

21^e journée du CUEPE
Groupe énergie

Climatisation:
confort, enjeux énergétiques, alternatives

Enjeux de la climatisation au niveau européen

Vendredi 7 octobre 2011



Centre Énergétique et
Procédés

Philippe Rivière

Groupe de recherche
Maîtrise de la Demande d'Electricité

La climatisation individuelle

- Climatisation individuelle :
 - Refroidissement d'une pièce
 - Puissance frigorifique < 12 kW
- Un usage marginal en Europe...
 - < 5 % en résidentiel, contre 20 à 80 % aux USA ou Japon
- ...mais en très forte augmentation
 - Exigences de confort
 - Phénomènes climatiques ou micro-climatiques
 - Baisse des prix sur certains appareils



La climatisation centralisée

- Chillers



- Augmentation plus lente que individuelle
- Exigences de confort, standing
- Bâtiments plus isolés

- Climatiseurs > 12 kW

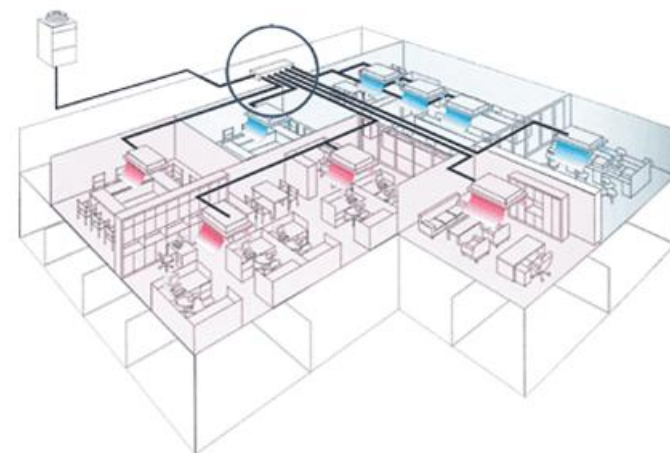
Rooftop



Multisplit

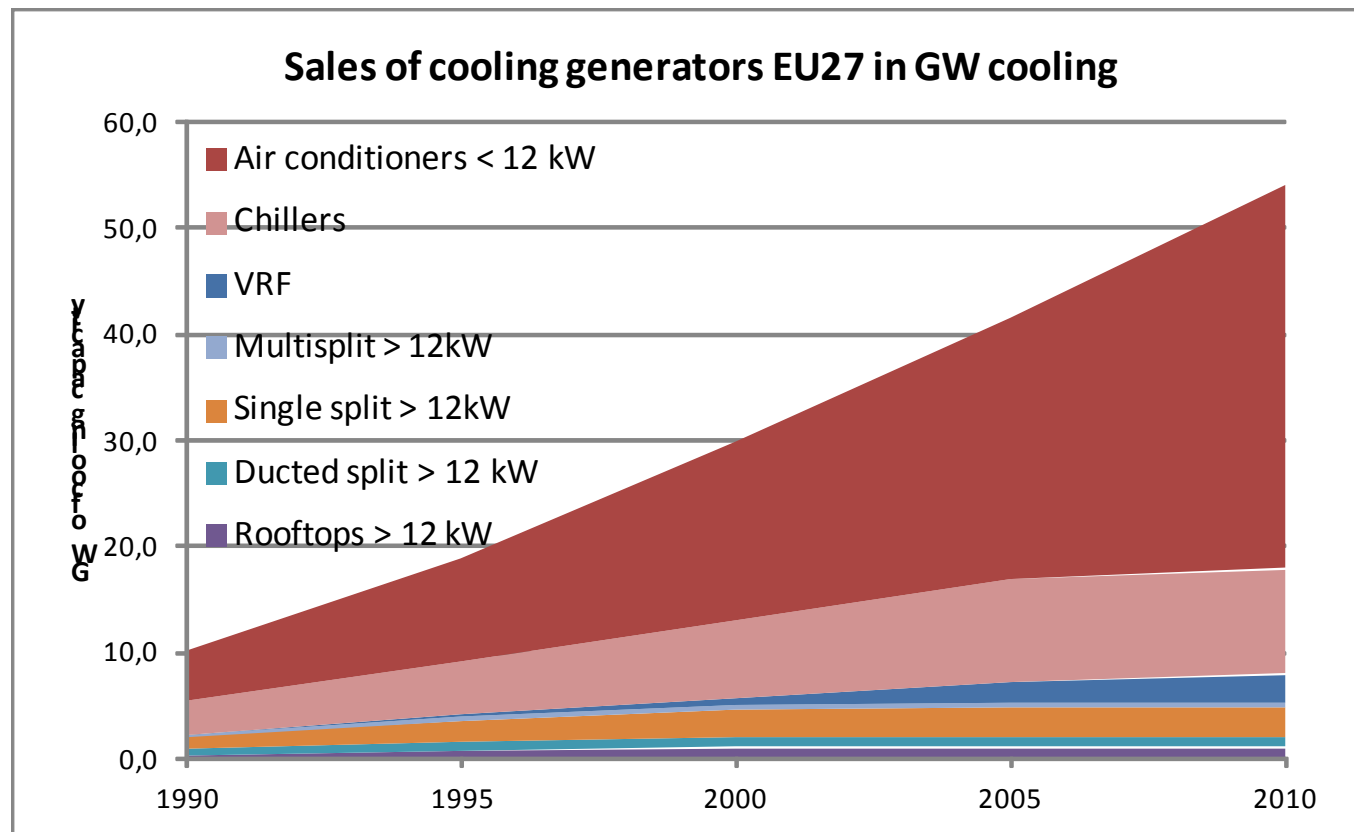


VRF systems



Ventes en pleine croissance

- Principale augmentation : climatisation individuelle



Quel est le coût environnemental et énergétique ?

1. Augmentation des consommations d'électricité, ...
2. ... des émissions directes et indirectes de Gaz à Effet de Serre (GES)
3. Fragilisation des réseaux électriques (« black out » de 2003 en Italie)

Et comment y remédier ?

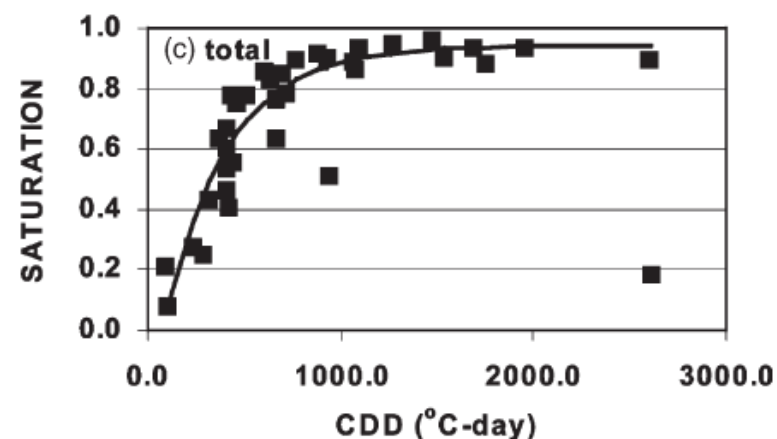
Plan de la présentation

- Evaluation des impacts environnementaux
- Peut-on réduire la consommation des climatisations ?
- Peut-on réduire les émissions directes de réfrigérant ?
- Peut-on améliorer l'efficacité en pointe ?

Estimation du parc d'équipements

- Les ventes sont connues
 - Estimation du parc passé
 - durée de vie des équipements
 - part des remplacements de vieux appareils
 - Prévisions
 - Par estimation des saturations – lien climatique et PIB (climatisation individuelle)
 - Par projection des ventes et des taux de remplacement (climatisation centralisée)
- (Hors changement climatique)

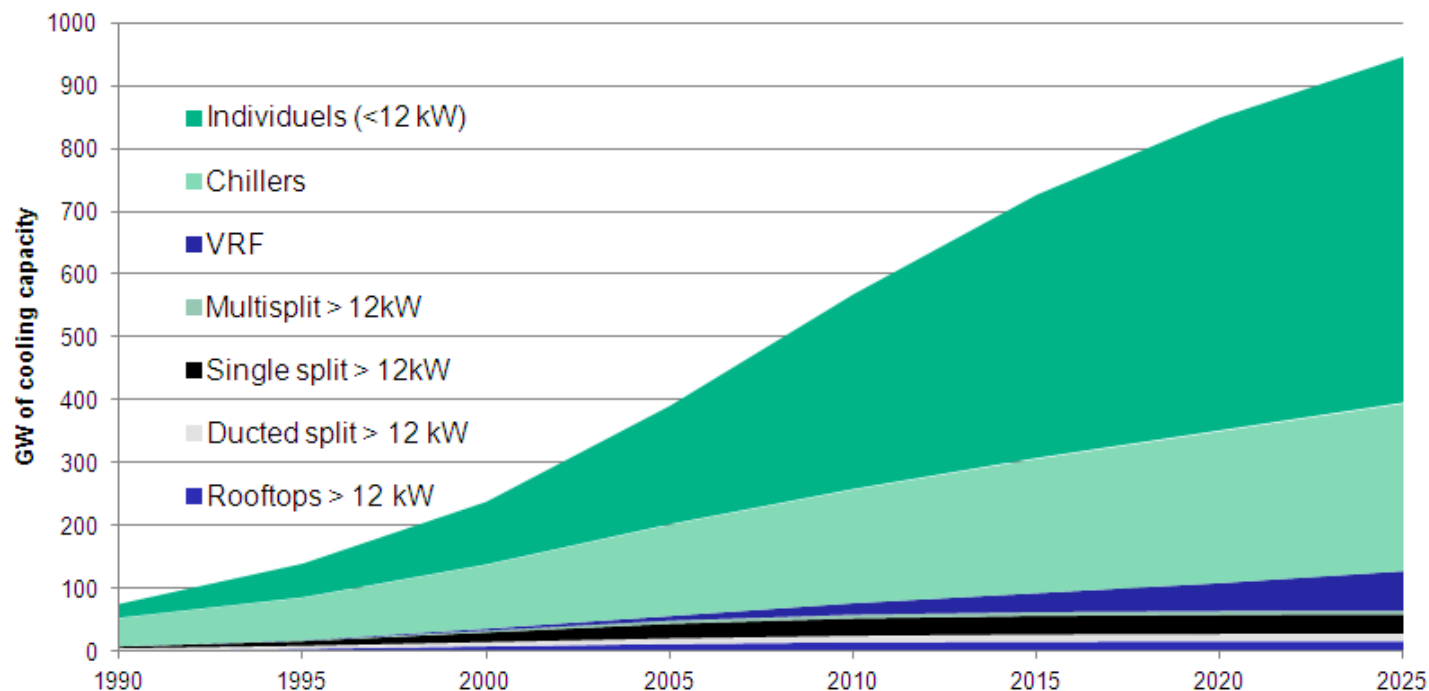
Source: Sailor et Pavlova, 2003



Un usage en forte croissance

- Climatisation centralisée + individuelle

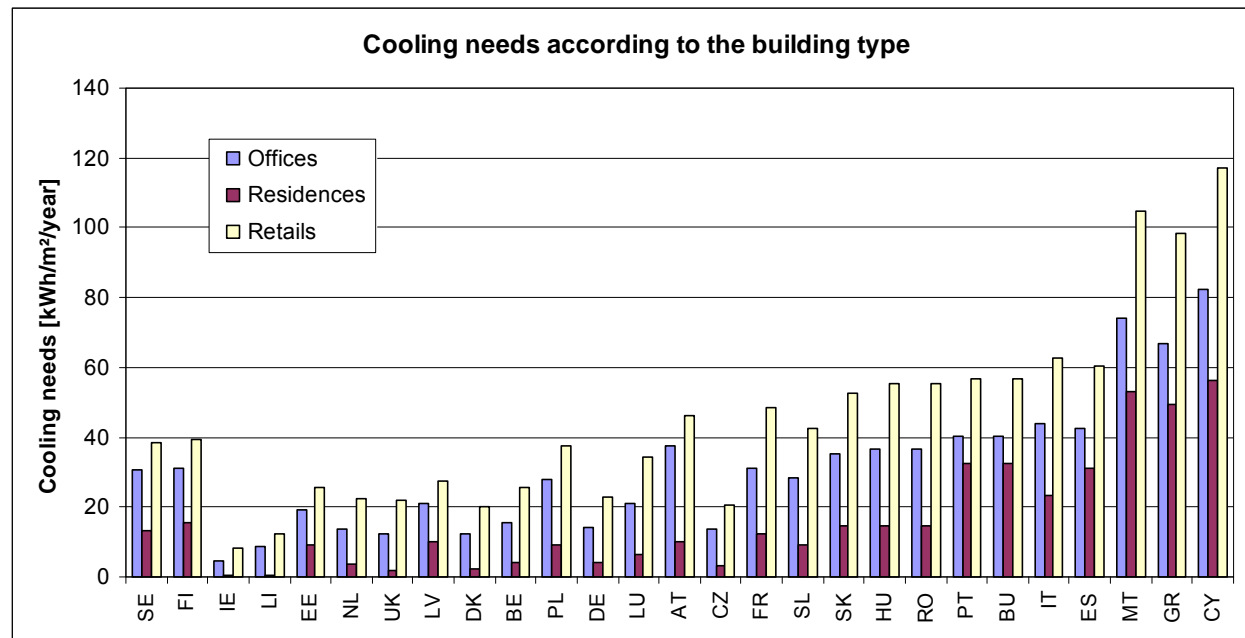
Stock of cooling generators EU27 in GW cooling



- EER moyen entre 2,5 et 3 $\sim 500/3 = 166$ GW appelé
- Capacité production 20 principaux fournisseurs électricité EU = 635 GW (Bower, 2007)

Estimation des besoins unitaires

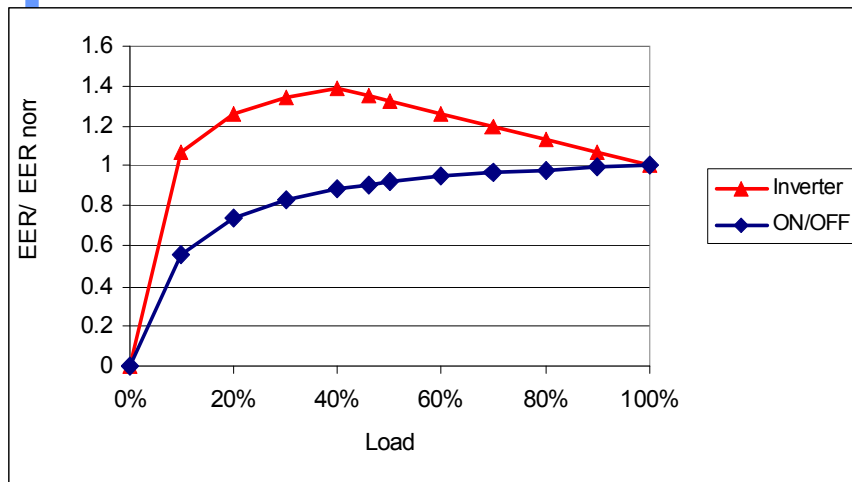
- Approche par simulation
 - TRNSYS
 - Données climatiques typiques (capitales des pays européens)
 - Modélisation des 3 secteurs clef (climatiseur individuel ici)



- Recoupement avec les rares données statistiques disponibles

Modélisation des performances des équipements

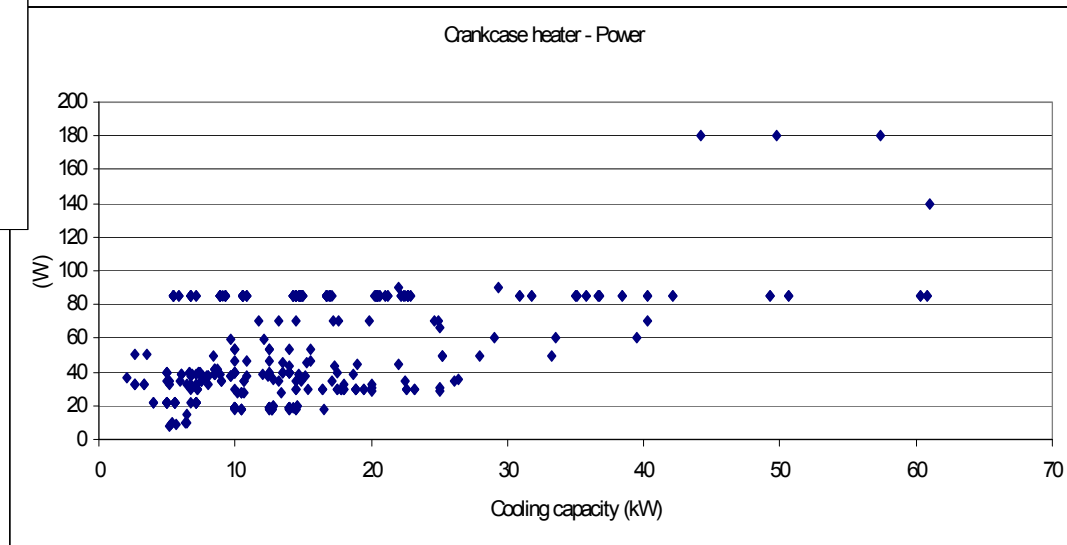
- Définition de machines de référence



Performance à pleine charge et à charge partielle

- EER, COP
- Variation performances avec température (humidité) sources

Modélisation des consommations de résistance de carter, de veille et de standby



Consommations d'énergie moyenne

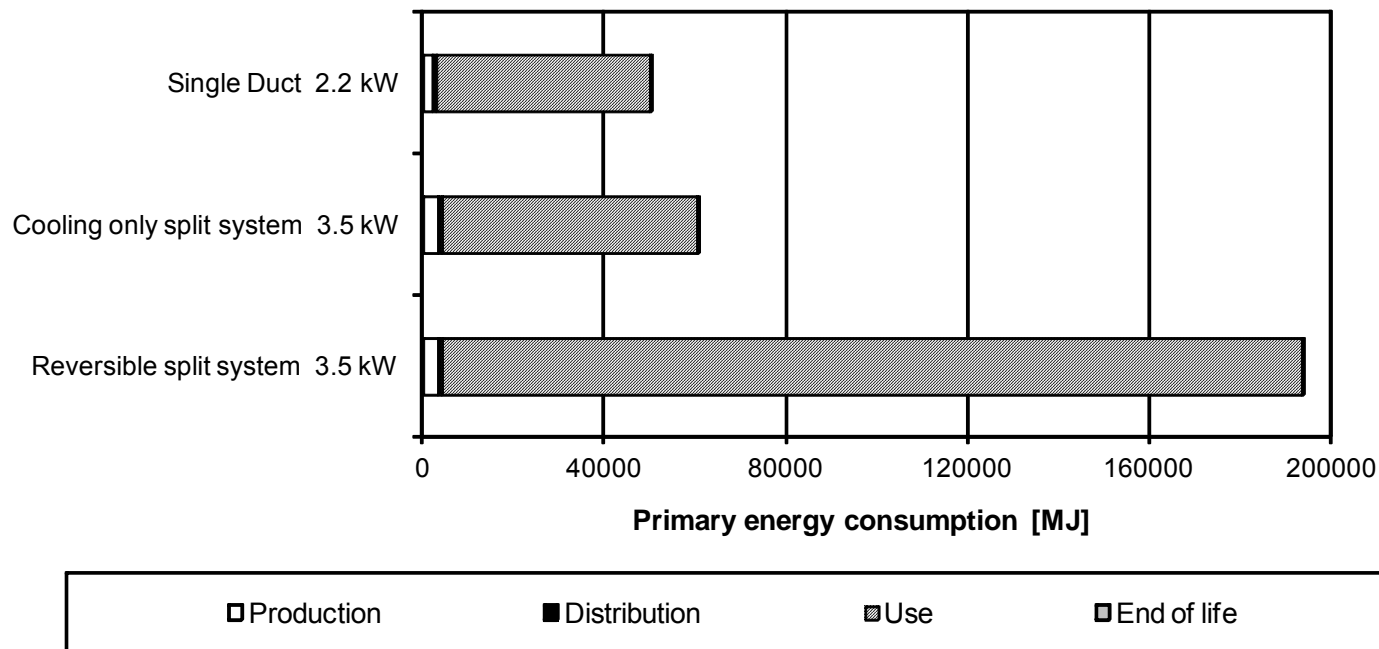
- Valeurs moyennes européennes
- Climat moyen proche de Milan (clim individuelle)

		Cooling only single split 3.5 kW	Reversible single split 3.5 kW	Cooling only single split 7.1 kW	Reversible single split 7.1 kW	Single-duct 2.2 kW
Cooling mode	Compressor-on	377.5	374.0	882.6	839.7	311.1
	Additional consumptions	67.4	31.8	86.7	46.9	60.7
Heating mode	Compressor-on		957.9		1997.5	
	Additional consumptions		135.6		266	
Total energy consumption per unit/year [kWh/y]		445	1499	969	3150	372

- Environ 300 heures équivalent pleine charge

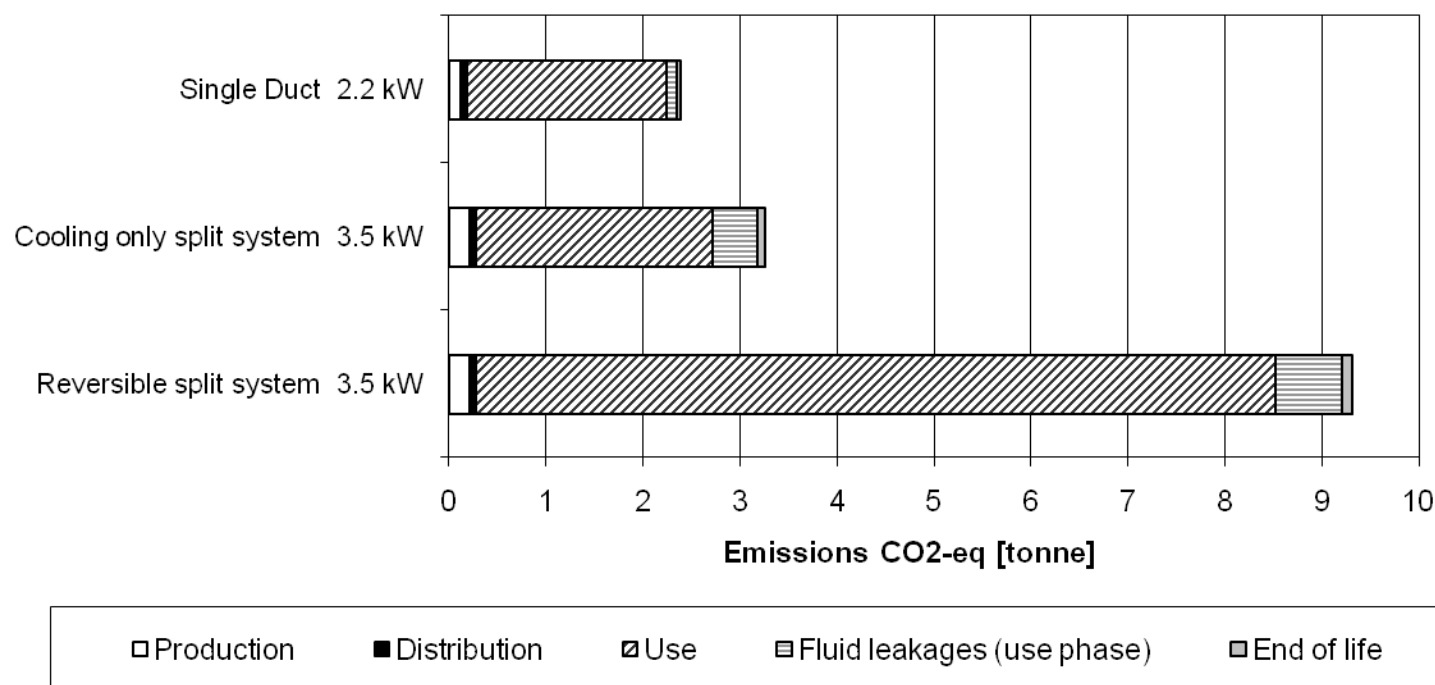
ACV simplifiée - énergie

- Consommation principalement pendant la phase d'usage



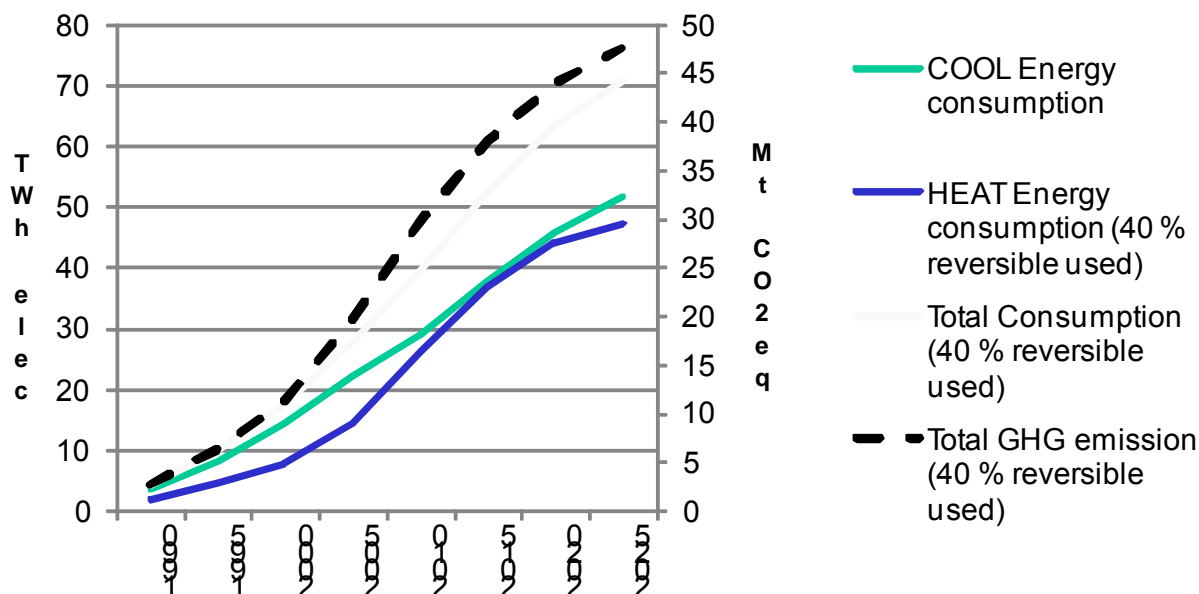
ACV simplifiée – CO₂eq

- Perspective post Fgas
- Fuite 3 %/an split, 1 %/an single duct, récupération au seuil technique (94 % récupéré en fin de vie)



Consommation d'énergie et émissions directes

- Climatisation individuelle (< 12 kW)



- 2/3 des émissions 2010 liées à la consommation d'électricité
- Climatisation centralisée
 - 90 TWh et 50 MtCO₂eq (dont 20 % lié aux émissions directes)

Conclusion

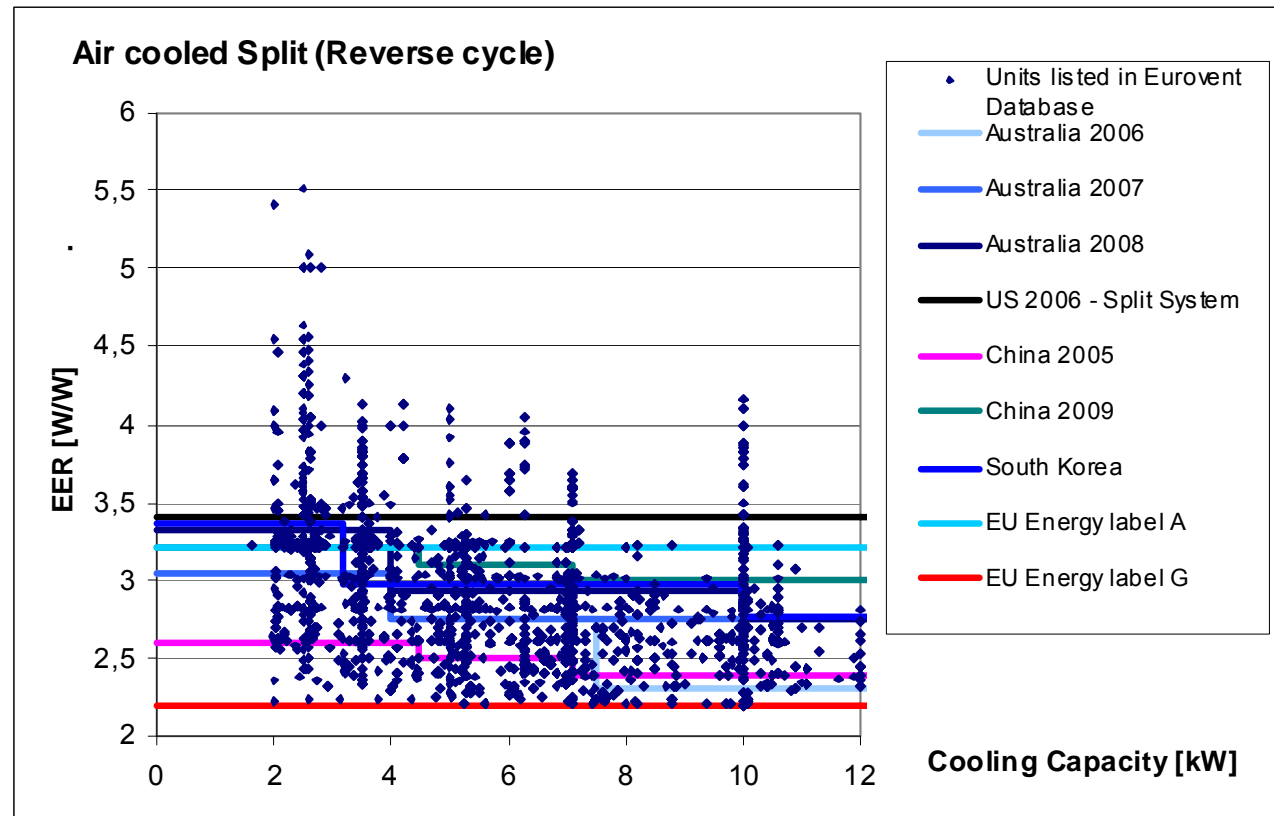
- Energie (2010)
 - 90 TWh centralisé
 - 50 TWh individuel (y compris chauffage – utilisé à 40 %)
 - 130/3000 environ 3 % de la consommation d'électricité en Europe
- Emissions CO₂eq (2010)
 - 50 MtCO₂eq centralisé
 - 35 MtCO₂eq individuel (y compris chauffage – utilisé à 40 %)
 - Dont part directe entre 15 et 20 MtCO₂eq
 - 85/4600 environ 2 % des émissions EU27 (source Eurostat 2009)
- Pointe (2010)
 - Entre 150 et 200 GW électriques (~ ¼ de la puissance de production électrique installée)

Plan de la présentation

- Evaluation des impacts environnementaux
- Peut-on réduire la consommation des climatisations ?
- Peut-on réduire les émissions directes de réfrigérant ?
- Peut-on améliorer l'efficacité en pointe ?

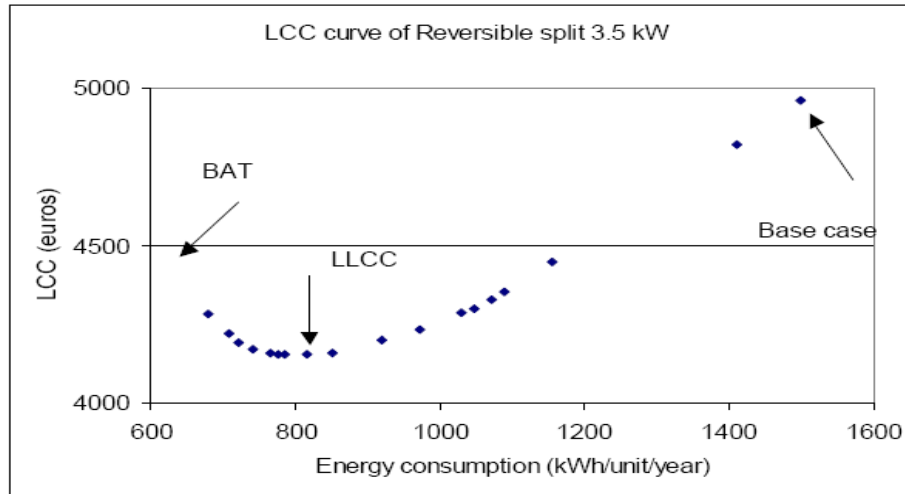
Potentiel d'amélioration

+ Pénétration
Inverter encore
Faible en 2005



- Méthodologie quantitative:
 - définition climatiseur moyen (EER 3.1 COP 3.4 SEER 3 SCOP 2.8),
 - liste d'option,
 - approche en coût global,
 - détermination du minimum de coût global

Approche en coût global



- LLCC is 50 % of base case energy consumption and costs 100 % more.
- High LLCC levels:
 - SEER 6
 - SCOP about 4.5

	EER	EER 50	COP	COP50	SEERon	SCOPon
BASE CASE	3.1	-	3.4	-	3.1	2.6
TXV	3.1	-	3.5	-	3.2	2.7
INV AC	3.1	4.1	3.5	4.3	4.3	3.2
CP1	3.4	4.4	3.7	4.6	4.6	3.4
DEF	3.4	4.4	3.7	4.6	4.6	3.5
CK2	3.4	4.4	3.7	4.6	4.6	3.5
EXV	3.4	4.4	3.8	4.7	4.7	3.6
CP2	3.6	4.7	4.0	5.0	5.0	3.8
INV DC	3.8	5.2	4.2	5.4	5.5	4.0
ALL DC	3.9	5.5	4.2	5.8	5.8	4.2
HE1	4.3	5.7	4.5	5.9	6.1	4.4
HE2	4.7	5.9	4.8	6.1	6.3	4.6
CK1	4.7	5.9	4.8	6.1	6.3	4.6
Sb	4.7	5.9	4.8	6.1	6.3	4.6
HE3	5.0	6.1	5.0	6.2	6.5	4.8
HE4	5.2	6.2	5.2	6.4	6.7	4.9
HE5	5.4	6.2	5.4	6.5	6.8	5.0
CP3	5.8	6.4	5.7	6.7	7.0	5.3

- Potentiel plus élevé pour machine réversible
- Machine froid seul SEER optimal proche de 4

Seuils de performance EU (projet)

- Tolérance 8 %
- 90 % MEPS possible si $GWP \leq 150$

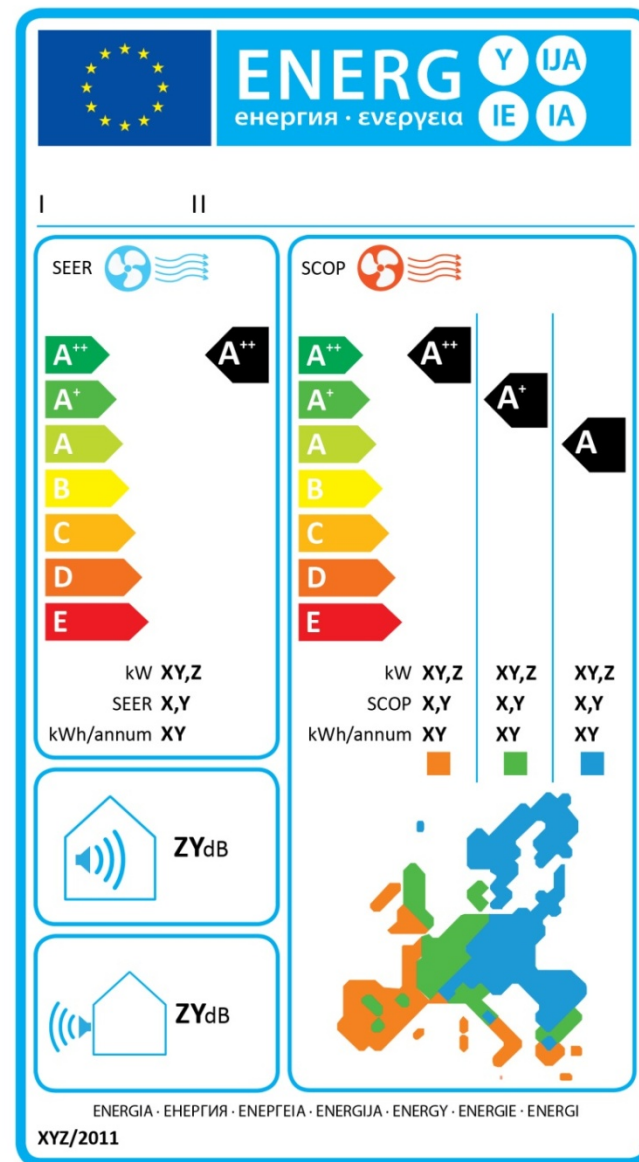
1 ^{er} janvier 2013	SEER	SCOP (Average heating season)
If GWP of refrigerant > 150	3,6	3,4
If GWP of refrigerant < 150	3,24	3,06

1er janvier 2014	SEER	SCOP (Average heating season)
If GWP of refrigerant > 150 < 6 kW	4,6	3,8
If GWP of refrigerant < 150 < 6 kW	4,14	3,42
If GWP of refrigerant > 150 6 - 12 kW	4,3	3,8
If GWP of refrigerant < 150 6 - 12 kW	3,87	3,42

Label Energie

- Projet avec A_G 2013, A+_F 2015, A++_E 2017 et A+++_D 2019

Classe d'efficacité énergétique	SEER	SCOP
A+++	$\text{SEER} \geq 8,50$	$\text{SCOP} \geq 5,10$
A++	$6,10 \leq \text{SEER} < 8,50$	$4,60 \leq \text{SCOP} < 5,10$
A+	$5,60 \leq \text{SEER} < 6,10$	$4,00 \leq \text{SCOP} < 4,60$
A	$5,10 \leq \text{SEER} < 5,60$	$3,40 \leq \text{SCOP} < 4,00$
B	$4,60 \leq \text{SEER} < 5,10$	$3,10 \leq \text{SCOP} < 3,40$
C	$4,10 \leq \text{SEER} < 4,60$	$2,80 \leq \text{SCOP} < 3,10$
D	$3,60 \leq \text{SEER} < 4,10$	$2,50 \leq \text{SCOP} < 2,80$
E	$3,10 \leq \text{SEER} < 3,60$	$2,20 \leq \text{SCOP} < 2,50$
F	$2,60 \leq \text{SEER} < 3,10$	$1,90 \leq \text{SCOP} < 2,20$
G	$\text{SEER} < 2,60$	$\text{SCOP} < 1,90$
8 % tolerance		



Réduction des consommations d'énergie

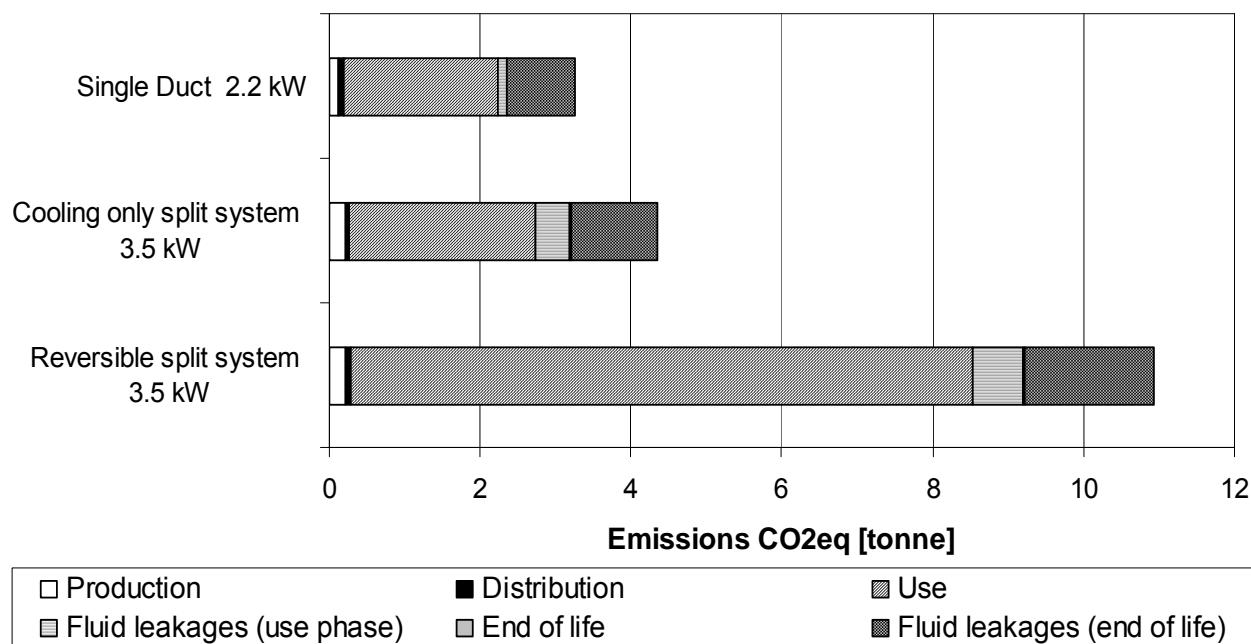
- Fort potentiel de réduction de la consommation
 - Visible sur d'autres marchés
 - Mis en évidence par calcul coût global sur efficacité saisonnière
 - Principalement lié à la pénétration de moteurs EC et accroissement surfaces d'échange
- Mesures ambitieuses sur les splits < 12 kW
 - En climatisation
 - Et en mode chauffage
- Traitement distinct split et portables
- Et la climatisation centralisée ?

Plan de la présentation

- Evaluation des impacts environnementaux
- Peut-on réduire la consommation des climatisations ?
- Peut-on réduire les émissions directes de réfrigérant ?
- Peut-on améliorer l'efficacité en pointe ?

Part des émissions directes CO₂eq

- Calcul de type TEWI pour climatiseurs individuels



- Responsabilités produit Vs manipulation et recyclage
- Règlement CE/842/2006 (Fgas directive)

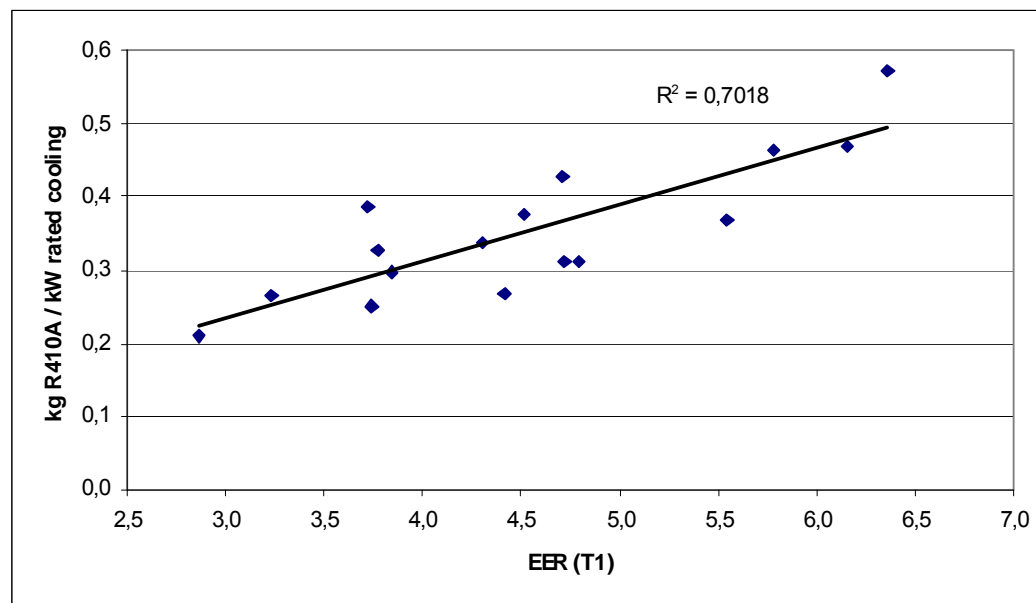
Peut-on diminuer la charge de réfrigérant ?

- Oui échangeurs micro-canaux aluminium
 - Permet de réduire la charge de 20 à 40 %
 - + gain de compacité à performance égale
 - Déjà adopté sur chillers air/eau
- Mais pas encore pour machines réversibles

Climatiseurs
réversibles

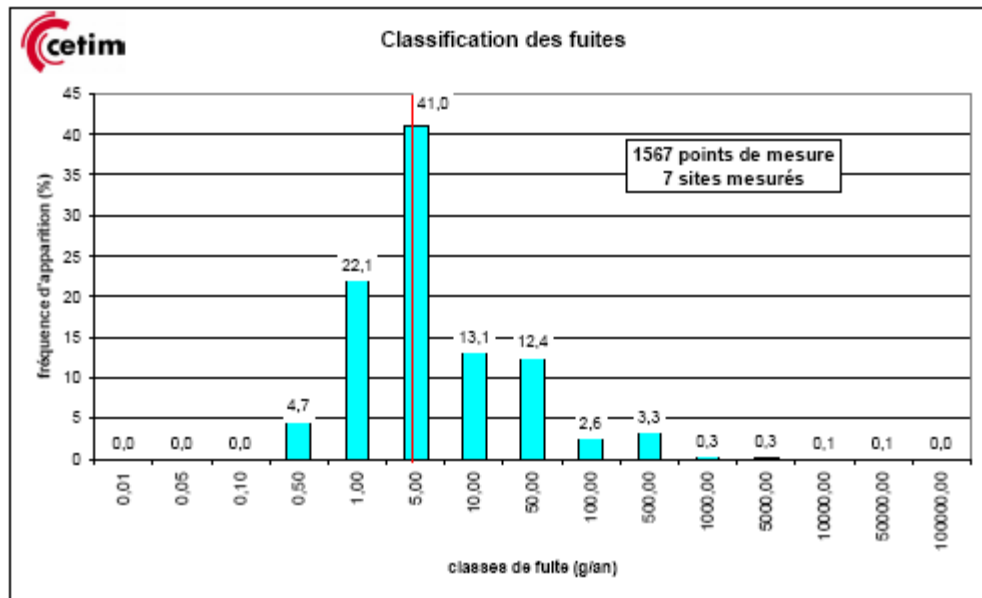
< 3.5 kW

Japon, 2006



Peut-on diminuer les fuites ?

- Etude CETIM par composant



- Norme Européenne pour mesurer l'étanchéité des composants - EN 16084:2011
 - Hermétiquement scellé < 2 g/an

Peut-on changer de fluide ?

Refrigerant number	Chemical name	Chemical formula	Safety group EN378	ODP	GWP (100 yr)	Performance
32	Difluoromethane (methylene fluoride)	CH ₂ F ₂	A2	0	650	Good or better than R410A
1234yf	2,3,3,3- tetrafluoro-1- propene	CF ₃ CF=CH 2	A2	0	4	R134a substitute
290	Propane	CH ₃ CH ₂ C H ₃	A3	0	3	Good
717	Ammonia	NH ₃	B2	0	0	Good
744	Carbon dioxide	CO ₂	A1	0	1	Poor for air conditioning temperature levels

- Pas de candidat parfait
 - Bonnes performances mais inflammable ou toxique
 - Ni toxique ni inflammable mais peu performant (conditions climatisation)

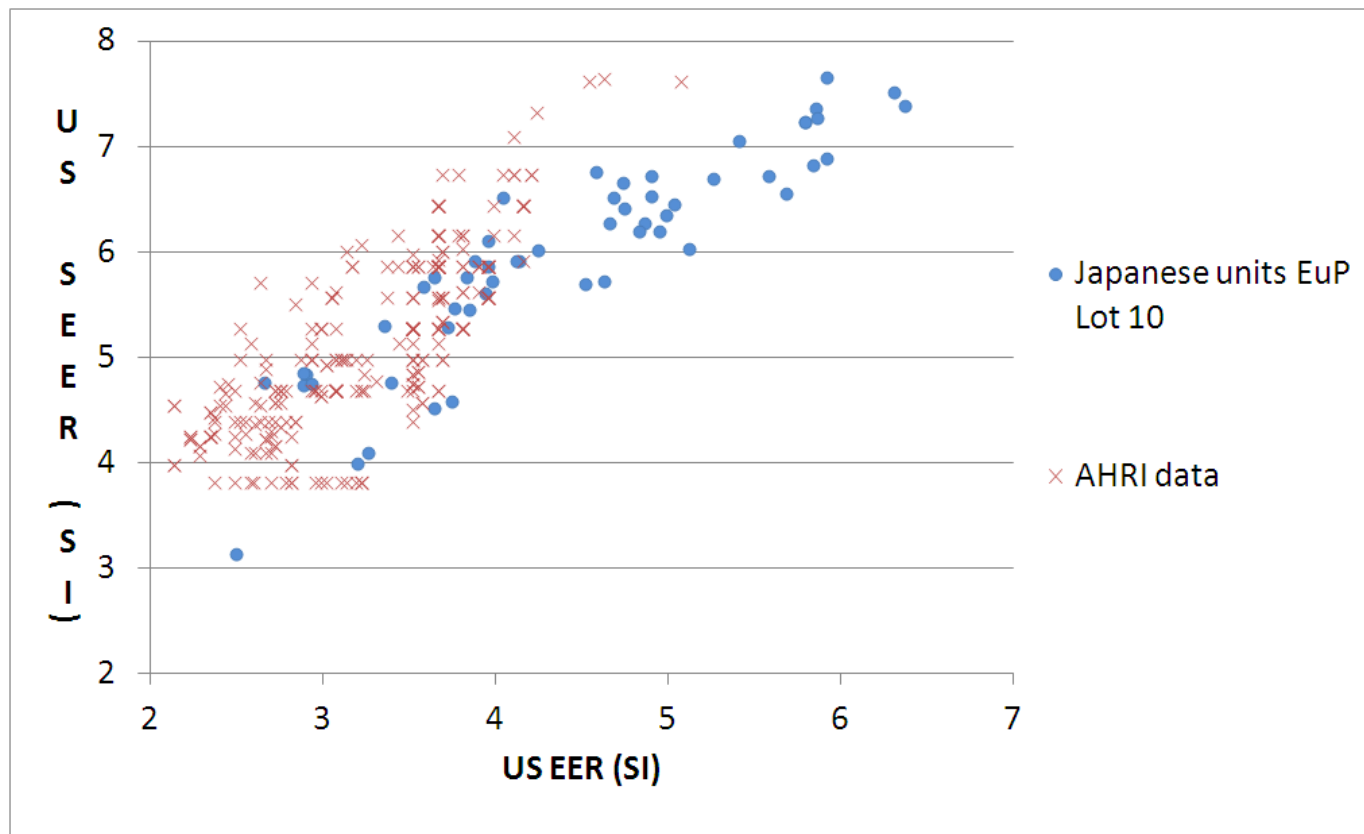
Conclusion sur émissions directes

- Emissions directe pas négligeable
- Taux de fuite incertain, responsabilité partagée avec la filière, intérêt Fgas
- Il est possible de limiter la charge (micro-canaux, mais la charge a plutôt tendance à augmenter pour améliorer la performance)
- Pas d'alternative parfaite
 - Bonne performance mais fluide dangereux
 - Ou CO₂, fluide bénin (sauf niveaux de pression) mais performances moins bonnes
- EU promeut les réfrigérants avec GWP < 150

Plan de la présentation

- Evaluation des impacts environnementaux
- Peut-on réduire la consommation des climatisations ?
- Peut-on réduire les émissions directes de réfrigérant ?
- Peut-on améliorer l'efficacité en pointe ?

Climatiseurs, efficacité moyenne et en pointe



EERs très différents à SEER comparables: ne pas oublier la pointe !

Impact d'un changement de réfrigérant

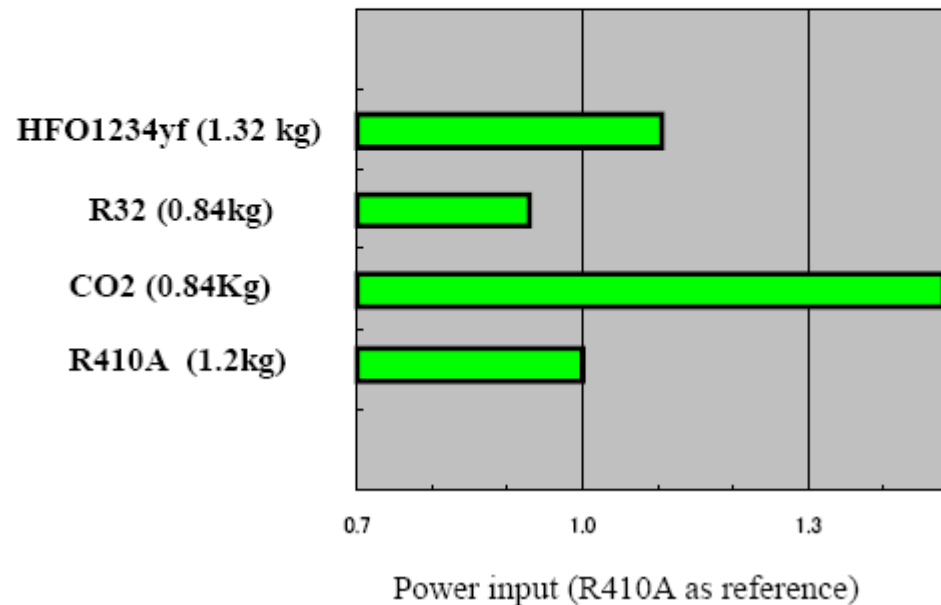
•HPs (Reversible) - 3.5kW-Room AC in Europe

•**Peak load comparison**

(R410 ratio) under cooling condition
Outside 35° C, room 27° CDB/19.5° CWB



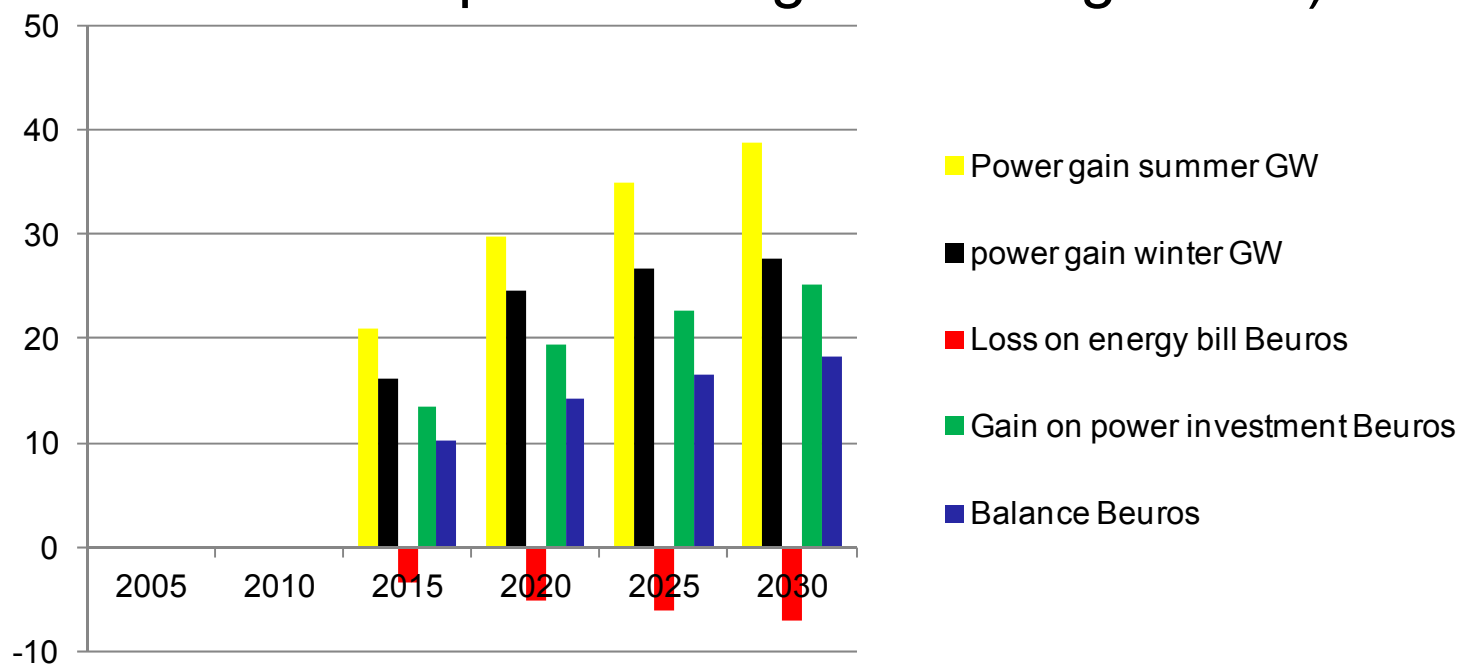
Source Daikin



Réduction des émissions totales: ne pas oublier la pointe !

Pointe et mesures sur la consommation

- Secteur électrique
 - Augmentation de l'efficacité énergétique moyenne = Perte de revenus
 - Augmentation de l'efficacité énergétique en pointe = moins d'investissement
- Ex d'estimation a posteriori sur mesures européennes (pas de mesure sur la pleine charge sauf single duct)



Intégration de l'impact de la pointe

- Calculs simples montrent que l'externalité pointe est importante
- Manque un signal économique pour la prise en compte précise dans un calcul type coût global (LCC) pour prendre la meilleure décision
- Certainement nécessaire pour la révision des mesures sur les climatiseurs (ex USA – Japon)
- Le signal pointe permettrait aussi une évaluation plus favorable des solutions concurrentes à la clim traditionnelle et de l'effacement

Conclusion

- Principaux enjeux consommation d'énergie, émissions de CO2 indirectes et directes, pointe
- Réduction de consommation importante possibles
 - Méthode saisonnière mise en place (prEN14825:2010)
 - Seuils et label ambitieux (climatisation individuelle)
- Réductions limitées d'émissions directes
 - Mesures nécessaires déjà en place
 - Mais application variable suivant pays, notamment Fgas
- Pointe pas prise en compte pour l'instant dans les mesures produit

Perspectives

- Développement d'une méthode pour la prise en compte de la pointe
- Mesures similaires (?) sur la climatisation centralisée
 - Etude en cours www.ecohvac.eu
- Manque flagrant de données mesurées ou statistiques sur:
 - Les consommations de climatisation
 - Les répartitions des systèmes par secteur économique, leurs caractéristiques techniques, efficacité ...

21^e journée du CUEPE
Groupe énergie

Questions ?



Centre Énergétique et
Procédés

Contact

philippe.riviere@mines-paristech.fr
www.mines-paristech.eu