

# Vers le développement de modèles prédictifs individualisés du confort thermique pour les logements connectés

Valentin Hoyet  
Marie-Lise Pannier  
Maxime Robillart  
David Rousseau



**IBPSA France**  
**Châlons-en-Champagne**

**19 et 20 mai 2022**

# Problématique

- Vers des logements plus confortables
- Pourquoi développer des modèles prédictif du confort thermique ?



## Echelle appartement

Modèle de confort individualisé



## Echelle résidentielle

Audit de confort

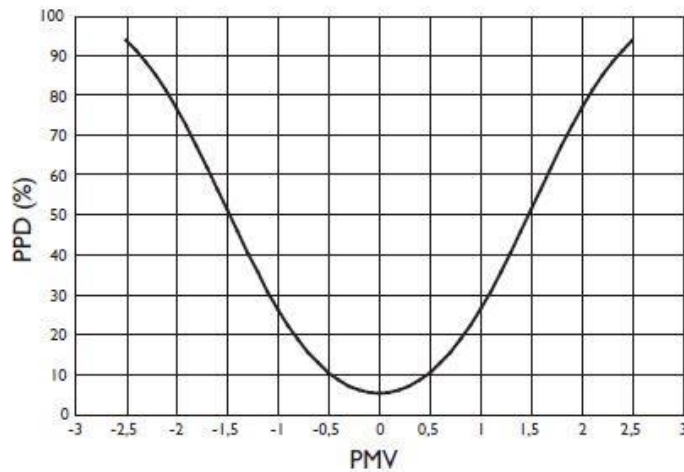


## Simulation thermique

Améliorer les modèles existants

# Les limites actuelles des modèles de confort thermique

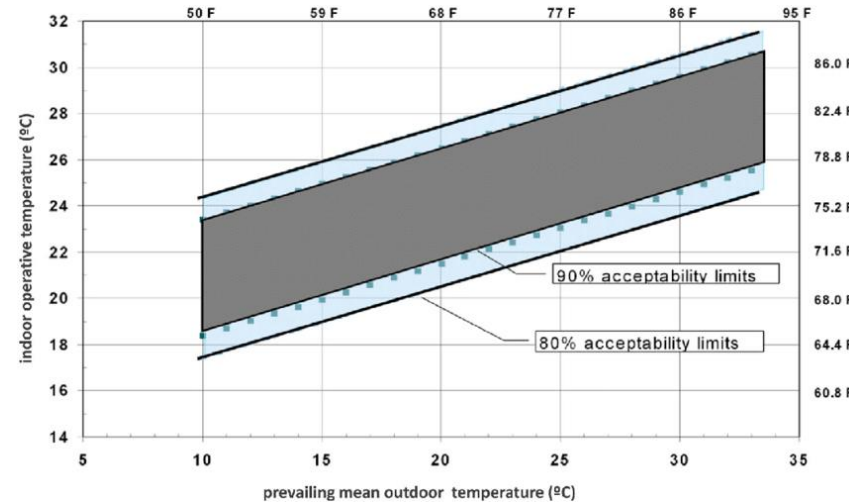
## Modèle de Fanger



$$PMV = (0,303 e^{-0,036M} + 0,028)L$$

- $M$  : Activité métabolique,  $W/m^2$
- $L$  : Écart dans le bilan thermique entre chaleur produite et chaleur cédée,  $W/m^2$

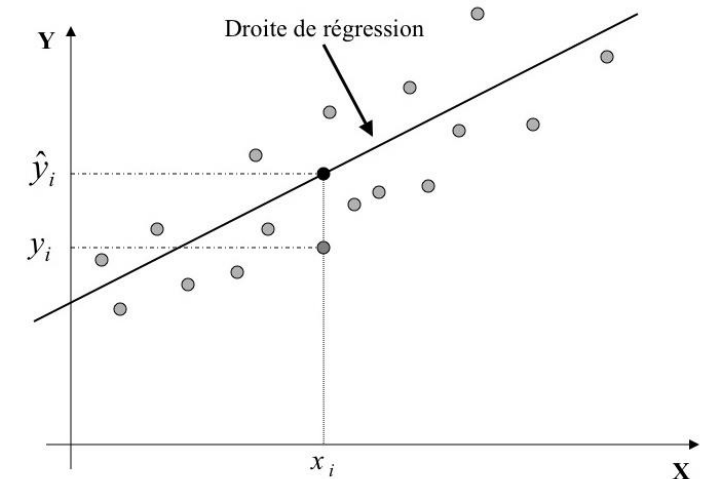
## Modèle adaptatif



$$T_n = a T_{ext} + b \quad (1.5)$$

- $T_n$  : Température de neutralité ou température de confort optimal, °C
- $T_{ext}$  : Température extérieure, °C
- $a$  : Constante, sans unité
- $b$  : Constante, °C

## Modèle prédictif



$$y_i = \beta x_i + \varepsilon_i$$

- $\beta$  : Vecteur de paramètres
- $x_i$  : Vecteur de variables explicatives
- $\varepsilon_i$  : Erreur

- 
- Thermal Comfort
- Energy Building
- Machine Occupant
- Model
- Human Feedback
- Temperature
- Residence Psychological
- Social Learning
- Sensation Messaging
- Smart Homes Heat
- User Algorithms
- Interface Behaviour
- Parameters Vote
- Preferences Air
- Physiological Environment



# Etude de cas

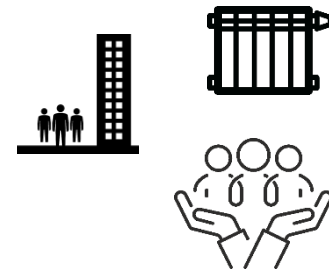
## ➤ Objectif :

- **Confort été et hiver**



## ➤ Cible :

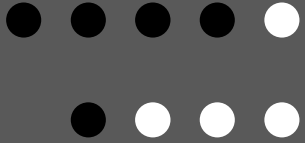
- Logement en chauffage collectif
- Radiateur à eau chaude et robinet thermostatique
- ~40 logements par résidence
- Résidences dans toute la France



## ➤ Mesures :

- 2 capteurs de température et d'humidité par logement
- Température et humidité extérieure
- Mesures toutes les 30 minutes





# La collecte de ressenti

## ➤ Echelle de confort :

+3	hot
+2	warm
+1	slightly warm
0	neutral
-1	slightly cool
-2	cool
-3	cold

## ➤ QCM écrit :

- En laboratoire



## ➤ Formulaire en ligne :

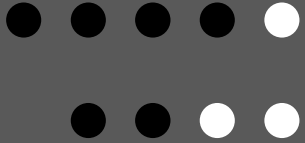
- Pas d'intervention
- Sensibilisation



## ➤ Montre connectée :

- Capteur
- Intrusif





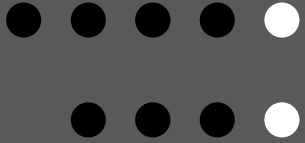
## Les variables prises en compte dans la littérature

### Variables mesurables

- Qualité de l'air
- Vitesse de l'air
- Humidité
- Température ambiante
- Température radiante
- Température de la peau
- Heure de la journée

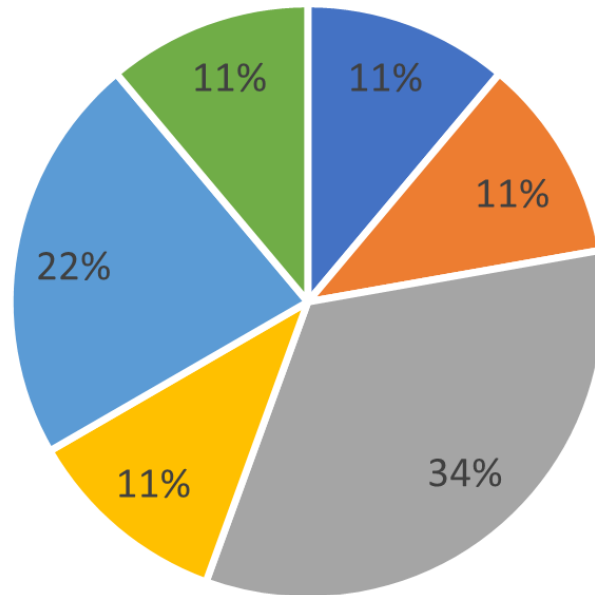
### Variables non mesurables

- Genre
- Age
- Localisation
- Activité
- Habillement
- Climat et habitude de vie
- Satisfaction avec le logement



# Les algorithmes de traitement des données

## Algorithmes les plus performants



■ Algorithme évolutionnaire ■ Réseau Bayésien ■ Random Forest  
■ Bagging ■ SVM ■ K-Mean

➤ *Random forest*

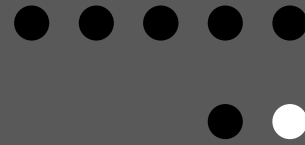
➤ ⚠ Dépend des données

➤ *Deep learning ?*



# Les métriques d'évaluation de la performance des modèles

Référence	Objectif du modèle	Modèle	Métrique d'évaluation	Résultats	Durée   Fréq. questions   Nb. occupants	Nb. lignes   Nb. variables
(Liu et al. 2018)	Préférence thermique	Random forest	Précision	0.75	14 jours   12/jour   20	300   11
(Wu et al. 2018)	Sensation thermique	Bagging	Erreur absolue moyenne	0.75	2 mois   1 fois   800	800   10
(Wu et al. 2018)	Sensation thermique	Réseau de neurone	Erreur absolue moyenne	0.76	2 mois   1 fois   800	800   10
(Wu et al. 2018)	Sensation thermique	Support vector machine	Erreur absolue moyenne	0.79	2 mois   1 fois   800	800   10
(Farhan et al. 2015)	Sensation thermique	Support vector machine	Précision	0.77	Non précisé	1000   7
(Chaudhuri et al. 2017)	Sensation thermique	Support vector machine	Précision	0.80	Non précisé   1 fois   250	250   9



# Pré-traitement des données pour l'apprentissage automatique

- Peu de réflexion *machine learning* dans les articles :

Variables

Algorithmes

Métriques

Ø *Feature engineering*

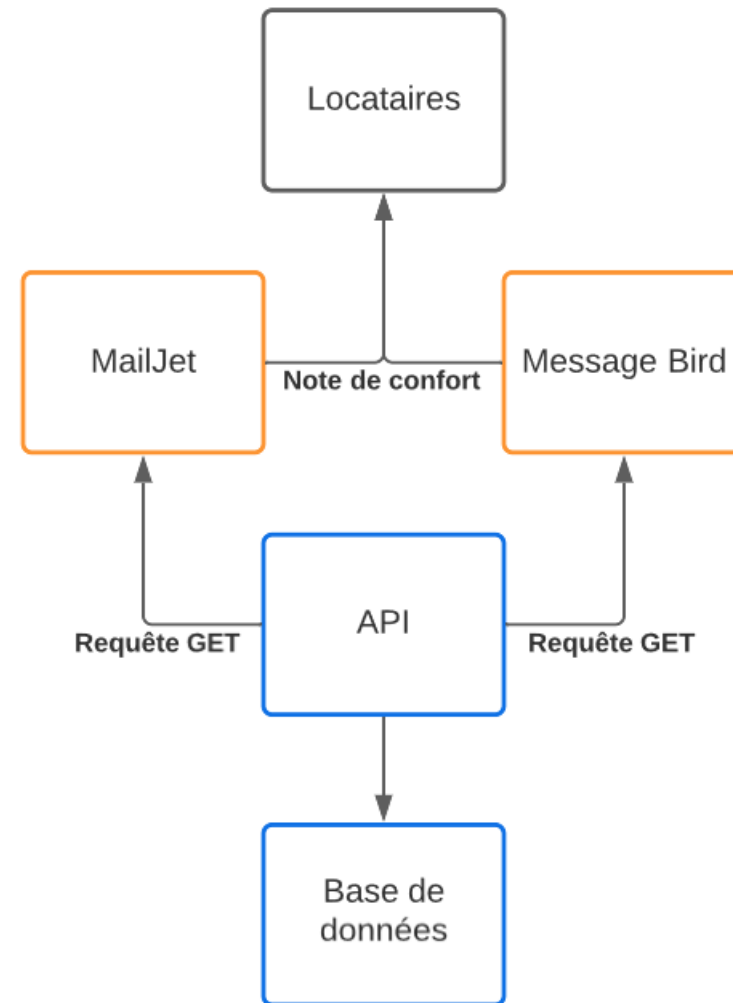
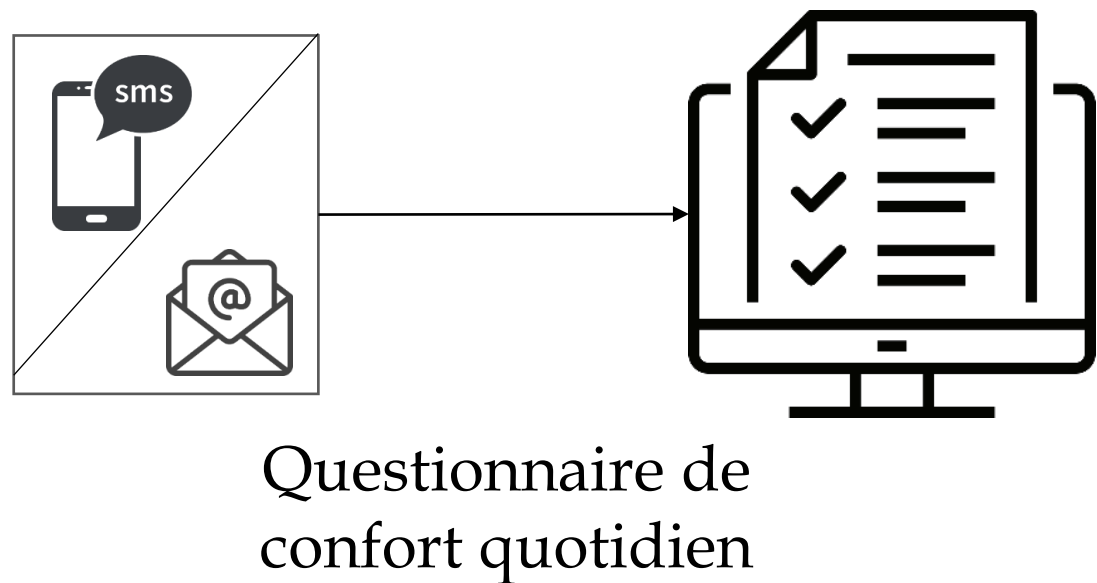
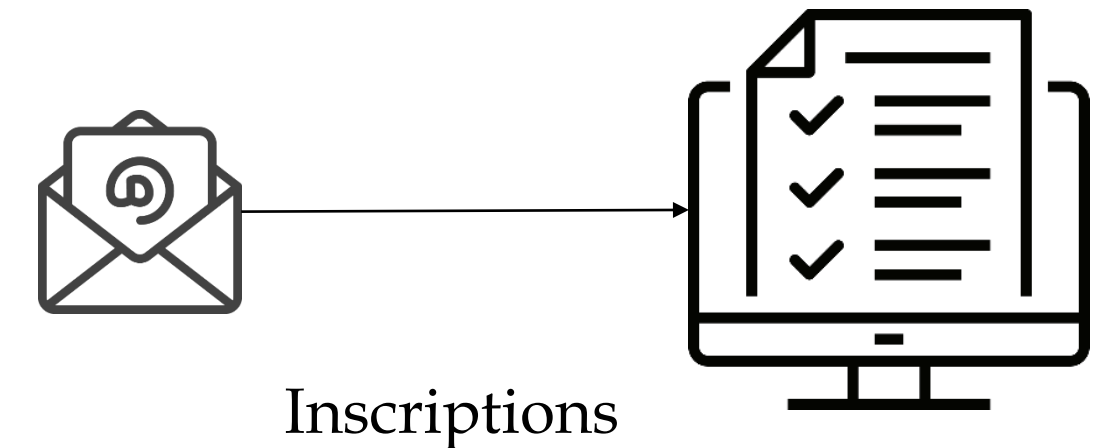
Ø Série temporelle

- Autant de mesures que de notes de confort :

- Labélisation des mesures peu fréquente

Horaire	Température	Humidité	Age	Genre	...	Note de confort
11h00	20°C	50%	33	M		?
11h30	22°C	47%	33	M		?
12h00	21°C	47%	33	M		4/5

# Récolte de données pour le cas d'étude



# Conclusion

- L'article propose un état de l'art sur :
  - Les variables pour prédire le confort thermique ;
  - Les algorithmes pour prédire le confort thermique ;
  - Les collectes du ressenti des occupants.
- Peu d'études dans les logements
- Le projet CoLoC essaye de pallier ce manque
- Amélioration du prétraitement des données
- Récolte de données qui dure dans le temps

# Remerciements

Merci pour votre attention

