 1.6
Sable, saturé d'eau – sand, watersaturated	1.7	2.4	5.0	2.2 – 2.9
Argile/limon, sec – clay/silt, dry	0.4	0.5	1.0	1.5 – 1.6
Argile/limon, saturé d'eau – clay/silt, watersaturated	0.9	1.7	2.3	1.6 – 3.4
Tourbe – peat	0.2	0.4	0.7	0.5 – 3.8
<b>Autres substances – Other substances</b>				
Bentonite – bentonite	0.5	0.6	0.8	env. 3.9
Béton – concrete	0.9	1.6	2.0	env. 1.6
Glace (-10°C) – ice (-10°C)		2.32		1.67
Plastique (PE) – plastic (PE)		0.39		-
Air (0-20°C, sec) – air (0-20°C, dry)		0.02		0.0012
Acier – steel		60		3.12
Eau (+10 °C) – water (+10 °C)		0.58		4.19

Table Conductivité thermique et capacité thermique volumétrique de différents types de



# Bilan thermique du système moyenne sur 20 ans

kWh/an



## Chauffage

Puissance d'extraction maximum par mètre de sonde

30 W/m

Energie annuelle extraite par mètre de sonde

15 kWh/m/a

## Refroidissement

Puissance d'injection maximum par mètre de sonde

34 W/m

Energie annuelle injectée par mètre de sonde

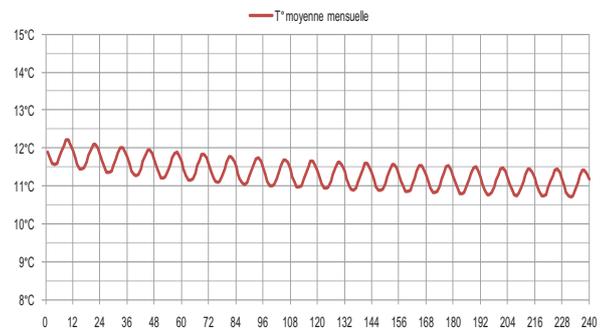
16 kWh/m/a

## Bilan terrain

Ratio energie injectée sur énergie extraite

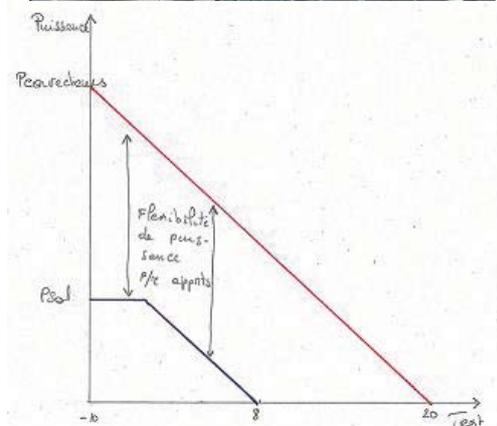
105%

Evolution de la température du sol sur 20 ans

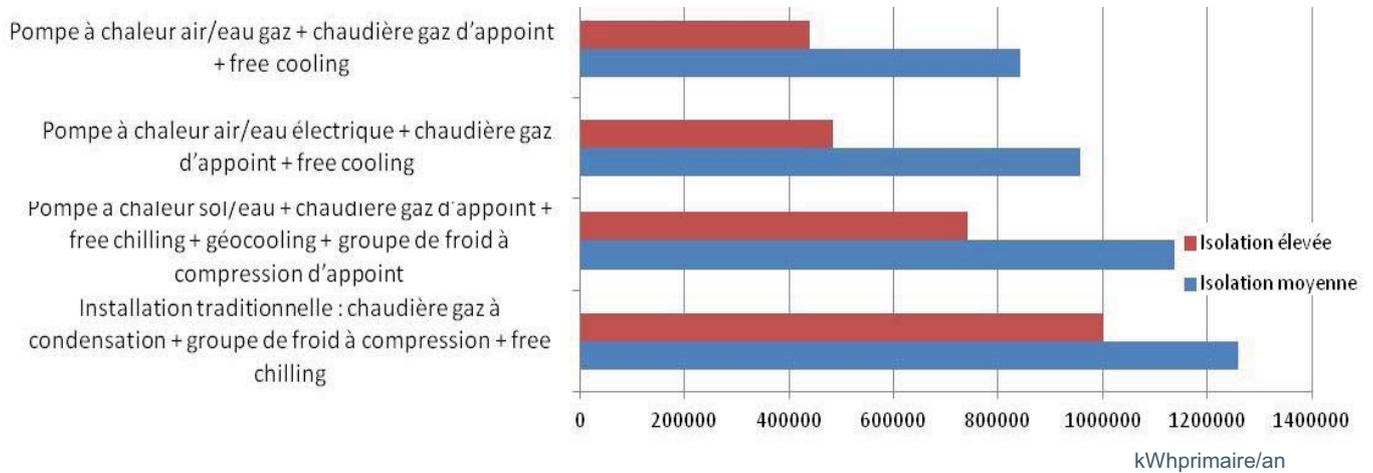


## Point d'attention : le types d'unité terminale

- Unités terminales de refroidissement à haute température :
- Plafonds refroidissants ou ilots rayonnants
  - ▶ avantages : peu d'inertie thermique et donc rendement de régulation élevé, contrôle facile de la température ambiante, réversible chaud/froid
  - ▶ inconvénients : puissance plus limitée (plafonds)
- Dalles actives
  - ▶ avantages : stockage de nuit et donc limitation de la puissance à installer
  - ▶ inconvénients : inertie thermique importante et donc contrôle difficile de la température et rendement de régulation dégradé. Peu de flexibilité spatiale et difficulté d'utilisation en chauffage (nécessité d'un second système). Absence de faux-plafond (gestion des techniques et de l'acoustique)
- Convecteurs surdimensionné en chauffage



## Comparaison d'alternatives (consommation en énergie primaire – cas d'étude)



## Ce qu'il faut retenir de l'exposé

- Si le projet est de faire un bâtiment « zéro énergie », l'utilisation de PAC contribue à atteindre cet objectif et permet d'importantes économies d'émission de CO<sub>2</sub> par rapport aux installations traditionnelles
- Le choix du système de production de chaleur dépend du choix du système de refroidissement (naturel) et de ses contraintes
- La PAC géothermique se justifie dans un bâtiment nécessitant des productions de chaud et de froid (équilibrées) et donc impacte les choix architecturaux (isolation, protections solaires ...).
- Une installation combinée PAC+chaudière se justifie pour des raisons de performance énergétique et d'investissement mais demande un suivi de la régulation pour garantir l'exploitation maximale de la PAC,
- La conception d'une installation géothermique demande une étude précise et dynamique des besoins du bâtiment et du sol
- L'utilisation de PAC conditionne le choix des unités terminales.



## Contact

**Fabrice DERNY**

MATRIciel – gestionnaire de projet

Place de l'Université, 25 – 1348 Louvain-la-Neuve

☎ : 010/24.15.70

E-mail : [derny@matriciel.be](mailto:derny@matriciel.be)





---

# **La pompe à chaleur du bâtiment de Bruxelles Environnement (BEL) : un exemple à suivre**

## **Projet de stockage énergétique par puits ouverts**

---

**Michel Hermans**  
**Facility Manager Bruxelles Environnement**

Bruxelles Environnement (650 employés) a déménagé en novembre 2014 dans un tout nouveau bâtiment sur le site de Tour & Taxis.

Cette intervention abordera brièvement les options prises au stade du concours, pour le projet de pompe à chaleur (géothermie à puits ouverts sur un site à proximité du canal). Nous analyserons ensuite les points faibles de cette solution, pour, finalement, décrire la solution retenue au stade de la demande de permis. C'est cette solution qui a été réalisée.

Nous profiterons de l'exposé de ce cas pour mettre en avant les avantages qu'il est possible de tirer de la technologie des puits ouverts lorsque le terrain présente des eaux polluées au niveau du sol ou du sous-sol.



Séminaire  
Bâtiment Durable :

# La pompe à chaleur : du potentiel à Bruxelles!

4 mars 2016

Bruxelles Environnement

**Pompe à chaleur et géothermie à Bruxelles Environnement**  
**Un exemple à suivre**

Michel HERMANS

MAINTENANCE DU SITE ADMINISTRATIF - Division FACILITIES & PATRIMOINE IMMOBILIER



LEEFMILIEU BRUSSEL  
BIM - BRUSSELS INSTITUUT VOOR MILIEUBEHEER



## OBJECTIFS DE LA PRÉSENTATION

- Retracer les étapes de développement d'une installation unique en Région Bruxelles Capitale
- Apporter un regard critique afin d'en tirer les enseignements utiles
- Etablir le lien possible avec la problématique de la pollution de l'eau dans le sol et présenter un outil développé par Bruxelles-Environnement pour identifier les solutions WIN-WIN



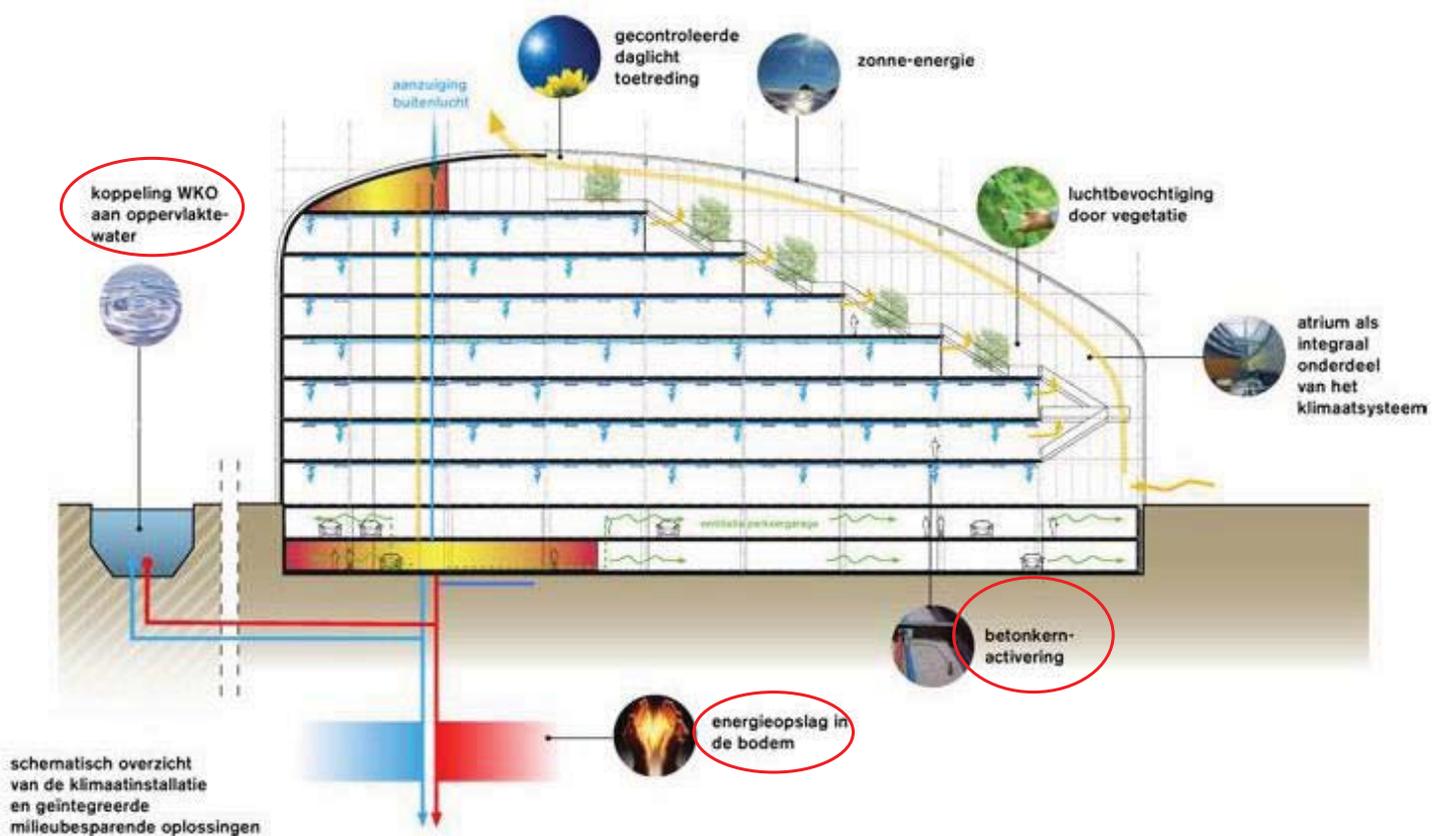
# STOCKAGE ÉNERGÉTIQUE VIA PUITS OUVERTS

## SOMMAIRE

1. Première ébauche (concours) : installer une pompe à chaleur eau-eau en exploitant la proximité du canal
2. Critique du concept : mise en évidence des points faibles
3. Projet définitif: stockage « chaud & froid »
4. Puits ouverts et pollution des sols : émergence de solutions « WIN-WIN »



## 1. STADE CONCOURS : CONNEXION AVEC LE CANAL





# 1. STADE CONCOURS : CONNEXION AVEC LE CANAL

- AVANTAGE CIBLE : Masse d'eau importante à proximité
  - Diminuer le nombre de forage
  - Diminuer la profondeur des forages
  - Réduire l'impact sur l'eau sous-terrainne
  - Possibilité de refroidir les compresseurs directement à l'aide de l'eau du canal.

5



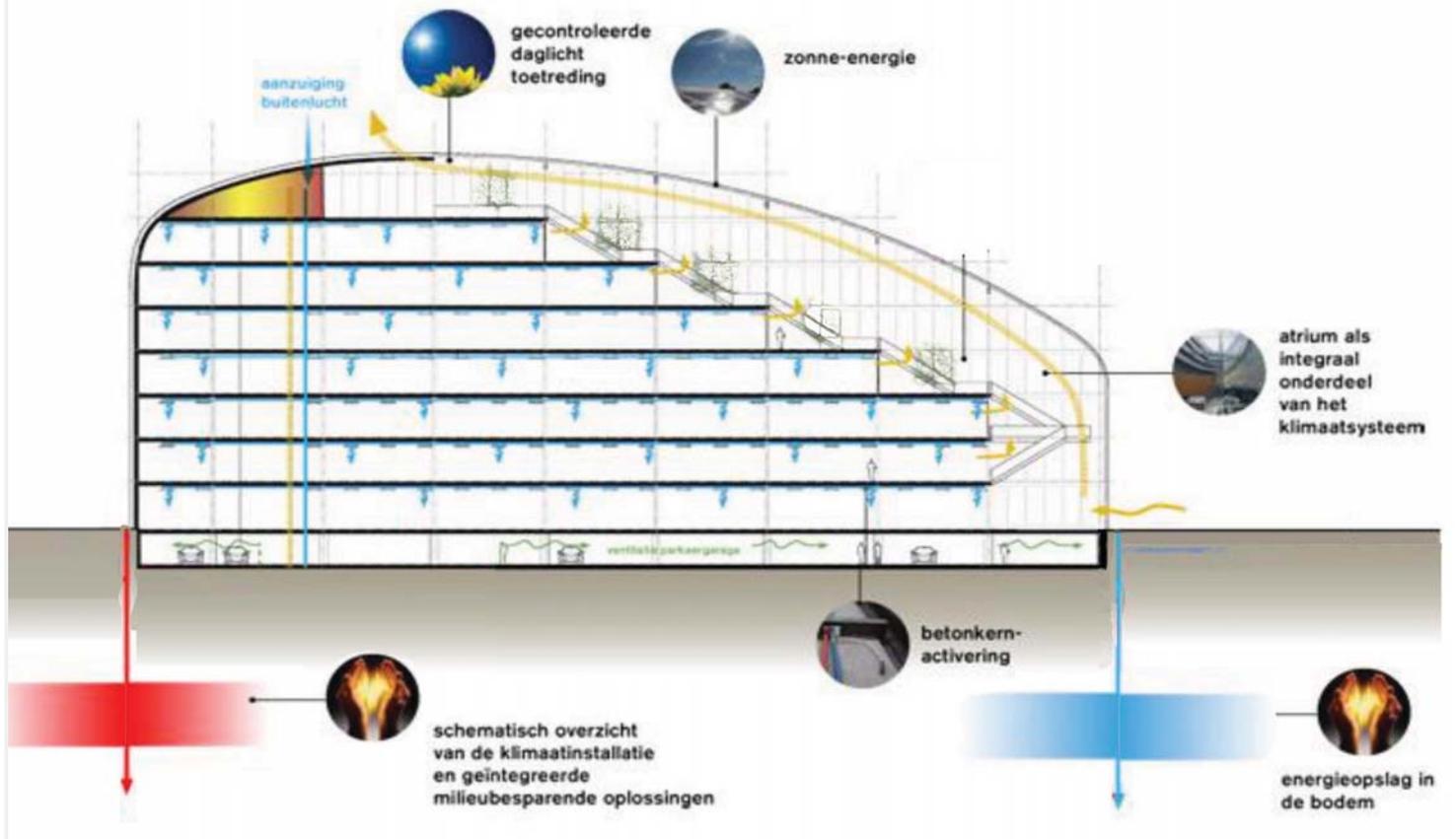
# 2. CRITIQUE DU CONCEPT:

- Etude d'incidence : contrainte imposée par BE
  - Maximum 30°C rejetée dans l'eau du canal
- Eau stagnante : fluctuation de la température en fonction de la saison : **défavorable au rendement de la pompe à chaleur** –
  - T° diminue en hiver
  - T° augmente en été
- Proximité toute relative : **travaux importants pour traverser l'Avenue du Port et se raccorder au canal.**

6



### 3. PROJET DEFINITIF : 2 ENSEMBLES DE FORAGES DISTANTS



### 3. PROJET DEFINITIF : 4 FOCUS

- La géothermie : deux bassins de stockage (Eaux profondes isolées des conditions atmosphériques)
  - Source froid 8 à 10° , après 3 ans
  - Source chaude 12 à 14° , après 3 ans
- La pompe à chaleur
- Le schéma hydraulique : chaud et froid simultanés
- Emission de chaleur : les dalles actives

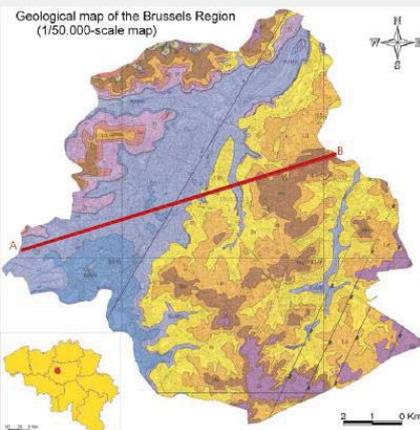


## LES PUITTS OUVERTS

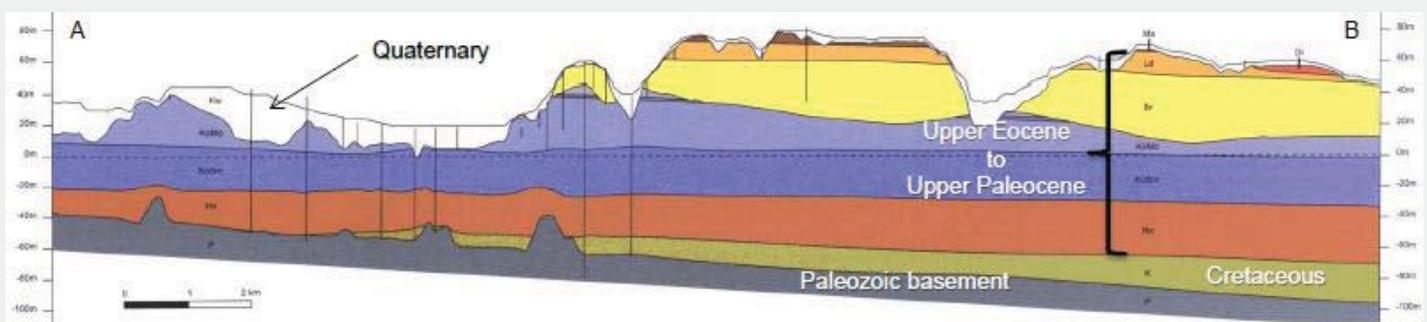
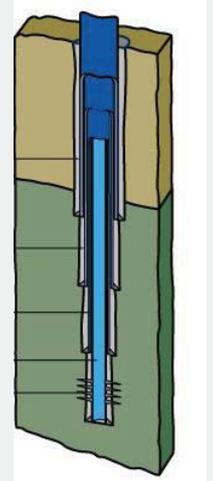
- Puits verticaux ouverts à « grande » profondeur : 85m
  - Technologie éprouvée (Pays Bas)
  - Pompage dans une nappe profonde isolée de la nappe phréatique
  - Risques de perturbation des eaux souterraines très faibles : **Précautions importantes** lors de la mise en œuvre : casing & « bouchon » étanche (bentonite)



## PRÉCAUTIONS DE MISE EN ŒUVRE



- CASING pendant le forage
- Bouchons étanches via bentonite (argile expansive) pour rétablir l'étanchéité des aquitares





### 3. PROJET DÉFINITIF :

- Plage de fonctionnement très réduite
  - T° eau « sources » (chaude & froide): entre 10 et 14°C
  - T° eau distribution de chaleur :
    - **Dalles actives : entre 17° et 24°C (la nuit)**
    - Batterie de post-chauffe : entre 35 et 40°C
    - Ventilateurs-convecteurs : entre 35 et 45°C



### PERMIS D'ENVIRONNEMENT & PERMIS DE CAPTAGE

« - Soit le circuit primaire (eaux captées) est mis en surpression par rapport au circuit secondaire (fluides de la pompe à chaleur) et un système de détection des fuites est installé. En cas de fuite, la réinjection souterraine doit être directement arrêtée (et le système réparé avant toute reprise de réinjection) ;  
- Soit le système géothermique est équipé d'un échangeur de chaleur à double paroi entre le circuit primaire et secondaire.

La température de l'eau réinjectée doit être comprise entre 4°C et 25°C . »

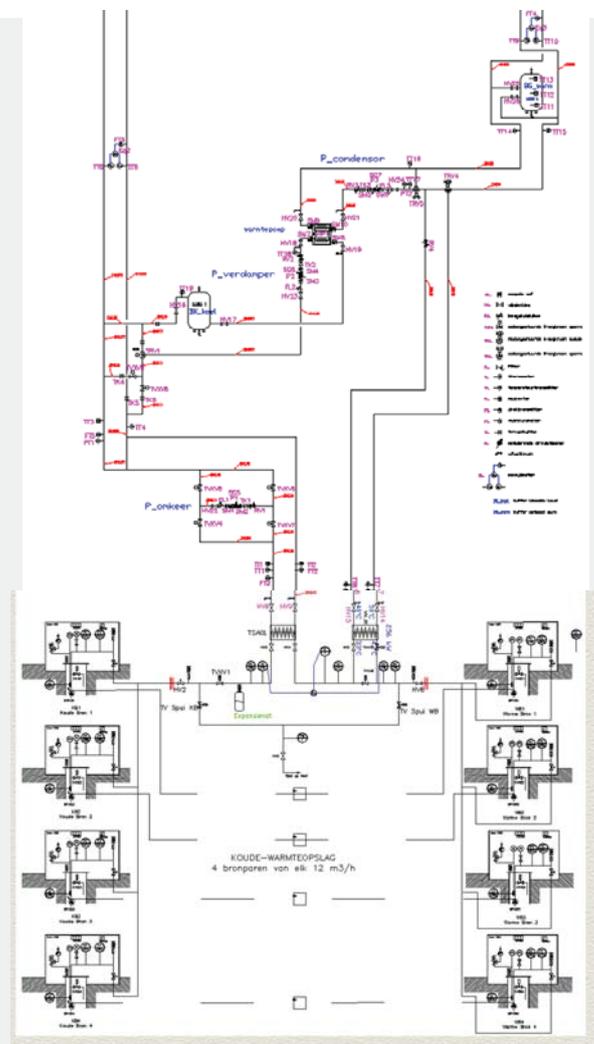
- Débits de pompages estimés : 2 x 37.700 m<sup>3</sup>/ an (chaud et froid)
- Obligation de suivi annuel pendant les trois premières années



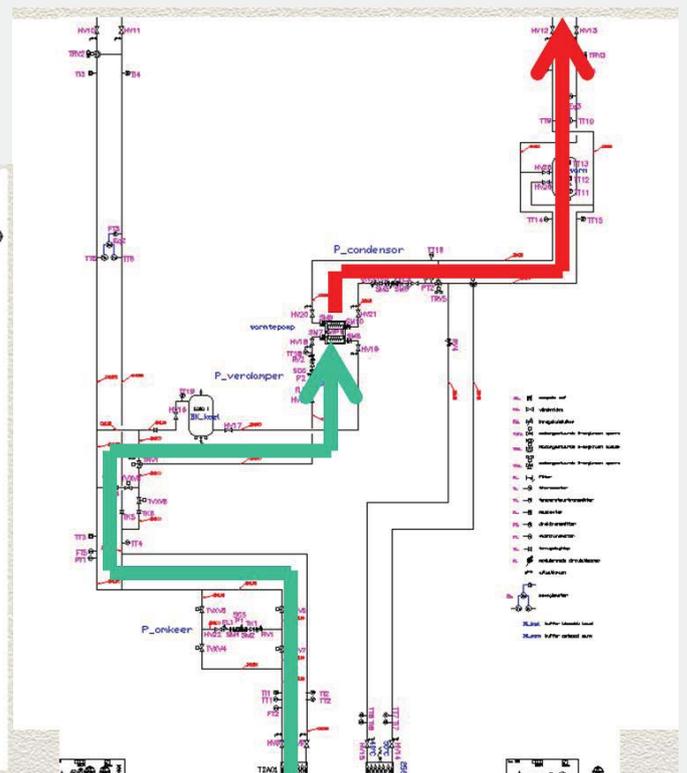
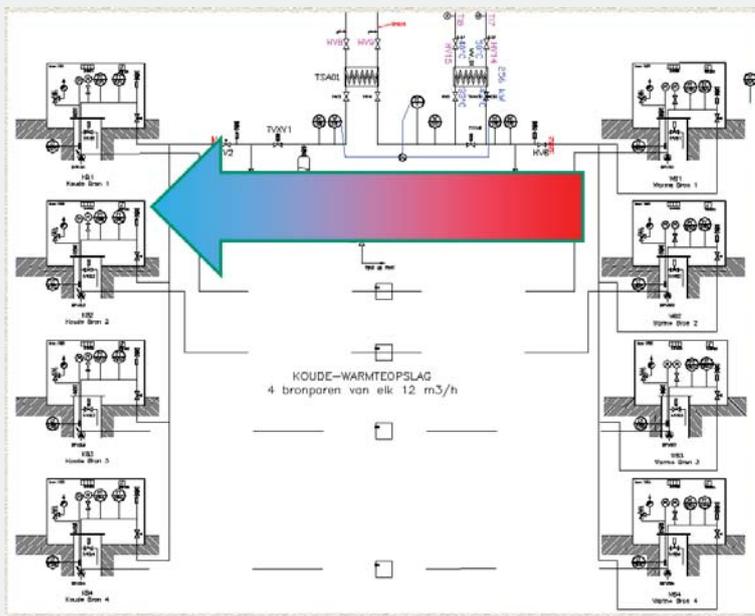
# SCHEMA HYDRAULIQUE

Connexions  
hydrauliques permettant  
l'exploitation simultanée  
des pôles chaud & froid  
du cycle frigorifique

Documents : SMET GWT & TERRA ENERGY



# EXEMPLE 1 : DEMANDE DE CHAUD







# PRÉVISIONS CHIFFRÉES

Consommations électriques		
Pompe à chaleur	81.750	kWh/an
Pompes géothermiques en chaud	12.671	kWh/an
Auxiliaires planchers chauffants	742	kWh/an
Ventiloconvecteurs	7.000	kWh/an
Refroidissement actif	8.417	kWh/an
Pompes géothermiques en froid	13.100	kWh/an
Auxiliaires plancher mode refroidissement	2.353	kWh/an
Ventilation	115.961	kWh/an
TOTAL	241.994	kWh/an
Gain panneaux photovoltaïques	-88.423	kWh/an

17



## SUIVI DE L'UTILISATION : CONSOMMATIONS ELECTRIQUES

### REMARQUES :

- Le commissioning BREEAM a révélé de sérieux vices de réalisation et de mise en service au niveau HVAC et GTC (Gestion technique centralisée).
- Suites aux réactions des agents, les consignes de températures ont été majorées afin d'atteindre un niveau de confort satisfaisant.

### CONSÉQUENCES :

- Difficulté d'accéder aux chiffres précis de consommations
- Mais tendance nette aux dépassements des prévisions

18



# TENTATIVES D'ÉVALUATION



EN COURS



## SI C'ÉTAIT À REFAIRE...

1. En théorie, les dalles actives sont peu réactives et sources de surchauffe et de destruction d'énergie. Mais, en pratique, dans le cas particulier du bâtiment Bruxelles-Environnement, on n'observe pas, de problème de ce type. Les dalles fonctionnent bien.
2. La possibilité d'exploiter les pôles chaud et froid de la PAC simultanément est trop peu valorisée car les équipements de refroidissement des locaux IT n'y sont pas reliés.
3. La profondeur des puits semble être un handicap réel : la puissance nécessaire au pompage à « grande » profondeur est pénalisant.



## SUIVI DE L'UTILISATION : DÉBITS DE POMPAGE

### CONSTAT:

1. Volume de pompage en demande de chaud inférieur aux prévisions malgré des besoins en chaud supérieurs :
  - problème manifeste de régulation observable au niveau du fonctionnement de la chaudière
  - Consommation de gaz supérieure aux prévisions
2. Volume de pompage en demande de froid 25% supérieur aux prévisions :
  - Renforcement de l'attention en terme de suivi
  - Constat de réelle efficacité des dalles actives lors de la canicule ( $T^{\circ}$  intérieure  $< 26^{\circ}$  tout l'été)

21



## 4. PUIXS OUVERTS ET POLLUTION DU SOL : INNOVATIONS

- Outil gratuit proposé par Bruxelles Environnement
- 4 questions pour clarifier TRES RAPIDEMENT la situation
- 4 Réponses principales : un quarté gagnant-gagnant :
  - Gains financiers directs: coûts de mise en œuvre moindres
  - Gains temporels (gains financiers indirects) : exploitation plus rapide du terrain
- Liste de solutions élargie

22



# OUTIL À DISPOSITION DES AUTEURS DE PROJETS PAR BRUXELLES ENVIRONNEMENT

Construction et traitement du sol :  
une combinaison gagnant-gagnant !

Aperçu des techniques innovantes de traitement du sol

VOIR

Aperçu des avantages possibles pour un projet de construction

VOIR

Quelles sont les possibilités pour votre projet ?

Complétez le petit questionnaire et recevez des conseils en fonction de vos priorités !

VOIR

DES TECHNIQUES INNOVANTES OFFRENT UNE INFINITÉ DE POSSIBILITÉS POUR DES AVANTAGES MUTUELS

<http://app.bruxellesenvironnement.be/BIM>



## 4 QUESTIONS SIMPLES POUR ÉCLAIRCIR LA SITUATION

Dans quelle phase le projet de construction se trouve-t-il ?

- Phase de planification
- Phase de réalisation

Quelles contaminations sont présentes ?

- Inconnu
- Huile minérale (p. ex., mazout, essence, diesel)
- BTEX et/ou naphthalène (p. ex., essence, usine à gaz, huile de goudron)
- HAP (p. ex., couches de remblais)
- Métaux lourds (p. ex., cuivre, zinc, nickel, plomb, etc. dans les couches de remblais)
- Hydrocarbures chlorés (p. ex., nettoyage à sec, installations de dégraissage)

S'agit-il d'une pollution du sol ou de l'eau souterraine ?

- Sol
- Eau souterraine

L'Ordonnance sur les sols impose-t-elle un assainissement actif (d'application pour des pollutions uniques ou mélangées)?

- Je ne sais pas
- Oui
- Non



# FORMULER LES 4 CONTRAINTES DU PROJET

La somme des valeurs des barres de défilement doit être égale à 100 % pour pouvoir continuer :

## 100%

<p><b>Limitation des travaux de traitement du sol</b></p>  <p><b>Gestion de risque</b></p> <p><b>Correspondant à l'excavation</b></p>	<p><b>Utilisation de l'espace</b></p> <p>0 25% 70</p>  <p><b>Zone de construction libre</b></p> <p><b>Bâtiments existants libres</b></p> <p><b>Pas d'occupation permanente de l'espace</b></p> <p><b>Gain de place par le biais d'une finition entièrement souterraine</b></p> <p><b>Gain de place par le biais de forages inclinés</b></p>
<p><b>Durabilité</b></p> <p>20 45% 70</p> <p><b>Récupération d'énergie</b></p> <p><b>Énergie renouvelable</b></p> <p><b>Consommation d'énergie</b></p>	<p><b>Rapidité</b></p> <p>0 30% 70</p> <p><b>Délai d'exécution réduit</b></p> <p><b>Mise en service rapide</b></p>



# QUARTÉ « GAGNANT – GAGNANT »

Cet outil vous permet surtout de découvrir les possibilités. Il convient de les aborder et de les développer plus en détail avec  votre expert en pollution du sol. Vous trouverez la liste des experts agréés sur ce [lien](#).



Techniques les plus adaptées	Coûts ?	Avantages principaux	Autres avantages
<a href="#">Récirculation des eaux souterraines</a>	c	<p><b>Récupération d'énergie</b></p> <p><b>Énergie renouvelable</b></p> <p><b>Consommation d'énergie</b></p>	<p><b>Zone de construction libre</b></p> <p><b>Bâtiments existants libres</b></p> <p><b>Gain de place par le biais d'une finition entièrement souterraine</b></p> <p><b>Gain de place par le biais de forages inclinés</b></p> <p><b>Mise en service rapide</b></p>
<a href="#">Modifications structurelles (gestion du risque)</a>	c	<p><b>Gestion de risque</b></p> <p><b>Correspondant à l'excavation</b></p>	<p><b>Pas d'occupation permanente de l'espace</b></p> <p><b>Mise en service rapide</b></p>
<a href="#">Localisation des bâtiments (gestion du risque)</a>	c	<p><b>Gestion de risque</b></p>	<p><b>Pas d'occupation permanente de l'espace</b></p> <p><b>Mise en service rapide</b></p>
<a href="#">Injection unique d'une source de carbone à action prolongée</a>	c	<p><b>Consommation d'énergie</b></p>	<p><b>Bâtiments existants libres</b></p> <p><b>Pas d'occupation permanente de l'espace</b></p> <p><b>Gain de place par le biais d'une finition entièrement souterraine</b></p> <p><b>Gain de place par le biais de forages inclinés</b></p> <p><b>Mise en service rapide</b></p>



# EXPERTS EN POLLUTION DU SOL



bruxelles environnement.brussels

## Liste des EXPERTS EN POLLUTION DU SOL

En plus des personnes reprises dans cette liste des expert en pollution du sol, les missions définies dans l'ordonnance sol et ses arrêtés d'exécution, peuvent, pendant une période de transition jusqu'au 30/01/2013, être exécutées par les personnes qui, sont agréées:

- en Région de Bruxelles-Capitale comme bureau d'études dans la discipline « pollution du sol »,
- et/ou en Région flamande comme « bodemsaneringsdeskundige »,
- et/ou en Région wallonne comme bureau d'étude en pollution du sol et du sous-sol,

à condition que cet agrément était octroyé avant le 1/01/2012.

Contact: [permit\\_agr@environnement.brussels](mailto:permit_agr@environnement.brussels)

Date de mise à jour: 02/02/2016 05:04:00 (43 record(s))

Société	N° d'agrément	Date d'échéance	Remarques
AB ECOGLOBE S.P.R.L. Avenue du Roi Albert 217 1120 BRUXELLES BELGIQUE Numéro d'entreprise : 0833310172 Tél : 0476/043.993 - 02 270 22 53 Fax : 02 270 22 53 E-mail : <a href="mailto:aal@ab-ecoglobe.be">aal@ab-ecoglobe.be</a> Site web : <a href="http://www.ab-ecoglobe.be">http://www.ab-ecoglobe.be</a>	001133241	24/01/2023	
AB EXPERTS Avenue Pasteur 6H 1300 WAVRE BELGIQUE Numéro d'entreprise : 0474707706 Tél : 010/68 64 16 Fax : 010/68 64 19 E-mail : <a href="mailto:info@ab-experts.com">info@ab-experts.com</a> Site web : <a href="http://www.ab-experts.com">http://www.ab-experts.com</a>	001131777	27/09/2022	

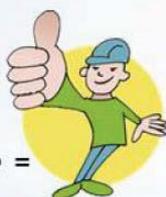
[http://app.bruxellesenvironnement.be/listes/?nr\\_list=EPS0001](http://app.bruxellesenvironnement.be/listes/?nr_list=EPS0001)



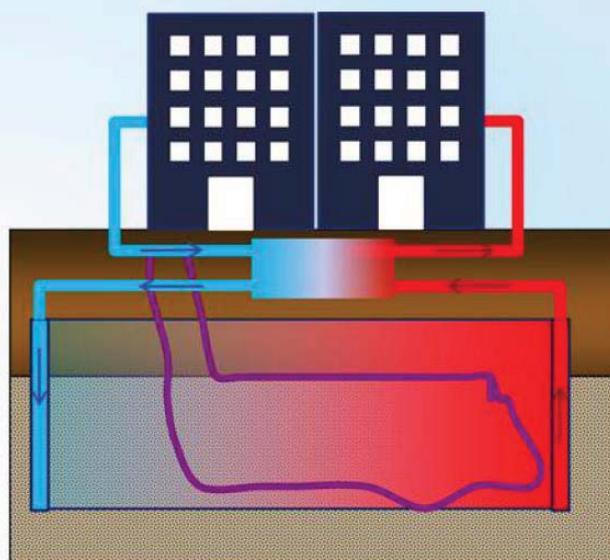
# SOLUTION WIN-WIN

## Récupération d'énergie

Via l'extraction des eaux souterraines ou de l'air du sol il est possible de récupérer de l'énergie (fraîcheur ou chaleur)



- Récupération d'énergie = réduction des coûts
- Source d'énergie renouvelable
- Réduction de l'empreinte carbone des bâtiments

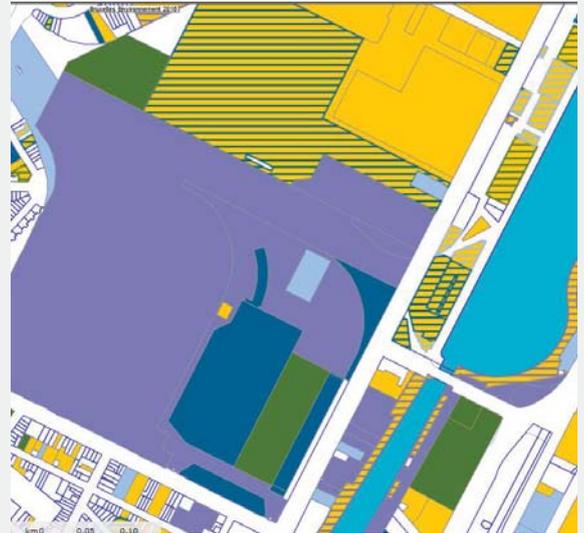


Prenez en compte le traitement du sol dès le début du projet !



# BATIMENT BRUXELLES-ENVIRONNEMENT

- Sol initialement pollué en surface
- Pollution évacuée lors du terrassement et excavations pour l'installation du parking en sous-sol.
- Pas de traitement nécessaire dans la durée.



29



## QUE RETENIR ?

- Possibilité d'exploitation simultanée chaud & froid de la PAC
- Puits verticaux: Précaution importante lors de la mise en œuvre
- Puits ouverts :
  - ▶ Avantages
    - Possibilité de stockage d'énergie :
      - Stocker le froid en hiver pour l'été
      - Stocker le chaud en été pour l'hiver
    - Pas d'obstacles de principe avec le maintien de la qualité des nappes phréatiques et aquifères si précaution respectée (sauf zone de captage)
- Maintenir une vision globale et « transversale » du projet
  - ▶ Favoriser l'émergence de solutions WIN-WIN
  - ▶ (identifier le plus tôt possibles les éventuelles contraintes contradictoires)
- Importance du COMMISSIONING

30

photo: Y. Glavie et Architectes : Cepezed/Samyh and Partners



**02 775 75 75 · WWW.ENVIRONNEMENT.BRUSSELS**

Michel HERMANS Ir Arch. Facility Manager Bruxelles Environnement  
DIVISION FACILITIES & PATRIMOINE IMMOBILIER  
[mhermans@environnement.brussels](mailto:mhermans@environnement.brussels)

---

## **Les pompes à chaleur, une technologie en évolution qui convainc !**

Stratégies de communication avec les futurs clients de systèmes de PAC et retour d'expérience sur des projets utilisant des technologies innovantes (DRV et CO<sub>2</sub>)

---

**Etienne de Montigny  
DTC**

Le but de l'exposé est de partager l'expérience acquise dans le domaine des pompes à chaleur de type 'Air-Air' et 'Air-Eau' principalement.

En introduction, quelques éléments de réponses seront apportés quant aux questions suivantes :

Quels sont les besoins et les motivations des clients ?

Quelles sont les responsabilités des intervenants au projet ?

Quelles sont les stratégies de communication pour convaincre?

Les systèmes de pompes à chaleur disposent de nombreux atouts, mais il est parfois difficile de convaincre les investisseurs. C'est au travers de quelques exemples de réalisations que les arguments qui ont amené à une installation de type pompe à chaleur seront expliqués.

Les systèmes de pompes à chaleur évoluent sans cesse. L'intervention abordera quelques innovations techniques, dont les systèmes DRV, qui améliorent le confort et permettent d'augmenter sensiblement les économies d'énergie. Nous insisterons aussi sur l'importance d'optimiser la régulation des systèmes 'Air-Eau' afin de réduire sa facture énergétique.

L'exposé se terminera par la présentation d'une pompe à chaleur qui utilise le CO<sub>2</sub> comme fluide réfrigérant pour produire très efficacement de l'eau chaude sanitaire.



# La pompe à chaleur, du potentiel à Bruxelles !

4 mars 2016

Bruxelles Environnement

**Les pompes à chaleur, une technologie en évolution qui convainc!**

Etienne de Montigny

DTC sa



**BRUXELLES ENVIRONNEMENT**  
IBGE - INSTITUT BRUXELLOIS POUR LA GESTION DE L'ENVIRONNEMENT

## Objectif(s) de la présentation

- Témoigner et partager mon expérience en présentant quelques réalisations d'installations.
- Expliquer les avantages et les arguments qui ont amené à convaincre les clients à opter pour une installation en pompe à chaleur.
- Exposer quelques évolutions technologiques qui améliorent les performances et le confort
- Présenter la PAC au CO<sub>2</sub> pour la production ECS



# Plan de l'exposé

1. Quels sont les besoins des clients et les responsabilités des intervenants?
2. Quelle stratégie de communication?
3. Exemples de réalisations
4. Quelques évolutions technologiques



3

## 1.1 Quels sont les besoins du client?

- Confort thermique tout au long de l'année
  - ▶ chauffage, eau chaude sanitaire et rafraîchissement si nécessaire
- Aspects financiers, énergétiques et environnementaux
  - ▶ Investissement au « **juste prix** » pour un amortissement cohérent.
  - ▶ **Facture énergétique** et coûts de fonctionnement minimums
  - ▶ **Facilité d'utilisation** avec suivi et répartition des consommations
  - ▶ **Labélisation**: cohérence globale, meilleur rendement (vente/location)
  - ▶ Réduire l'**impact environnemental**
  - ▶ Indépendance aux **énergies fossiles**



4

## 1.2 Quelles sont les responsabilités des intervenants ?

- Responsabilités de l'architecte, du bureau d'études?
  - ▶ **Cohérence financière et technique** de la solution : répondre aux besoins de son client et au type de bâtiment (neuf ou rénovation)
  - ▶ Concevoir **une solution qui s'intègre idéalement** dans le bâtiment
  - ▶ Dimensionner l'installation pour atteindre le confort et la **performance énergétique globale optimale**
- Responsabilités de l'installateur?
  - ▶ Installer conformément à la législation et au **CSC** avec un matériel de qualité (fiabilité, garanties, SAV et entretien, pièces détachées,...)
  - ▶ Assurer le « **commissioning** » pour vérifier le bon fonctionnement et la performance réelle de l'installation (suivi des consommations, optimisation éventuel des paramètres de régulation, ...)



5

## 2.1 Quelle stratégie de communication? S'ENGAGER ET RASSURER

 **Un travail d'équipe pour garantir le succès du projet**



**réseau dtc**  
experts en confort eco-thermique

Un engagement à créer ensemble des solutions de confort, économiques et respectueuses de l'environnement.

**Conseils**  
**Etudes Confort**  
**Expertise Optimisation**  
**Pilotage à distance**  
**Performance Fiabilité**  
**Economie d'énergie**  
service après-vente

TECHNOLOGIE x PROFESSIONALISME

www.reseaudtc.be

**réseau dtc**  
experts en confort eco-thermique



6

## 2.2 Quelle stratégie de communication? COMPARER les solutions!

- Investissement + facture énergétique + fiabilité du matériel
- Rendement et facture énergétique
  - ▶ simulations et comparaison entre marques/solutions

<http://ecodesign.toshiba-airconditioning.eu/fr>

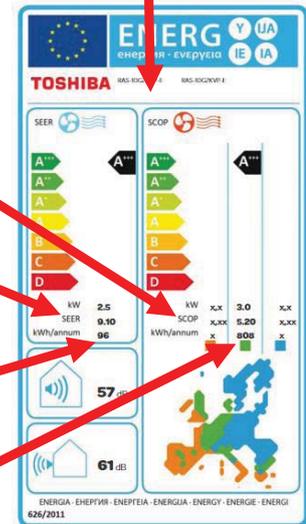
- Exemple PAC Air-Air 3KW en chauffage
  - ▶ modulation de puissance =  $\eta$  annuels élevés

COP = 5,2  
SEER = 9,1

*solution idéale pour maison passive!*

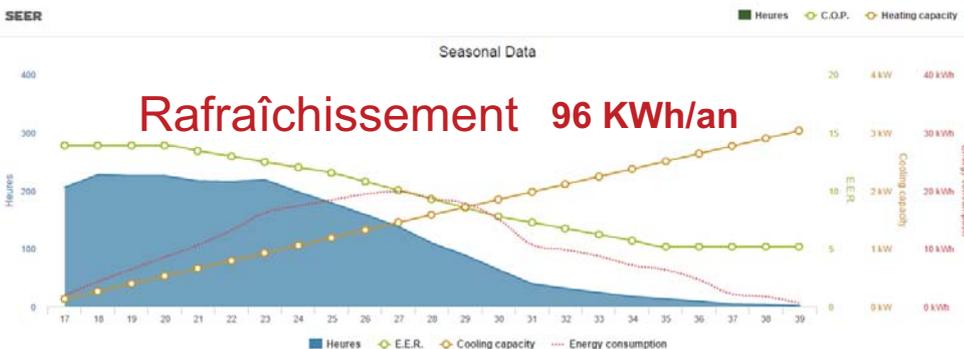
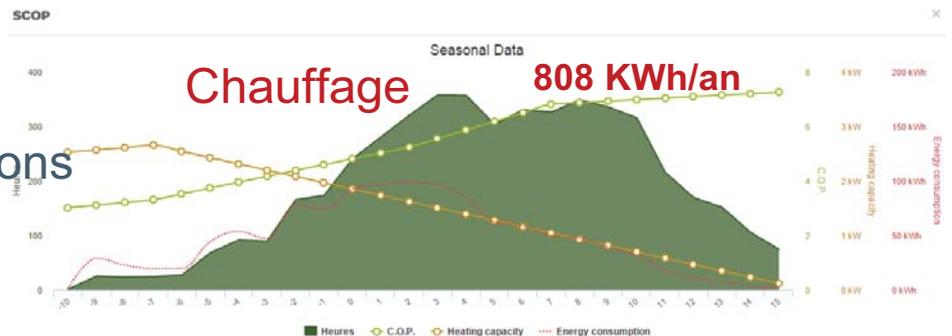
*Investissement et facture énergétique min. pour un confort max.*

KWh/an froid = 96 chaud = 808



## 2.3 Quelle stratégie de communication? EXPLIQUER LA SOLUTION!

- Consommations des PAC Air-Air En fonction des saisons



**Modulation de puissance = bons  $\eta$  et confort**

## 2.4 Quelle stratégie de communication? CONSCIENTISER et S'ENGAGER!

- Comment réduire votre facture énergétique et votre impact environnemental ?
  - ▶ Paramétrer correctement l'installation
  - ▶ Former les utilisateurs (régulation)
  - ▶ Mise en place d'une comptabilité énergétique
  - ▶ Suivre, analyser et comparer les consommations
  - ▶ Modifier et adapter les réglages et les comportements:
    - Consigne de t°, plages horaires, réglages saisonniers



» **Quelles sont les motivations?**



» **Qui paye la facture?**

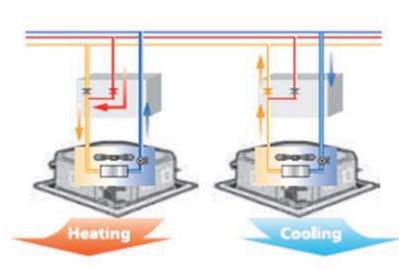
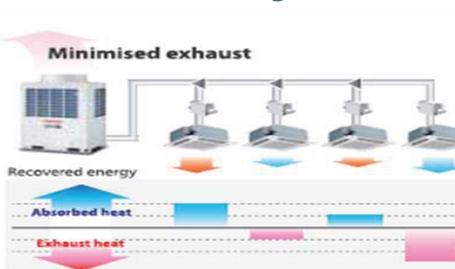
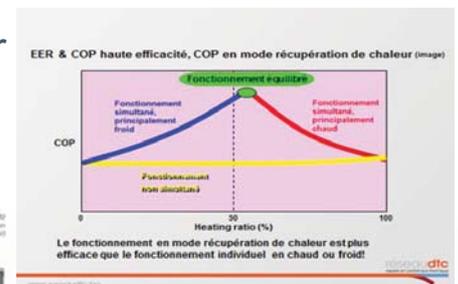
» **Conscientiser les investisseurs et occupants**



9

## 3.1 Quelques exemples de réalisations : La technologie PAC DRV

- Système à « débit de réfrigérant variable »
- Fonctionnement en chaud et froid, simultanément!
- Avantages:
  - ▶ Transfert interne/externe des flux de chaleur
  - ▶ Efficacité énergétique + confort
  - ▶ Changement rapide de mode chaud/froid
  - ▶ Pas de « tampon » = pas d'inertie
  - ▶ Pilotage aisé de l'installation



10

## 3.2 Quelques exemples de réalisations : DRV / récupération de chaleur

- Récupération de la chaleur du laboratoire d'analyse sanguine pour chauffer les chambres en hiver et en entre-saisons
- Sécurité de fonctionnement: 5 installations séparées sur groupes de secours



**Faibles consommations énergétiques**



11

## 3.3 Quelques exemples de réalisations : DRV / Valorisation chaleur souterraine

- Chauffage des boutiques de la Galerie MADOU (métro)

**→ Fonctionnement hivernal à température constante!**



- Chauffage de l'air hygiénique



12

### 3.4 Quelques exemples de réalisations : DRV (bureaux) + PAC Air-Eau (ateliers)

- Confort adapté aux différentes zones ateliers et aux bureaux
- Chauffage / sol = pas de déplacement d'air (fibres textiles)

 **Economies d'énergie**

SPF annuel ateliers = 3,1



13

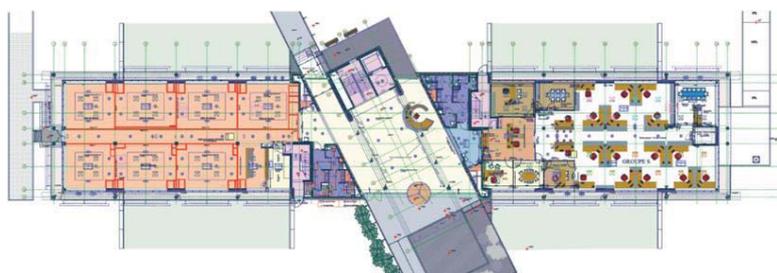
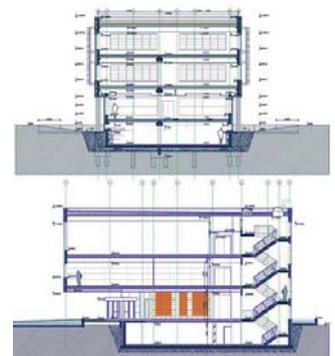
### 3.5a Quelques exemples de réalisations : DRV : gestion locative de bureaux

- DRV : chauffage / rafraîchissement / ventilation adiabatique
- Installation « à la carte » des 5200 m<sup>2</sup>

- ▶ Occupation: Propriétaires/locataires/visiteurs
- ▶ Divers souhaits d'agencement pour bureaux, salles: polyvalentes/réunions/formations

 **Critères de décisions (variante au CSC)**

- ▶ **Facilité de phasage des travaux**
- ▶ **Coûts d'investissement et consommations+ faibles**



14

## 3.5d Quelques exemples de réalisations : Récupération de chaleur

- Transfert de la chaleur provenant de la verrière en entre-saisons pour chauffer le rez de chaussée



**➔ Récupération de chaleur et confort**



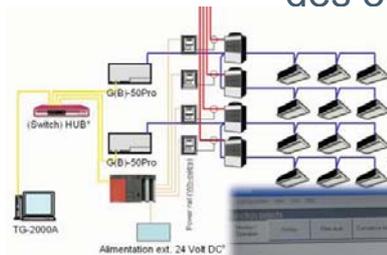
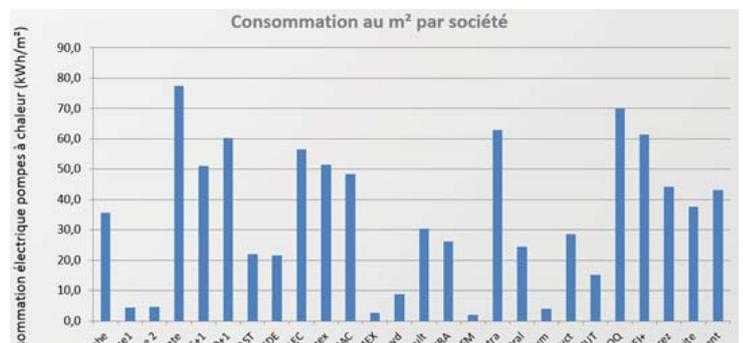
15

## 3.5b Quelques exemples de réalisations : gestion locative de bureaux

- GTC globale **➔ Répartition réelle des consommations**

Répartition suivant:

- ▶ l'occupation
- ▶ les comportements des occupants!



26 factures énergétiques



16

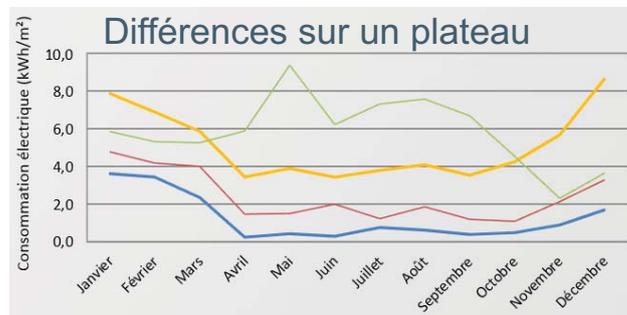
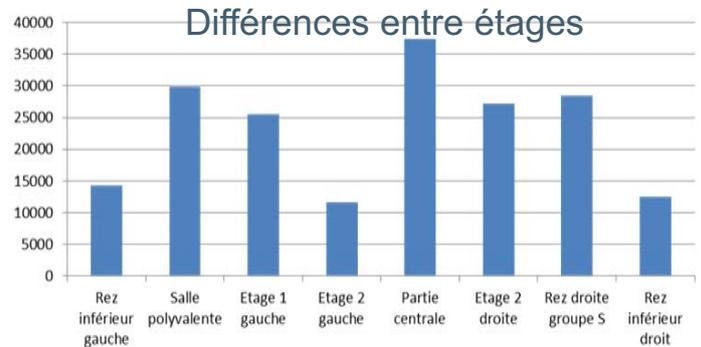
## 3.5c Quelques exemples de réalisations : Analyse des consommations



**Réduire les consommations et les émissions de CO<sub>2</sub>**

- Former les utilisateurs pour optimiser les réglages

- ▶ Disparités des consommations!
- ▶ Changer les comportements:
  - › T° de consigne, plages horaires

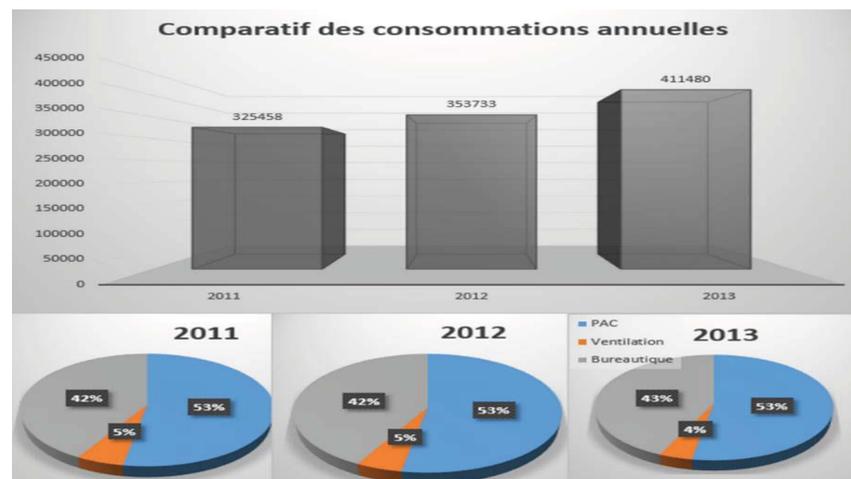


## 3.5c Quelques exemples de réalisations : Analyse des consommations

- Consommations en 2013 HVAC = Chaud/froid/ventilation
  - ▶ 234.000 kWh = 57% consommations électriques totales
  - ▶ +/- **9 €/m²an** (0,2 €/KWh) facture totale +/- **45.000€ / 5200m² an**

- Evolution des consommations totales sur 3 ans

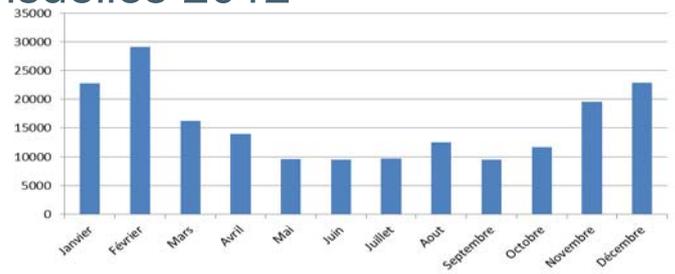
- ▶ Occupation + ↗
- ▶ Degré-jours + ↗



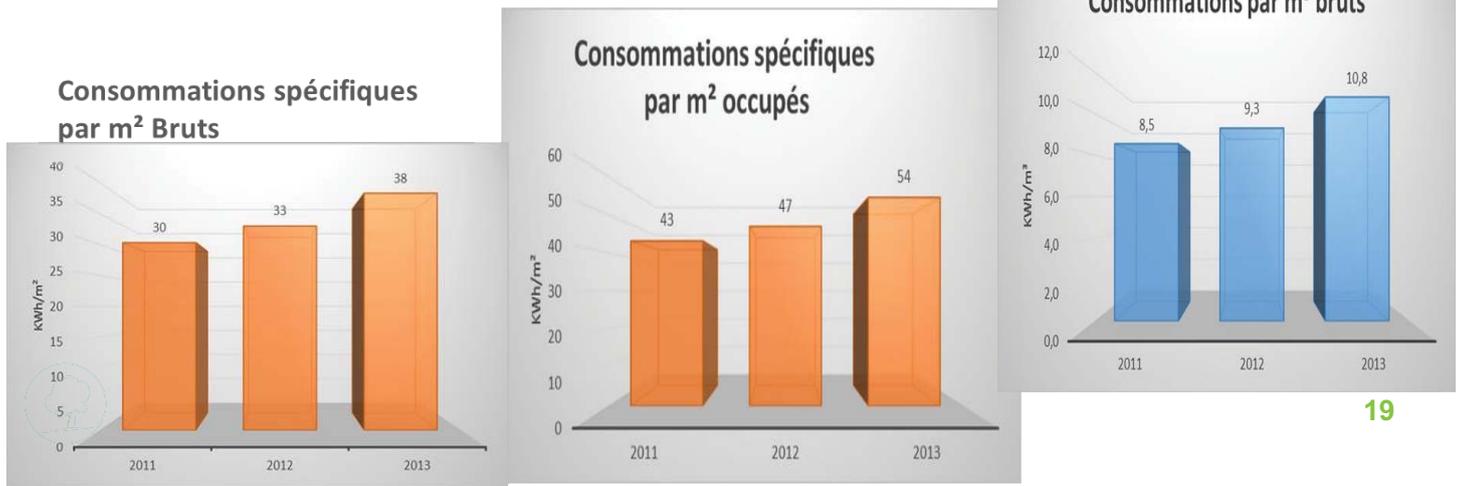
# 3.5e Quelques exemples de réalisations : Analyses des consommations

## • Profil des consommations mensuelles 2012

- ▶ Le chauffage reste prépondérant sur le rafraîchissement!



## • Ratios des consommations annuelles



19

# 3.6a Quelques exemples de réalisations : DRV : Avantages en rénovation



## **Contraintes techniques et financières:**

- **Confort adapté aux différents types de locaux et d'occupation**
- **Coût investissement (pas de climatisation prévue à la base)**
- **Délais d'exécution (10 mois)**
- **Phasage des travaux avec occupation partielle**



## 3.6b Quelques exemples de réalisations : DRV : Avantages en rénovation

**Facilité d'installation et sécurité de fonctionnement**

**36 PAC (toiture) + 225 UI et 38 GP (faux-plafond)**

**Facilité de gestion pour 14000m<sup>2</sup> (GTC chaud/froid/ventilation)**

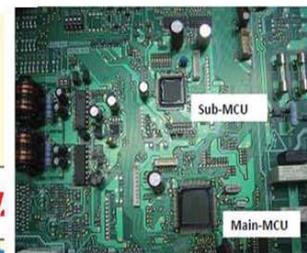
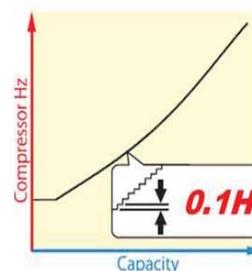
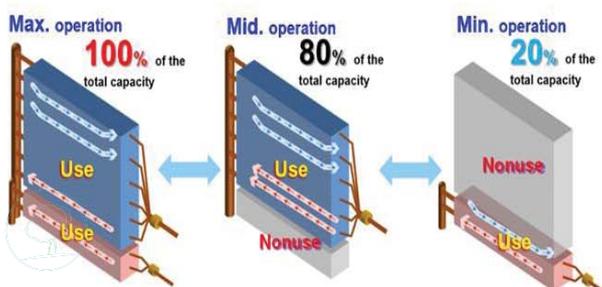
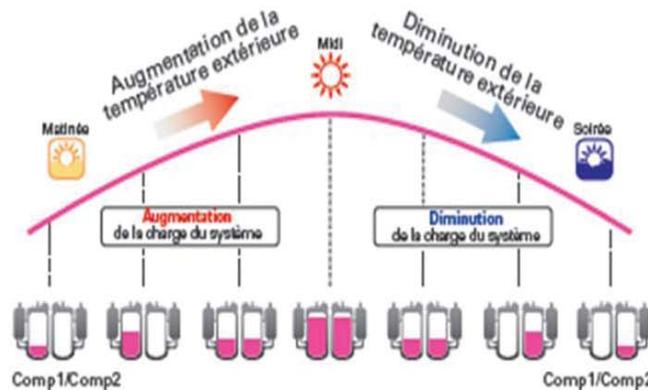
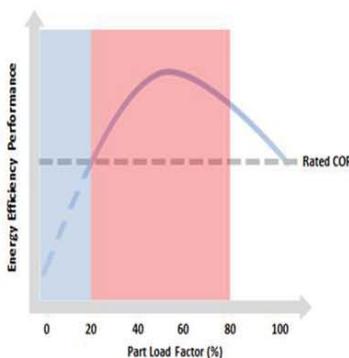


21

## 4.1.1 Quelques évolutions technologiques

**Optimisation modulation de puissance PAC Air-Air DRV:**

**Meilleurs  $\eta$  et amélioration du confort en entre-saisons (ESEER >7)**

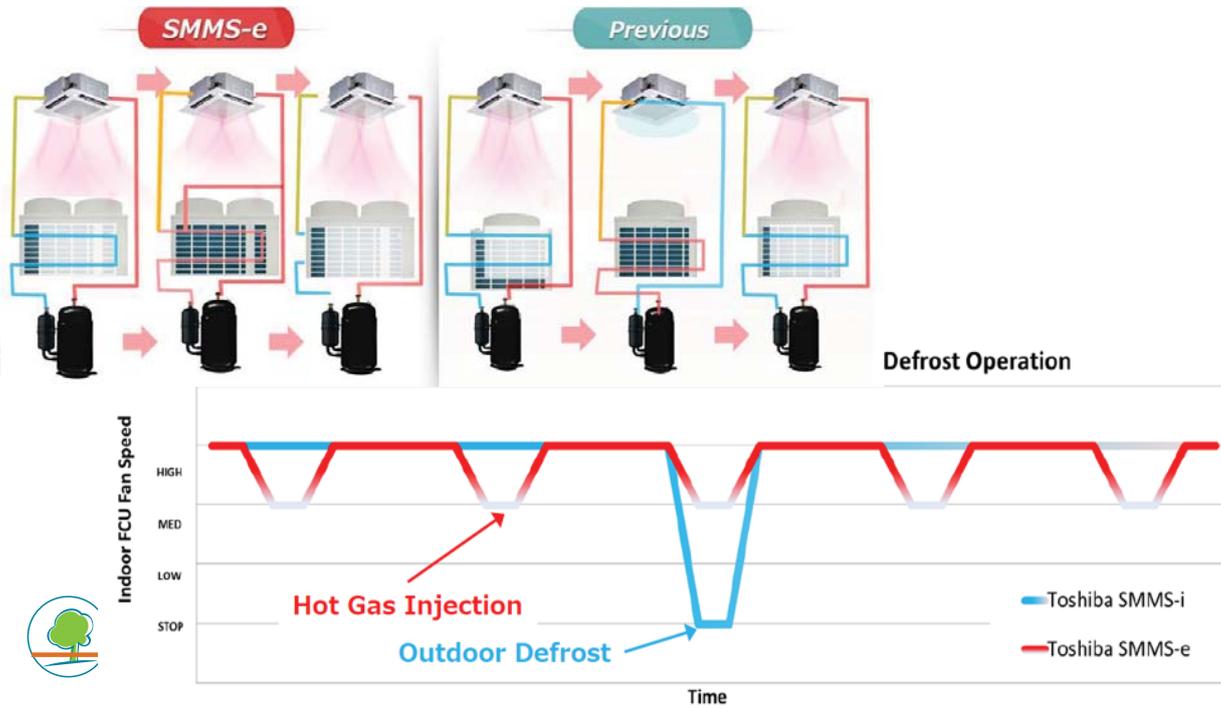


22

## 4.1.2 Quelques évolutions technologiques

### Optimisation des dégivrages PAC Air-Air DRV :

Amélioration du confort en période hivernale et consommations réduites



## 4.1.3 Quelques évolutions technologiques:

### Optimisation des régulations PAC Air-Eau:

Régulation 'Userfriendly' avec accès à distance + suivi des énergies produites et consommées pour pouvoir suivre et valider le COP/SPF réel de l'installation

This block contains several screenshots from a PAC Air-Eau control interface. The top left shows a 'Consignes t°' screen with various control buttons and a temperature display. The top right shows a 'Régulation tactile intuitive' screen with a hand icon pointing to a control element. The middle left shows a 'Plages horaires' screen with a color-coded schedule. The middle right shows a 'Vérification SPF et fonctionnement' screen with energy production and consumption data. The bottom left shows a 'Recapitulatif Programmation' screen with a detailed schedule. The bottom right shows a 'Historique des énergies produites' screen with a bar chart showing energy production over time. The 'aitech' logo is visible in the center of the interface.

# 4.1.4 Quelques évolutions technologiques: PAC CO<sub>2</sub> pour ECS

Un potentiel très important: *une multitude de besoins*



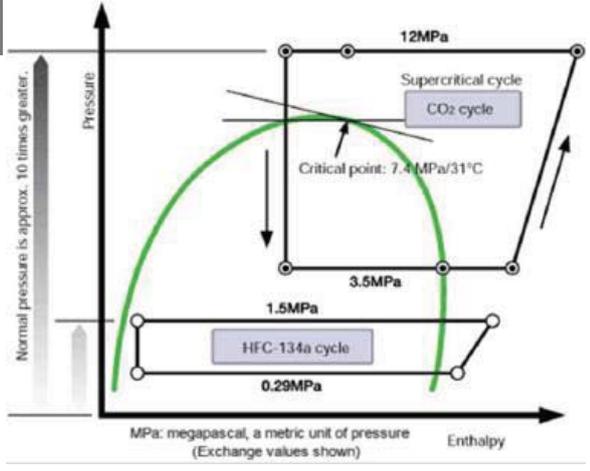
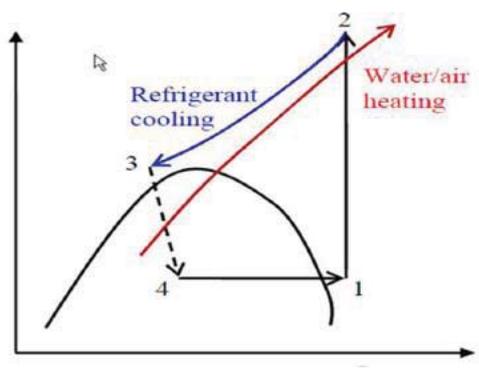
# 4.1 Quelques évolutions technologiques: 4.1.2 PAC CO<sub>2</sub> pour ECS

Pourquoi le CO<sub>2</sub>? *Pour l'environnement et les performances*

**ATOUT ENVIRONNEMENT**

Comparatif de l'effet de différents réfrigérants sur le réchauffement climatique (équivalent en rejets de CO<sub>2</sub> d'une voiture)

Fluide	Echelle GWP
R134-A	1430
R410-A	2100
R407-C	1800
R744 (CO <sub>2</sub> )	1

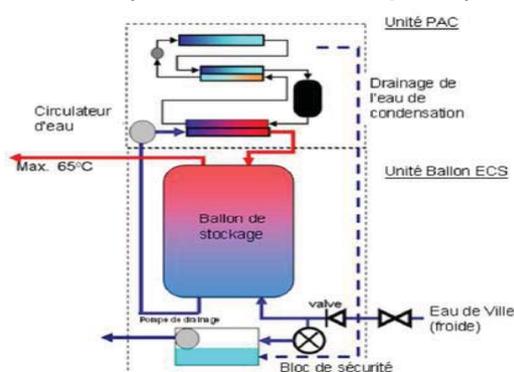
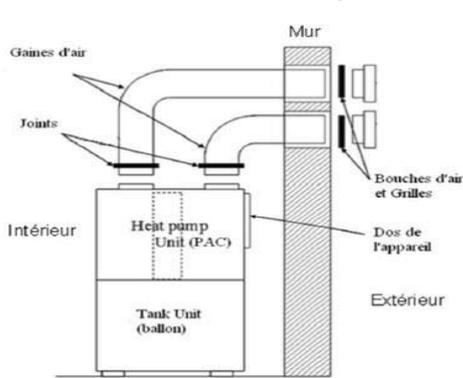
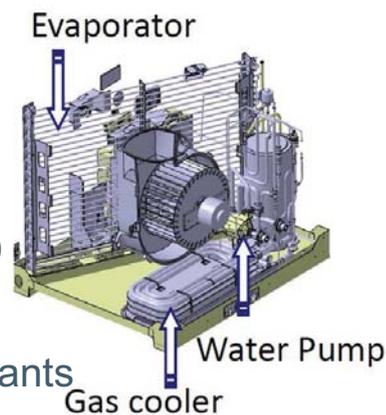


# 4.1 Quelques évolutions technologiques:

## 4.1.2 PAC CO<sub>2</sub> pour ECS

### • *Un Concept innovant:*

- ▶ Confort garanti (stratification = puisage à 65°C)
- ▶ Mise à t° rapide (de 10 à 65°C en 2,5 h pour 150L)
- ▶ Rendements très élevés SCOP= 3 à 3,5
- ▶ Amortissement très rapide si besoins ECS importants
- ▶ Installation intérieure aisée pas de nuisance sonore extérieure
- ▶ Possibilité de récupération de chaleur (locaux techniques)



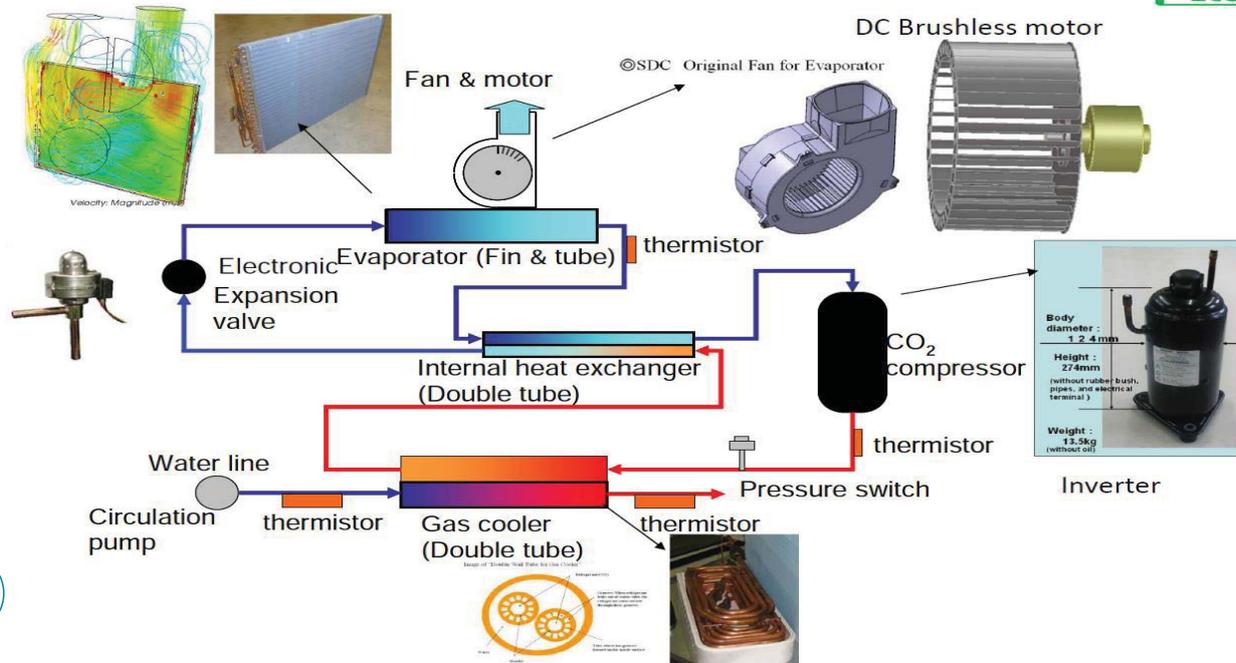
# 4.1 Quelques évolutions technologiques:

## 4.1.2 PAC CO<sub>2</sub> pour ECS

### • *Une technologie maîtrisée* Modulation débits **air+eau+CO<sub>2</sub>**



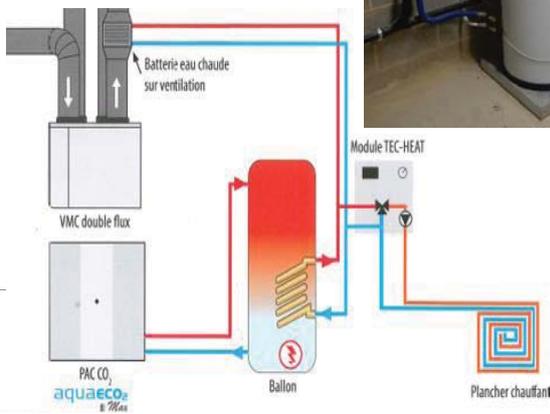
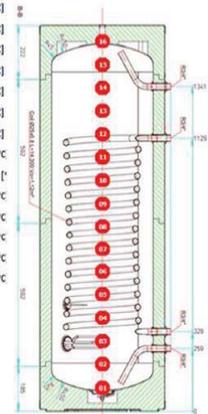
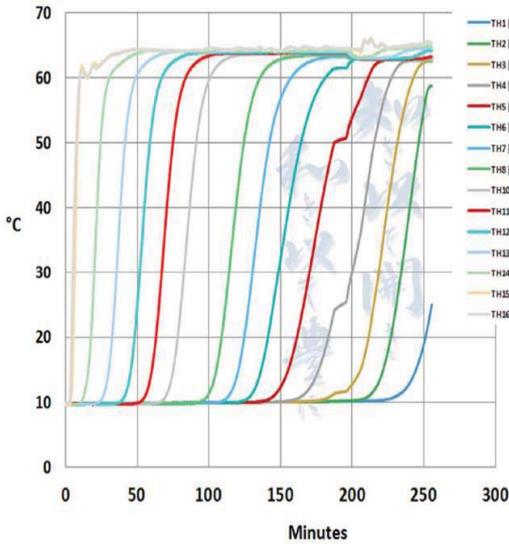
#### Développement : PAC et composants



# 4.1 Quelques évolutions technologiques: Combinaison :ECS + confort chauffage

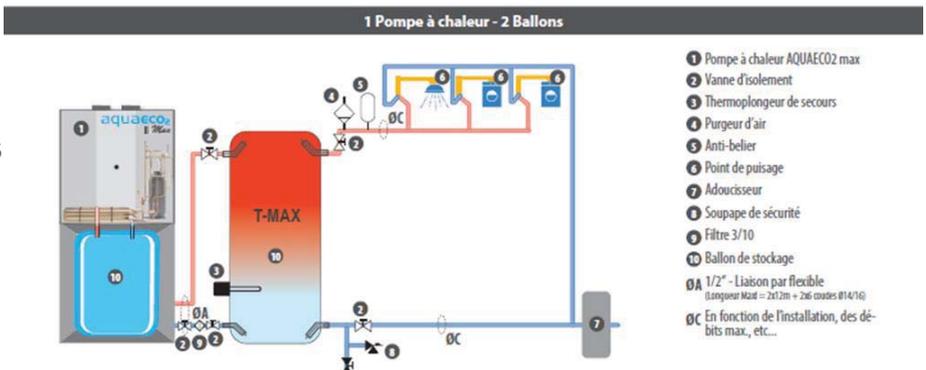
**Idéal pour habitation passive/ TBE**

## CHAUFFAGE + ECS



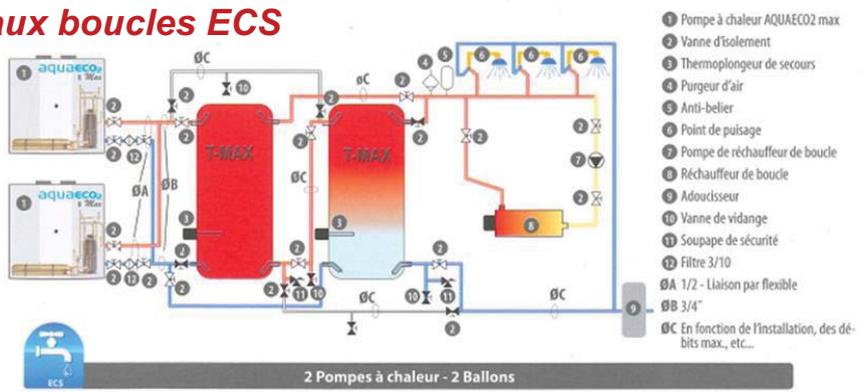
# 4.1 Quelques évolutions technologiques: 4.1.2 PAC CO<sub>2</sub> pour ECS

Exemples d'installations Pour besoins importants



**Concevoir une installation adaptée aux besoins de puisage!**

- Puissance PAC + Volume de stockage
- Attention aux boucles ECS



# Ce qu'il faut retenir de l'exposé

- Répondre aux besoins du client :
  - ▶ Assurer **le confort tout au long de l'année!**
  - ▶ Concevoir une **solution cohérente** techniquement **et** financièrement
    - › Investissement / consommations / fiabilité (coûts SAV et entretiens)
- Les responsabilités : **Travail d'équipe !**
  - ▶ Depuis **la conception jusqu'à l'installation** sans oublier les paramétrages du matériel et de la régulation.
  - ▶ Assurer la formation et conscientiser les utilisateurs pour leur permettre de **maîtriser et optimiser l'installation globale** en vue de réduire les consommations énergétiques et l'impact environnemental
- Les évolutions technologiques:
  - ▶ Amélioration du confort et des  $\eta$  (**modulation de puissance**)
  - ▶ Régulation 'userfriendly' avec **vérification du COP/SPF**
  - ▶ PAC pour ECS avec **réfrigérant naturel CO<sub>2</sub>** = solution optimale



31

## Contact

**Etienne de Montigny**

Directeur commercial

Coordonnées : Réseaudtc

Rue terre à briques 37

7503 Froyennes

☎ : 069/84 44 40

E-mail : [edm@dtc.be](mailto:edm@dtc.be)

[www.reseau-dtc.com](http://www.reseau-dtc.com)



32

---

# Conception et dimensionnement de systèmes de PAC

## Points d'attention et outils, sur base d'exemples

---

**Fabrice Derny**  
**Matriciel**

La présentation aborde le choix et la conception des installations de pompes à chaleur dans le contexte des bâtiments tertiaires énergétiquement performants.

A partir d'une évaluation initiale des besoins en chauffage et en refroidissement pour le bâtiment, les différents types d'installation techniques envisageables seront présentés.

Ensuite, on décrira de manière détaillée la solution PAC géothermique (réversible ou avec géocooling) avec chaudière gaz pour l'appoint en chauffage et groupe de froid pour l'appoint en refroidissement. On énoncera les points d'attentions relatifs à la régulation, au dimensionnement de la source géothermique ainsi qu'au choix des émetteurs.

Enfin, une comparaison de la consommation d'énergie primaire pour les différents types d'installation sera donnée pour des bâtiments avec différents niveaux d'isolation.



# La pompe à chaleur, du potentiel à Bruxelles !

4 mars 2016

Bruxelles Environnement

**Intégration, régulation et association des pompes à chaleur avec les autres énergies renouvelables**

Raphaël CAPART

Service du Facilitateur Bâtiment Durable- Spécialiste PAC



**BRUXELLES ENVIRONNEMENT**  
IBGE - INSTITUT BRUXELLOIS POUR LA GESTION DE L'ENVIRONNEMENT

## Plan de l'exposé

1. Combinaison PAC/PV pour le chauffage
2. Combinaison PAC/PV pour l'ECS
3. Combinaison PAC/solaire thermique pour l'ECS
4. ECS : comparaison entre combinaison PAC/PV et solaire thermique
5. PAC et smart grid



# 1. Combinaison PAC/PV pour le chauffage

- Peut-on couvrir la consommation électrique nécessaire pour le chauffage par un installation photovoltaïque?
- Pour les installations < 5 kWc: dans le cadre de la réglementation actuelle (bilan entre consommation et production sur base annuelle).
- 2 cas de figure
  - ▶ Chauffage électrique direct
  - ▶ Chauffage par PAC



3

# 1. Combinaison PAC/PV pour le chauffage

- Performances actuelles des panneaux :
  - ▶ Entre 120 et 200 Wc/m<sup>2</sup>
  - ▶ À Bruxelles, on produit environ 850 kWh pour 1 kWc installé dans les meilleures condition (pas d'ombrage, orientation sud, inclinaison de 35°)  
→ **1 m<sup>2</sup> de panneau produit entre 102 et 170 kWh/an**



Source : IBGE



Source : IBGE



4

# 1. Combinaison PAC/PV pour le chauffage

## Chauffage électrique direct

	Maison individuelle		Petit immeuble à appartement	
	Passif	« Très basse énergie »	Passif	Très basse énergie
Superficie chauffée	200 m <sup>2</sup>		100 m <sup>2</sup>	
BNE chauffage	3000 kWh	6000 kWh	1500 kWh	3000 kWh
Rendement émission/régulation	93%			
Consommation chauffage électrique direct	<b>3226 kWh</b>	<b>6452 kWh</b>	<b>1613 kWh</b>	<b>3226 kWh</b>
Superficie nécessaire pour couvrir la consommation de chauffage	19 ... 32 m <sup>2</sup>	38 ... 64 m <sup>2</sup>	9 ... 16 m <sup>2</sup> /appartement	19 ... 32 m <sup>2</sup> /appartement

Attention à la limite des 5 kWc

Envisageable

Dépend du nombre d'étages de l'immeuble



# 1. Combinaison PAC/PV pour le chauffage

## Chauffage par PAC (hypothèse FPS = 3.0)

	Maison individuelle		Petit immeuble à appartement	
	Passif	« Très basse énergie »	Passif	Très basse énergie
Superficie chauffée	200 m <sup>2</sup>		100 m <sup>2</sup>	
BNE chauffage	3000 kWh	6000 kWh	1500 kWh	3000 kWh
Rendement émission/régulation	93%			
Consommation chauffage PAC	<b>1075 kWh</b>	<b>2150 kWh</b>	<b>538 kWh</b>	<b>1075 kWh</b>
Superficie nécessaire pour couvrir la consommation de chauffage	6 ... 9 m <sup>2</sup>	13 ... 18 m <sup>2</sup>	3 ... 4.5 m <sup>2</sup> /appartement	6 ... 9 m <sup>2</sup> /appartement

~~Attention à la limite des 5 kWc~~

Toujours possible

Le plus souvent possible : dépend du nombre d'étages de l'immeuble



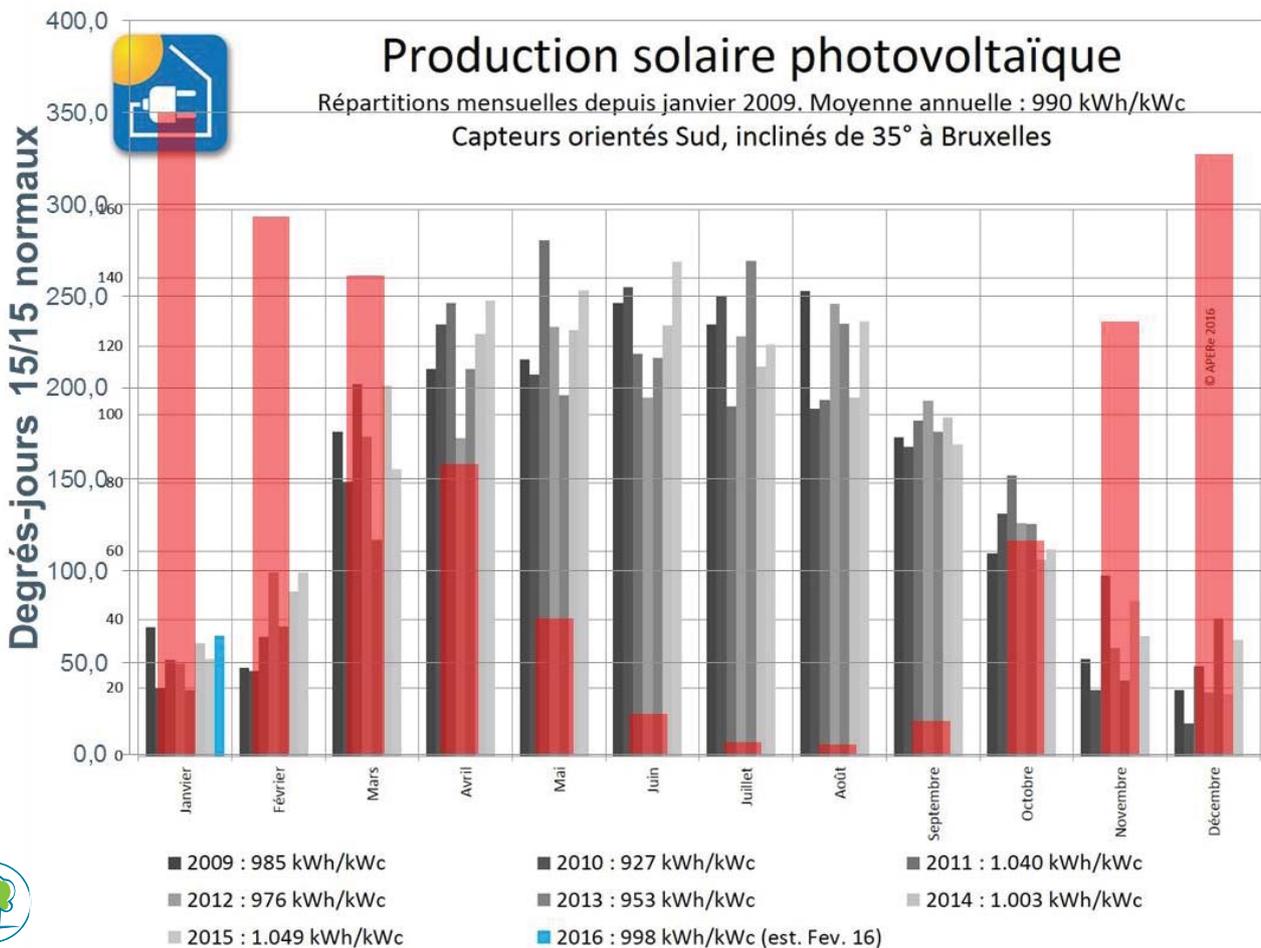
# 1. Combinaison PAC/PV pour le chauffage

- Réglementation pour installation > 5 kWc et à moyen terme pour toutes les installations :
  - ▶ Compteur bi-directionnel
  - ▶ Électricité injectée vendue à un prix relativement (très) bas
  - ▶ Seule l'auto-consommation instantanée est valorisée



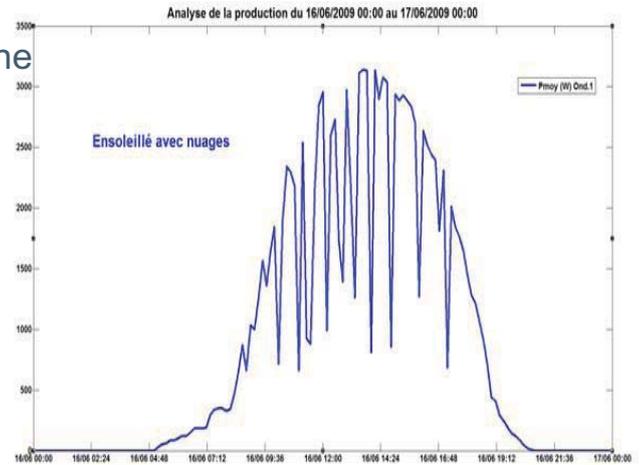
# 1. Combinaison PAC/PV pour le chauffage

Source : www.meteo-renouvelable.be



# 1. Combinaison PAC/PV pour le chauffage

- Impossibilité de valoriser entièrement la production photovoltaïque pour le chauffage par PAC (il faudrait pouvoir faire du stockage intersaisonnier)
- Durant un même mois, semaine, journée => la production d'électricité fluctue
- La régulation de la PAC peut dans une certaine mesure optimiser les fluctuations journalières
  - ▶ En profitant de l'inertie du bâtiment
    - › Régulation délicate
    - › Risque de surchauffe
  - ▶ En utilisant un ballon de stockage
    - › Impact sur les performances si stockage à haute température
    - › Volume du ballon de stockage
  - ▶ Nécessité d'avoir une régulation intelligente :
    - › Communication avec l'installation PV
    - › Communication avec le réseau intelligent
    - › Prise en compte de prévisions météo
    - › ...



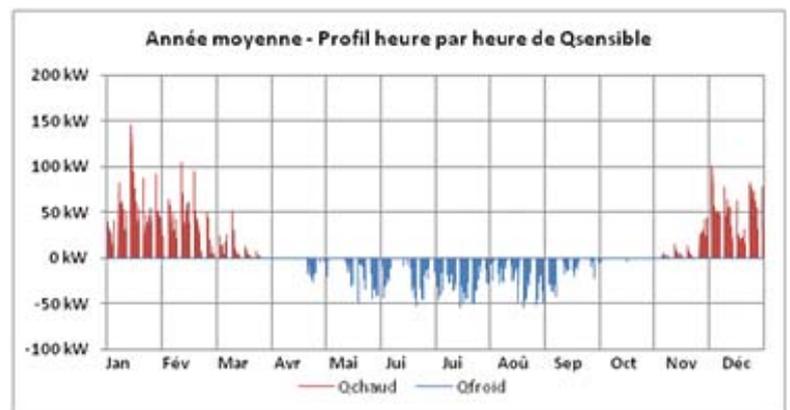
Source : www.smartgrids-cre.fr



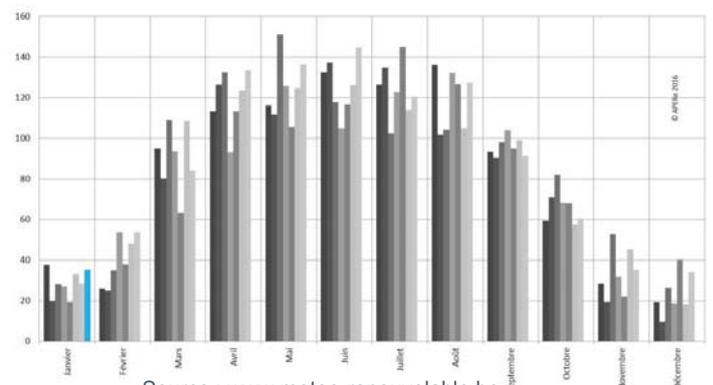
# 1. Combinaison PAC/PV pour le chauffage

Avantage des bâtiments avec besoins en froid (tertiaire)

=> la consommation pour le refroidissement se fait au moment où la production est maximale



Source : energie+



## 2. Combinaison PAC/PV pour l'ECS

- Les besoins sont constants toute l'année
- Un dimensionnement correct permet de maximiser l'auto-consommation :
  - ▶ Capacité du ballon correspondant au minimum aux besoins d'une journée
    - › au plus la capacité est importante, au plus on maximise les possibilités d'auto-consommation mais aussi les performances de la PAC si elle produit de l'eau à plus basse température
    - › Attention : une capacité importante représente des pertes plus importantes (« pertes d'entretien »)
  - ▶ Puissance de la PAC permettant de recharger le ballon en quelques heures
- Régulation : mêmes besoins spécifiques que pour le chauffage



11

## 2. Combinaison PAC/PV pour l'ECS

- Les besoins sont constants toute l'année
- Un dimensionnement correct permet de maximiser l'auto-consommation :
  - ▶ (...)
  - ▶ Exemple :
    - › 300 litres,  $P = 1.4 \text{ kW}_{\text{élec}}$
    - › Quantité d'énergie nécessaire pour une recharge :  
 $1.166 \times 0.3 \times (50-10) = 14 \text{ kWh}$
    - › Temps de recharge si  $\text{COP} = 2.5$  :  $14 / (1.4 \times 2.5) = 4 \text{ heures}$
- Régulation : mêmes besoins spécifiques que pour le chauffage



12

### 3. Combinaison PAC/solaire thermique pour l'ECS

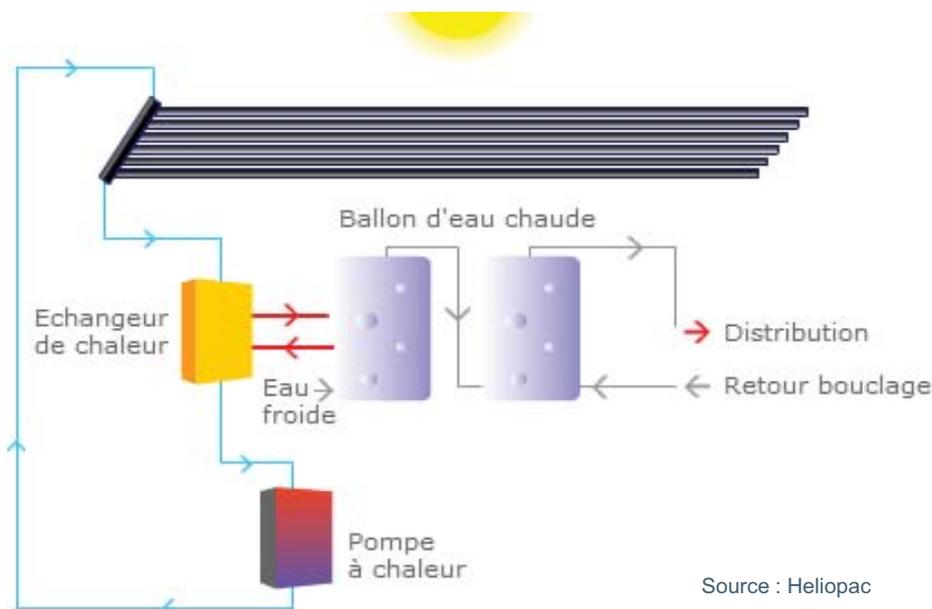
- L'utilisation d'une PAC pour les appoints plutôt que :
  - ▶ résistance électrique : favorable (réduction de la consommation d'électricité d'un facteur égal au FPS)
  - ▶ Autre type de générateur (chaudière/chauffe-eau gaz/mazout) : l'éventuel surcoût de l'investissement doit être analysé
- Les deux systèmes sont performants dans les mêmes conditions (période estivale, temps clément)
  - ▶ L'appoint par la PAC se fera dans les conditions souvent défavorables (si source froide = air essentiellement)
  - ▶ Ce mode de fonctionnement a un impact négatif sur le FPS de la PAC
- La régulation doit être bien pensée pour maximiser le potentiel des deux moyens de production
  - ▶ Ne pas réchauffer inutilement le ballon si du soleil est prévu
  - ▶ ...



13

### 3. Combinaison PAC/solaire thermique pour l'ECS

- Il existe des PAC qui combinent les 2 technologies
  - ▶ Capteurs solaire = capteurs pour la source froide
  - ▶ Les capteurs ne sont pas isolés de l'air extérieur => en l'absence de soleil, transfert de chaleur depuis l'air (fonctionnement équivalent à une pompe à chaleur air/eau statique)



Source : Heliopac

Source : Heliopac

14

## 4. ECS : combinaison PAC/PV vs. solaire thermique

- Rendement :
  - ▶ PV : les meilleurs panneaux atteignent un rendement de 20%
    - › Combiné à une PAC avec un FPS de 2 à 3 => rendement de 40% à 60%
  - ▶ Solaire thermique : rendement de 30 à 40%
- Production en conditions défavorables
  - ▶ Par temps couvert
    - › la production des capteurs plans est quasiment nulle
    - › L'installation PV continue à produire grâce au rayonnement diffus
  - ▶ Exemple Janvier 2016 (données : meteo-renouvelable.be + IRM)
    - › Production moyenne pour journée avec ensoleillement inférieur à 1h avec installation de 5 kWc : 2.5 kWh
    - › Si FPS = 2 => 5kWh (recharge ~ 1/3 ballon de 300 litres)
    - › Production moyenne par jour avec installation de 5 kWc = 5.7 kWh/jour => environ la moitié des besoins pour recharger un ballon de 300 litres



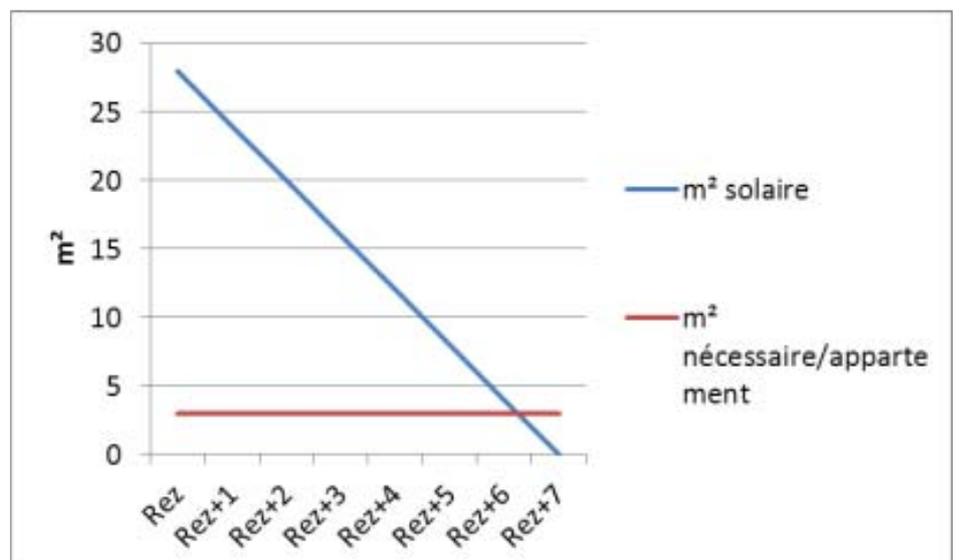
15

## 4. ECS : combinaison PAC/PV vs. solaire thermique

Exemple d'un immeuble à appartements de 85 m<sup>2</sup> de toiture plate

Option 1 : solaire thermique (ST)

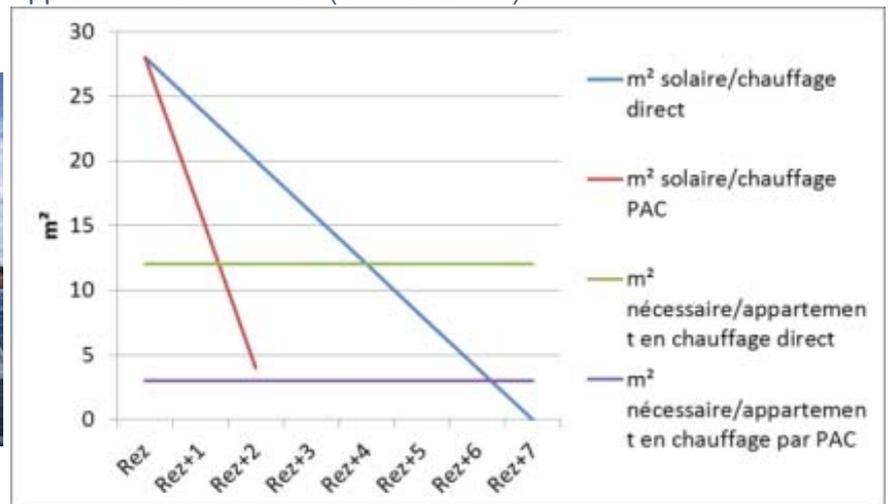
- Soit  $85/3 = 28$  m<sup>2</sup> de surface exploitable pour le ST
- Les besoins en ECS sont de l'ordre de 17,5 kWh/(m<sup>2</sup>.an)
- Couverture solaire thermique de ~350 à 500 kWh/(m<sup>2</sup>.an) soit ~4 m<sup>2</sup>/appartement.



## 4. ECS : combinaison PAC/PV vs. solaire thermique

Exemple d'un immeuble à appartements de 85 m<sup>2</sup> de toiture plate  
Option 2 : combinaison PAC/PV

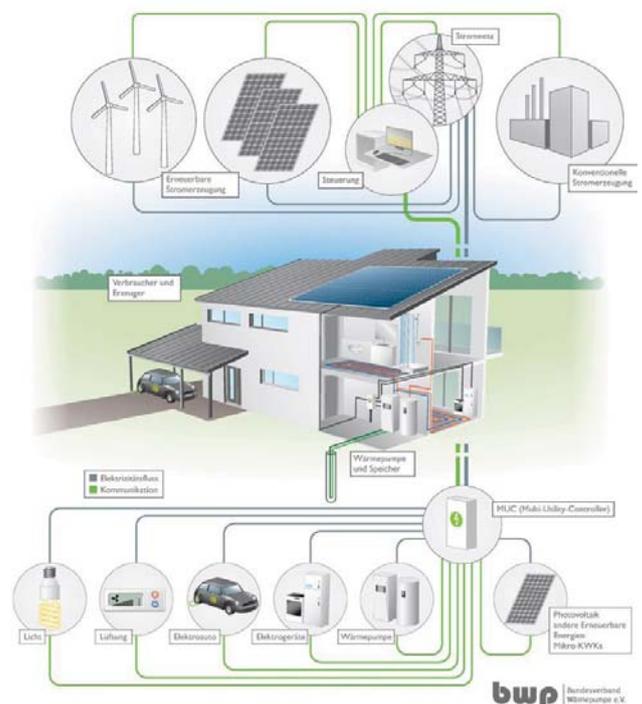
- Soit  $85/3 = 28$  m<sup>2</sup> de surface exploitable pour le PV
- Les besoins en ECS sont de l'ordre de 17,5 kWh/(m<sup>2</sup>.an)
- Couverture PV de ~102 à 170 kWh/(m<sup>2</sup>.an)
  - soit 11 m<sup>2</sup> de PV/appart. en électricité directe
  - ou 5.5 à 3.5 m<sup>2</sup> de PV/appart avec une PAC de (SPF de 2 et 3)



17

## 5. PAC et smart grid

- Les PAC transforment l'énergie électrique en chaleur de manière efficace
- La chaleur peut être
  - ▶ stockée
    - › lorsque l'offre d'électricité est importante et donc peu coûteuse
  - ▶ restituée plus tard
    - › lorsque l'offre d'électricité est faible et donc coûteuse



Source : [www.waermepumpe.de](http://www.waermepumpe.de)



18

## 5. PAC et smart grid

- Nécessite une régulation adaptée et un protocole de communication
  - ▶ Des initiatives pour des standards de communication existent
  - ▶ Il existe un label allemand



- Actuellement, il n'existe pas de moyen de rentabiliser la gestion de charge dans le secteur résidentiel
  - ▶ certain de ces systèmes intelligents peuvent aider à l'autoconsommation de la production des PV
  - ▶ à long terme, des compteurs intelligents associés à des tarifs fluctuants le permettront vraisemblablement



19

## Outils, sites internet, etc... intéressants :

- <http://www.energieplus-lesite.be>
- <http://www.meteo-renouvelable.be/>
- Manuel pour optimiser la consommation de courant photovoltaïque : [http://www.vese.ch/wp-content/uploads/VESE\\_Manuel\\_optimiser\\_l\\_autoconsommation.pdf](http://www.vese.ch/wp-content/uploads/VESE_Manuel_optimiser_l_autoconsommation.pdf)
- Info sur le site de Bruxelles Environnement : <http://www.environnement.brussels/thematiques/energie/quest-ce-que-lenergie-verte/les-pompes-chaaleur>
- Brochure éditée par la région wallonne : <http://energie.wallonie.be/fr/les-pompes-a-chaaleur.html?IDC=6190&IDD=26697>
- <http://www.energieplus-lesite.be>
- Monitoring de PAC installées en direct : <http://www.liveheatpump.be>



20

## Ce qu'il faut retenir de l'exposé

- Une installation photovoltaïque résidentielle (moins de 5 kWc) combinée à une PAC permet, pour un bâtiment performant, de compenser la consommation de chauffage et d'ECS sur base d'un bilan annuel
  - Pour les installations de plus grande puissance (plus de 5kWc) et pour toute les installation à moyen terme, l'auto-consommation instantanée ne permet pas cet équilibre
  - La production de chauffage et d'ECS peut être optimisée pour maximiser l'auto-consommation à l'échelle de quelques jours au mieux mais uniquement au moyen d'une régulation spécifique qui n'est actuellement pas encore totalement disponible
  - D'un point de vue strictement énergétique (kWh par m<sup>2</sup> installé), le rendement d'une production par PAC+PV est (au moins) équivalent à une production par capteurs solaires thermiques
- Cependant** d'autres aspects sont à considérer : montant de l'investissement, installation déjà existante, possibilité de valoriser autrement la production estivale plus importante des PV, ...



21

## Contact

### Raphaël Capart

Service du facilitateur bâtiment durable

*Spécialiste PAC pour la Région Bruxelles Capitale*

Tel : 0800 85 775

Courriel : [facilitateur@environnement.irisnet.be](mailto:facilitateur@environnement.irisnet.be)

### ICEDD asbl

Institut de Conseil et d'Etudes en Développement Durable asbl

Bvd Frère Orban, 4

B-5000 Namur (Belgique)

 : 081 25 04 80

E-mail : [rc@icedd.be](mailto:rc@icedd.be)



22



---

# Optimisation d'une PAC dans les bureaux de 3E

## Importance du monitoring, suivi et optimisation

---

Clara Verhelst  
3E

Un modèle prédictif de contrôle (MPC) a été implémenté dans un bâtiment de bureau de taille moyenne à Bruxelles. Cette présentation en expliquera la mise en place et montrera les économies que ce modèle a pu engendrer par rapport à une régulation classique (rule-based control (RBC)).

Le bâtiment comporte deux étages et une superficie totale de 960 m<sup>2</sup>. Le système contrôlable est une production de chaleur hybride consistant en deux pompes à chaleur air/eau et une chaudière gaz à condensation. L'installation ne permet pas le contrôle des unités terminales dans les différentes zones du bâtiment.

Le MPC fait usage d'un modèle de contrôle *Modelica grey-box* comportant un système d'identification et des données de monitoring.

La présentation abordera le monitoring, l'identification du modèle, la prédiction des perturbations, l'estimation du statut, la formulation et la résolution du problème de contrôle optimal (optimal control problem (OCP)) ainsi que la transmission des signaux de contrôle.

La performance est évaluée sur base journalière à partir de l'analyse des degrés-jours, du confort thermique, des coûts de l'énergie et de la consommation d'énergie primaire. Les résultats montrent que le MPC est capable de fournir un confort thermique similaire ou meilleur que le système de référence, tout en diminuant les dépenses énergétiques de plus de 30%. Cela grâce à un meilleur usage des pompes à chaleur et à l'adaptation de la température de l'eau fournie.



# La pompe à chaleur, un potentiel non négligeable à Bruxelles !

4 mars 2015

Bruxelles Environnement

## RÉGLAGE OPTIMAL DU SYSTÈME DE POMPE À CHALEUR DES BUREAUX 3E À BRUXELLES

Clara VERHELST, R&D program manager

3E



BRUXELLES ENVIRONNEMENT  
IBGE - INSTITUT BRUXELLOIS POUR LA GESTION DE L'ENVIRONNEMENT

## Objectif

### Démontrer l'impact d'un réglage optimal

Économies et meilleur confort thermique

#### Mesures, suivi et contrôle



Mesures



Base de données



Conclusions



Action



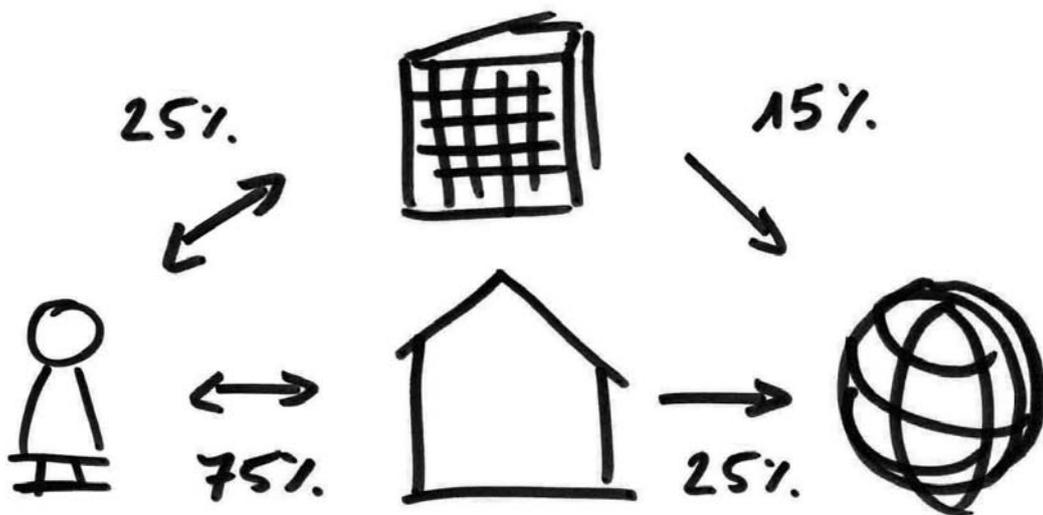
# Sommaire

1. Contexte
2. Étude de cas : système de pompe à chaleur hybride 3E
3. Schéma hydraulique
4. Réglage standard
5. Réglage basé sur un modèle
6. Résultats
7. Analyse
8. Conclusions



3

## 1. Contexte

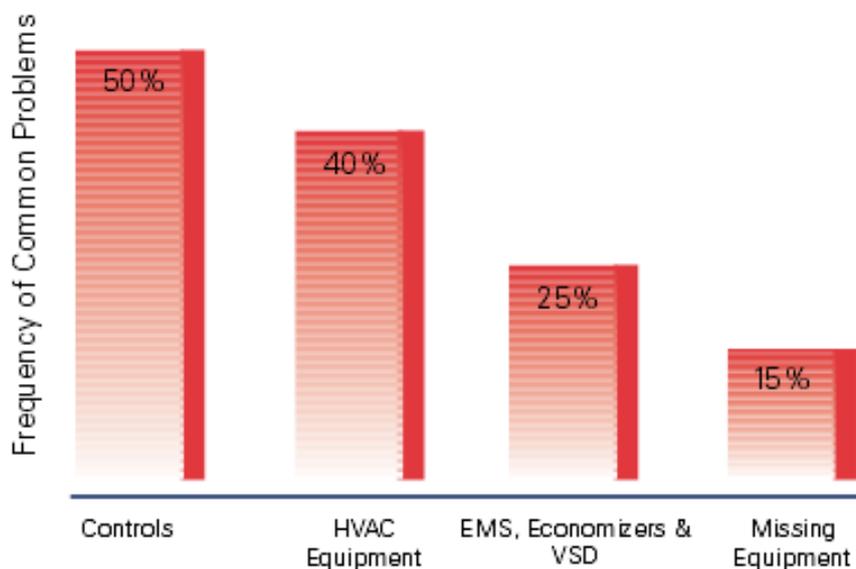


4

# 1. Contexte

1) Mesures & réglage :

principal potentiel d'économies énergétiques et financières

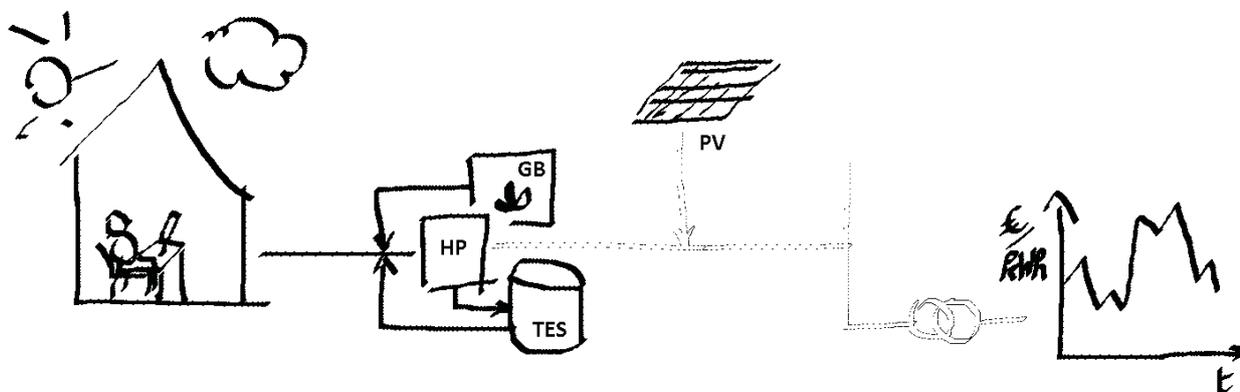


Étude de cas du LBNL englobant 60 bâtiments (2002)



# 1. Contexte

2) Tendence des systèmes hybrides & de l'intégration des systèmes



~~Courbe de chauffe~~

~~« Ajuster puis oublier »~~



## 2. Étude de cas

Bureaux 3E, Bruxelles



7

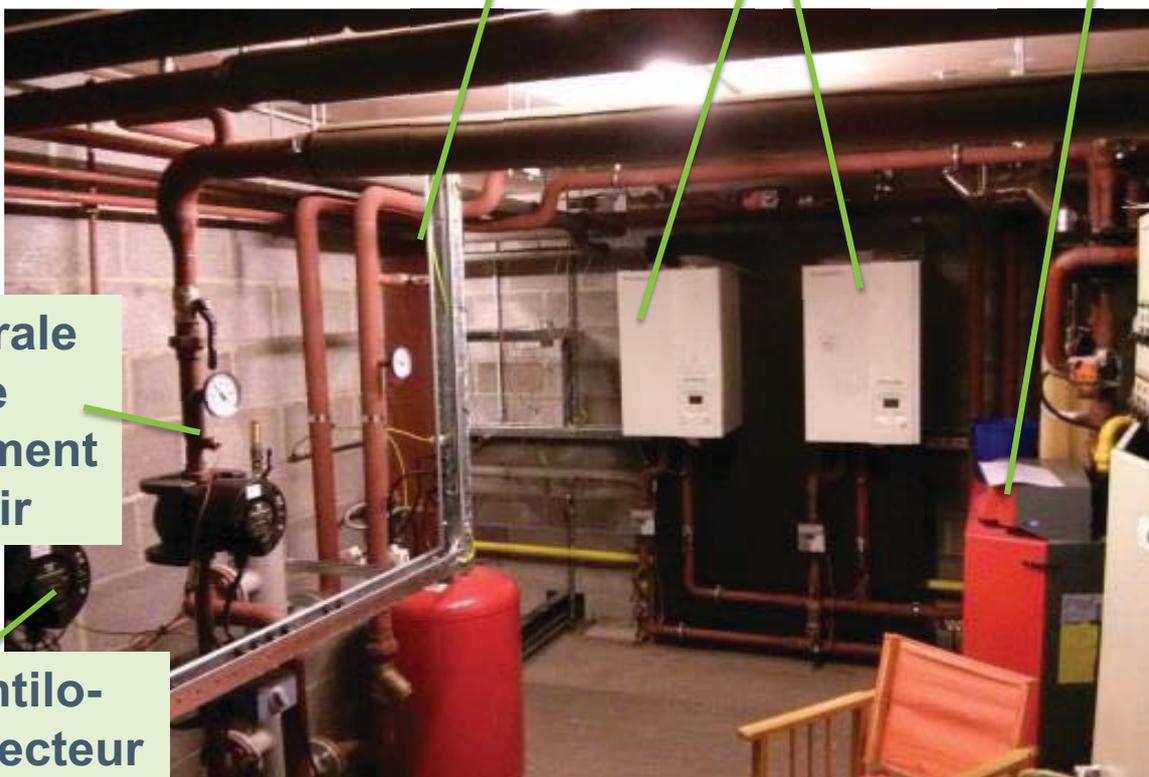
## Installation

Accumulateurs  
hydrauliques

Pompes à  
chaleur

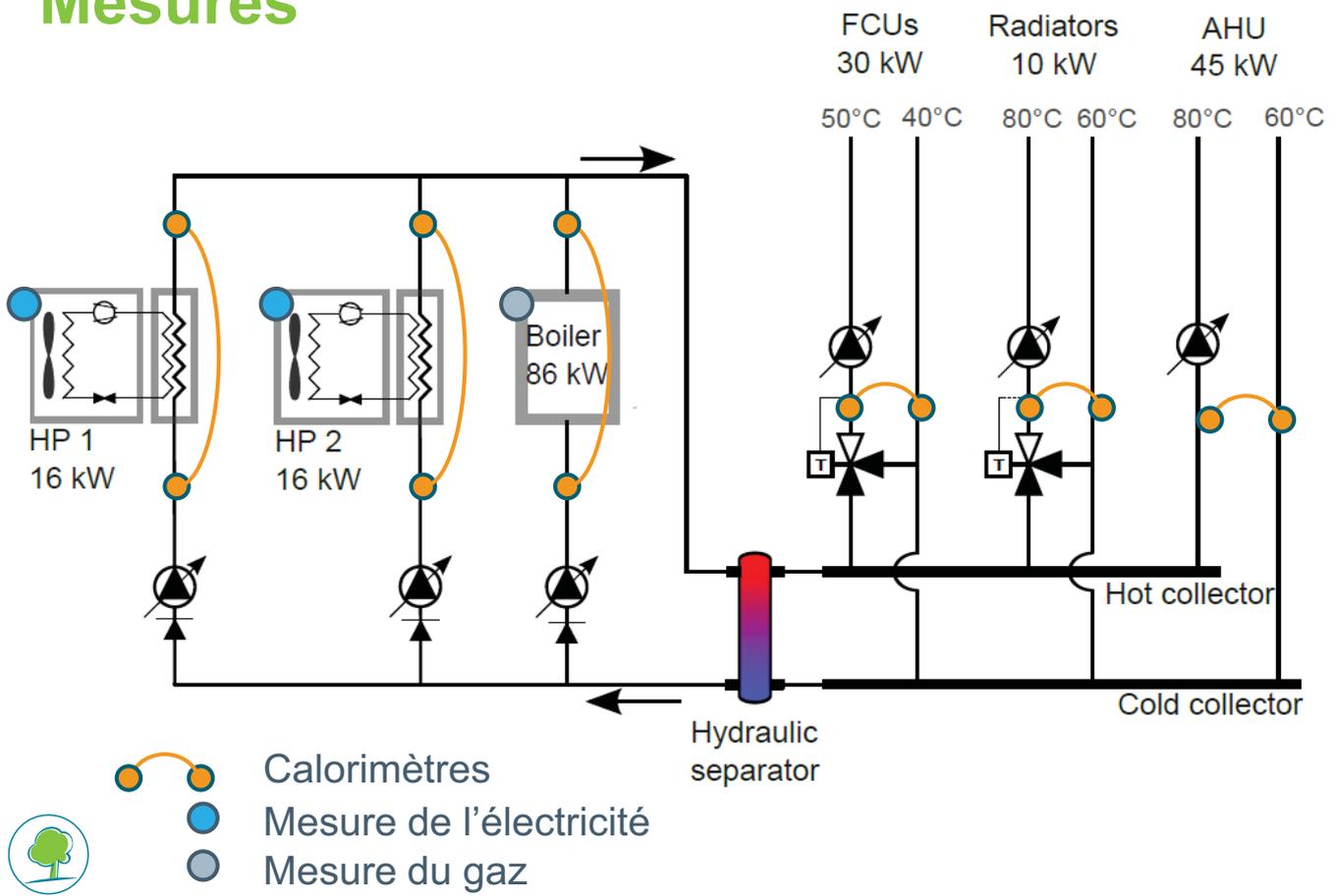
Centrale  
de  
traitement  
d'air

Ventilo-  
convecteur

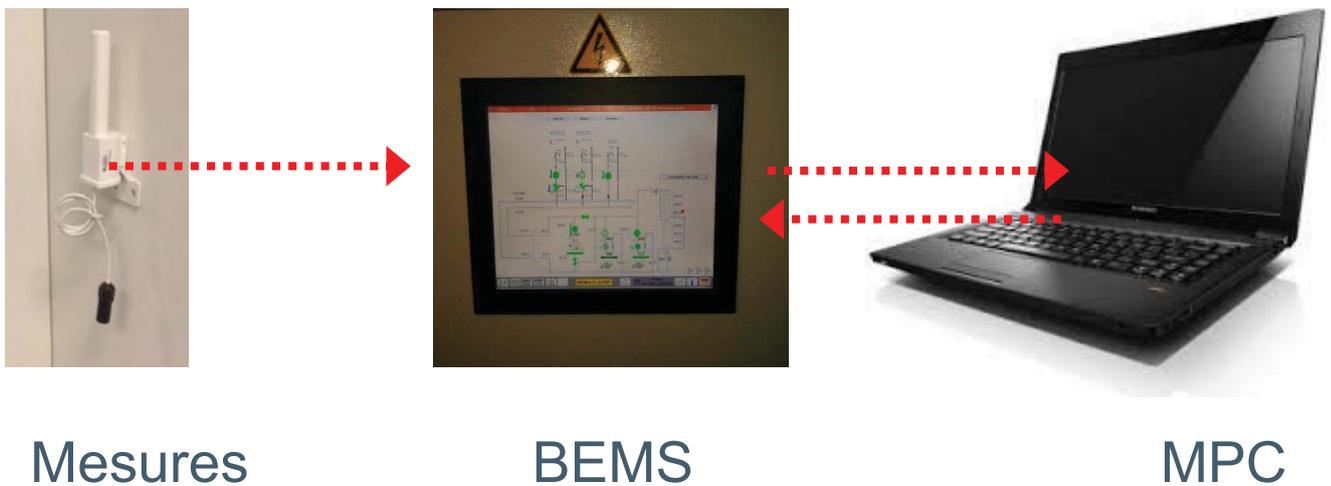


8

### 3. Schéma hydraulique Mesures

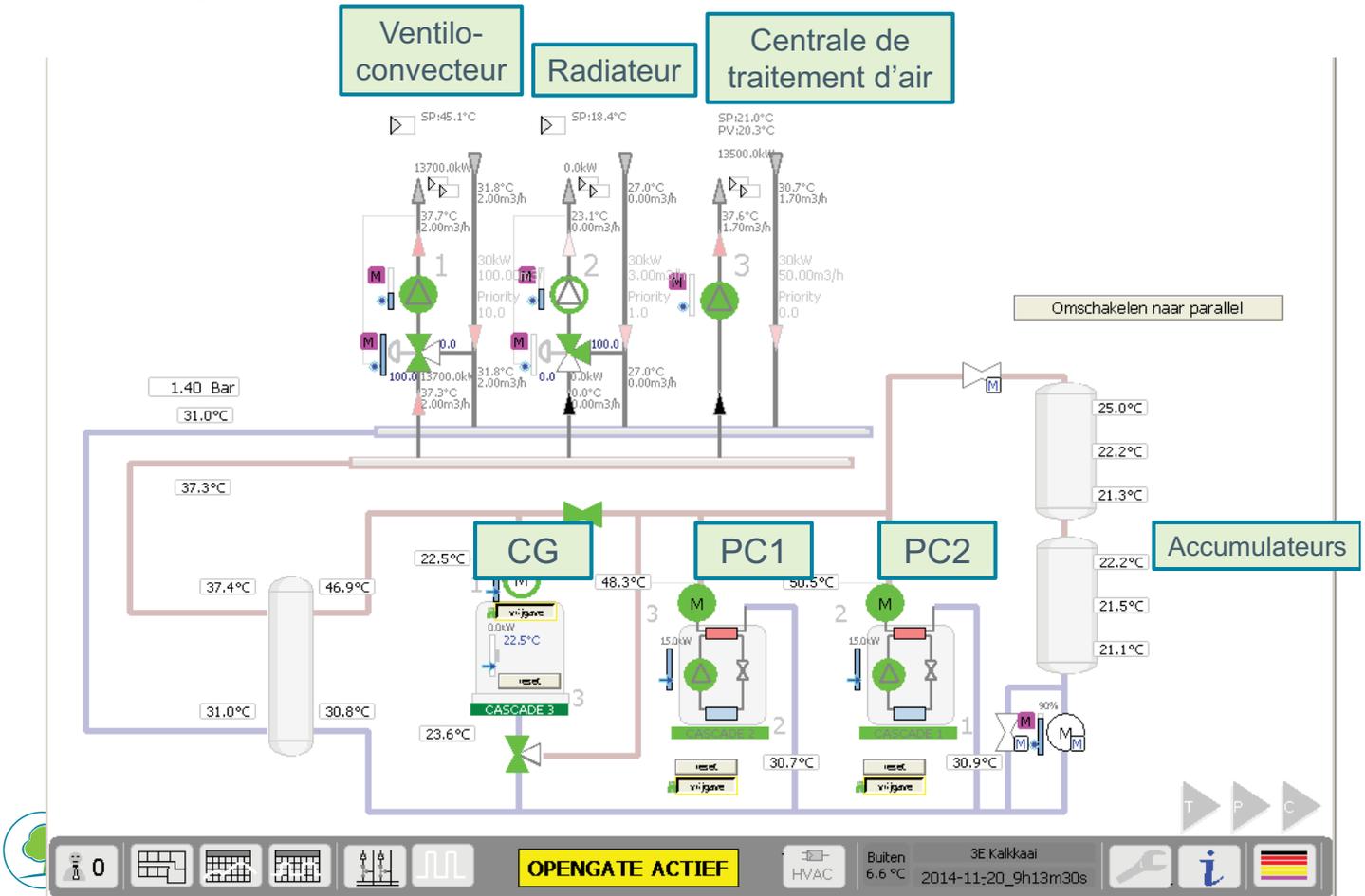


### Communication avec le système de gestion technique du bâtiment



BEMS : Système de gestion de l'énergie dans le bâtiment  
MPC : Commande prédictive

# 4. Réglage de référence



**3E Kalkkaai\_3e**

STOOK | TT\_RUIMTE\_7 | TT\_RUIMTE\_7 | Waarschuingsgrens Laag bereikt. limit L =2.5

reset statistische gegevens

## Étape 1: Réglage température de départ

**Température extérieure**

**Plages de température**

T_00.17	20.4 °C
T_IndWork	21.0 °C
T_01.07	20.0 °C
T_Library	19.3 °C
T_Secretary	20.3 °C
T_Finance	20.8 °C

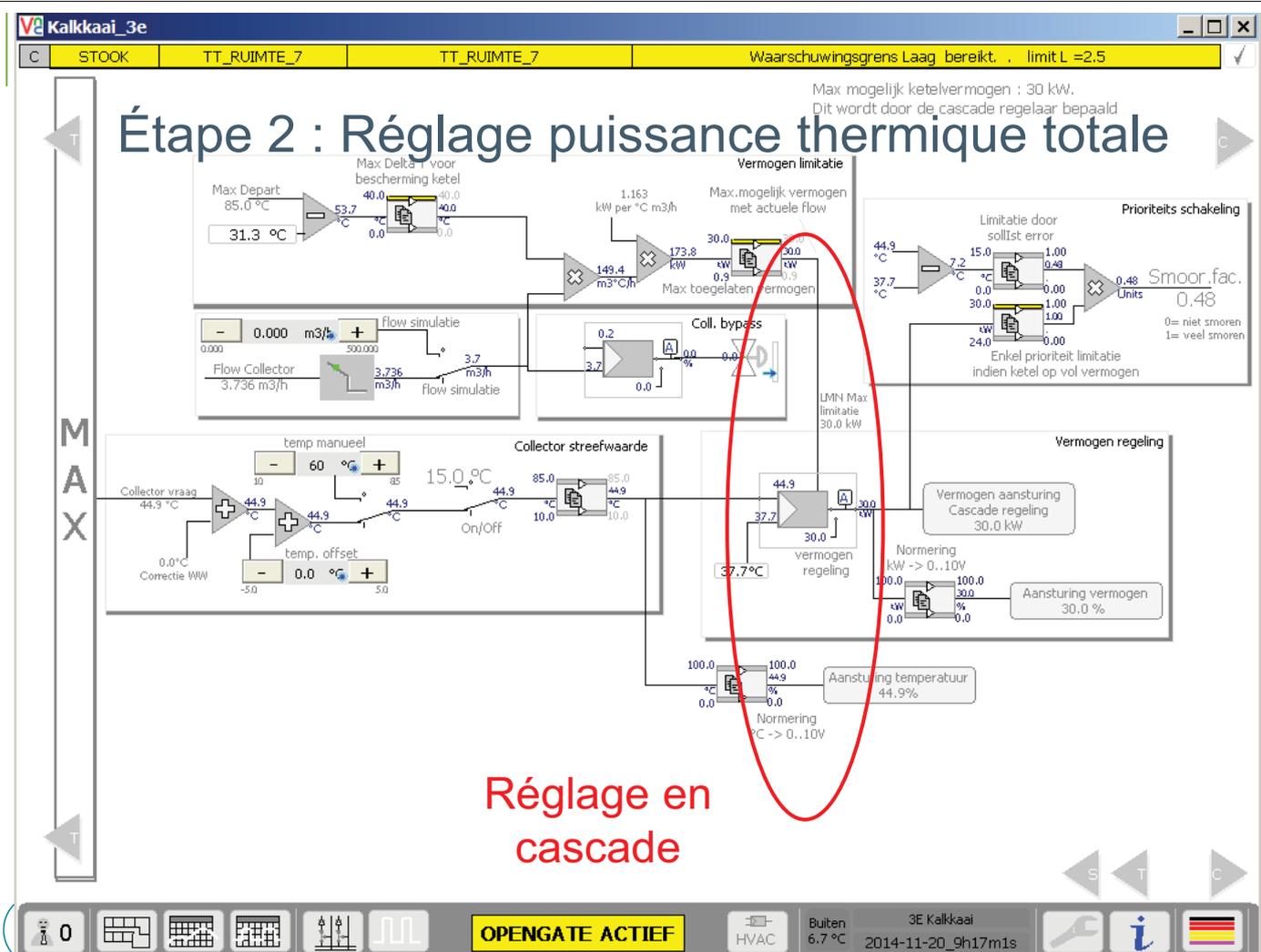
**Courbes de chauffe**

The diagram shows three SPS (Setpoint Selection) blocks for different heating systems:

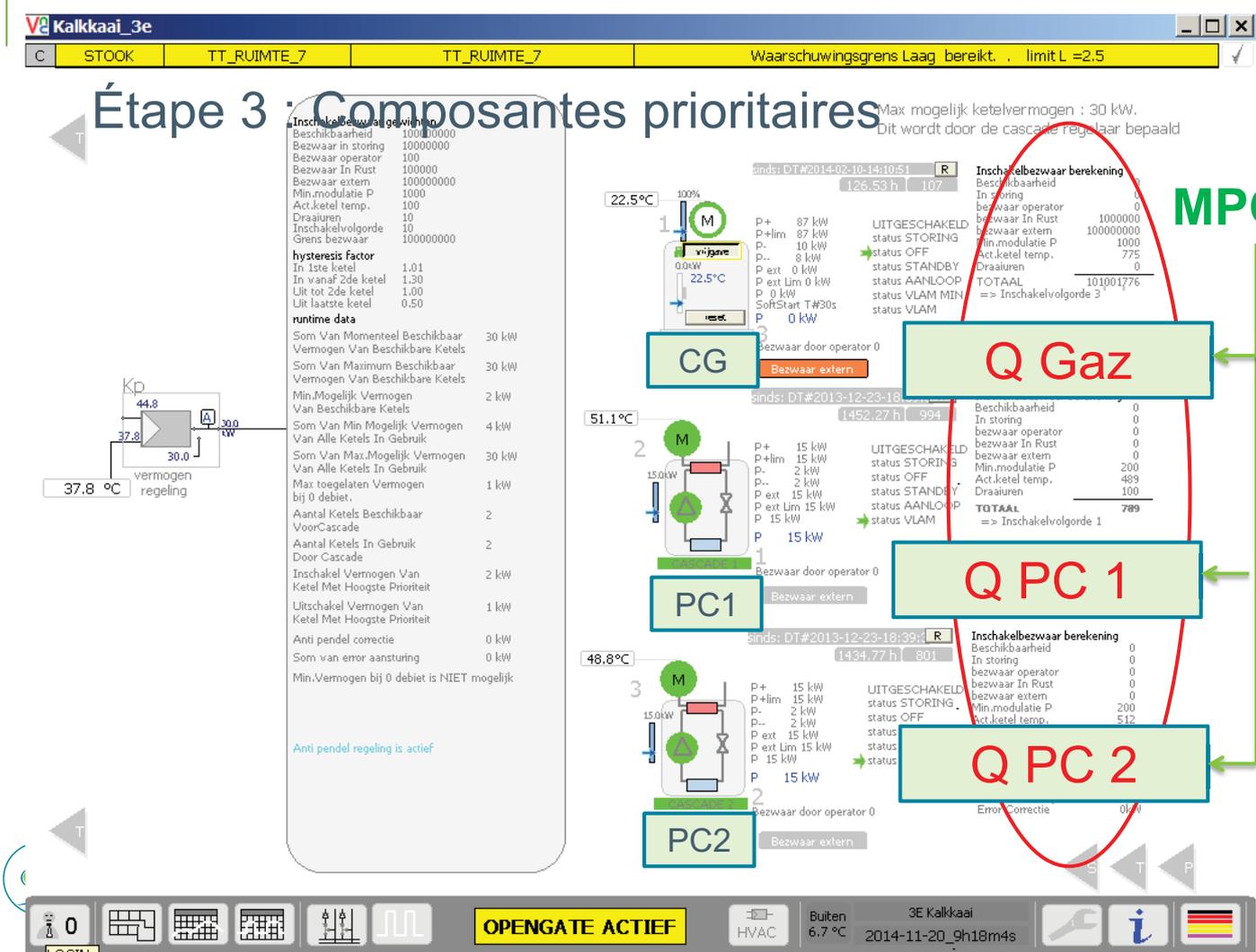
- SPS 1: FAN COILS:** Target temperature 22.0°C. It includes a 'Ventilo-convecteur' unit.
- SPS 2: RADIATIEREN:** Target temperature 18.0°C. It includes a 'Radiateur' unit.
- SPS 3: LUCHTGRUPEP:** Target temperature 22.0°C. It includes a 'Centrale de traitement d'air' unit.

Each SPS block shows a control loop with a ZR (Zone Reset) controller and a 'btone niet actief' indicator. A red oval highlights the 'btone niet actief' text across all three SPS blocks.

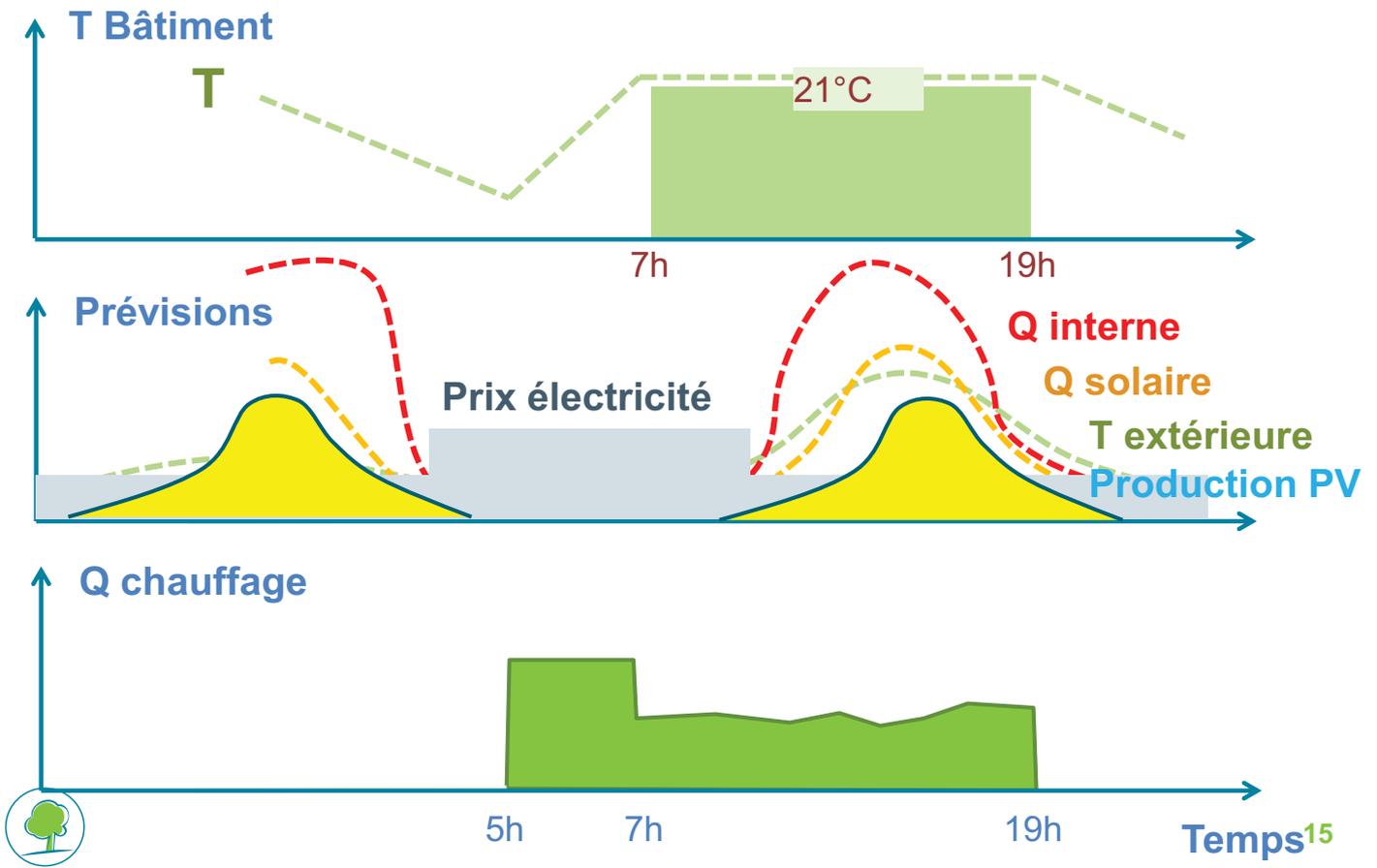
At the bottom, a status bar shows 'OPENGATE ACTIEF' and 'HVAC'.



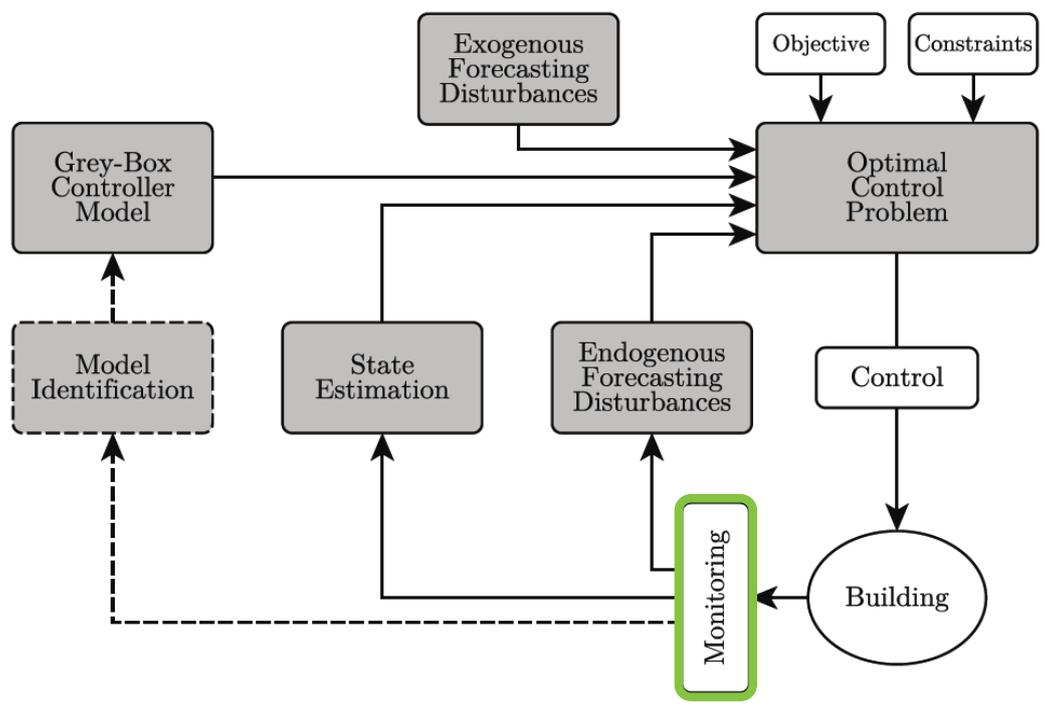
Profil 3E : Consultance globale et services logiciels en énergie durable



# 5. Réglage de la commande prédictive (MPC)

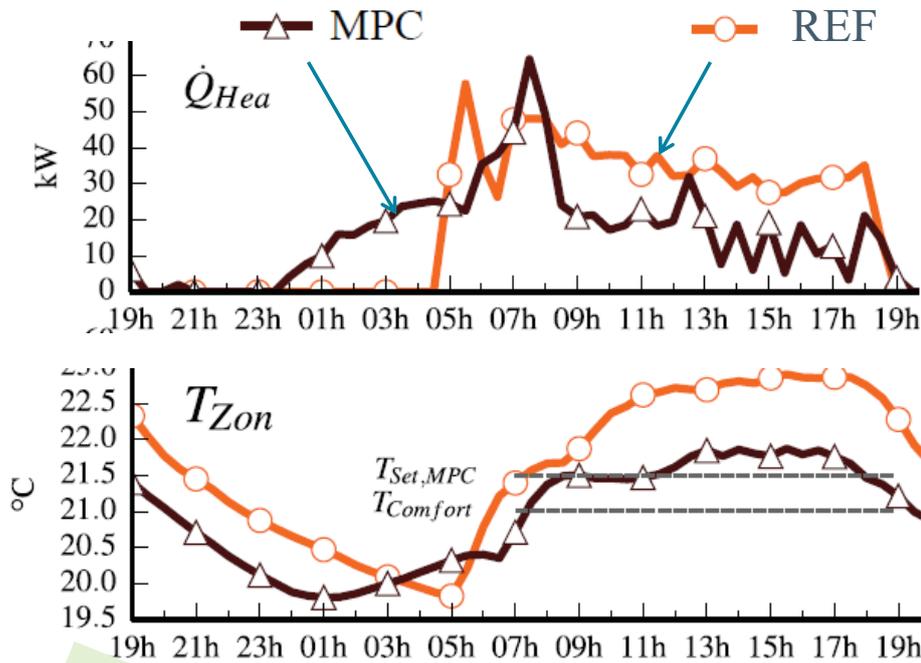


## Réglage optimal Logiciel



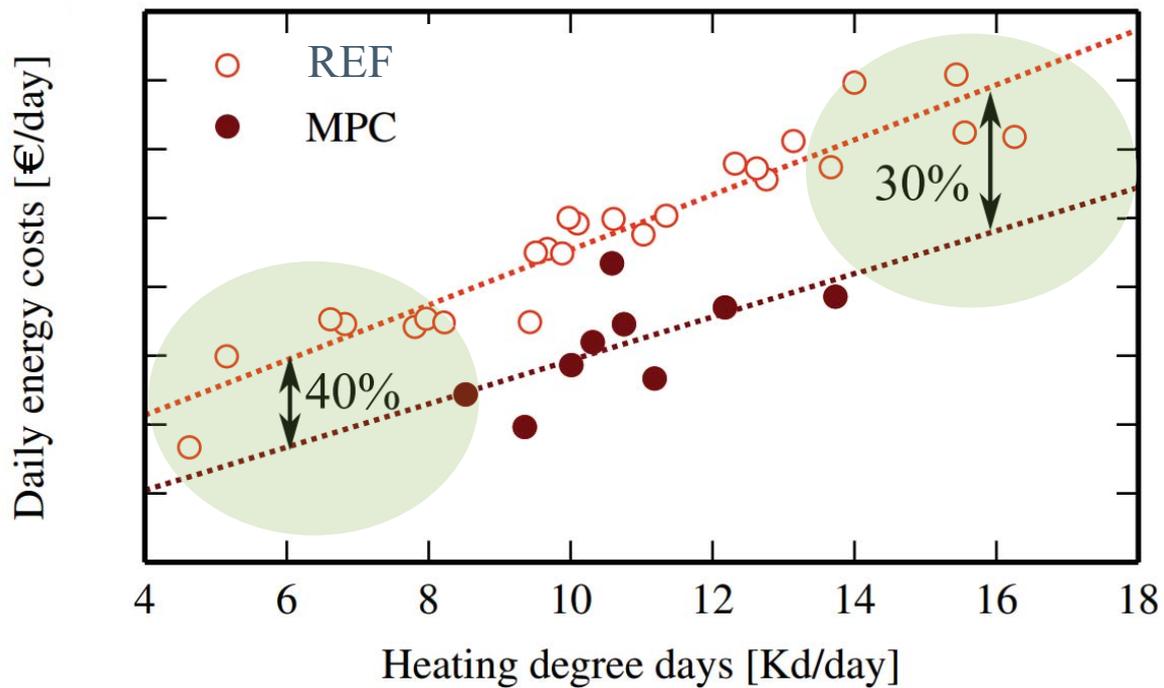
# Résultats

## MPC versus réglage de référence



## 6. Résultats

### Évaluation de la performance



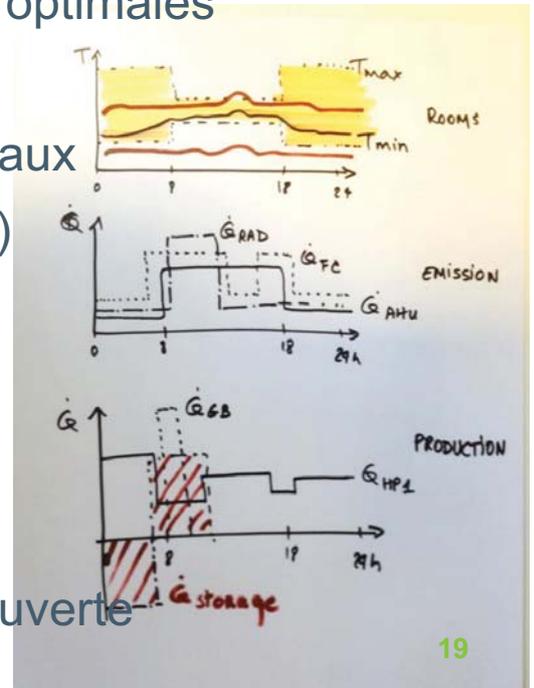
# 7. Interprétation : origine des économies de la commande prédictive

Économies et confort amélioré grâce :

- ▶ à l'anticipation de la demande en chaleur/refroidissement
- ▶ aux heures de démarrage et d'arrêt optimales
- ▶ à la génération hybride optimale
- ▶ aux points de fonctionnement optimaux
- ▶ à la sensibilité au prix (tarif jour-nuit)

La commande prédictive repose sur :

- ▶ les prévisions météorologiques
- ▶ les données de suivi
- ▶ la plateforme de réglage standard ouverte



# 8. Analyse coûts-avantages

- Coûts totaux de la rénovation de la chaufferie 140k€
  - ▶ Chaudière à gaz, pompes à chaleur, accumulateurs : 110k€
  - ▶ Mesures et réglage : 30k€
- Surcoût par rapport aux mesures et réglage standard 13k€
  - ▶ = 10% des frais d'installation
  - ▶ Délai de retour sur investissement :
    - › consommation de référence 5.000€/an → 2000€/an d'économie → délai = 7 ans
    - › consommation de référence 20.000€/an → 6000€/an d'économie → délai = 2,2 ans
- Avantages non considérés
  - ▶ Confort thermique le lundi matin
  - ▶ Pas de surchauffe l'après-midi



# 8. Conclusions

- Installation CVC performante
  - ▶ Production : pompes à chaleur hybrides (2 x 14 kW) + chaudière à gaz (80 kW)
  - ▶ Diffusion : groupes de ventilation, radiateurs, ventilo-convecteurs
- Suivi performant (consultable en temps réel)
  - ▶ Production : compteur de gaz, compteurs d'électricité, calorimètres
  - ▶ Diffusion : thermostats
- Matériel et logiciels performants pour le réglage
  - ▶ Connexion via le protocole Fixsus OpenGate
- Optimisation du signal de contrôle des pompes à chaleur & de la chaudière à gaz
  - ▶ Via la commande prédictive (MPC)
- Impact : économies d'énergie de 30% à 40%

## Mesures, suivi et contrôle



Mesures



Base de données



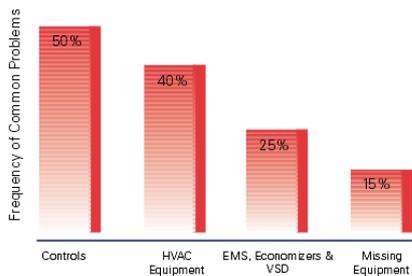
Conclusions



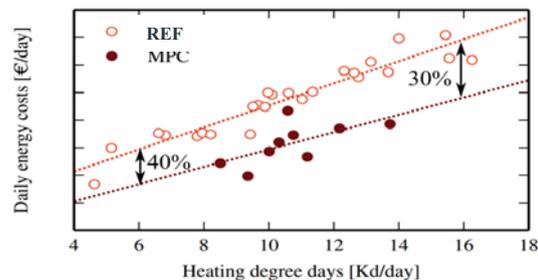
Action



## À retenir



Réglage déficient dans 50% des cas



Impact du réglage optimisé : jusqu'à 40% d'économies sur les coûts



# Liens

- **Projet pilote de commande prédictive aux bureaux de 3E, Bruxelles**
    - ▶ <http://www.3e.eu/energy-and-buildings-implementing-a-model-predicting-control/>
  - **R&D sur la MPC avec 3E & des organisations partenaires**
    - ▶ R.De Coninck, “Grey-Box Based Optimal Control for Thermal Systems in Buildings - Unlocking Energy Efficiency and Flexibility”, thèse de doctorat, KULeuven, 2015
    - ▶ Projet FlexiPac : Flexibilité des systèmes de pompe à chaleur résidentiels en Belgique, 2013 – 2015, SPW DGO4
    - ▶ Projet BATTERIE : Développement d’une interface pour les bâtiments tertiaires efficaces intégrés au réseau électrique intelligent, SPW DGO6
  - **Compteurs divisionnaires et amélioration continue :**  
<http://www.iservcmb.info/>
  - **Impact du suivi et du contrôle pour les systèmes de CVC**
    - ECI Publication No Cu0220, A TIMELY OPPORTUNITY TO GRASP THE VAST POTENTIAL OF ENERGY SAVINGS OF BUILDING AUTOMATION AND CONTROL TECHNOLOGIES, disponible en anglais sur [www.leonardo-energy.org](http://www.leonardo-energy.org)
    - ECI Publication No Cu0231, SIX REASONS WHY BUILDING AUTOMATION SHOULD BE INCLUDED IN THE 2015-2017 WORKING PLAN, disponible en anglais sur [www.leonardo-energy.org](http://www.leonardo-energy.org)
-  ➢ ECI Publication No Cu0233, IMPROVING TECHNICAL INSTALLATIONS IN BUILDINGS, disponible en anglais sur [www.leonardo-energy.org](http://www.leonardo-energy.org) **23**

# Contact

**Clara VERHELST**

Fonction : R&D program manager Buildings & Power

Coordonnées :

☎ : +32 2 229 15 29

e-mail : [Clara.Verhelst@3E.eu](mailto:Clara.Verhelst@3E.eu)





### **Plus d'informations?**

Retrouvez les présentations du séminaire en ligne:

[www.environnement.brussels/formationsbatidurable](http://www.environnement.brussels/formationsbatidurable) > Actes et notes > Actes des séminaires Bâtiment durable 2016

Le Facilitateur Bâtiment Durable est à votre disposition:

[facilitateur@environnement.brussels](mailto:facilitateur@environnement.brussels)

0800/85 775

Le Guide Bâtiment Durable est disponible en ligne:

[www.guidebatimentdurable.brussels](http://www.guidebatimentdurable.brussels)