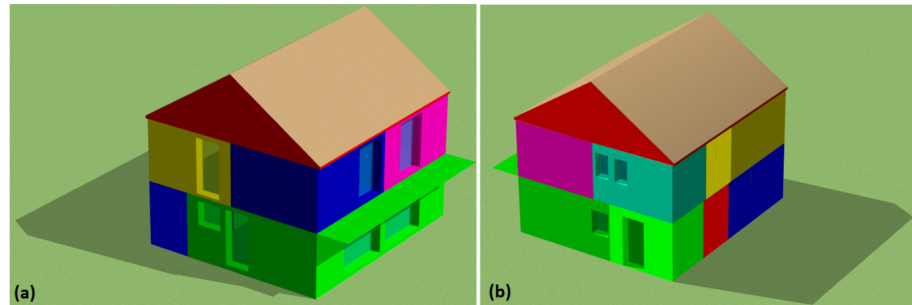


# La modélisation des comportements dans la simulation énergétique des bâtiments

Patrick SCHALBART  
MINES-ParisTech



## SOMMAIRE

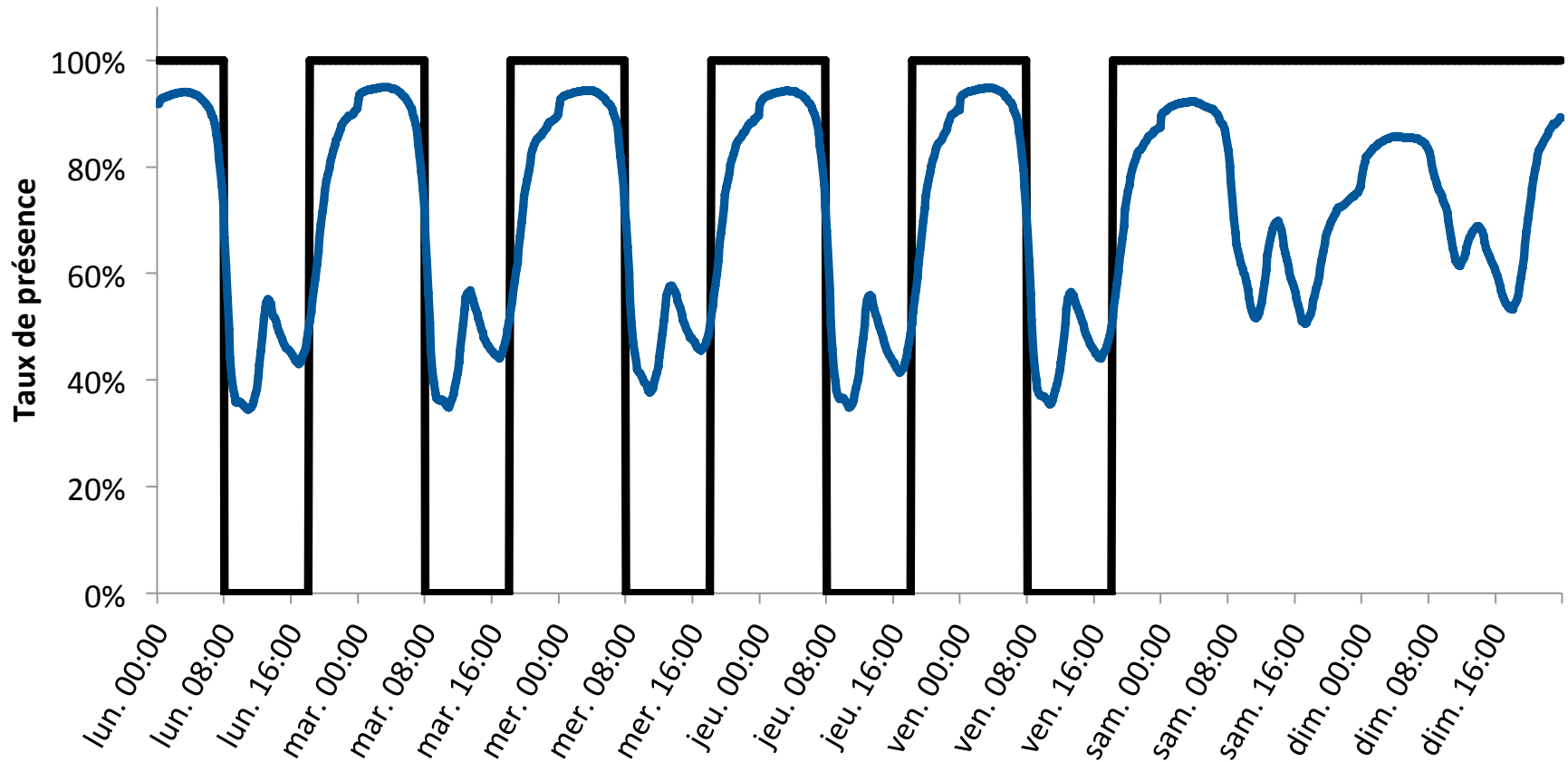
**ENJEUX - OBJECTIFS** | P.1

**MODELISATION** | P.6

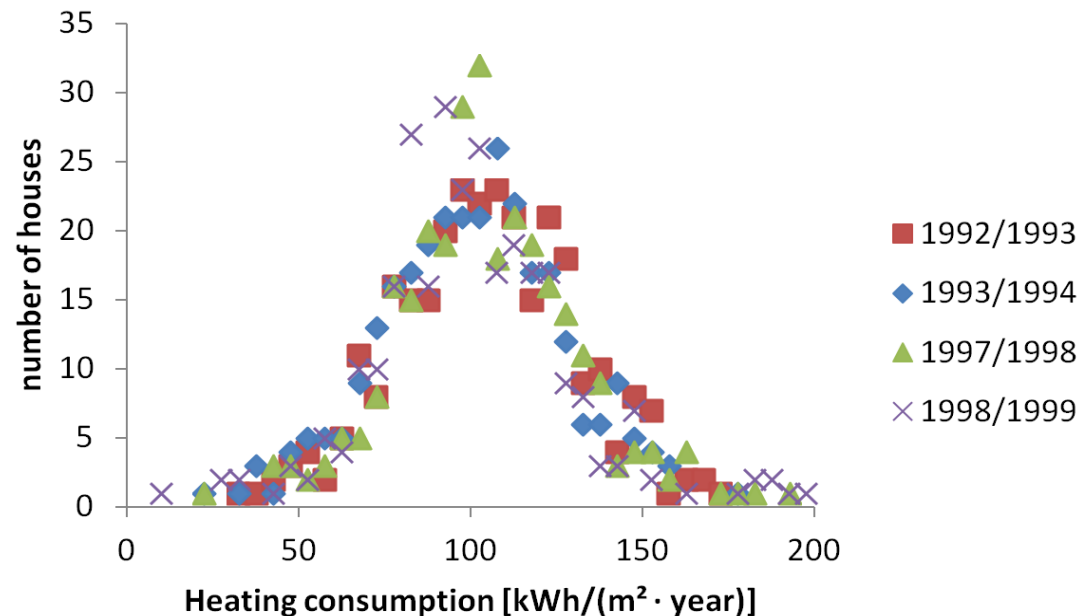
**RESULTATS** | P.21

**CONCLUSION - PERSPECTIVES** | P.22

# A quoi servent les data ?

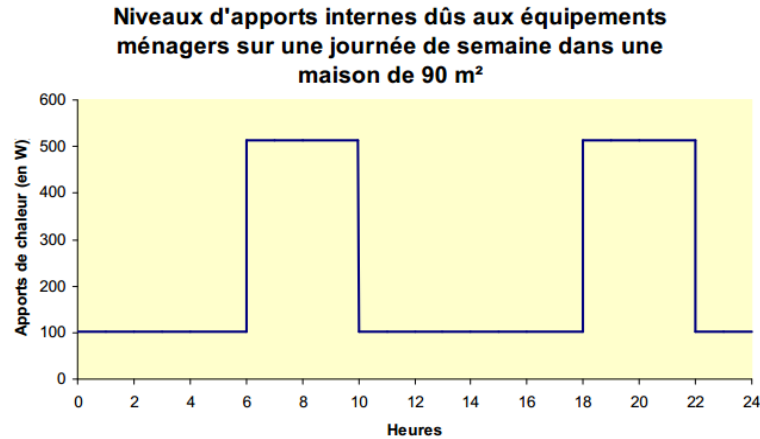


- Outils d'aide à la décision nécessaires pour la conception et la rénovation de bâtiments à faible consommation énergétique
- Utilisation des logiciels de STD pour prévoir les consommations futures
- Retours d'expériences : écarts significatifs entre prédictions et mesures
- Rôle-clé de l'occupation



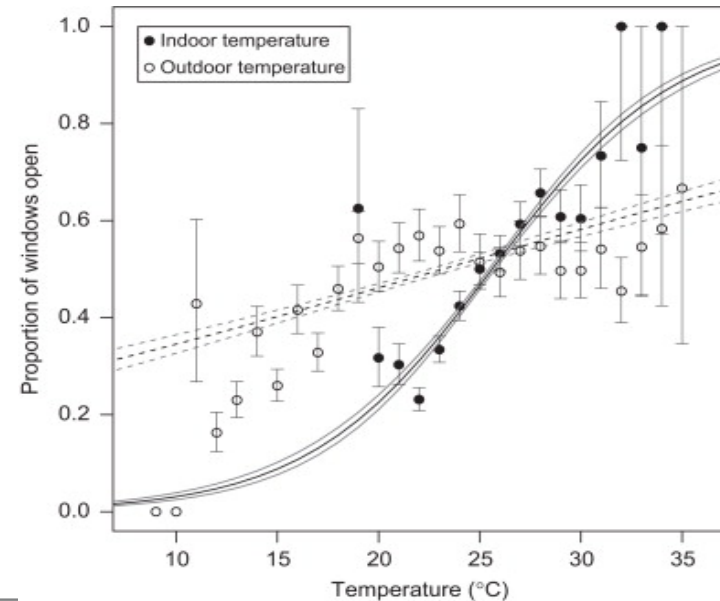
- Coupler une modélisation « complète » de l'occupation des bâtiments résidentiels et de bureaux à un outil de STD (*Pléiades+COMFIE*)
  - Influence des occupants sur la consommation énergétique
    - Présence
    - Ouverture des fenêtres
    - Gestion des dispositifs d'occultation
    - Utilisation de l'éclairage artificiel
    - Utilisation d'appareils électriques
    - Gestion des consignes de chauffage
    - Puisages d'ECS

- Remplacer les scénarios déterministes actuels



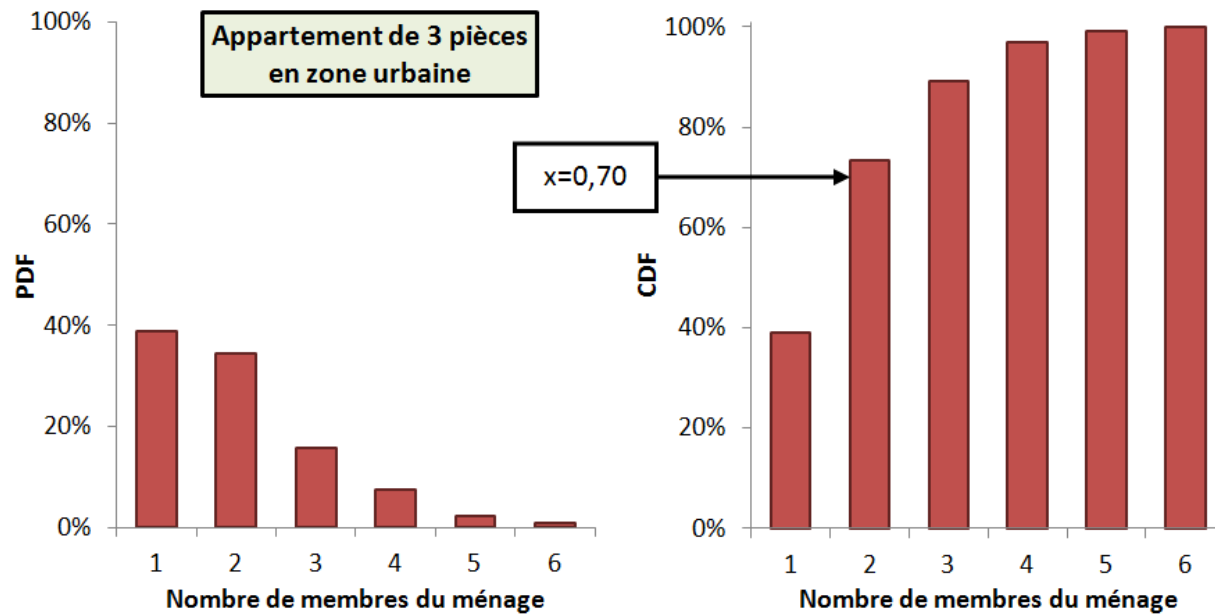
- Analyses de sensibilité des sorties de la STD aux entrées et paramètres des modèles d'occupation
- Quantifier l'incertitude sur les prédictions de la STD => GPE
- Proposer une méthodologie « fonctionnelle », diffusable aux utilisateurs courants des outils

- Modèles orientés agents basés sur le confort
  - Maximisation d'une fonction de confort, perception, apprentissage...
  - Incertitude intrinsèque des modèles de confort
  - Liens entre inconfort et actions construits par hypothèses
  - Comportements idéaux
- Modèles stochastiques statistiques
  - Lois de probabilités dérivées de mesures
  - Saisie implicite de phénomènes adaptatifs
  - Procédures de validation



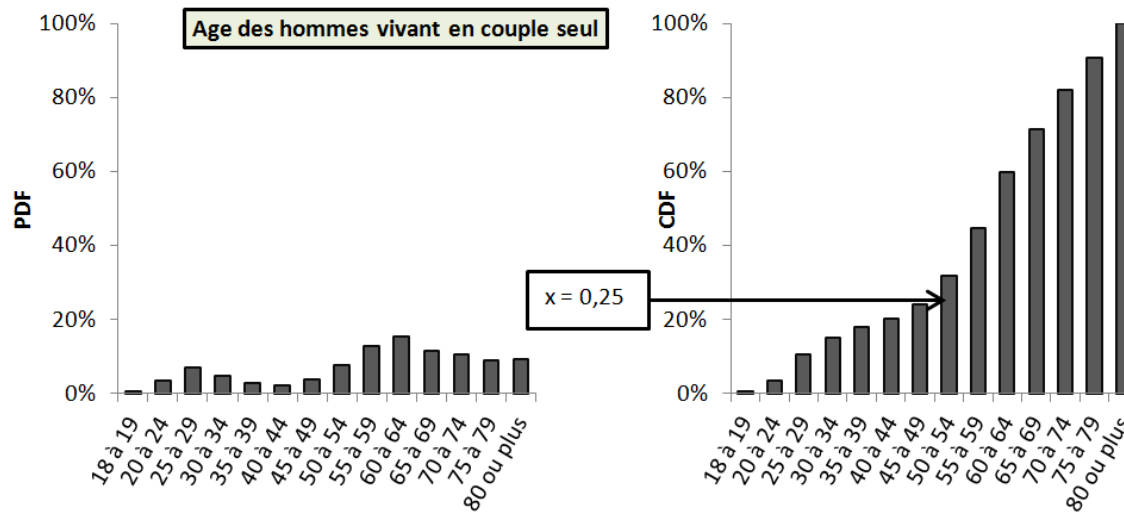
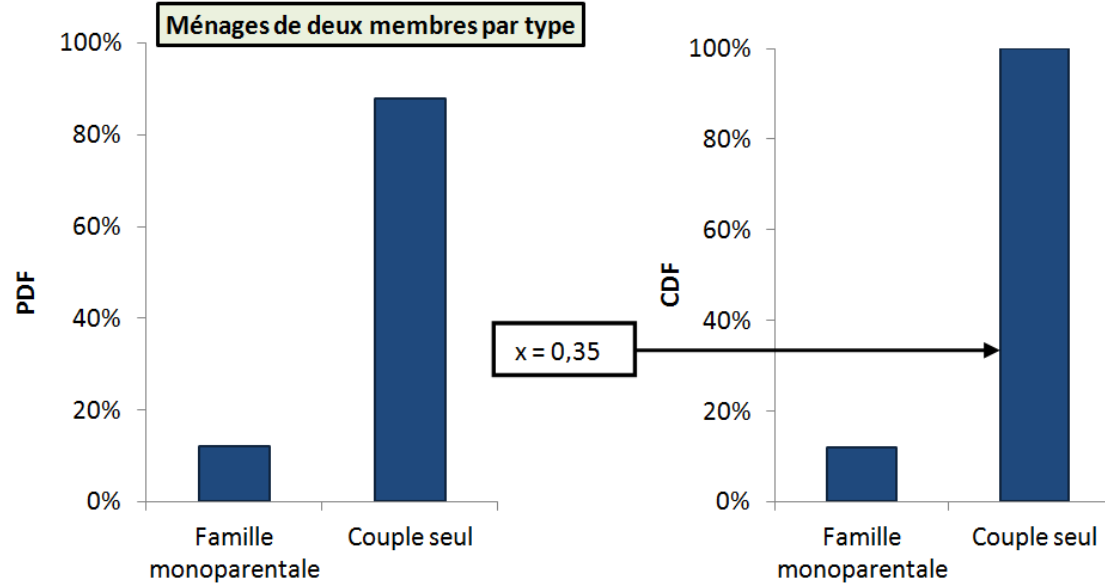
## Création des ménages (1)

- 21 caractéristiques par individu
- Corrélations => Détermination séquentielle
- Données du Recensement de la Population Insee (2009)



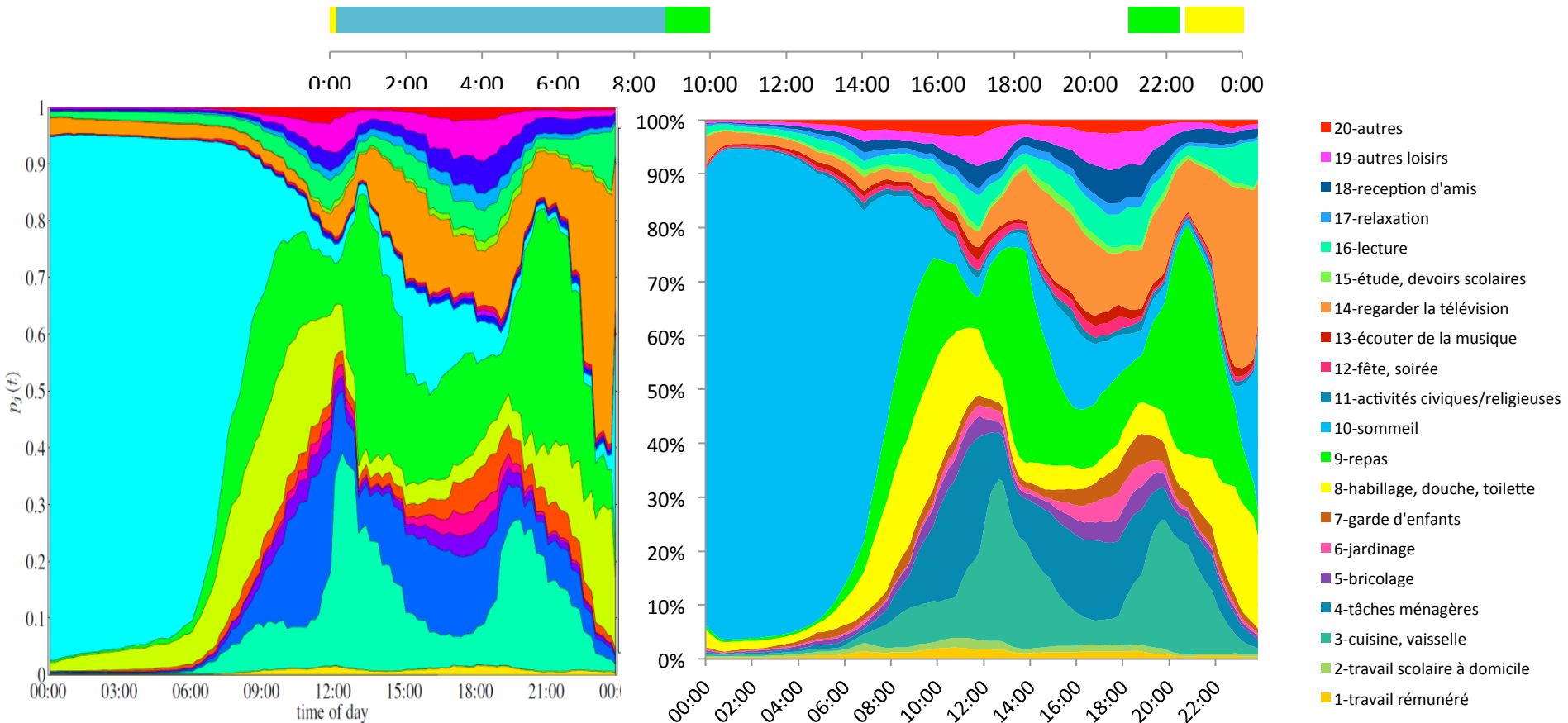


# Création des ménages (2)



# Génération des scénarios d'activités

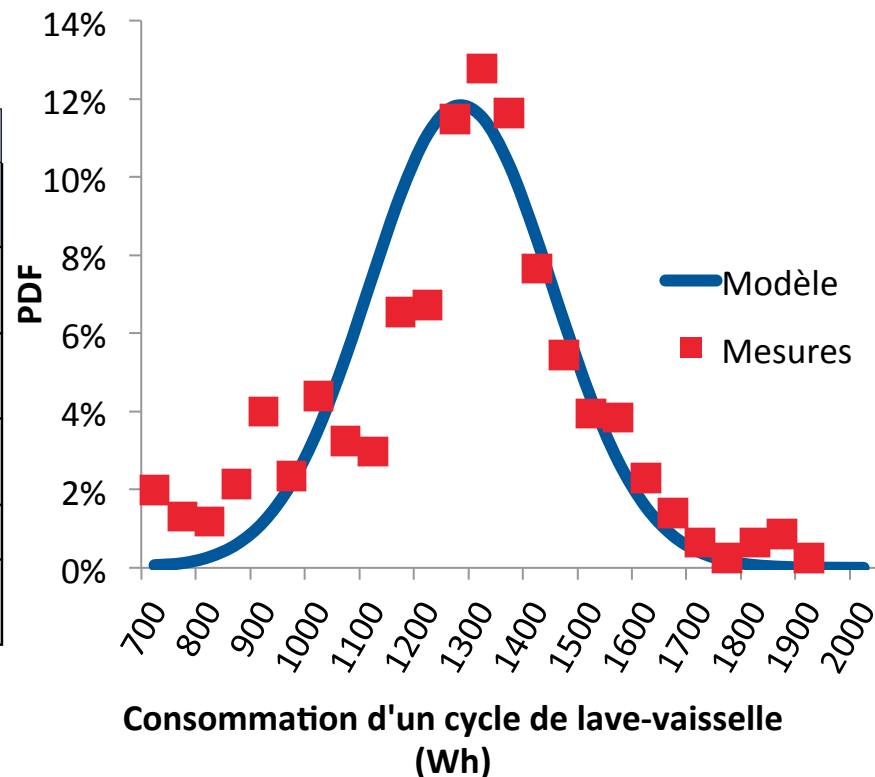
- Modèle détaillé basé sur une analyse statistique de l'EET 1999 (Wilke et al., 2013)
- Présence : Chaînes de Markov, modèle logit; Activités : modèle logit multinomial
- Probabilités de début des activités et durées des activités dépendent des caractéristiques socio-démographiques des individus



- Taux d'équipement : enquêtes Insee, données d'industriels
- Caractéristiques de fonctionnement : campagnes de mesures (Enertech, ADEME, EDF)

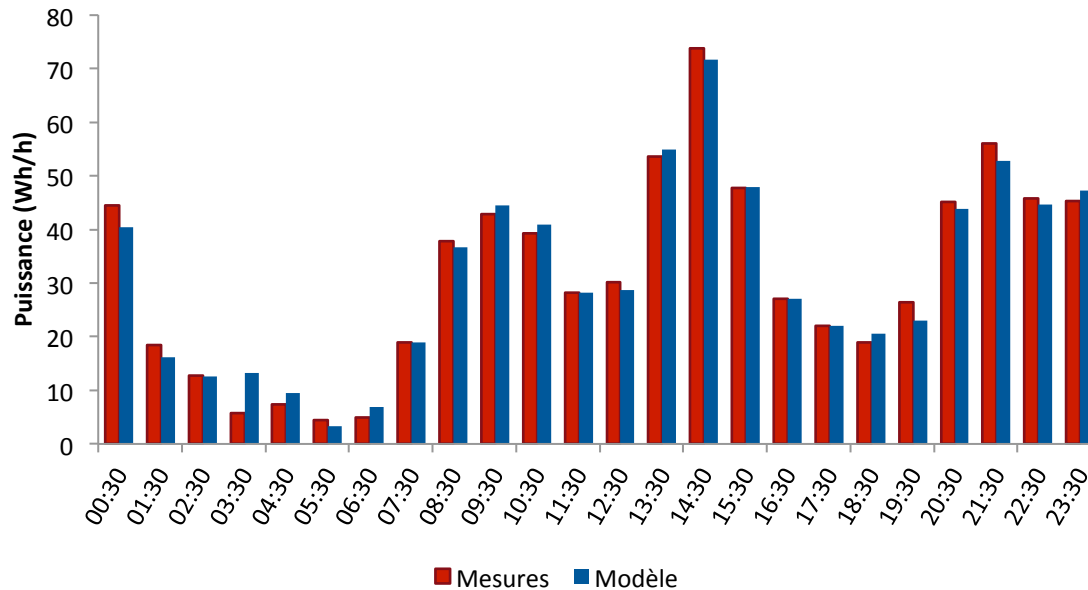
## ➤ Exemple des lave-vaisselles

Lave-vaisselle	Revenu du ménage			
	1er quartile (inférieur)	2ème quartile	3ème quartile	4ème quartile
Personnes seules	25%	30%	35%	40%
Couples sans enfants	60%	65%	70%	80%
Couples avec enfants	65%	80%	85%	90%
Autres ménages	45%	50%	50%	70%
Familles monoparentales	35%	45%	45%	55%

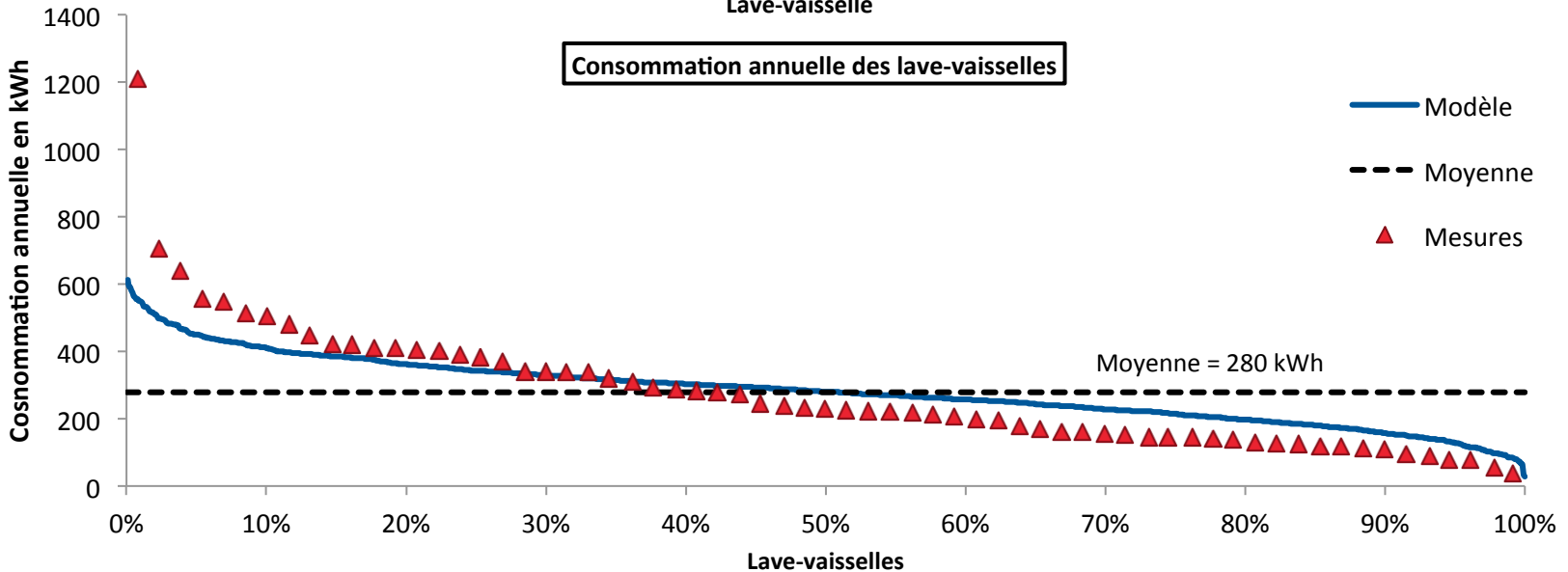
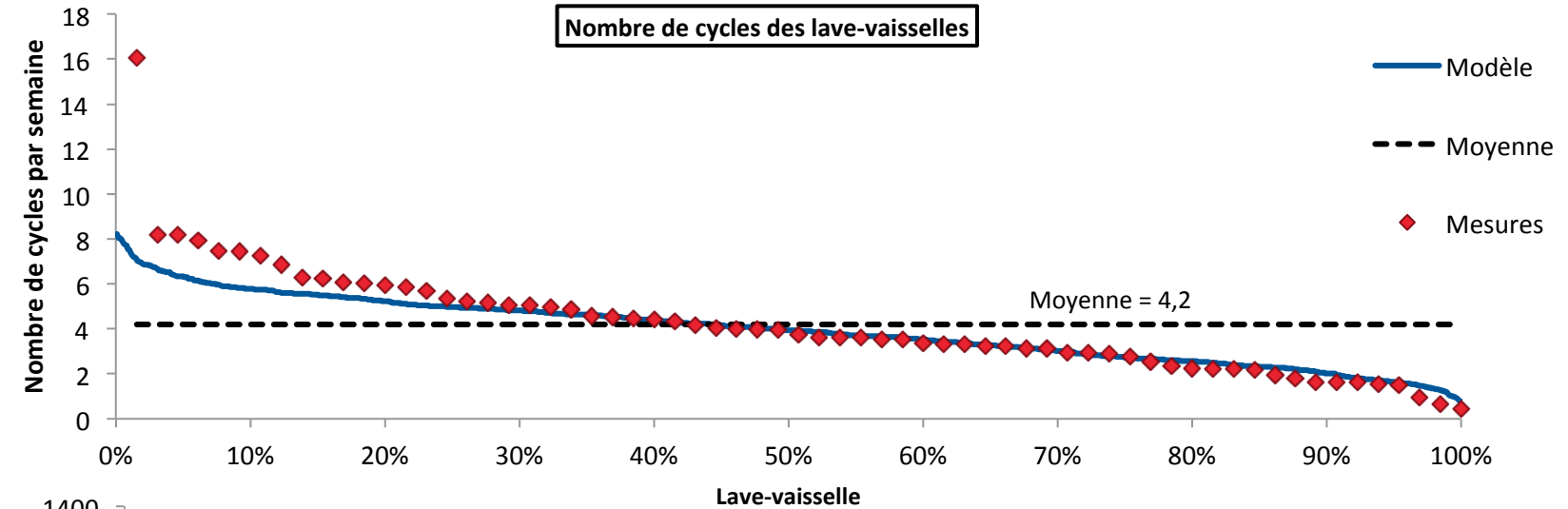


- Hypothèse : déclenchement possible à la fin d'un repas
- Objectif: minimiser l'écart entre simulations et mesures sur la courbe de charge journalière moyenne
- Calibrage des probabilités de déclenchement en fonction de l'heure

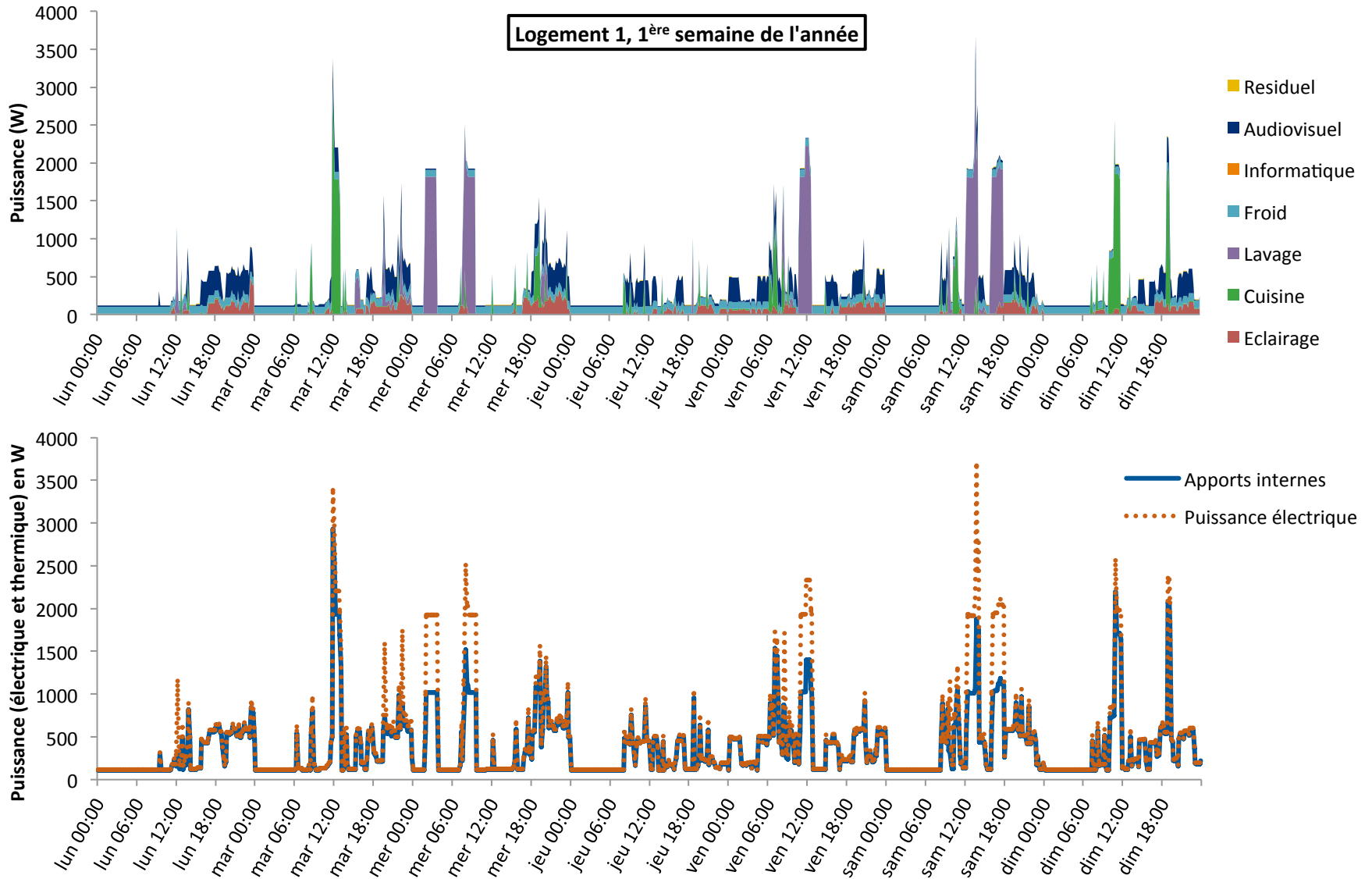
0h - 8h30	8h30 - 13h	13h - 14h	14h - 19h	19h - 21h	21h - 24h
0,10	0,16	0,22	0,17	0,25	0,15



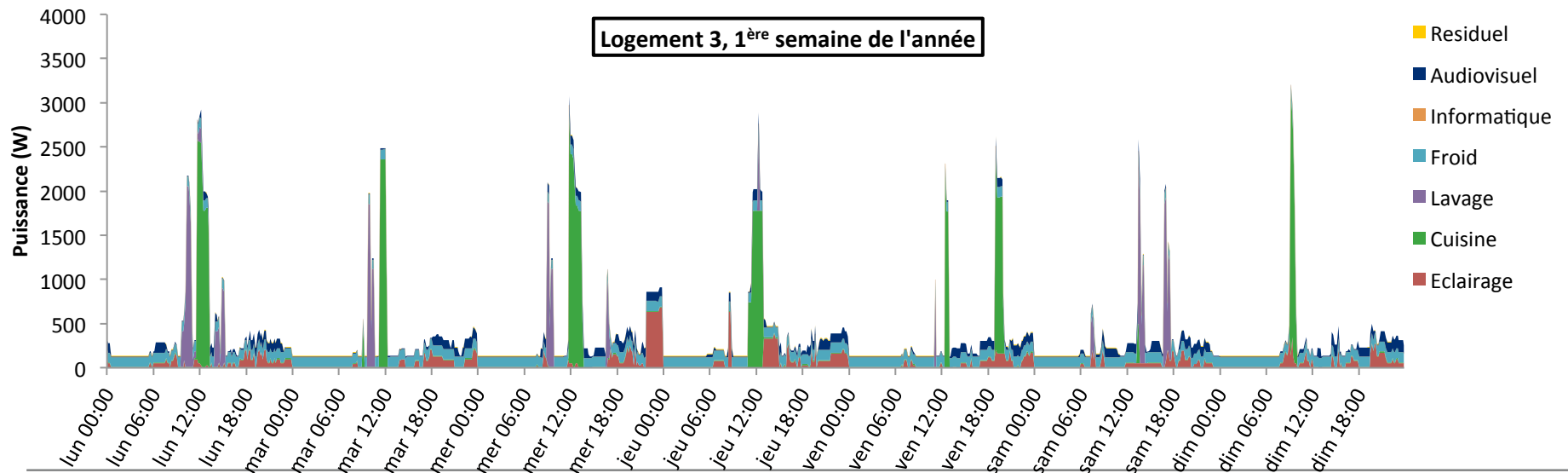
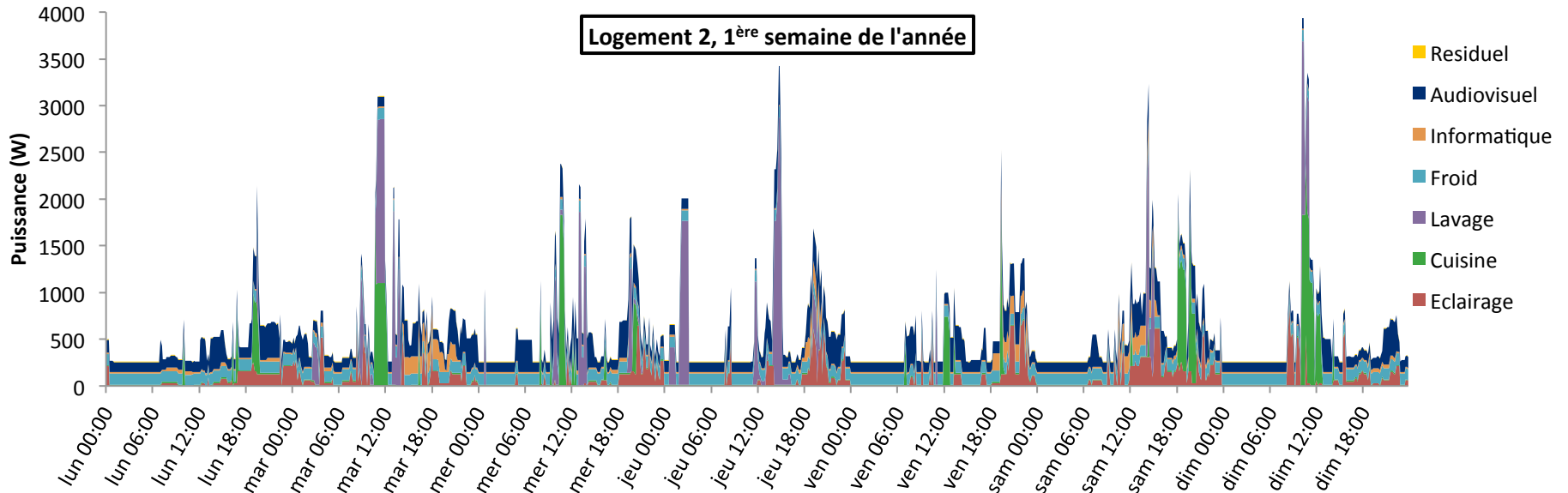
- Saisonnalité sur la puissance



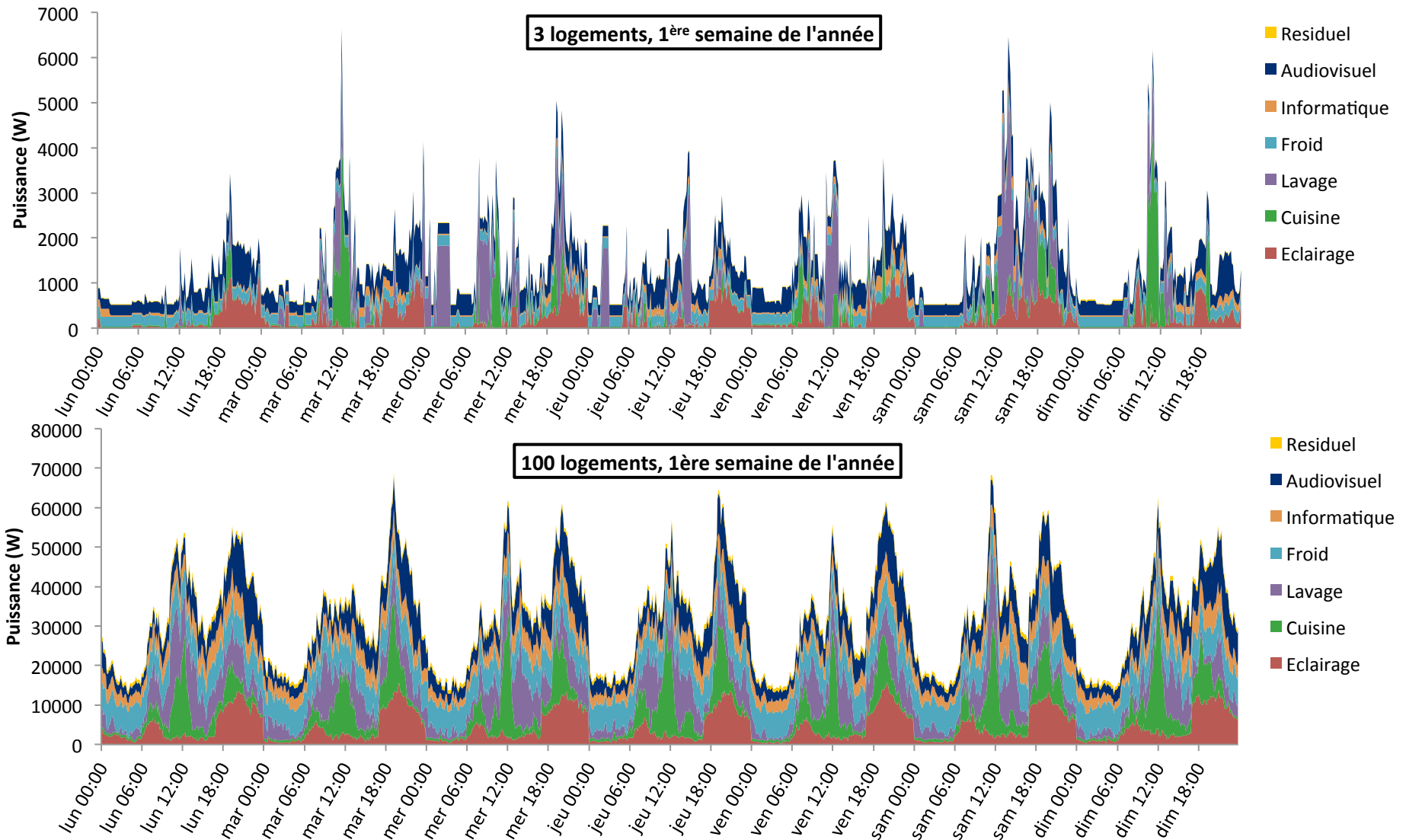
# Résultats du modèle d'utilisation des appareils électriques (1)



# Résultats du modèle d'utilisation des appareils électriques (2)

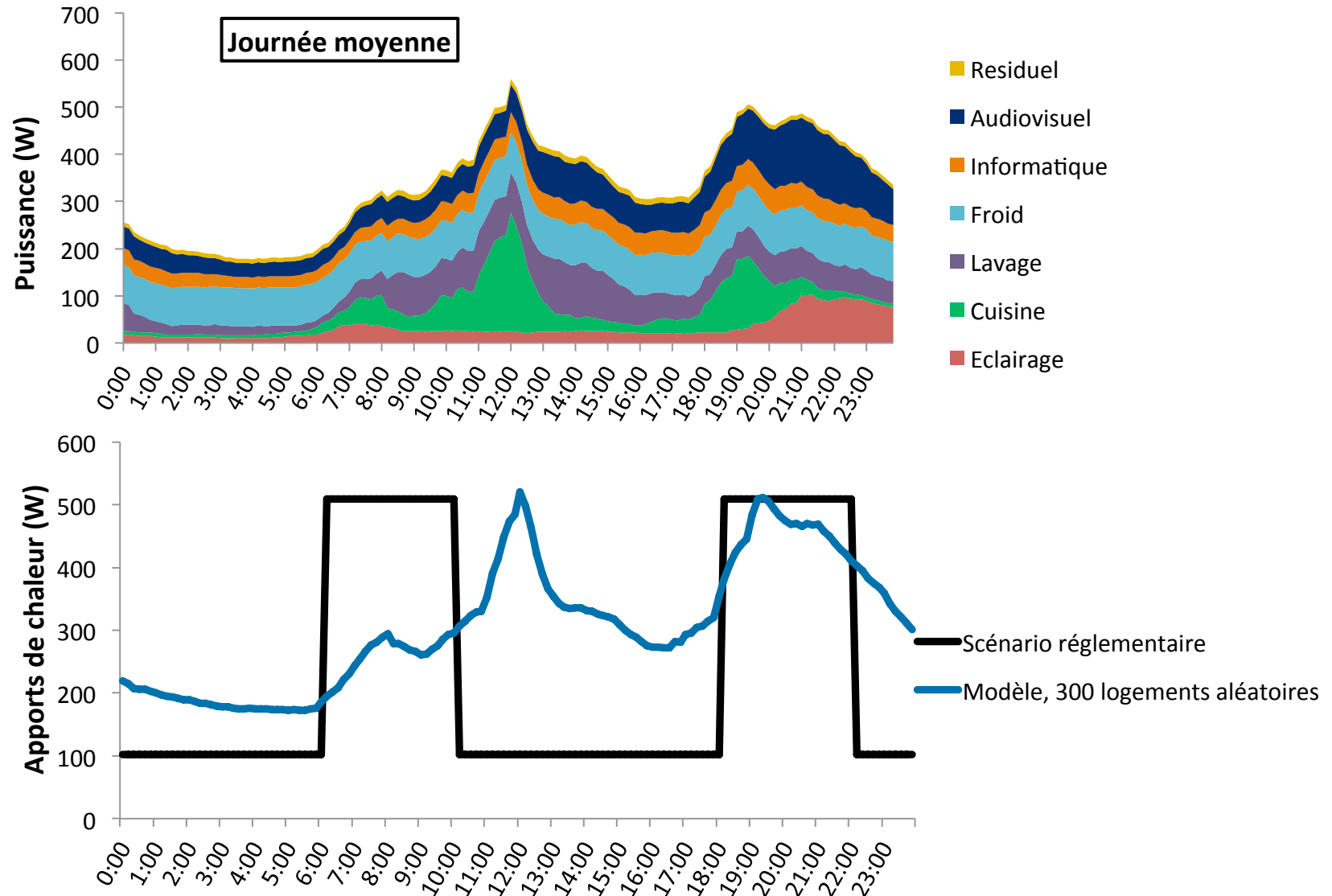


# Résultats du modèle d'utilisation des appareils électriques (3)

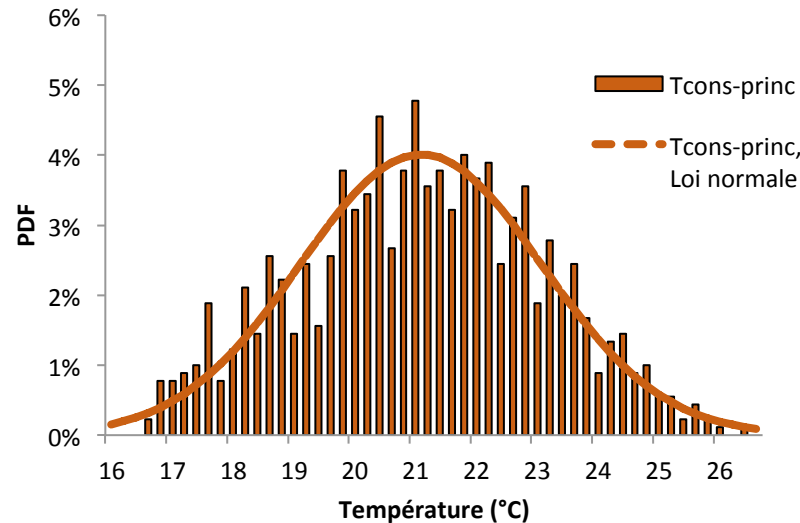




# Résultats du modèle d'utilisation des appareils électriques (4)

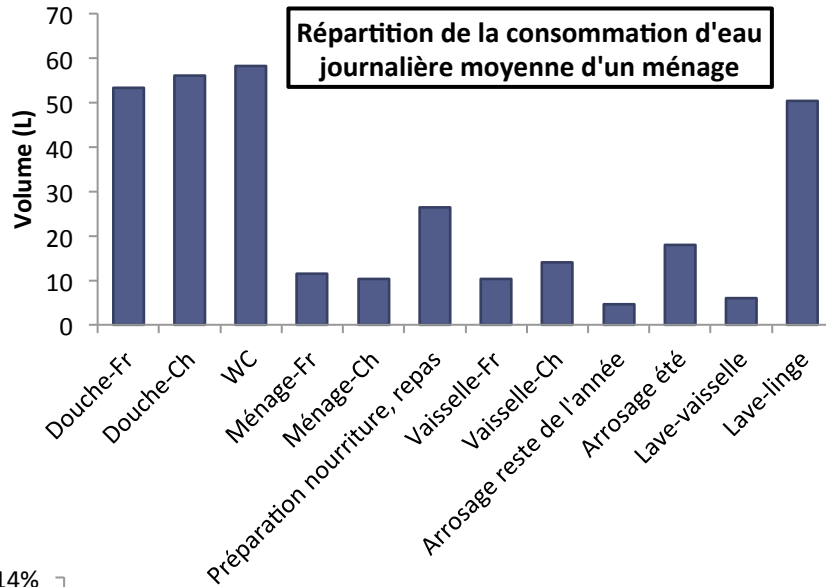


- Température dans les pièces principales, d'après des mesures : moyenne =  $21,1^{\circ}\text{C}$  ; écart-type =  $2^{\circ}\text{C}$

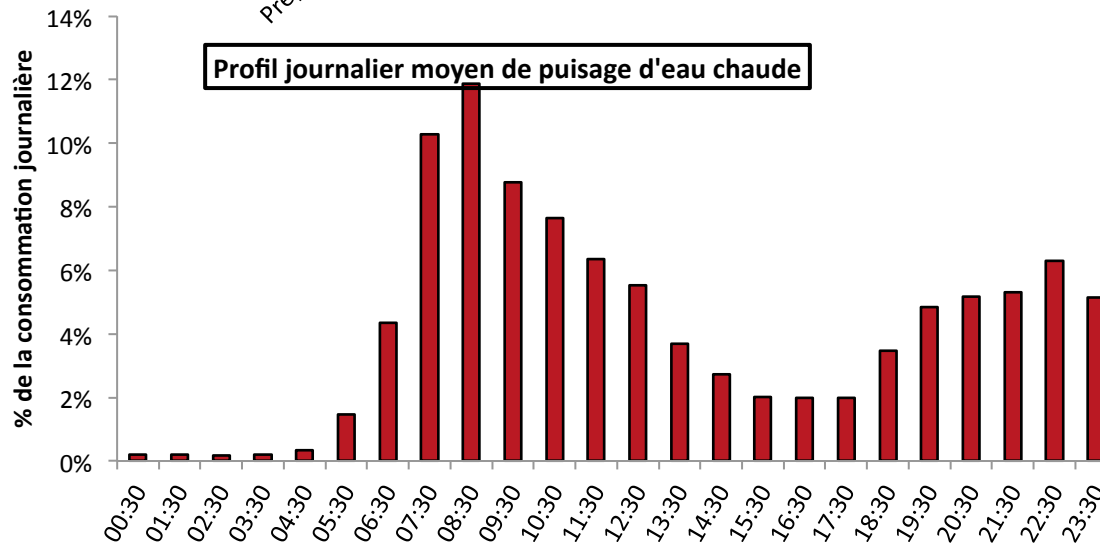


- Modification en fonction des caractéristiques du ménage (âge, charge des frais, genre) et des types des pièces
- Amplitudes et probabilités de réduits variables d'un ménage à l'autre

# Eau chaude sanitaire



– 50 L ECS/(pers.j) en moyenne, écart-type de 30 L



## Pré-process

Création de ménages virtuels pour chaque logement  
Chaque habitant défini par un jeu de caractéristiques

Génération des scénarios d'activité de  
chaque occupant (résolution de 10 min)

Peuplement en appareils électriques  
Description des cycles de  
fonctionnement des appareils

Simulation de l'utilisation des appareils électriques et de l'éclairage artificiel  
Simulation des puisages d'eau chaude et froide  
Génération de scénarios des consignes de chauffage  
Génération de scénarios d'occultation

Sorties du Pre-process:  
Pour chaque zone, scénarios annuels de présence et d'apports  
internes, de chauffage et d'occultations

## Simulation Thermique Dynamique

Gestion fenêtres

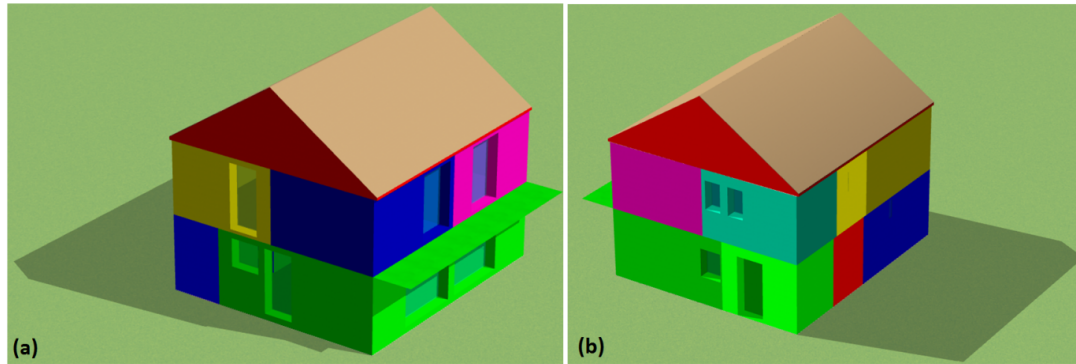
*Données climatiques,  $T^{\circ}$  zones*

Calcul thermique à  
chaque pas de temps  
(Modèle de bâtiment)

*Modification des débits d'air*

Répétition de  
la simulation  
complète  
(Monte Carlo)

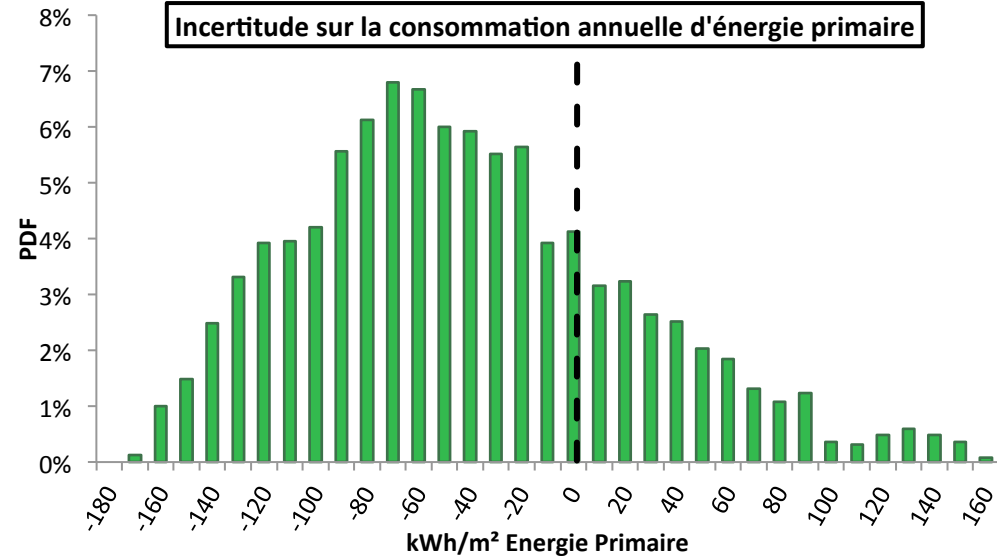
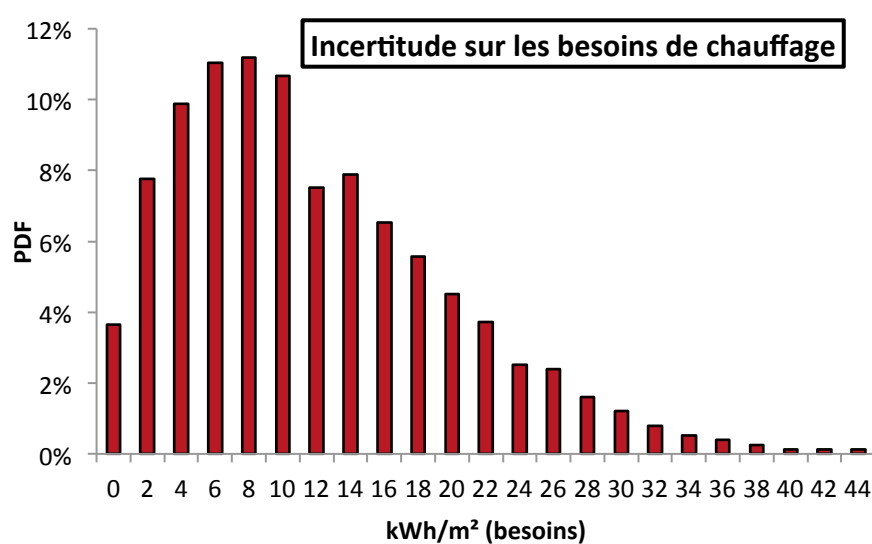
- Maison passive, photovoltaïque, solaire thermique



(a)

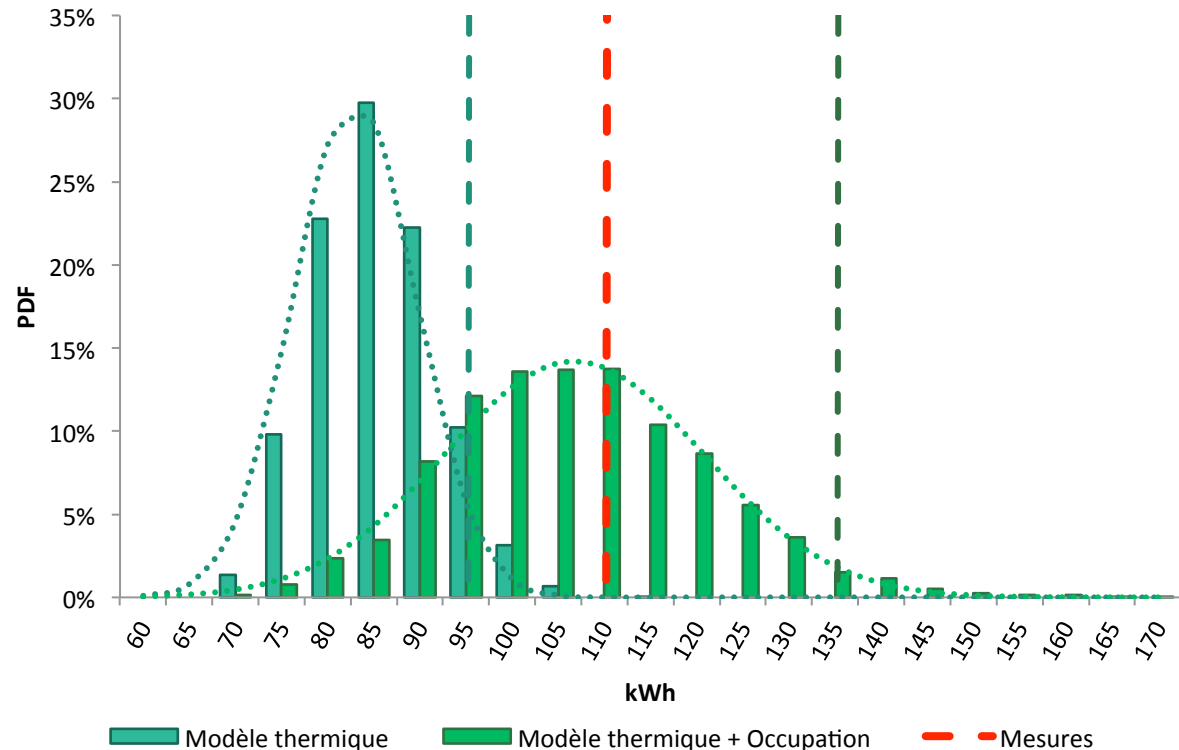
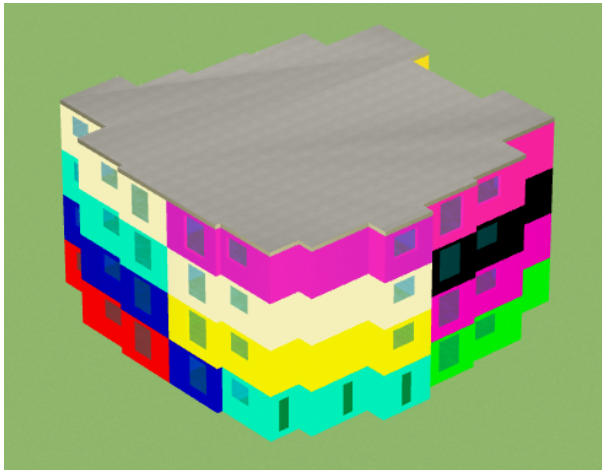


(b)

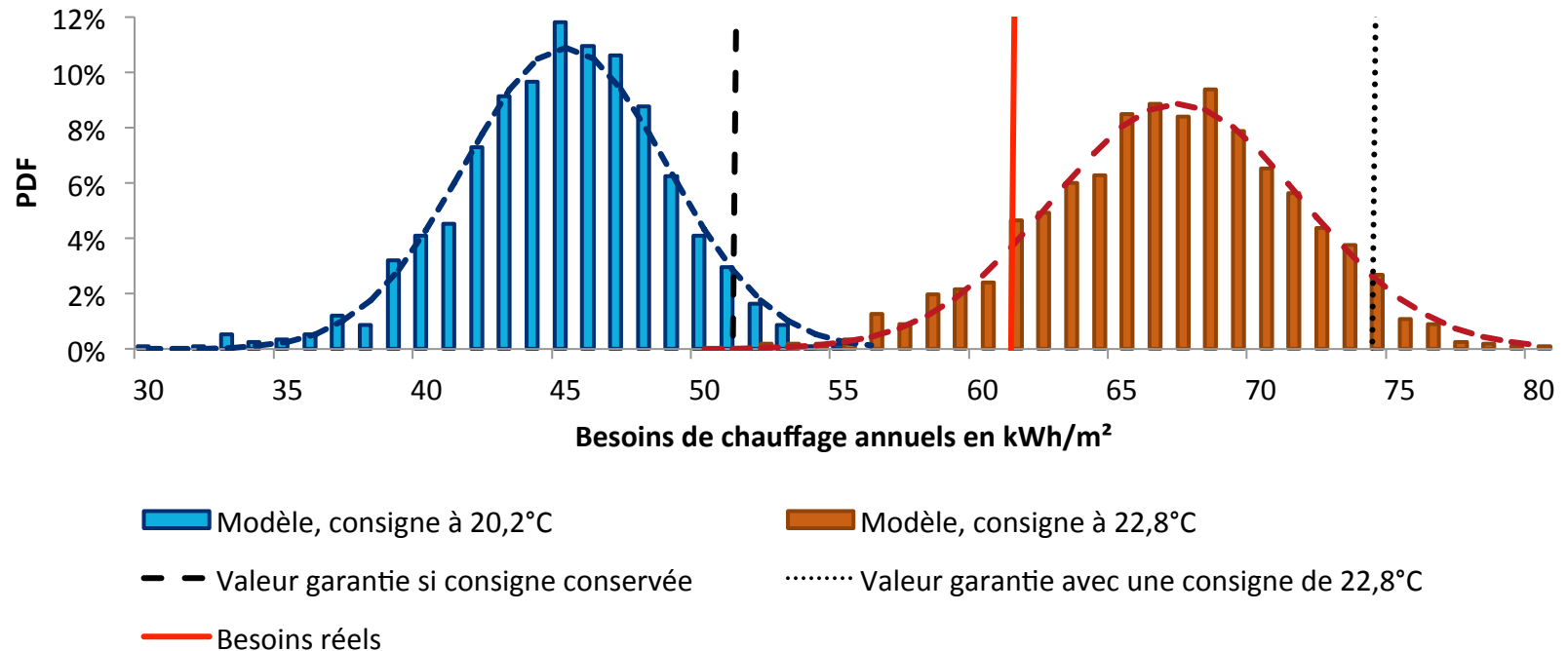


## Propagation d'incertitudes (2) Immeuble résidentiel rénové à Feyzin

- Garantie de performance énergétique (GPE). Objectif : prévoir consommations de chauffage et d'ECS après rénovation avec un intervalle de confiance
- Méthode de Monte-Carlo
- Facteurs incertains du modèle thermique (enveloppe, systèmes, climat) et incertitude sur l'occupation



- Améliorations, fiabilisation des modèles (à partir de données de comportement)
- Valider les modèles (à partir de données sur les consommations d'un grand échantillon de bâtiments)
- Resserrer l'intervalle de confiance
- Identifier les paramètres qui doivent être mesurés ou relevés au cours d'un audit
- Prendre en compte l'effet rebond



MERCI POUR VOTRE ATTENTION



# DIAPOS COMPLEMENTAIRES

Données utilisées	Utilisation dans les modèles	Type de bâtiment
Recensement et enquêtes Insee associées	Création ménages	Logements
EET Insee	Activités, présence	Logements et bureaux
Données CNAM	Présence	Bureaux
Enquêtes vacances Insee	Présence	Bureaux
Enquêtes équipement Insee	Attribution appareils	Logements
Rapports d'industriels		
Campagnes de mesures Enertech	Description appareils électriques	Logements et bureaux
	Déclenchement des appareils	Logements et bureaux
	Durées de fonctionnement des appareils	Logements
	Équipement éclairage	Logements et bureaux
	Déclenchement éclairage	Logements
Données Centre d'Information sur l'Eau	Volumes puisages d'eau	Logements
Campagne de mesures Projet SCHEFF	Volumes puisages d'eau	Logements
Mesures rapportées dans la littérature scientifique	Présence	Bureaux
	Ouverture fenêtres	Logements et bureaux
	Gestion occultations	Bureaux
	Gestion éclairage	Bureaux

Données inutilisées	Raison
Mesures Projet HOMES	Mesures difficilement exploitables (biais, dysfonctionnements capteurs etc.)
Mesures contacts feuillures et position volets (Enertech)	Manque de temps

Données souhaitées	Utilisation
Mesures présence bureaux (nombreuses)	Validation/recalibrage modèle
Mesures ouvertures fenêtres + présence + T° + météo (+ activités si possibles dans les logements)	Validation/recalibrage modèle
Mesures gestion occultations + présence + éclairement + T° + météo (+ activités si possibles dans les logements)	Validation/recalibrage modèle bureaux Développement modèle logement
Mesures consos élec logements : consos annuelles et courbes de charge	Validation modèle
Mesures consos appareil par appareil logements (éventuellement par identification des signatures à partir de la courbe de charge totale)	Validation appareil par appareil Eventuellement recalibrage
Mesures détaillées consos ECS	Validation profils puisage
Equipement éclairage bureaux et logements	Mise à jour modèles