



CONSOMMATION ET ÉCONOMIE D'ÉNERGIE : LA RÉALITÉ FACE AU CALCUL

*INTÉGRER L'INCERTITUDE DANS UN SYSTÈME
COMPLEXE*

D.Osso, M-H.Laurent, M.Raynaud
EDF-R&D

janvier 2016 – Chaire Economie du Climat



Quelle complexité ?

- « Un **système complexe** est un ensemble constitué d'un grand nombre d'entités en interaction qui empêchent l'observateur de prévoir sa rétroaction, son comportement ou son évolution par le calcul. »
- Complexité aléatoire : « sans ordre, sans régularité, chaotique »
- Complexité organisée : « fortement structurée, riche en forme diverses et combinaison d'éléments ajustés les uns aux autres »
- Exemple : 3,14159265358979323846264338327

$$\pi = 4 * \left(\frac{1}{1} - \frac{1}{3} + \frac{1}{5} - \frac{1}{7} + \frac{1}{9} - \dots \right)$$

Problématique : incertitude ou erreur

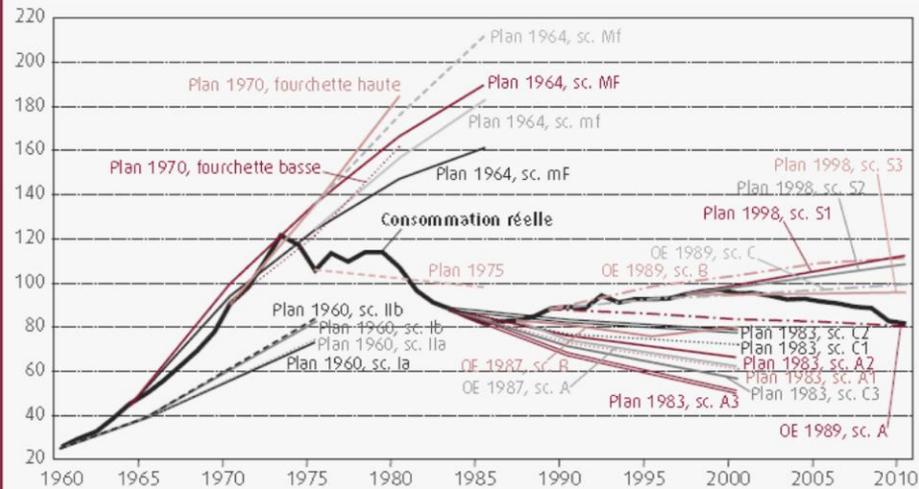
“Only the central tendencies (i.e., mean, median, or mode) are heard and remembered”

(International Journal of Forecasting, 1995)

Les modèles énergétiques servent à la prévision (ou prospective) de la demande, à estimer l'adoption des technologies et à estimer les potentiels d'efficacité énergétique :

- trop globaux (quelques segments) et sensibles au contexte
- ou très détaillés (1 bât.) mais incapables de décrire finement la réalité à travers des valeurs moyennes

Graphique 7 — Consommations primaires de pétrole en France : historique et projections selon différentes études (en Mtep)



N.B. : OE = Observatoire de l'énergie ; sc. = scénario.

Sources : ENERDATA, *Global Energy and CO₂ Data*, 2010, site Internet <http://services.enerdata.net> ; et HUMBERT Magali, *Étude rétrospective des prospectives pour la France et le monde depuis 1960*. Paris : DGEMP / OE, 2005, rapport de stage non rendu public.

Source : Futurible, 2011

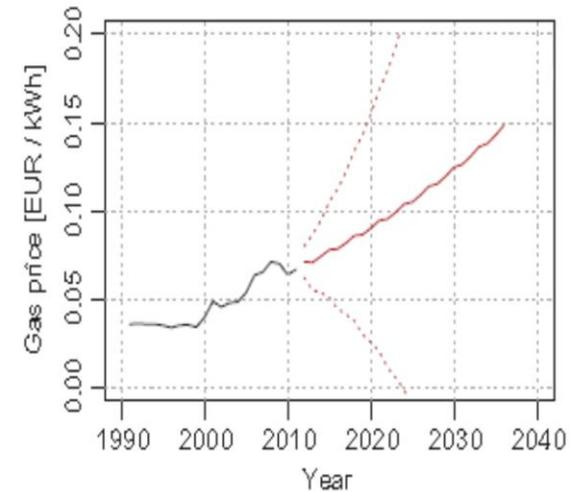
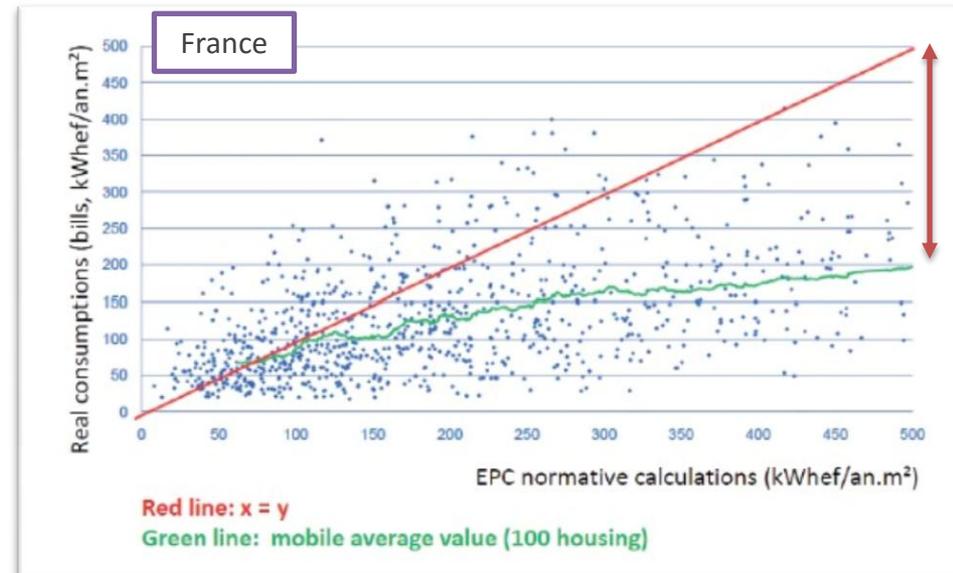
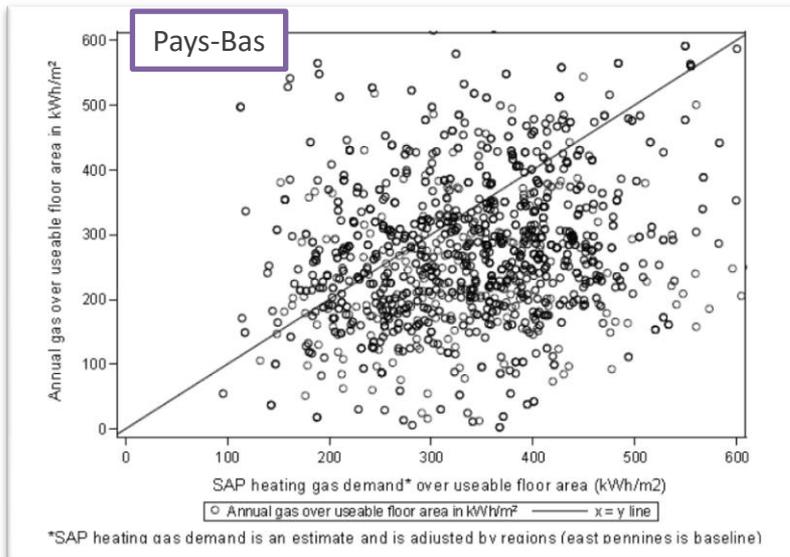
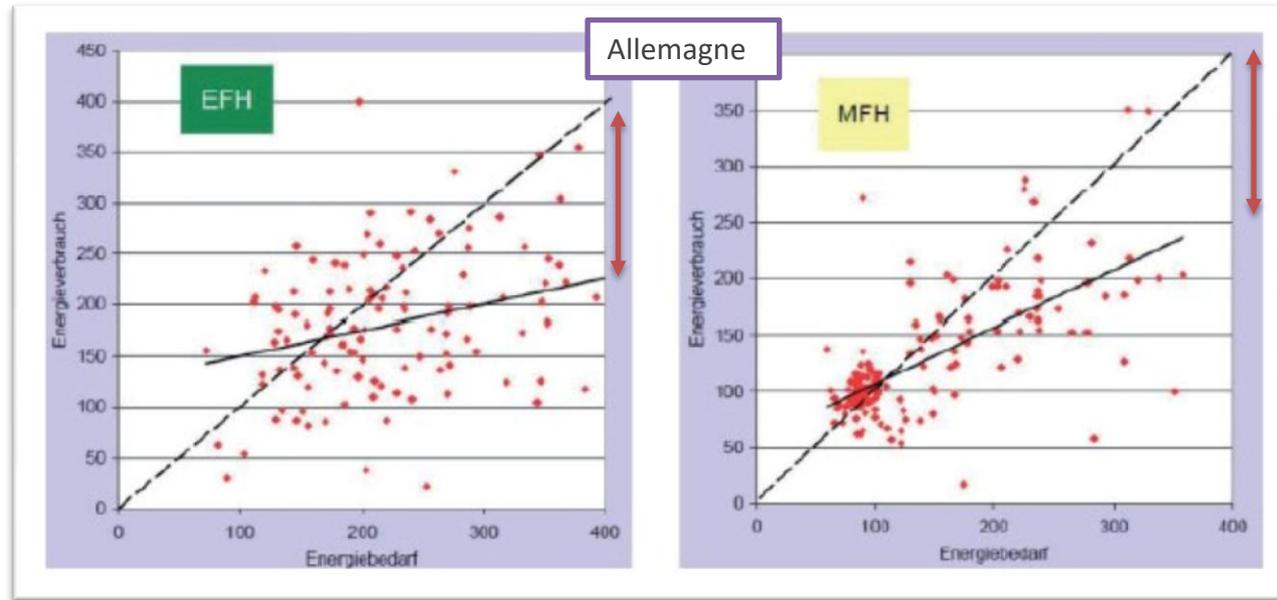


Fig. 6. Time series for the consumer gas price in Germany. The values from 1991 to 2011 are historical data. The values starting in 2012 are predicted using an ARIMA model that was fitted with the historical data. The dashed lines represent the confidence interval.

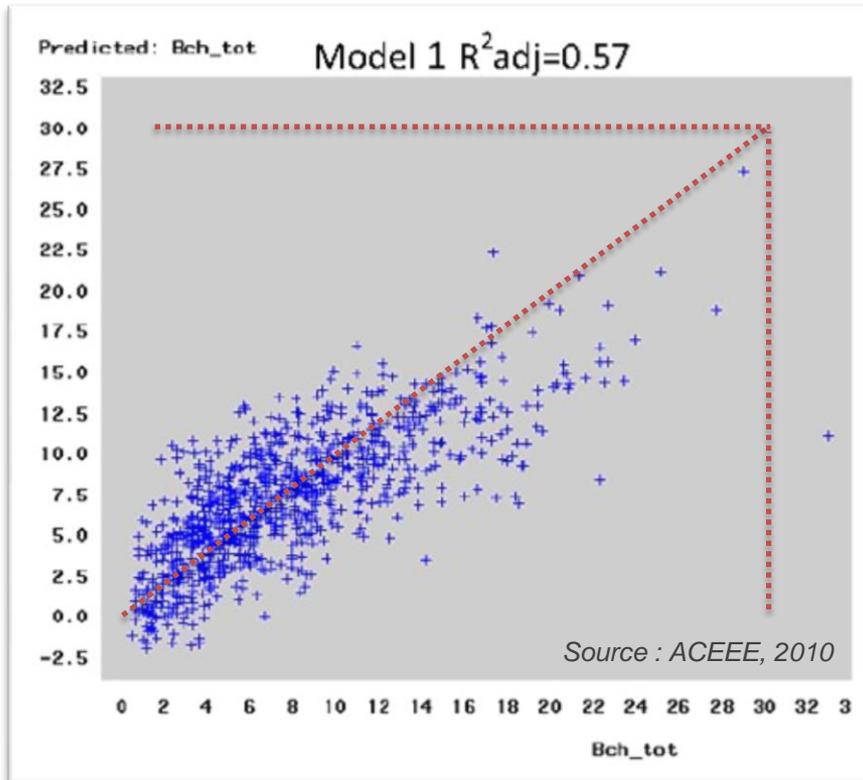
Source : Building and Environment, 2013

Modèle « ingénieur » type DPE

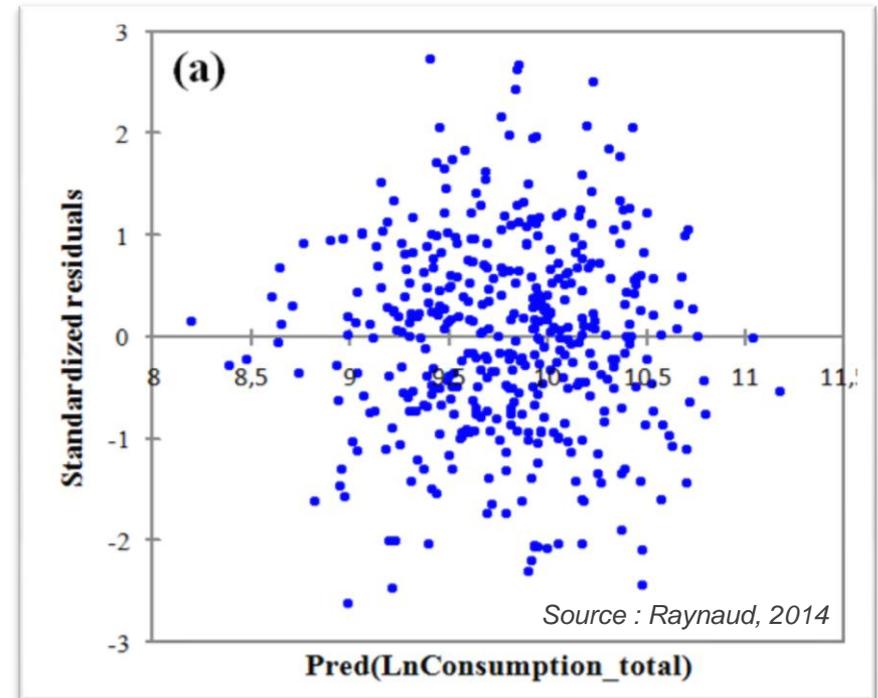
Malgré des différences significatives à travers l'Europe dans la façon dont sont calculées les DPE ; il semble y avoir une constante surestimation de la prédiction du chauffage des locaux par rapport à la réalité (mesurée = 60 à 70 % de l'énergie calculée)



Modèle statistique : régression multilinéaire



Valeurs observées et valeurs prédites par le modèle



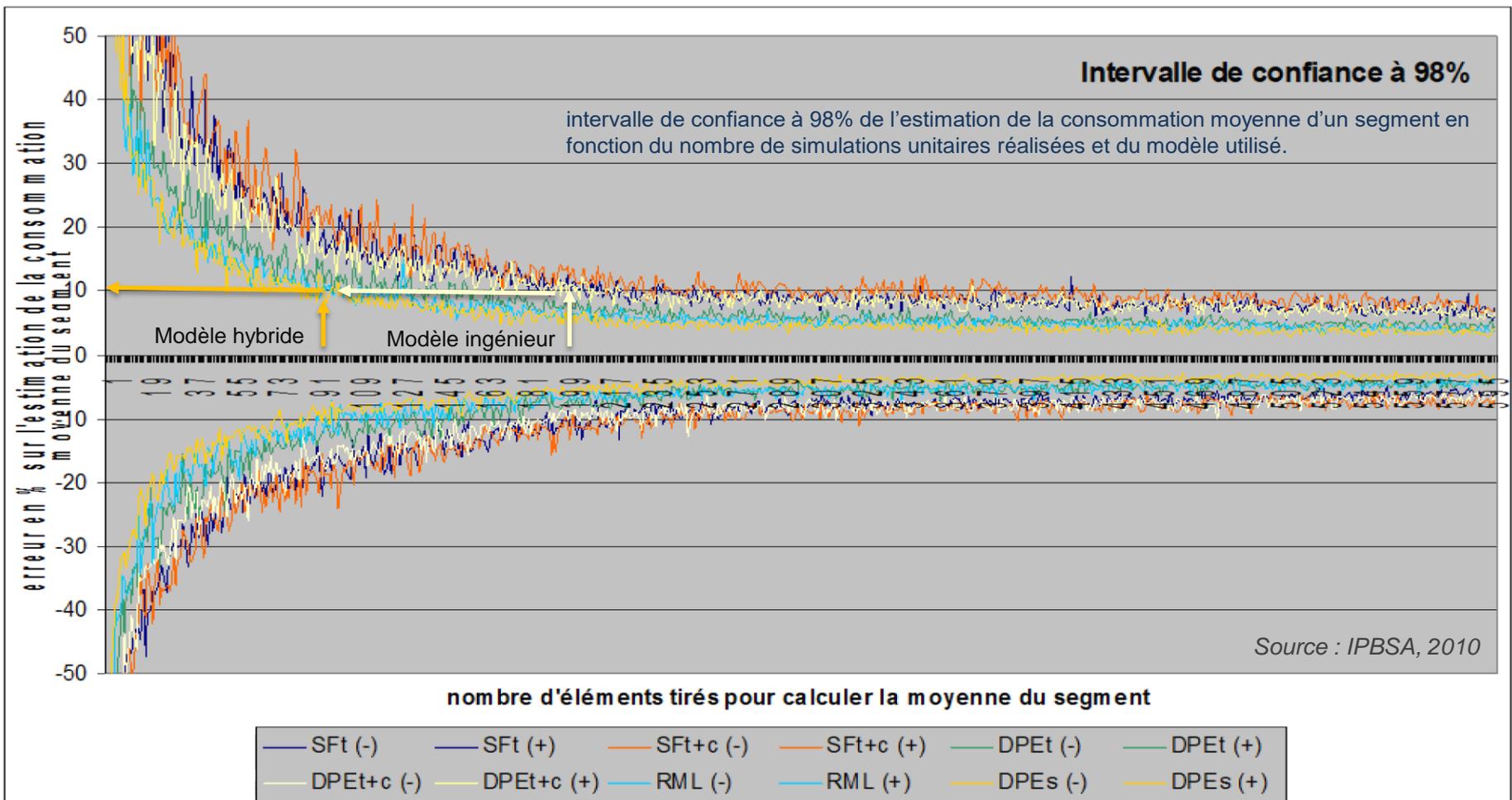
Résidus normalisés en fonction des valeurs prédites par le modèle

Les meilleurs modèles : $R^2 = 0,7 - 0,8$; Les moins performants : $R^2 = 0,2 - 0,3$

Mais même avec un R^2 de 0,7 et 19 variables dans le modèle,
incertitude importante sur la prédiction individuelle [-45 % ; +83 %]

→ Des modèles significatifs mais peu prédictifs à l'échelle d'un logement

Modèle hybride thermique-statistique



RML : Régression MultiLinéaire ($R^2=0.5$) estimée sur les données de l'enquête
 SFt : Modèle dynamique réduit avec comportement par défaut
 SFt+c : Modèle dynamique réduit avec comportement selon données de l'enquête

DPET : DPE avec comportement par défaut
 DPET+c : DPE avec comportement selon données de l'enquête
DPEs : DPE corrigé par un facteur d'intensité (modèle hybride)

→ Modèle hybride : mieux mais encore insuffisant

**QUELLES SONT LES SOURCES
D'INCERTITUDES ?**

Des incertitudes multiples

Deux types d'incertitudes dans la littérature :

- *Aléatoire : irréductible (stochastique)*
- *Épistémique : réductible par une meilleure connaissance*

Pour les modèles énergétiques, l'incertitude provient :

- *Du modèle lui-même (représentation simplifiée de la réalité)*
- *Des données utilisées (techniques et climatiques)*
- *De la mesure des consommations d'énergies*
- *Du comportement des occupants*
- *De la qualité de la mise en œuvre...*

L'intensité d'usage (*prebound effect*) est en partie une élasticité de la demande d'énergie de chauffage aux prix de l'énergie, aux revenus et à la performance énergétique

L'effet rebond (*rebound effect*) évalué comme le changement de comportement des ménages par augmentation de la température intérieure après une rénovation thermique est en fait un mélange de trois composantes :

- L'effet rebond lui-même (comportement)
- Incertitude liée aux données (mesure, déclaration...)
- Erreur de modèle

Explication par la facture ou par la performance énergétique

Plus la performance du logement est faible, plus la surestimation est importante
Plus la facture d'énergie est importante, plus la surestimation est importante

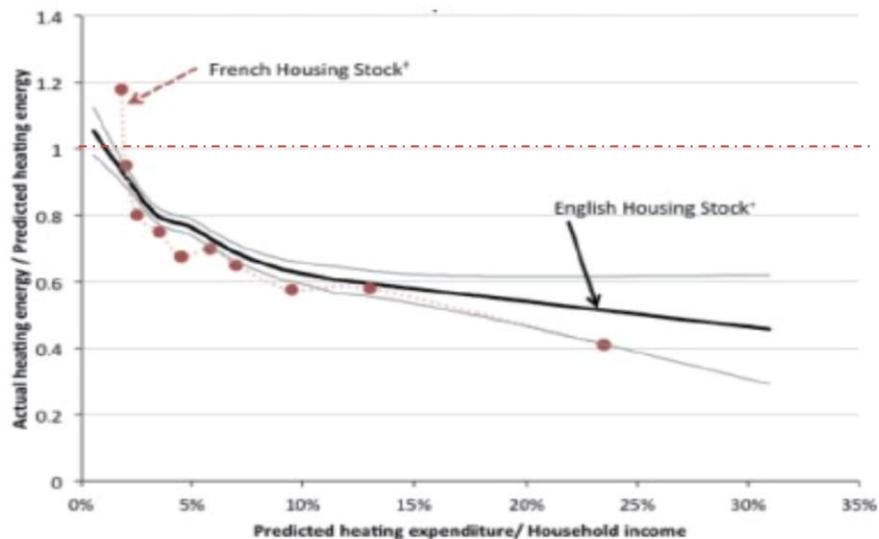


Figure 12. Intensity of heating to expenditure and income ratio for English and French dwellings (UK: English House Survey – approx 2,100 households, includes only households where gas is primary fuel for heating; France: EDF R&D 2009 survey, approx 900 households with individual space heating all fuels).

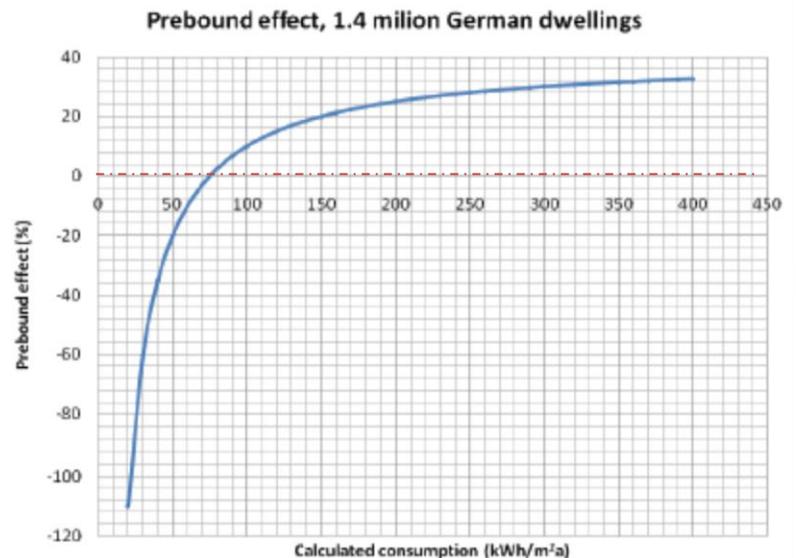


Figure 14. Prebound effect vs theoretical calculations of space heating consumption in Germany (authors' calculations from Der dena-Gebudereport 2012: 43).

Performance des produits

système

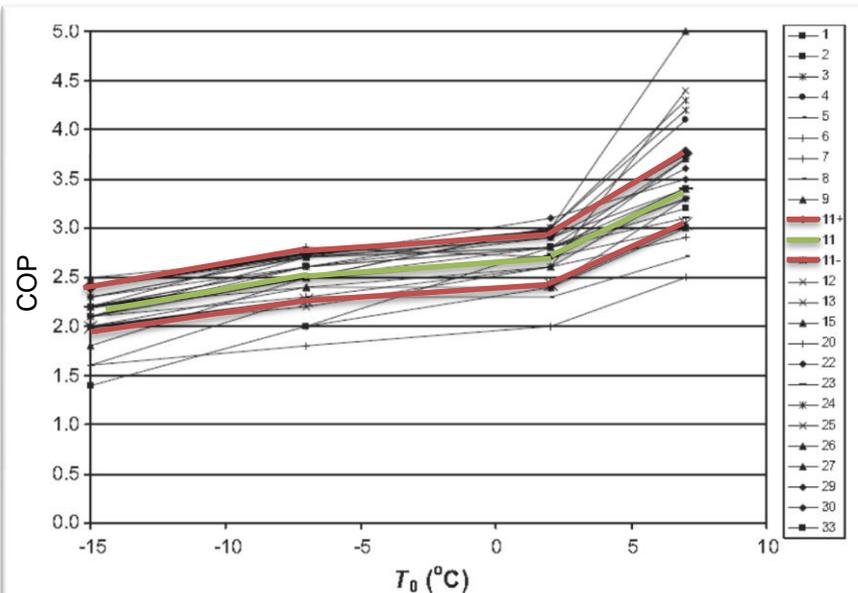


Fig. 1. Brush of COP results for air/air HPs tested by the Swedish Energy Agency [22]. Data for each case are connected with lines and labeled with the case No. A median case (Case 11) was selected and plotted with its limits of uncertainty (labeled 11+ and 11-).

Source : Energy and Buildings, 2011

isolation

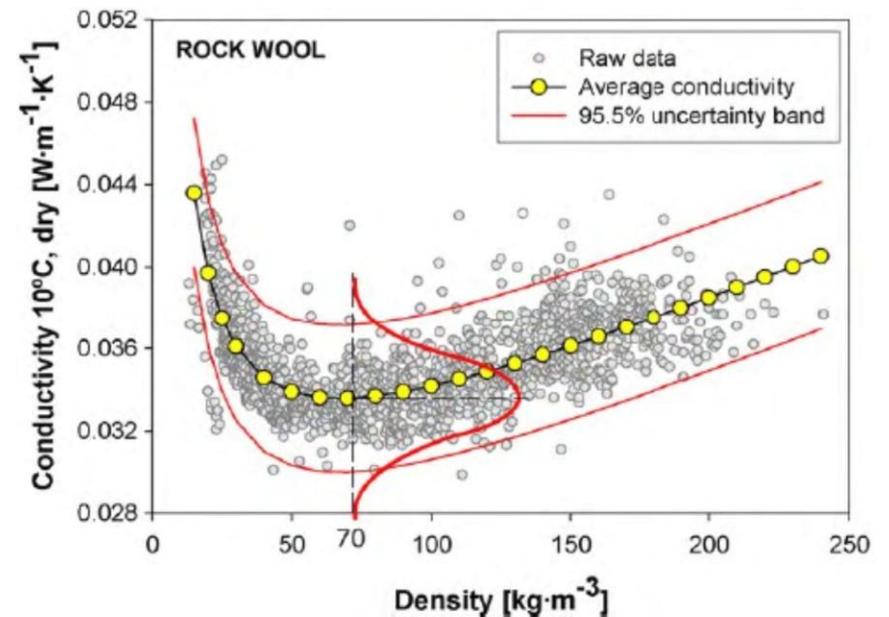


Fig. 5. Data for rock wool with fibers perpendicular to heat flow. Also shown the average curve, the 95.5% uncertainty bands and the normal distribution of Eq. (10).

Source : Energy and Buildings, 2010

Comportement

Variation au sein d'un même segment

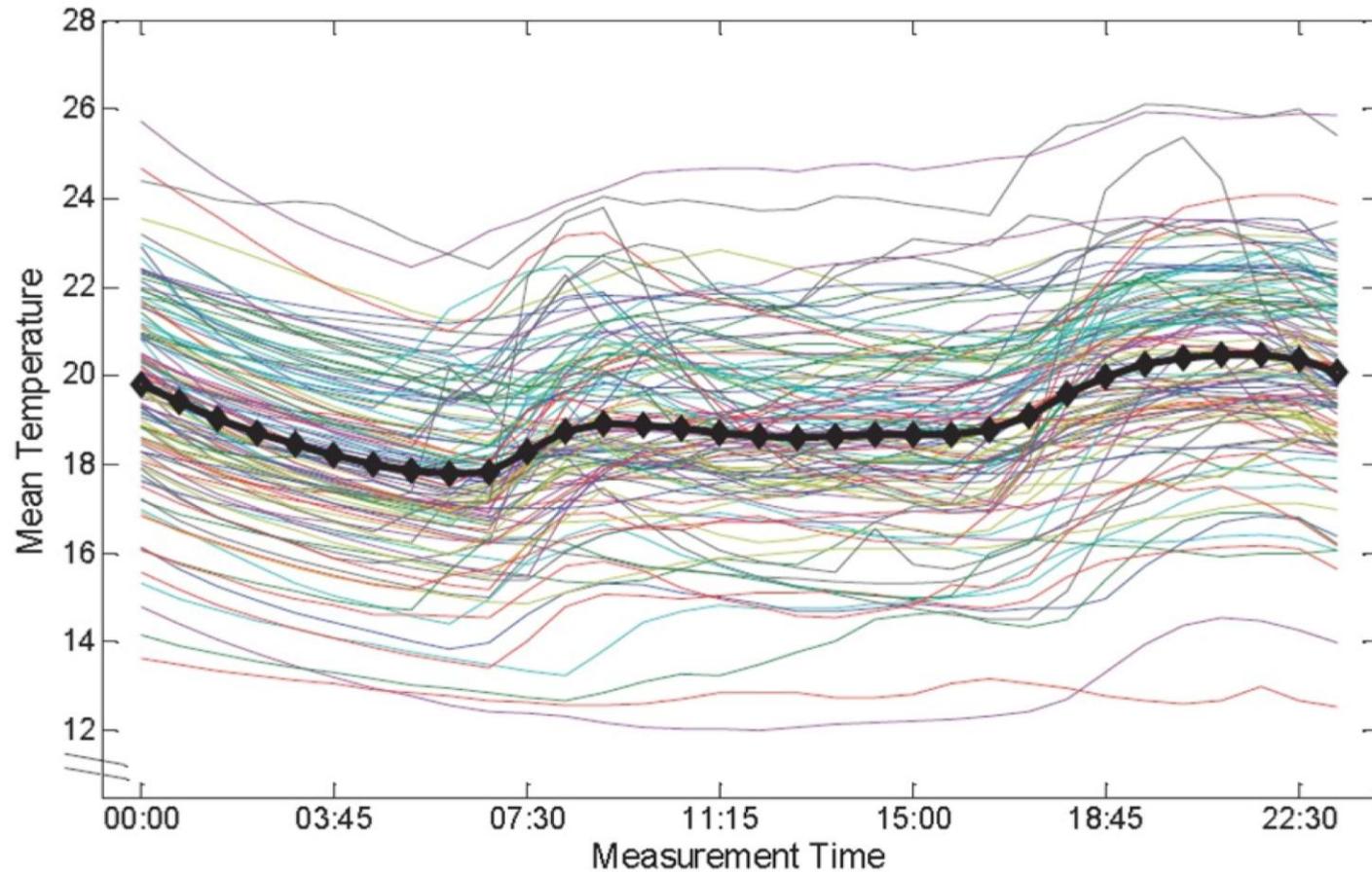
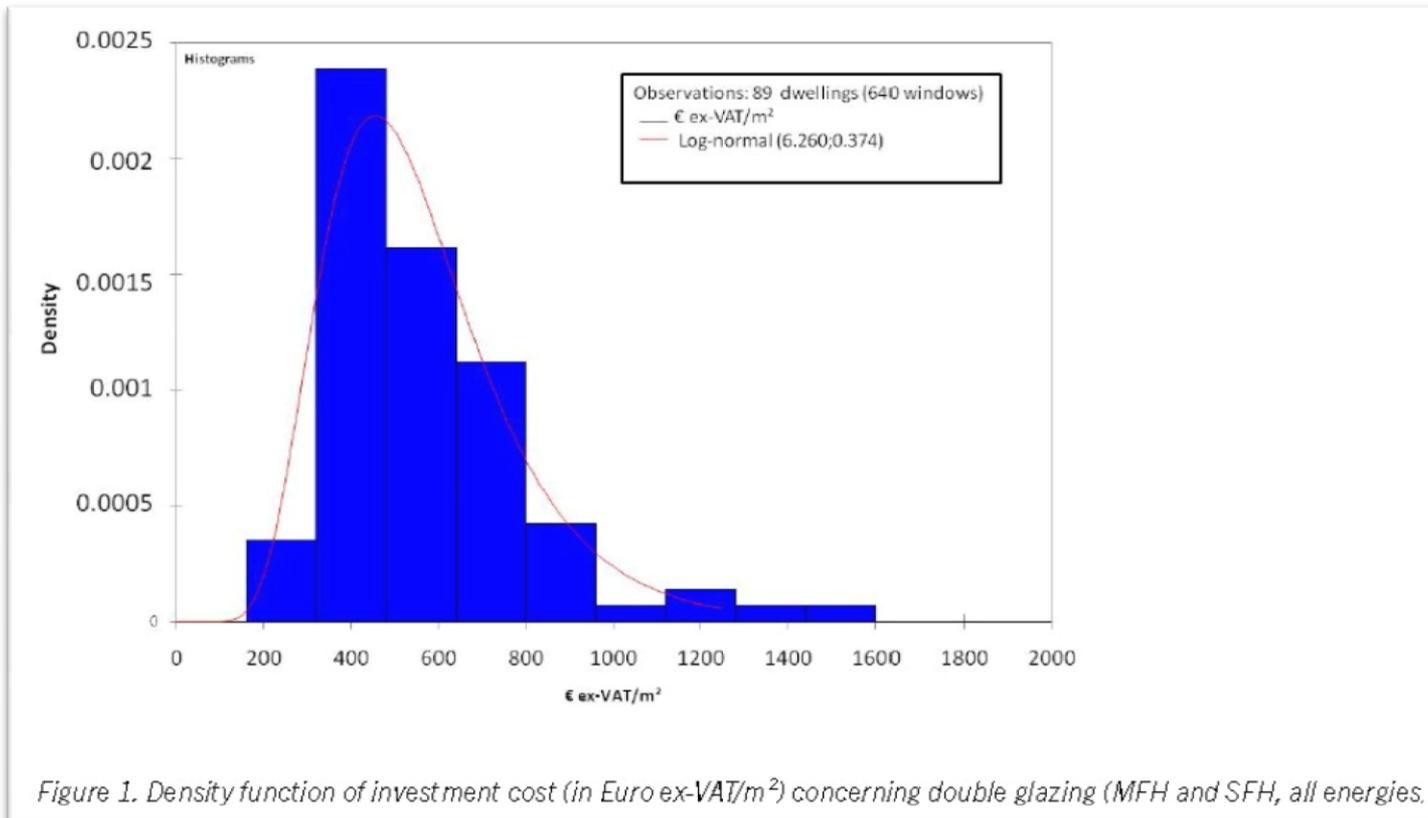


Figure 2. Diversity of temperature profiles within one cluster (Cluster 3).

Source : ECEEE, 2013

Prix de marché

Prix observés des fenêtres double vitrage (€/m²)



De l'incertitude à l'hétérogénéité

DES RÉSULTATS INTÉGRANT DES INCERTITUDES

Propagation d'incertitudes

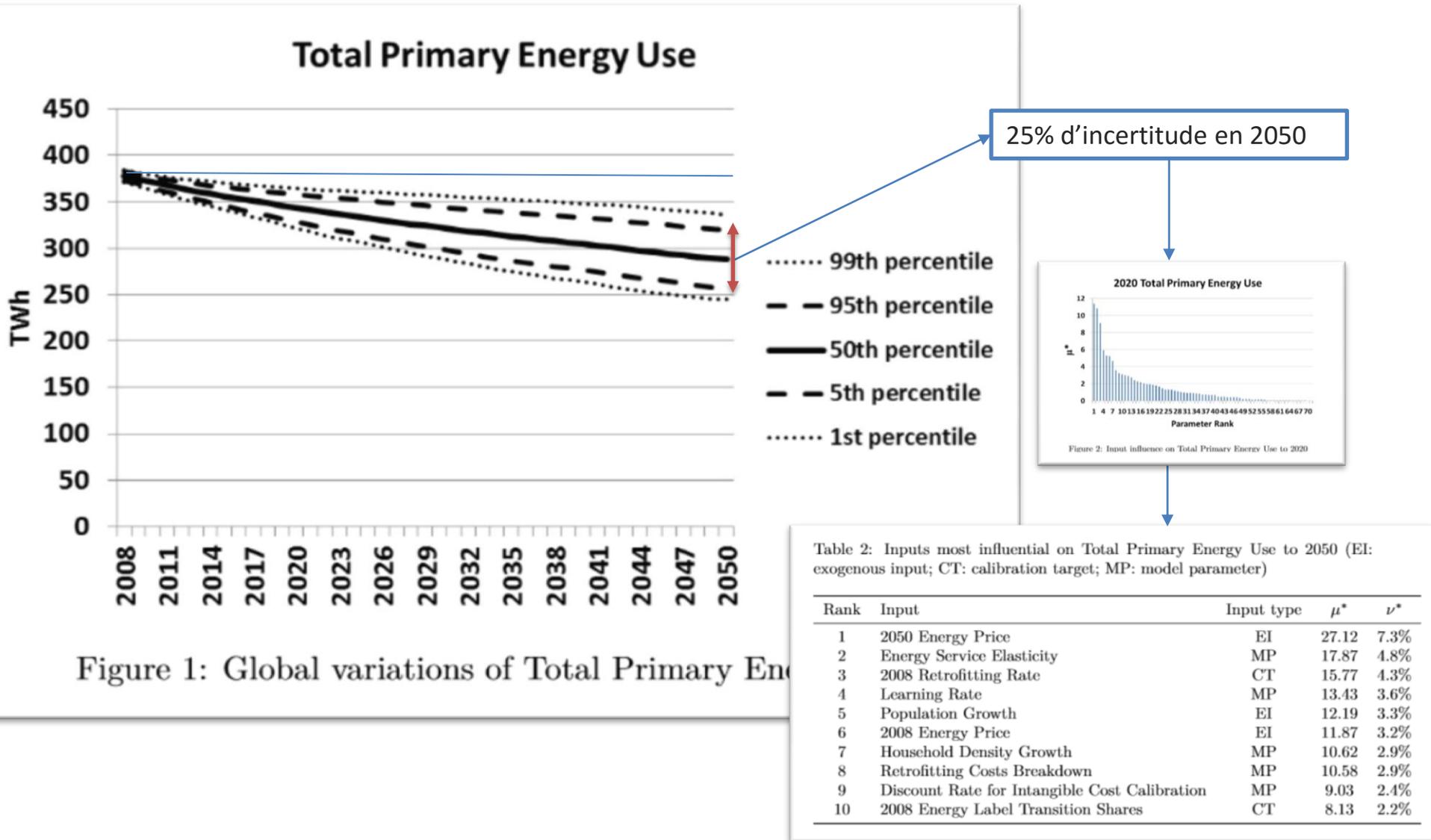
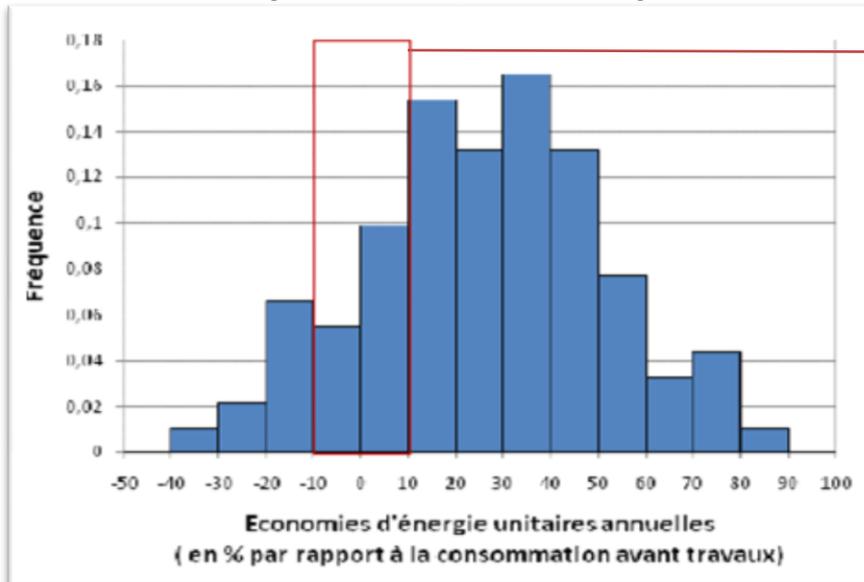


Figure 1: Global variations of Total Primary Energy Use

Estimation de l'incertitude

Estimer la robustesse des économies

Histogramme des économies d'énergie



Économies d'énergie ?

Propagation d'incertitudes

$$u_c(EE_i) = \sqrt{u_c^2(C_{i,av}^{normal}) + u_c^2(C_{i,ap}^{normal}) + 2 * 1 * (-1) * u_c(C_{i,av}^{normal}) * u_c(C_{i,ap}^{normal}) * r(C_{i,av}^{normal}, C_{i,ap}^{normal})}$$

Estimation de la robustesse des économies d'énergie selon différents scénarios

%	Optimiste	Réaliste	Pessimiste
Part non robuste	5,5	10,0	18,0
Part robuste avec signe -	13,0	10,0	4,0
Part robuste avec signe +	81,5	80,0	78,0

Rentabilité variable

Impacts des variations de consommation sur le calcul économique

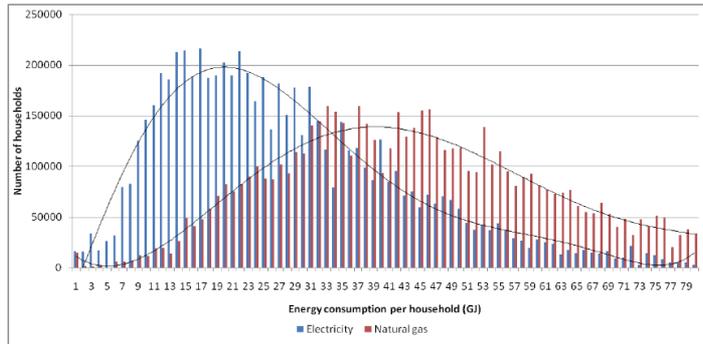


Figure 2: The distribution of energy use per household, broken down into gas and electricity use, for all Dutch households.

Distribution des consommations d'électricité et de gaz

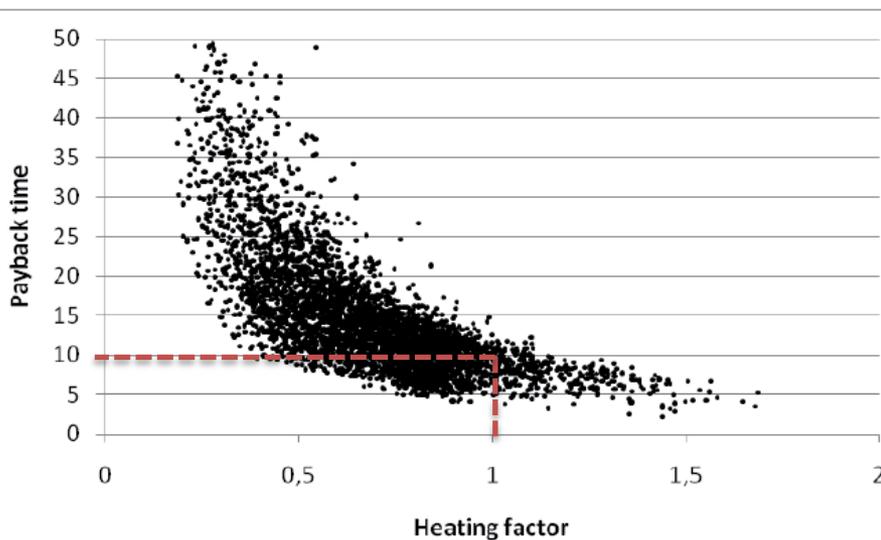


Figure 3: Relation heating behaviour (expressed as relation between actual and theoretical use) and payback time for installing low-E glazing.

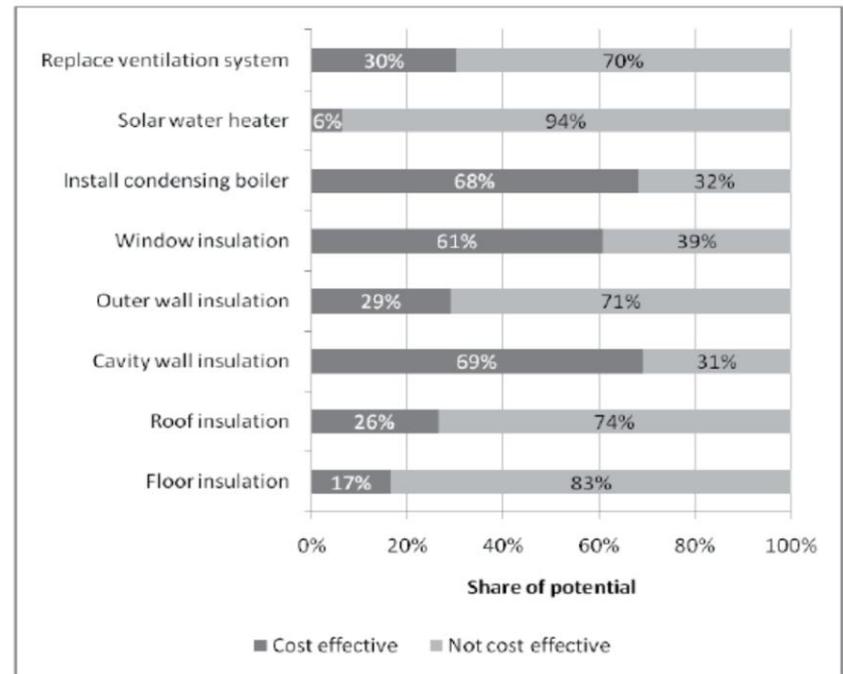
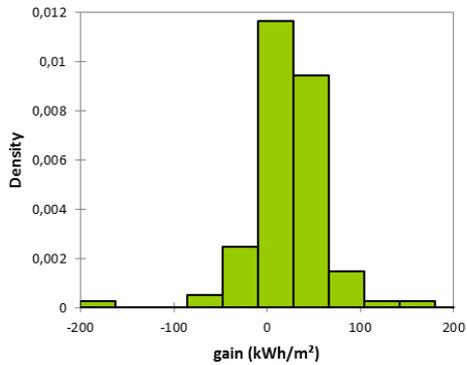


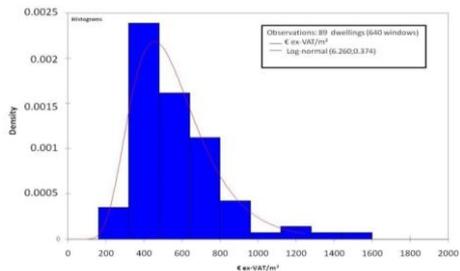
Figure 1: Percentage of the number of households where saving measures can be taken

Intégrer l'incertitude sous forme d'hétérogénéités

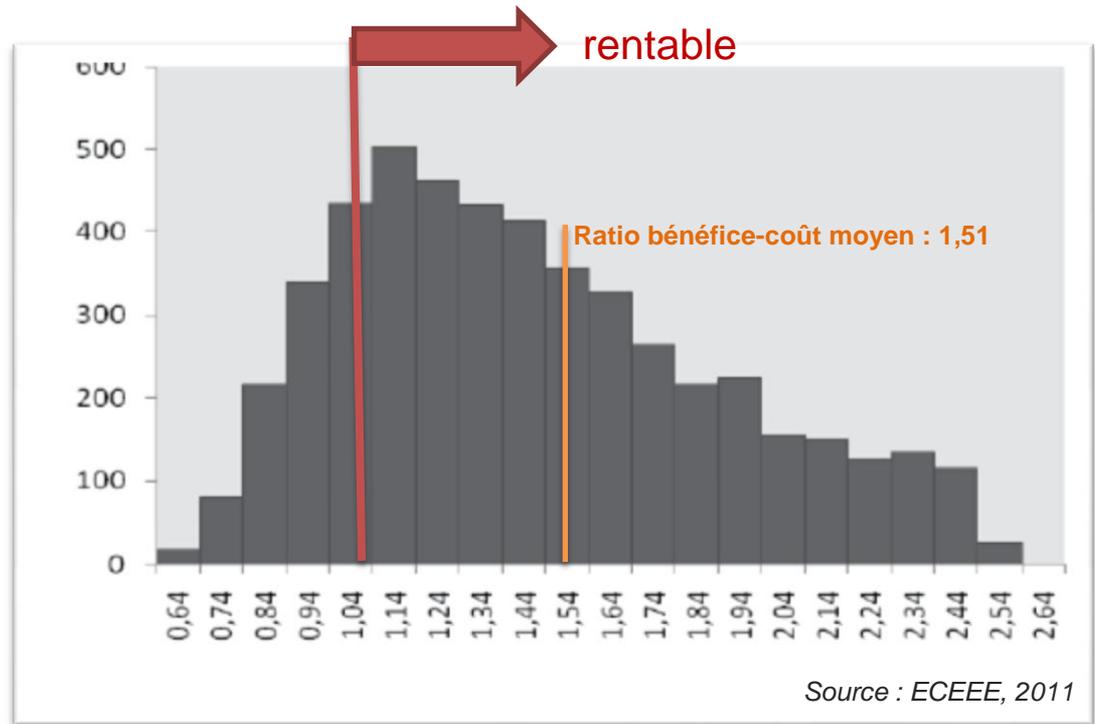
Économie d'énergie



Investissement

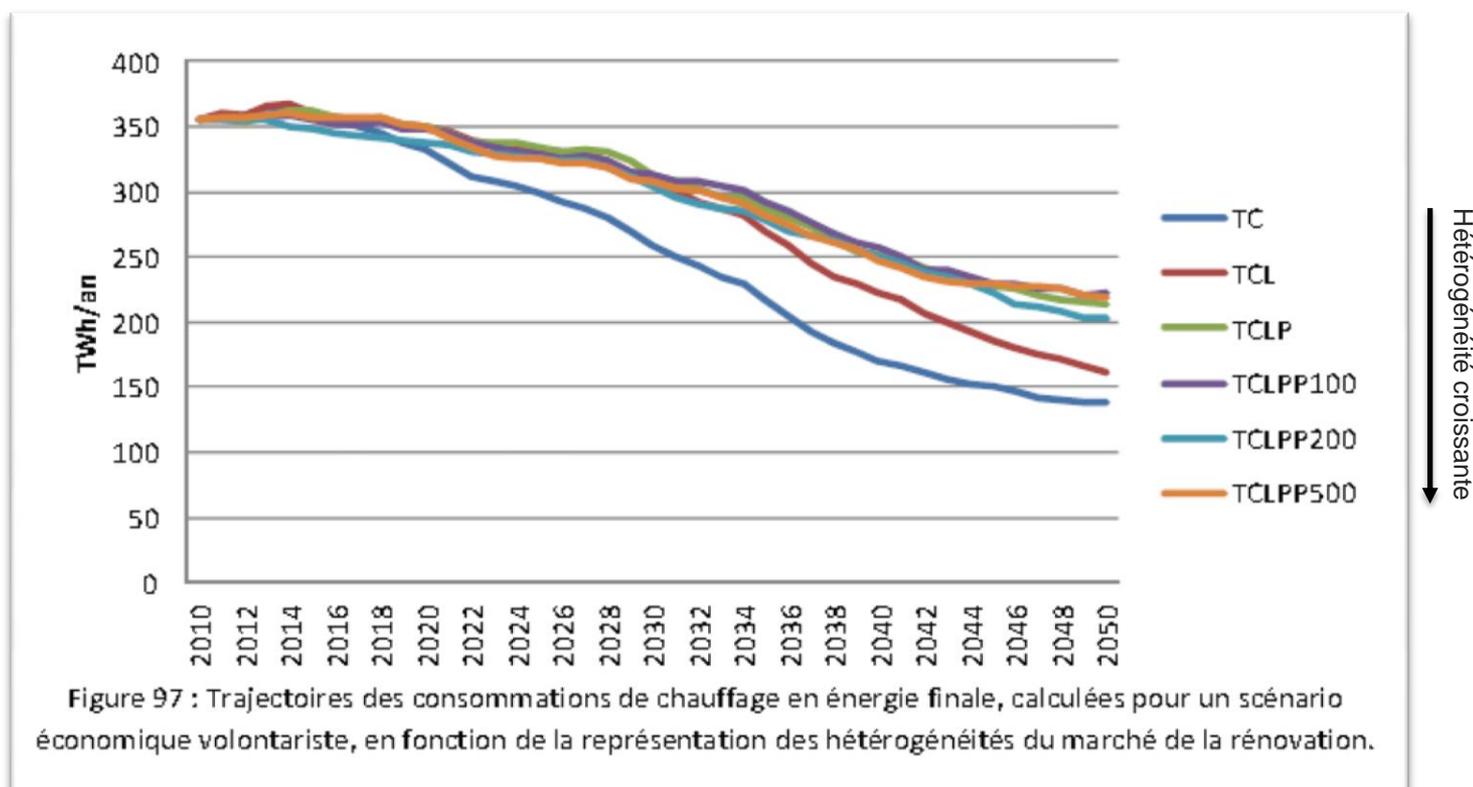


Calcul de rentabilité : ratio bénéfice-coût



Potentiel d'économie d'énergie

Impact des hétérogénéités sur la réduction de consommation de chauffage



Source : Allibe, 2012

Source des hétérogénéités :

TC : Technique et climatique

TCL : Technique, climatique et logique d'achat

TCLP : Technique, climatique, logique d'achat et prix des équipements pour une même performance

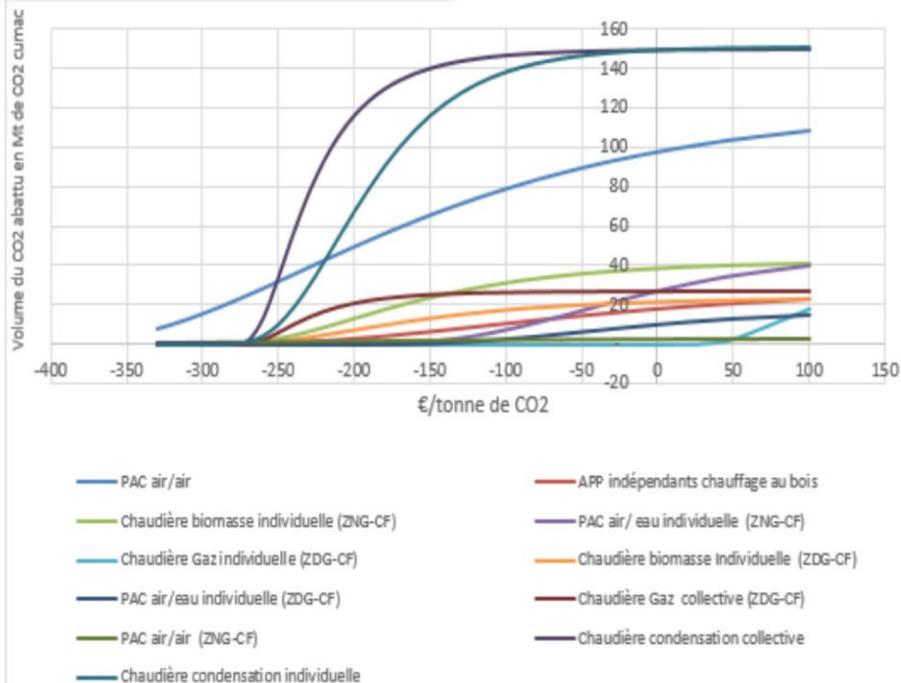
TCLPX : Technique, climatique, logique d'achat, prix des équipements pour une même performance, préférence des ménages

Cout d'abattement du CO₂

Potentiel à 2050 de réduction d'émission de carbone associé aux systèmes thermiques valorisés dans le dispositifs des CEE (bâtiments résidentiels)

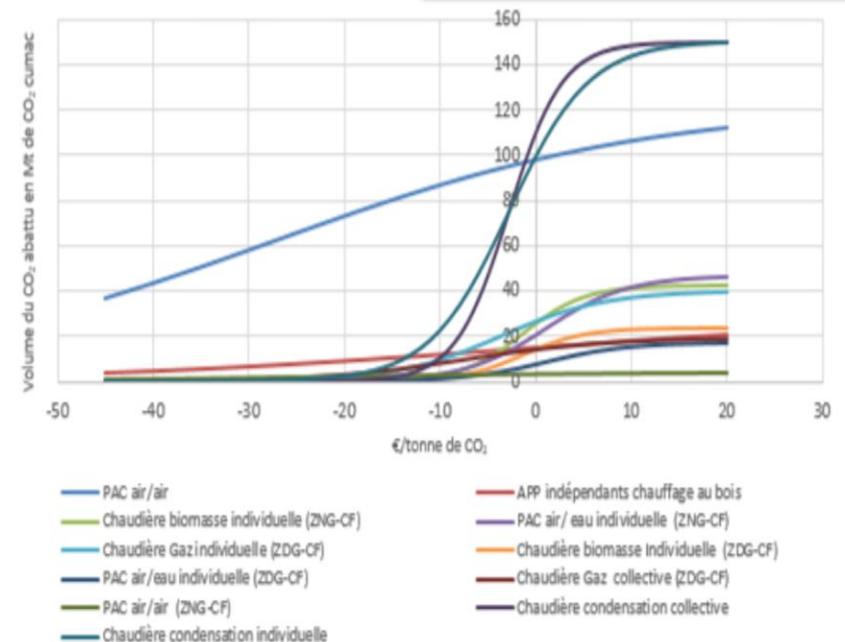
Hétérogénéité des **prix**

Potentiel à coût nul : 44,7 Mt/an



Hétérogénéité des **prix et** des **économies d'énergie**

Potentiel à coût nul : 38,8 Mt/an



Scénario A : la moyenne des économies d'énergie est issue des valorisations du dispositif CEE

Scénario B : La variation des économies d'énergie est intégrée à la moyenne issue du dispositif CEE



MERCI