

**Les équipements actuels : leurs performances,
leurs limites, leurs évolutions à venir**

Séminaire Prebat du 3 juin 2009
*Quels systèmes de chauffage et de climatisation
pour les bâtiments neufs et réhabilités de demain
?*

Denis Clodic, CEP MINES Paristech

Sommaire

- Contexte
- Les climats français et les besoins de chauffage et de rafraîchissement
- La micro-cogénération
- Les équipements de combustion : chaudières à gaz, à bois
- Les pompes à chaleur
- Quelques conclusions et perspectives

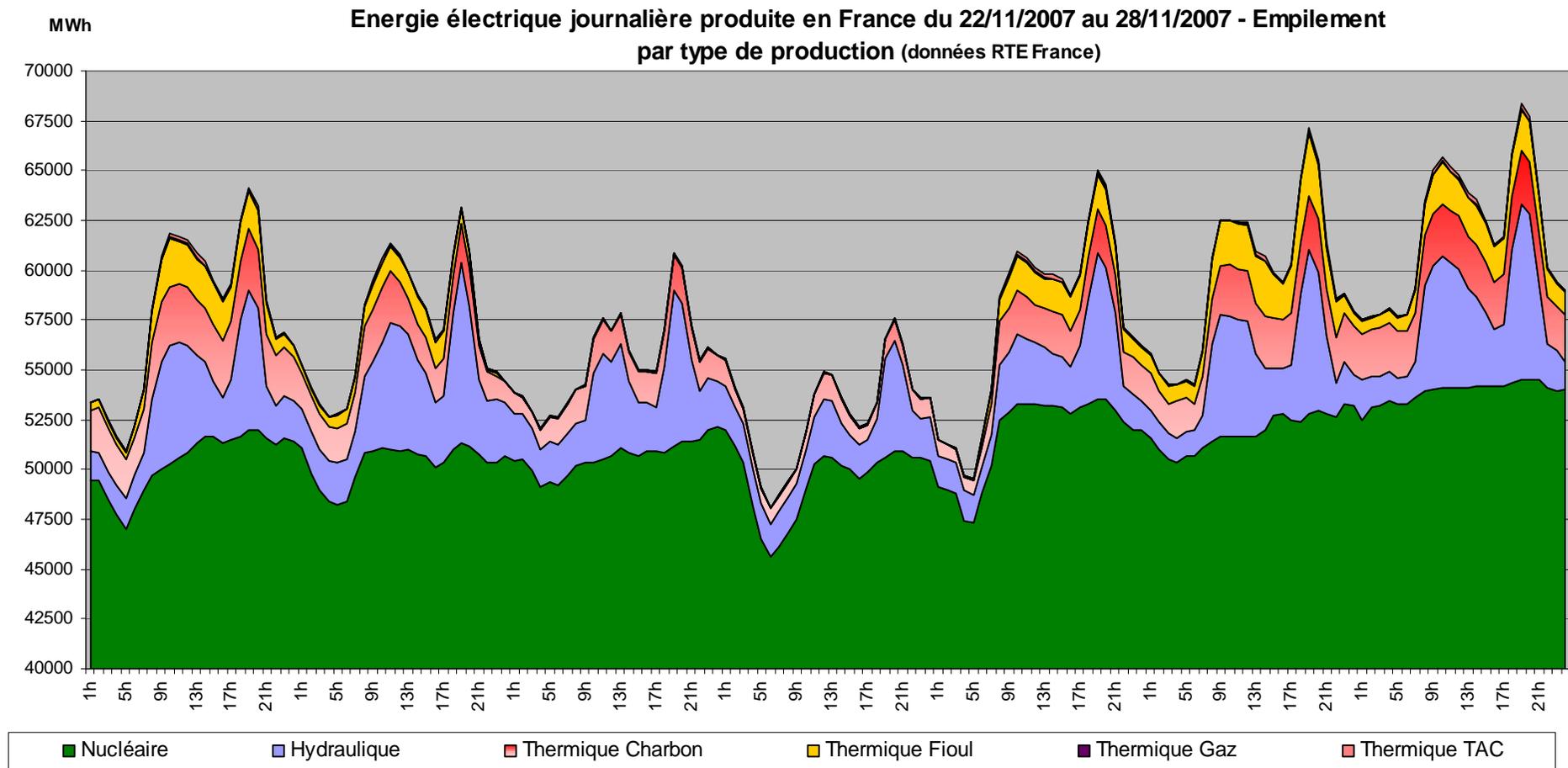
Contexte

- Diversités des logements : 17, 3 millions MI, 13,4 millions appartements plus de 60 % construits avant 1975
- Besoins de chauffage : de 350 à 50 et 15 kWh/m².an dans le futur immédiat
- Contenu CO₂ des sources d'énergies

| Combustibles | gCO₂ /kWh |
|---------------------|-----------------------------|
| FOD | 271 |
| Gaz Nat | 206 |
| Electricité | 180 |

- Les équipements sont-ils dimensionner par rapport aux besoins ?
- Comment sont pris en compte les fonctionnements à charge réduite ?

Variation des moyens de production d'électricité

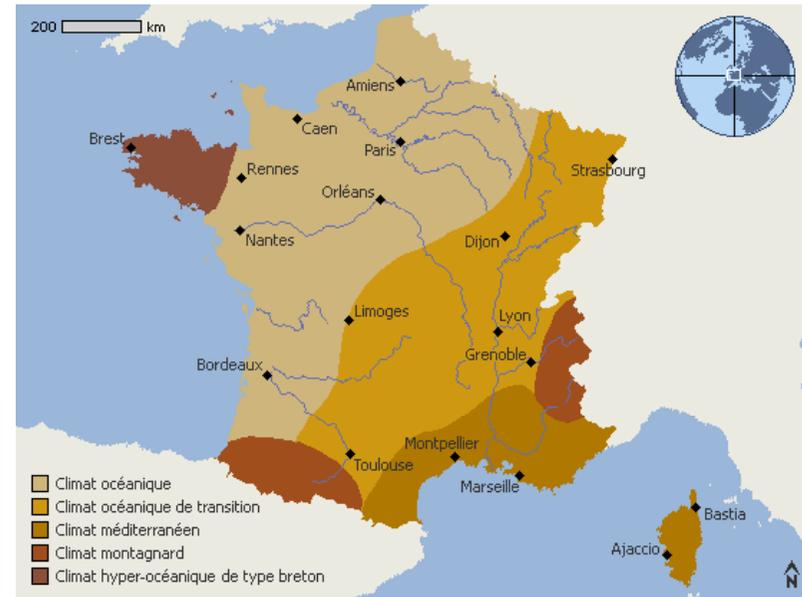
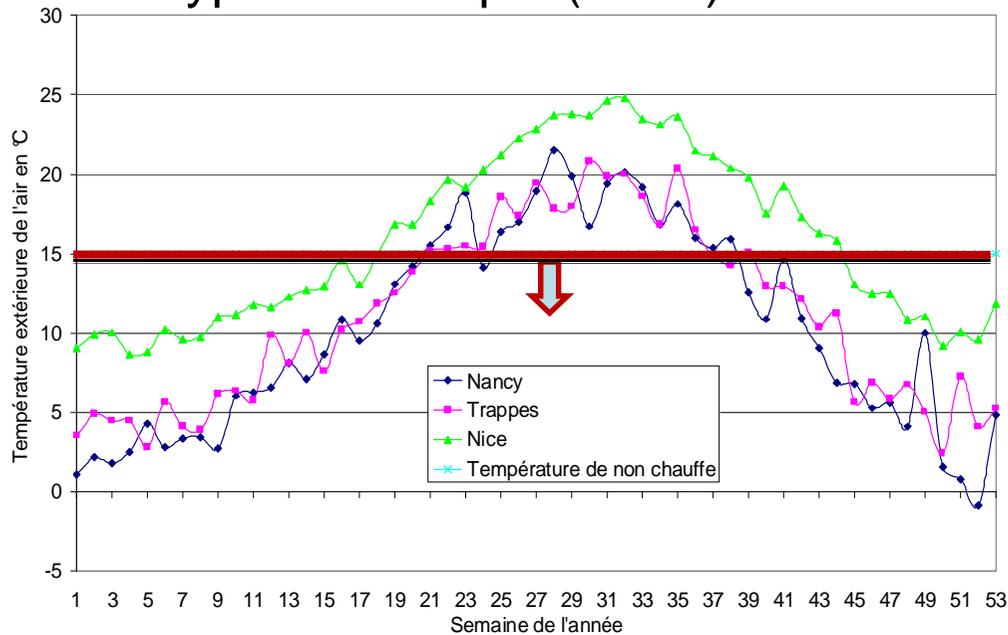


**Les climats français
et les besoins de chauffage et de
rafraîchissement**

Les conditions climatiques en France

➤ Les cinq climats types (Météo France)

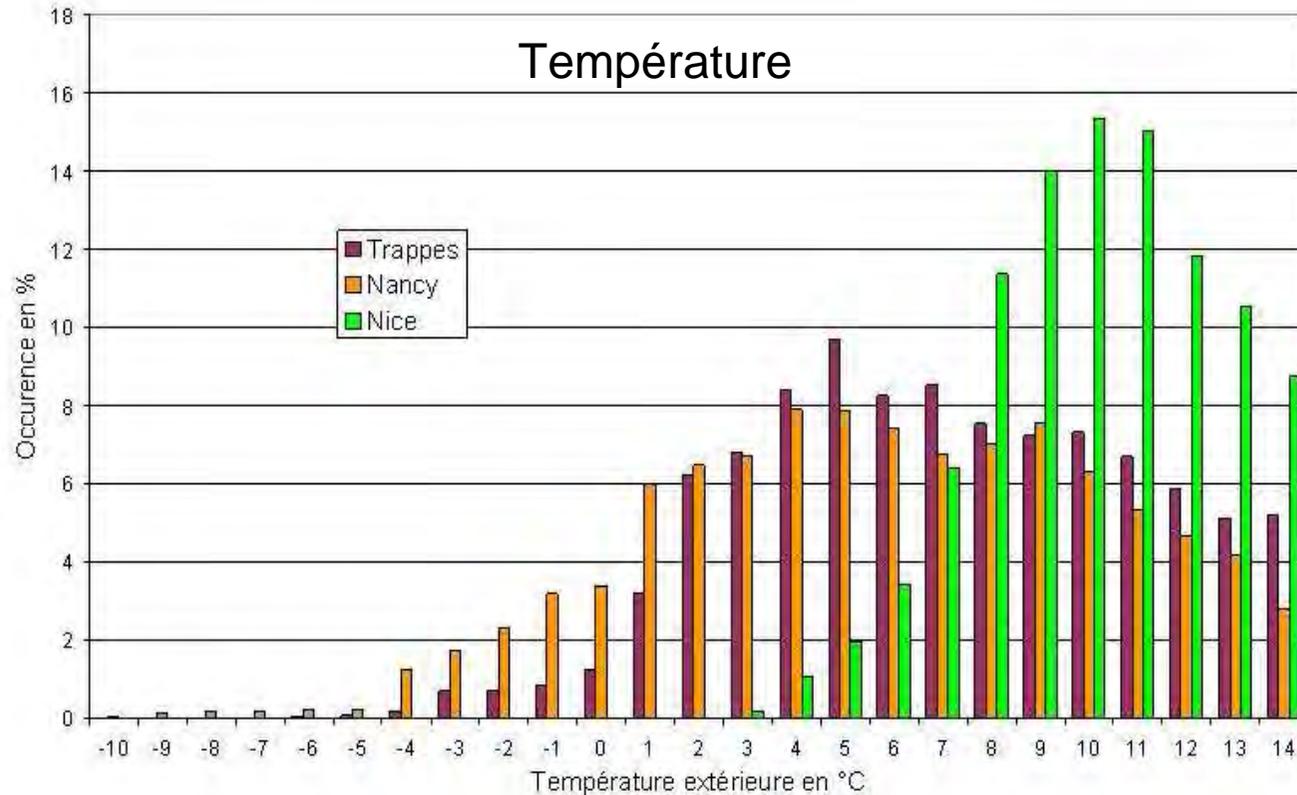
- Océanique (Trappes),
- Océanique de transition (Nancy),
- Méditerranéen (Nice),
- Montagnard,
- Hyper océanique (Brest).



Occurrence des températures, besoins de chauffage Puissance installée

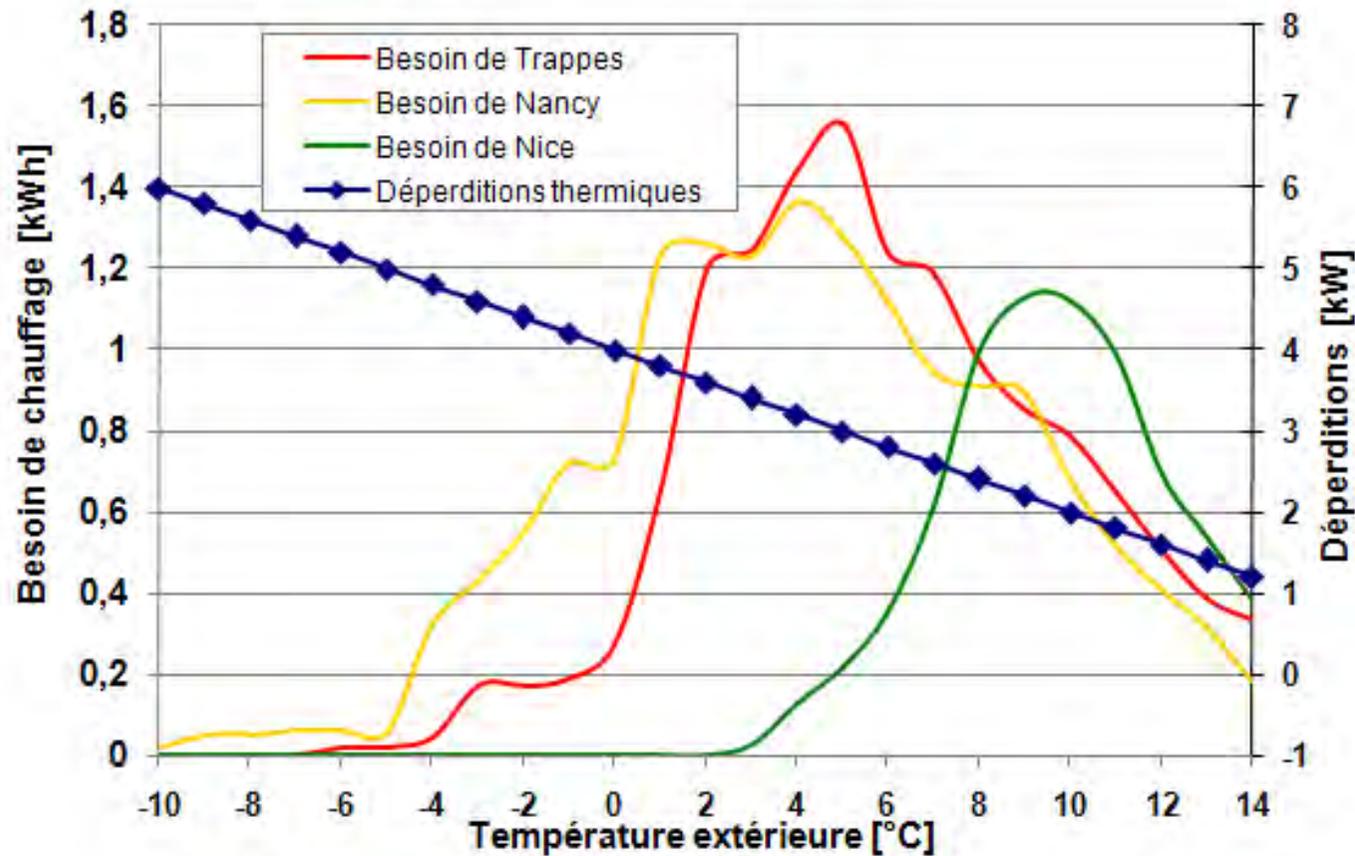
➤ Occurrences des températures

- 80 % des occurrences se trouvent entre 8 et 14 °C pour Nice
- 80 % des occurrences entre 4 et 14 °C pour Trappes et Nancy

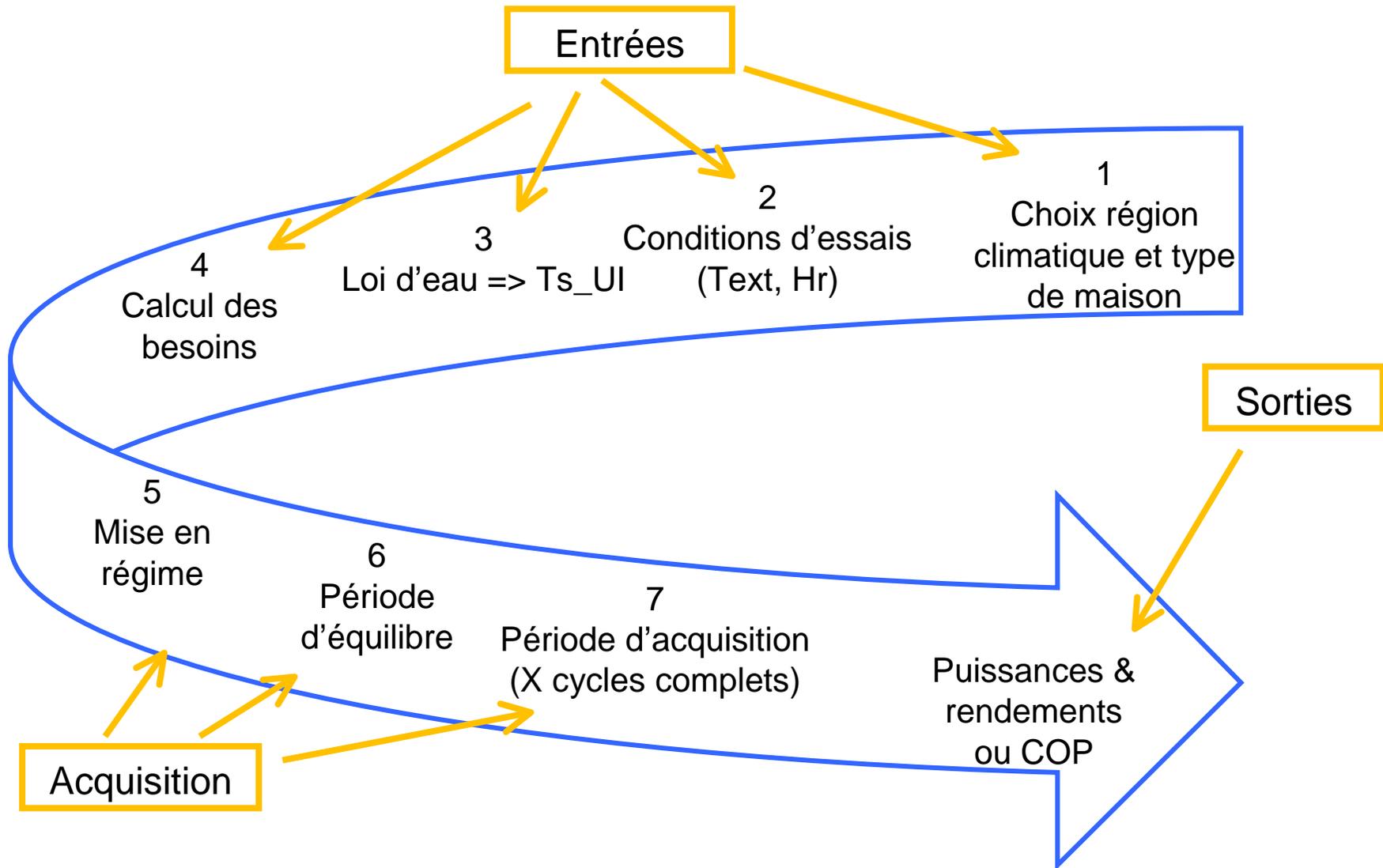


Occurrence des températures, besoins de chauffage Puissance installée

- Les puissances installées dimensionnées pour -10 °C sont :
 - 2 à 4 fois supérieures aux besoins thermiques pour les pompes à chaleur
 - 5 à 10 fois supérieures pour les installations de combustion
- fc



Essais : procédure pour les charges partielles



La micro-cogénération

La micro-cogénération

- Rendement électrique de la cogénération : $\alpha_e = E / C$
- Rendement thermique de la cogénération : $\alpha_Q = Q / C$
- Rendement électrique du réseau : $\eta_E = E / C_r$
- Rendement therm. des installations de combustion : $\eta_Q = Q / C_{IC}$

- $$GEP = 1 - \frac{1}{\frac{\alpha_e}{\eta_e} + \frac{\alpha_Q}{\eta_Q}}$$

- Gain en énergie primaire : la cogénération ne fait sens que si $GEP > 0$

La micro-cogénération

Evaluation des gains énergétiques

Tests de cogénérateurs (Université de Louvain)

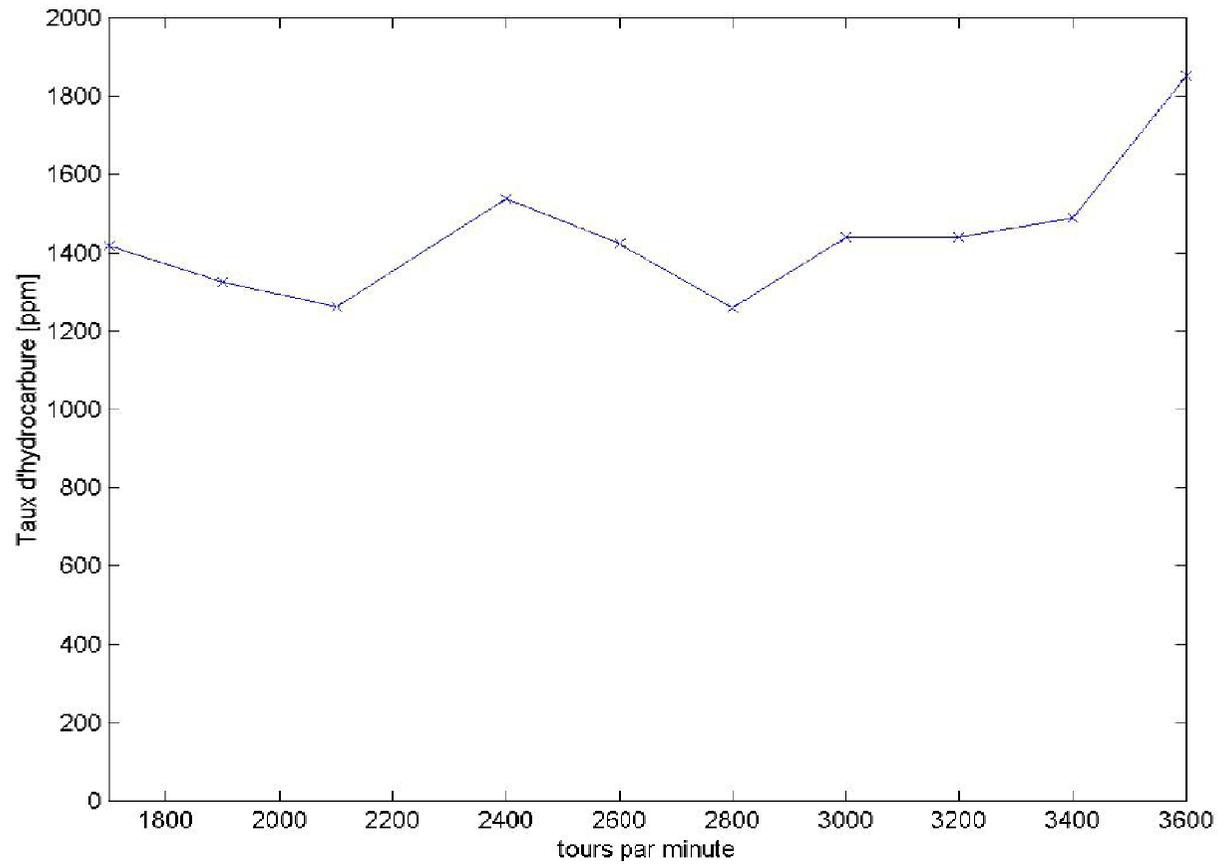
| Cogénérateur | P_{elec} (E) (kW) | P_{therm} (Q) (kW) | α_E (%) | α_Q (%) |
|-------------------|---------------------|----------------------|----------------|----------------|
| Cog. Moteur à gaz | 2 à 4,7 | 6 à 12,5 | 25 | 65 |
| Cog. Moteur 2 | 5,5 | 12,6 | 28 | 62 |
| Cog. Stirling | 2 à 9,5 | 8 à 26 | 24 | 66 |

Rendements des systèmes centralisés et des chaudières

| Combustibles | Systèmes de Production η_E (%) | Chaudières η_Q (%) |
|--------------|-------------------------------------|-------------------------|
| Charbon | 38 à 44 (supercritique) | 85 |
| Gaz | 55 à 60 (Cycle combiné) | 90 à 97 |
| Fioul | 38 à 42 | 85 à 90 |

GEP > 0 uniquement en coproduction

Mesures des émissions d'hydrocarbures dans les fumées



By courtesy of UCL

95% de méthane imbrûlé dans les fumées

La micro-cogénération

Evaluation des gains en CO₂

| Cogénérateur | P _{elec} (E) (kW) | P _{therm} (Q) (kW) | a _E (%) | a _Q (%) |
|-------------------|----------------------------|-----------------------------|--------------------|--------------------|
| Cog. Moteur à gaz | 2 à 4,7 | 6 à 12,5 | 25 | 65 |
| Cog. Moteur 2 | 5,5 | 12,6 | 28 | 62 |
| Cog. Stirling | 2 à 9,5 | 8 à 26 | 24 | 66 |

Index d'économie de CO₂ IE_{CO2}

$$IE_{CO_2} = 1 - \frac{CO_2 \text{ cogen}}{CO_2 \text{ IC} + CO_2 \text{ TGV}}$$

En considérant le seul CO₂ de la combustion le gain dû à la cogénération est de 14 %

En considérant les émissions de méthane mesurées la perte est de 8 %

Les équipements de combustion : chaudières à gaz, à bois

Les chaudières à gaz

Comment améliorer l'efficacité énergétique ?

- Marché 2007 : 332 000 chaudières dont 1/3 pour le remplacement
- Emissions de CO₂ fonction du rendement
- Elimination des chaudières à veilleuse
- Enjeux de 10 à 25 % d'efficacité énergétique : de la chaudière classique à la chaudière à condensation

Les chaudières à gaz

Ce qui n'est pas mesuré

- Normes EN 483 et EN 677 : mesure du rendement énergétique à pleine charge

- Absence de mesures des consommations électriques :
 - de veille,
 - associée au brûleur,
 - associée à la pompe de circulation,
 - associée à d'éventuelles résistances électriques

- Mesures des polluants : par mesure instantanée et non par ensachage, d'où méthane = 0 ?

Les chaudières à bois

- 6 millions de foyers domestiques brûlent du bois
- 2 000 chaudières collectives
- 400 000 t de bois pour 400 000 MWh thermiques
- La combustion du bois : principale source d'émissions de particules
- Les chaufferies de grande puissance produisent 1/3 de l'énergie et ...3 % des émissions de particules
- Le chauffage individuel : 97 % de émissions
- Insert : efficacité de combustion = 70 %

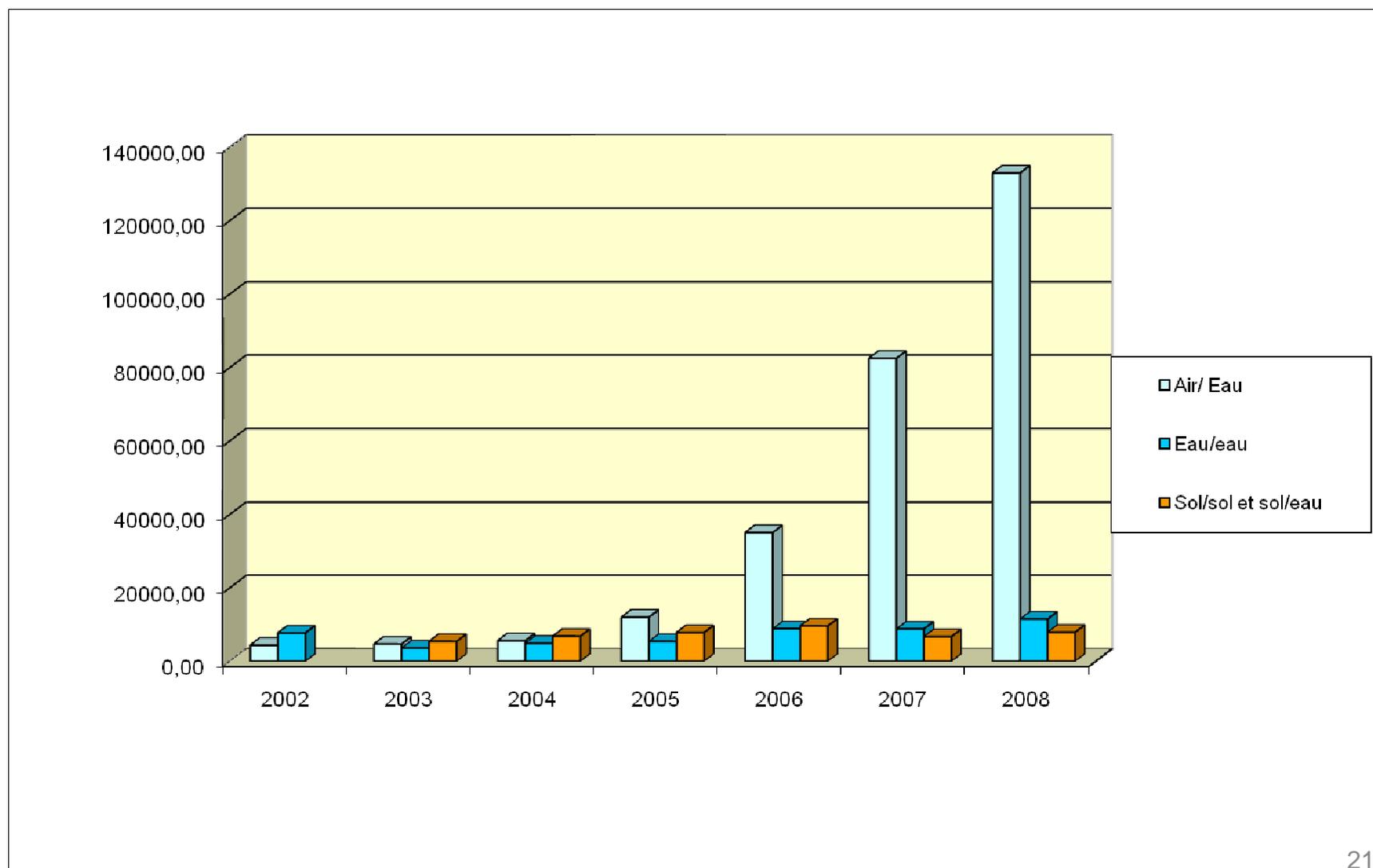
Variabilité des émissions de polluants

| | CO (g/kg) | COV (g/kg) | HAP (mg/kg) | CO/COV | CO/HAP | Références |
|----------------------|-----------------------------|------------------------------|----------------|--------|--------|--|
| Cheminée ouverte | 156,9 | 103,9 | nd | 1,51 | nc | US-EPA, 1996 [21] |
| Poêle ancien | 104,7 | 37,7 | 19,8 | 2,78 | 5,29 | |
| Poêle nouveau | 63,9 | 12,7 | 13,8 | 5,03 | 4,63 | |
| Foyer fermé | 123,0 | 15,0 | 6,5 | 8,20 | 18,92 | Mc Donald, 2000 [22] |
| Poêle | 140,0 | 7,5 | 3,2 | 18,67 | 43,75 | |
| | CO (mg/Nm ³) | COV (mg/Nm ³) | | CO/COV | | Références |
| Chaudière bûches | 138 | 11 | | 12,55 | | Exemples de données du site « Label flamme verte » |
| | 1 148 | 130 | | 8,83 | | |
| | 1 750 | 125 | | 14,00 | | |
| Chaudière plaquettes | 350 | 14 | | 25,00 | | |
| | 135 | 34 | | 3,97 | | |
| | 113 | 37 | | 3,05 | | |
| Chaudière à granulés | 37 | 1 | | 37,00 | | |
| | 64 | 1 | | 64,00 | | |
| | 444 | 6 | | 74,00 | | |

By courtesy of pollution atmosphérique _ Mars 2009 – Y. Rogaume

Les pompes à chaleur

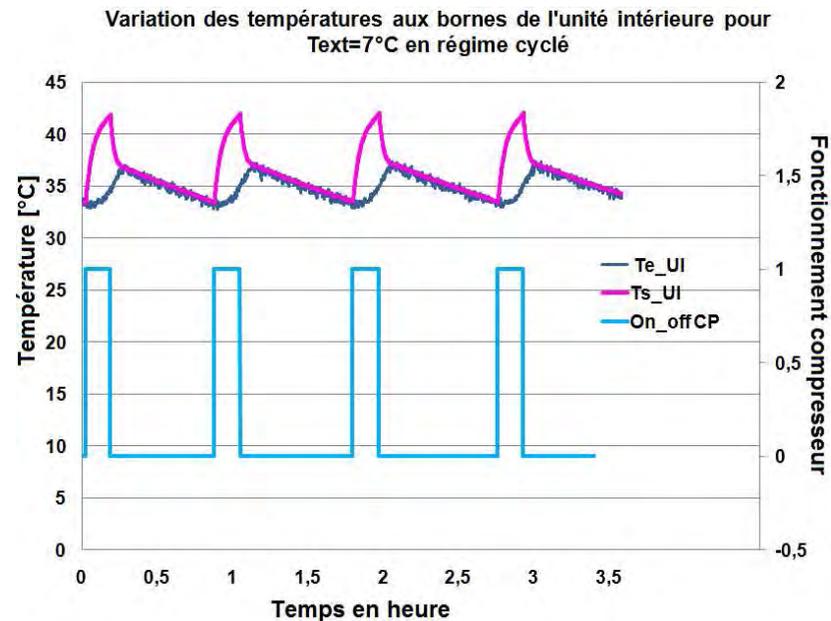
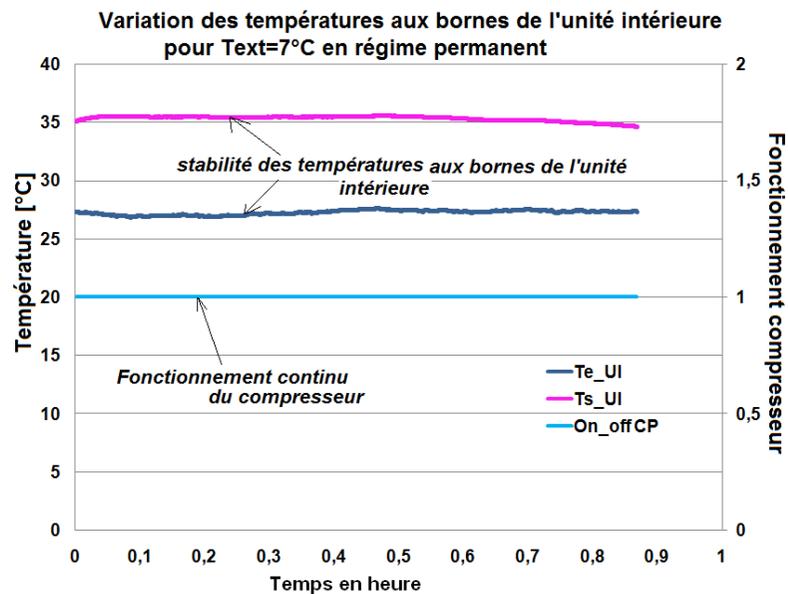
Evolution du marché des pompes à chaleur résidentielles



Normes de mesure de performance

- Norme EN 14511
- Essais en régime stabilisé où la PAC fonctionne à puissance maximale et toutes les grandeurs mesurées restent constantes sans modifier la consigne pendant au moins 1 heure.
- PAC air/eau : essais à température extérieure = 7 °C et température de départ = 35 °C

Essais en régimes permanents à 7 °C/ 35 °C



Régime non cyclé à charge maximale

Régime cyclé à charge partielle

| | COP à charge maximale déclaré | COP charge maximale | COP charge partielle |
|--------------|-------------------------------|---------------------|----------------------|
| PAC A | 3,57 | 3,23 | 2,34 |
| PAC B | 3,5 | 3,25 | 2,37 |
| PAC C | 3,9 | 2,9 | 2,14 |

Le cyclage et les performances énergétiques

La dégradation du COP est due

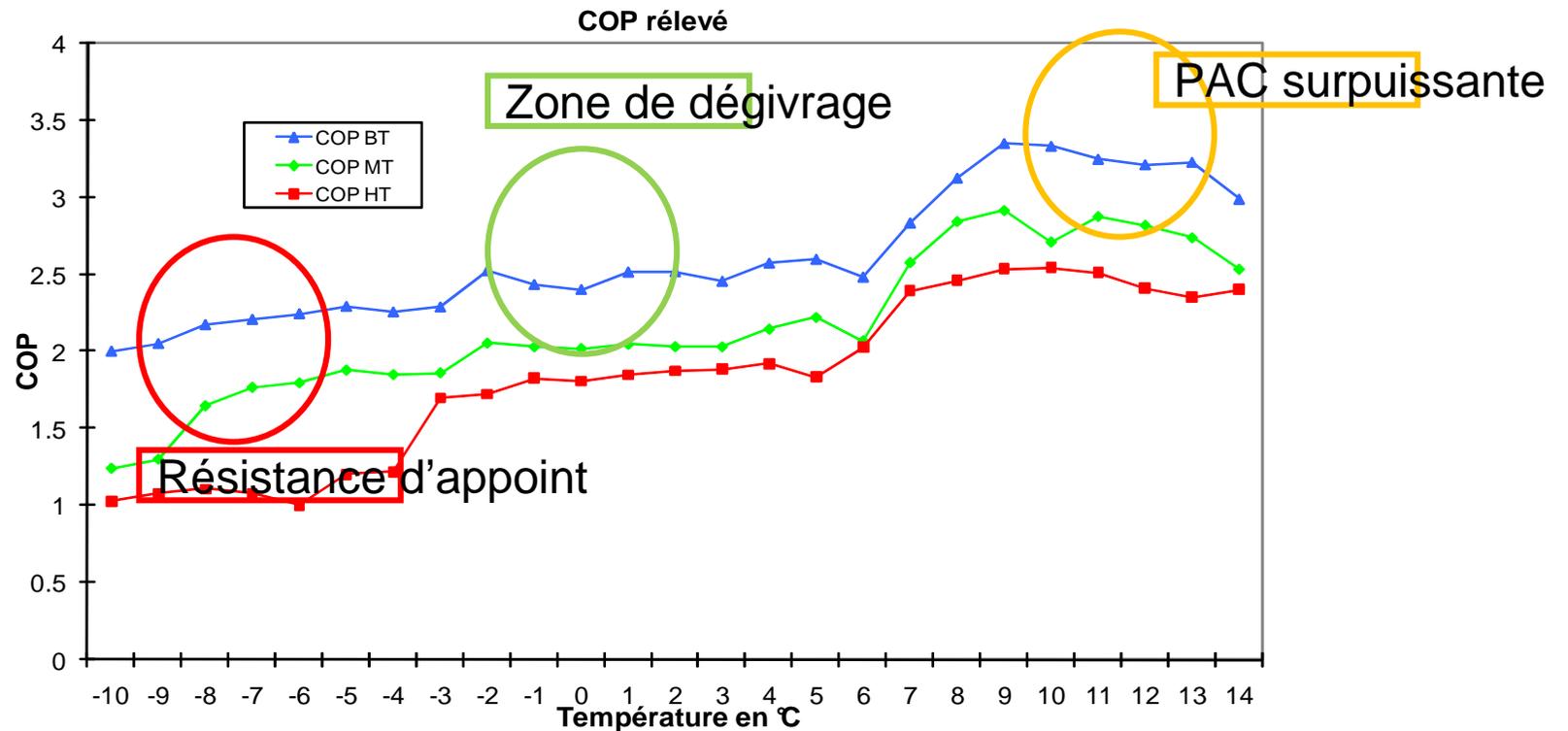
1. A chaque démarrage :

- Une partie de la puissance calorifique est utilisée pour :
 - Inertie thermique des échangeurs
 - Transvaser le fluide frigorigène dans le circuit à la suite de la migration du fluide chaud du condenseur vers l'évaporateur à l'arrêt

- Démarrage = Baisse de la pression d'évaporation et hausse de la pression de condensation = Pénalités énergétiques

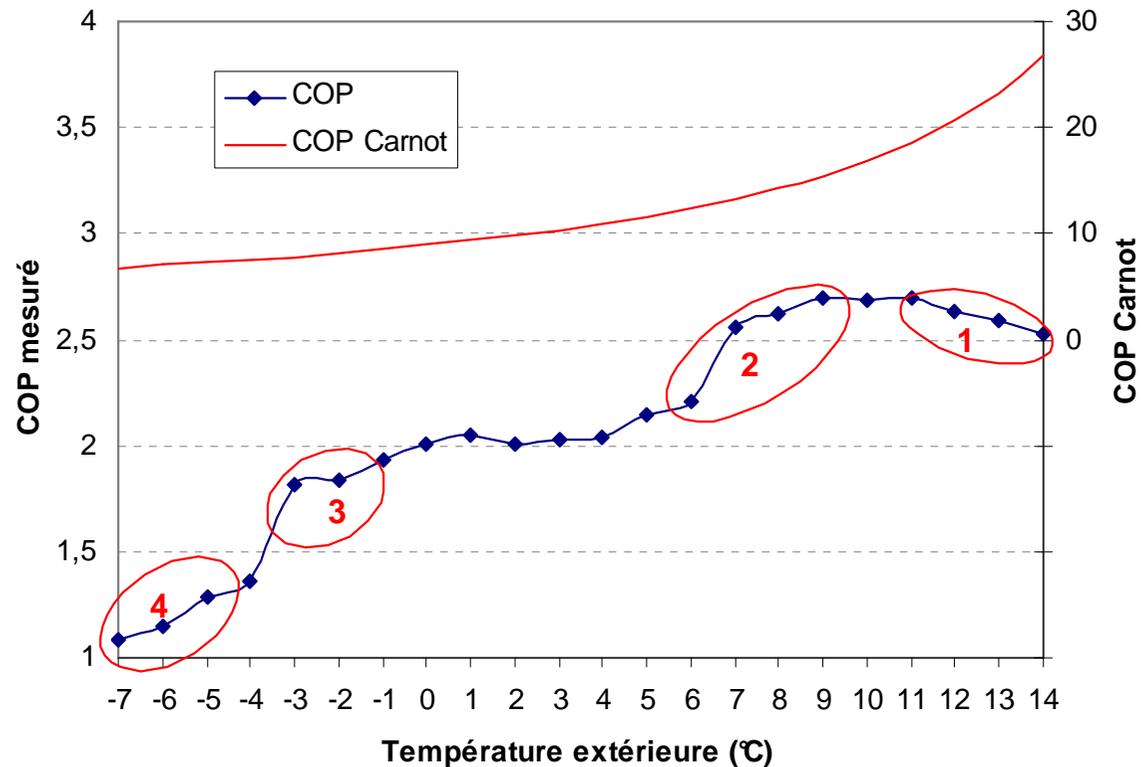
2. Consommation des auxiliaires et de la veille

Essais : Résultats



Profils d'évolution des COP en fonction des lois d'eau et de la température d'air extérieur

Méthode de prédiction du COP saisonnier



Les causes physiques sont identifiables,
des régressions peuvent être développées pour représenter
des irréversibilités de nature différente

Conclusions et Perspectives

- La production D'ECS instantanée entraîne une surpuissance pour le chauffage d'un facteur 5 à 10 pour les maisons individuelles
- La réhabilitation doit être une politique systémique et doit entraîner la baisse des besoins de chauffage aussi bien que l'installation d'équipements performants
- La variation du besoin de chauffage est intrinsèquement variable et la puissance de chauffage requise au cours de la saison de chauffe varie d'un facteur 1 à 5
- Les normes de performances énergétiques ne mesurent qu'à charge maximale

Conclusions et Perspectives

Le développement de nouvelles solutions est favorisées par des normes qui représentent au mieux les usages réels

- Les charges partielles posent à la fois des problèmes de conception : répartition de puissance sur des composants adaptés et des problèmes de régulation sophistiqués
- Le chauffage individuel posera de plus en plus de difficultés mais est aussi une source d'innovations
- Des solutions de mini-réseaux devraient apparaître pour gérer aussi bien les émissions de polluants des combustions que favoriser des répartitions de puissance efficaces
- Plusieurs niveaux d'intégration sont indispensables aussi bien pour la réhabilitation des logements anciens que la pour la conception des logements neufs