



# Etude expérimentale et numérique de l'impact de la rénovation des comportements énergétiques sur le confort d'été :

vers une application aux programmes de rénovation à  
l'échelle d'une métropole.

**ESTAY Lucas**

17/11/2023

lucas.estay@insa-toulouse.fr

## Encadrement :

- GINESTET Stéphane
- BONHOMME Marion
- OMS Claire

# 1

## Le projet de thèse

### Bibliographie :

- *Adelaide Mailhac. Contribution au développement d'une méthodologie d'évaluation environnementale aux échelles urbaines. Manuscrit de These. Institut National des Sciences Appliqués de Toulouse, 2021.*
- *Marion Bonhomme. Contribution to the generation of multiscalar and evolutionary databases for a multidisciplinary approach to urban energy, s. d.*
- *Nathalie Tornay, Marion Bonhomme, Serge Faraut. « GENIUS, a methodology to integer building scale data into urban microclimate and energy consumption modelling ». Project: MAPUCE - Conference: ICUCAT : 12th Symposium on the Urban Environment, 2015.*

# Sommaire

**Contexte  
Introduction**

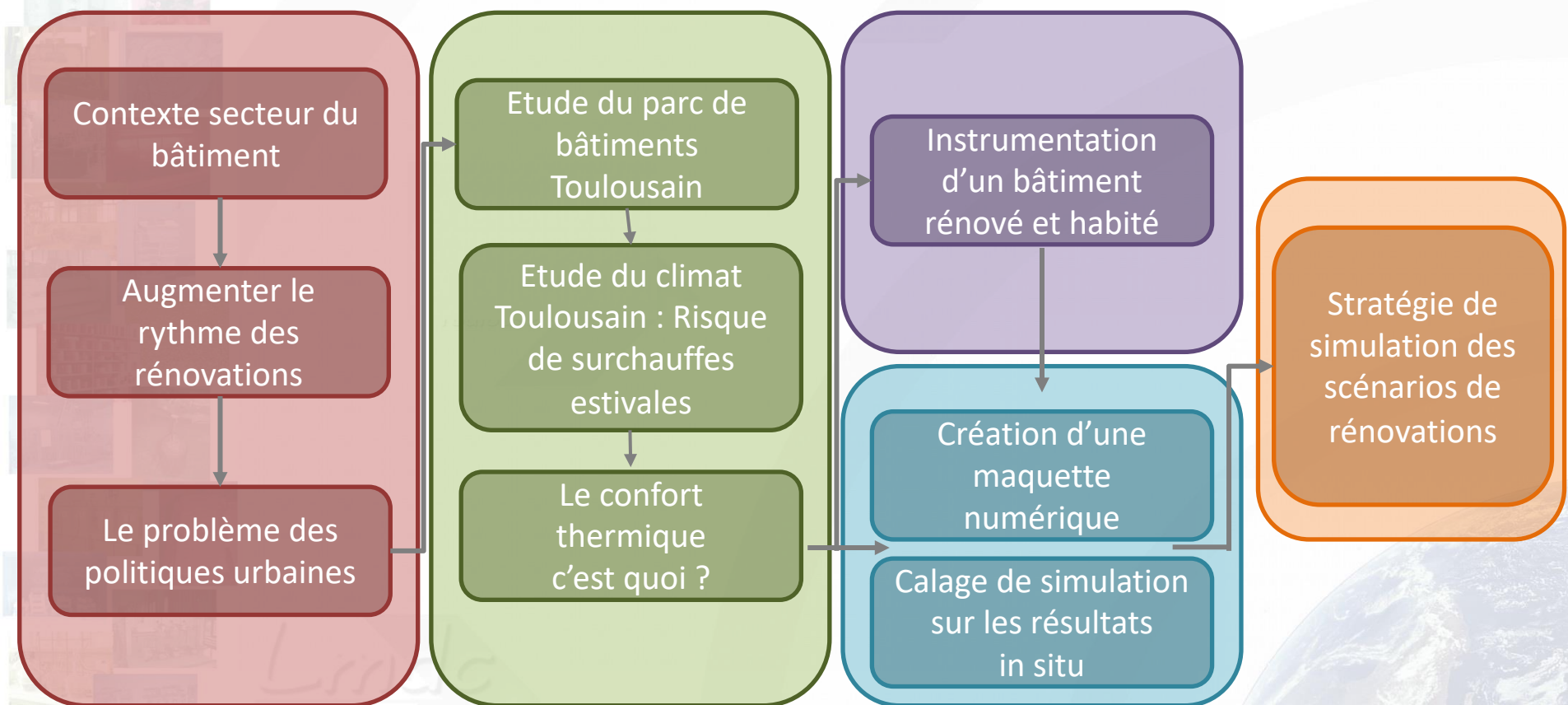
**Cas de  
l'agglomération  
Toulousaine**

**Instrumentation**

**Etude de  
solutions de  
rénovations**

**Simulation**

# Sommaire



# 2

## Etude de préfiguration du contexte toulousain

### Bibliographie :

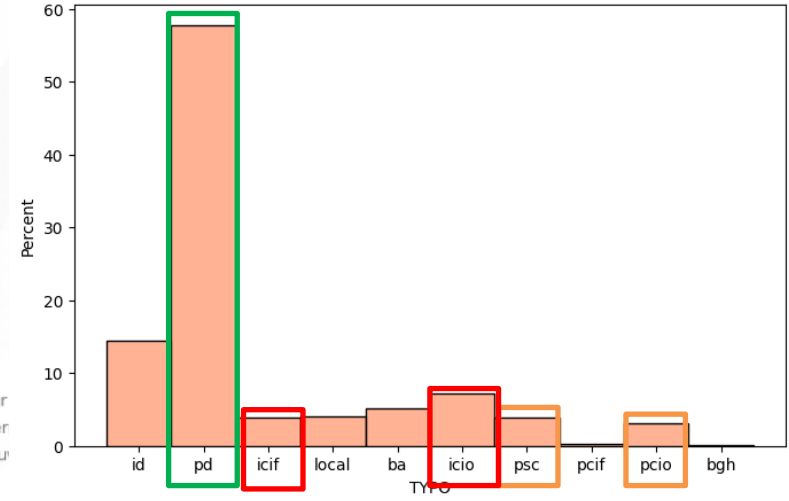
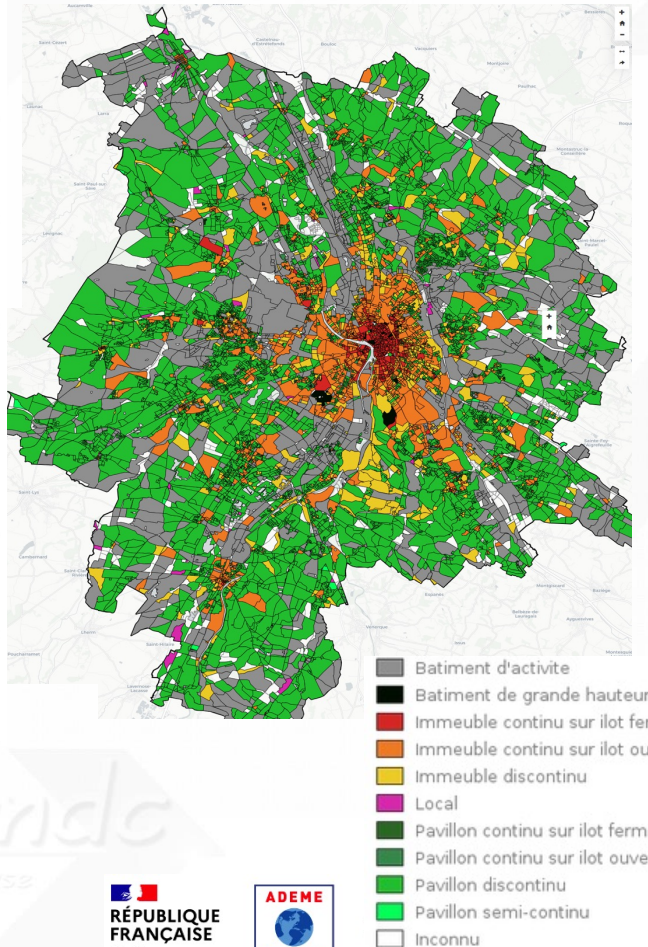
- *Adelaide Mailhac. Contribution au développement d'une méthodologie d'évaluation environnementale aux échelles urbaines. Manuscrit de These. Institut National des Sciences Appliqués de Toulouse, 2021.*
- *Marion Bonhomme. Contribution to the generation of multiscalar and evolutionary databases for a multidisciplinary approach to urban energy, s. d.*
- *Nathalie Tornay, Marion Bonhomme, Serge Faraut. « GENIUS, a methodology to integer building scale data into urban microclimate and energy consumption modelling ». Project: MAPUCE - Conference: ICUCAT : 12th Symposium on the Urban Environment, 2015.*

# Classification parc toulousain : typologie

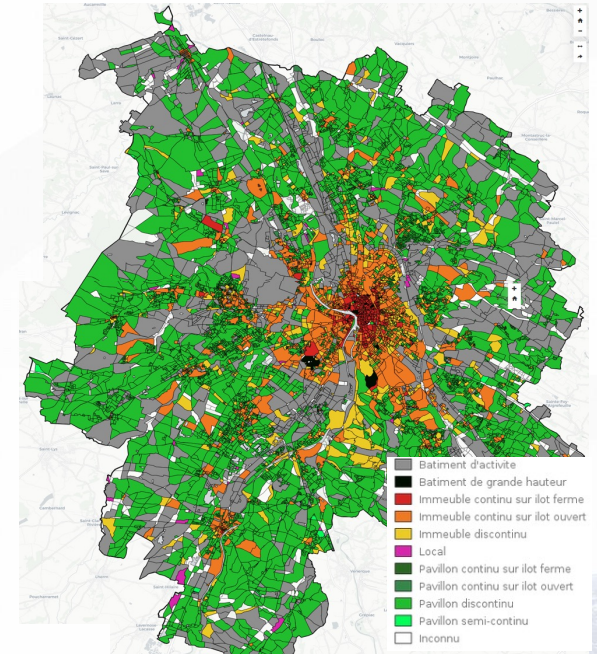
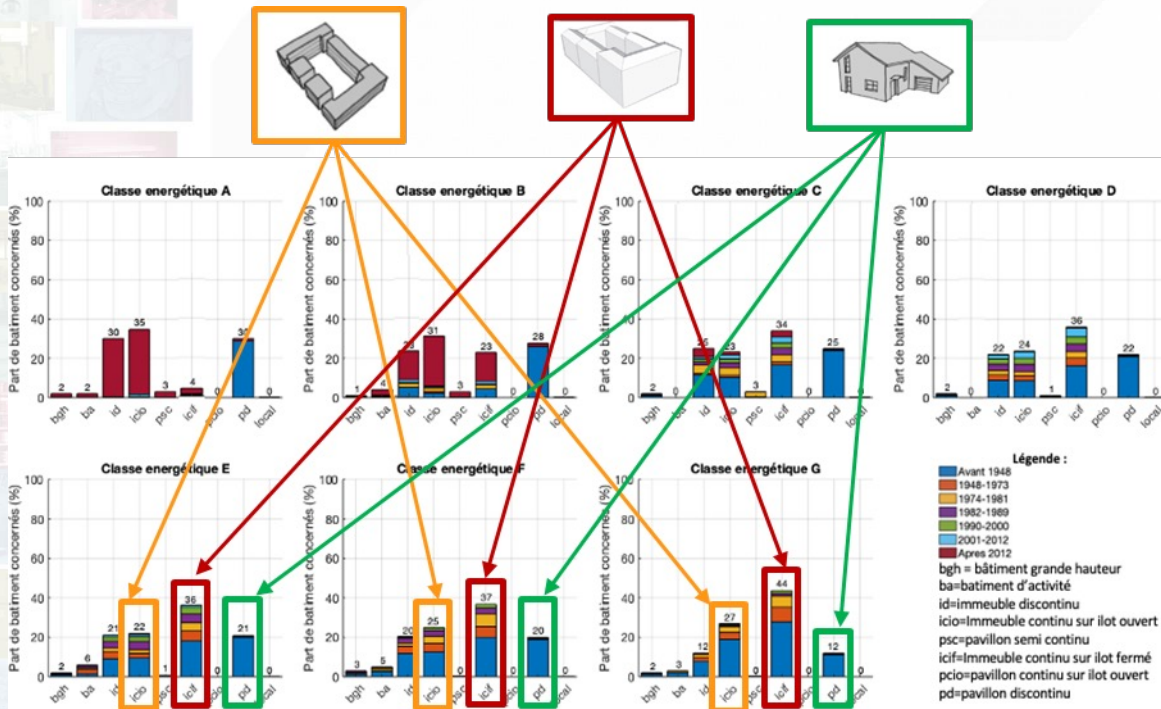
## Critères de classification d'un parc de logements :

- Forme architecturale
- Année de construction
- Matérialité
- Consommation énergétique

Type de quartier	Illustration
Pavillon discontinu	
Pavillon continu	
Immeuble discontinu	
Immeuble continu	
Immeuble de grande hauteur	
Centre ancien	
Bâtiment d'activités	



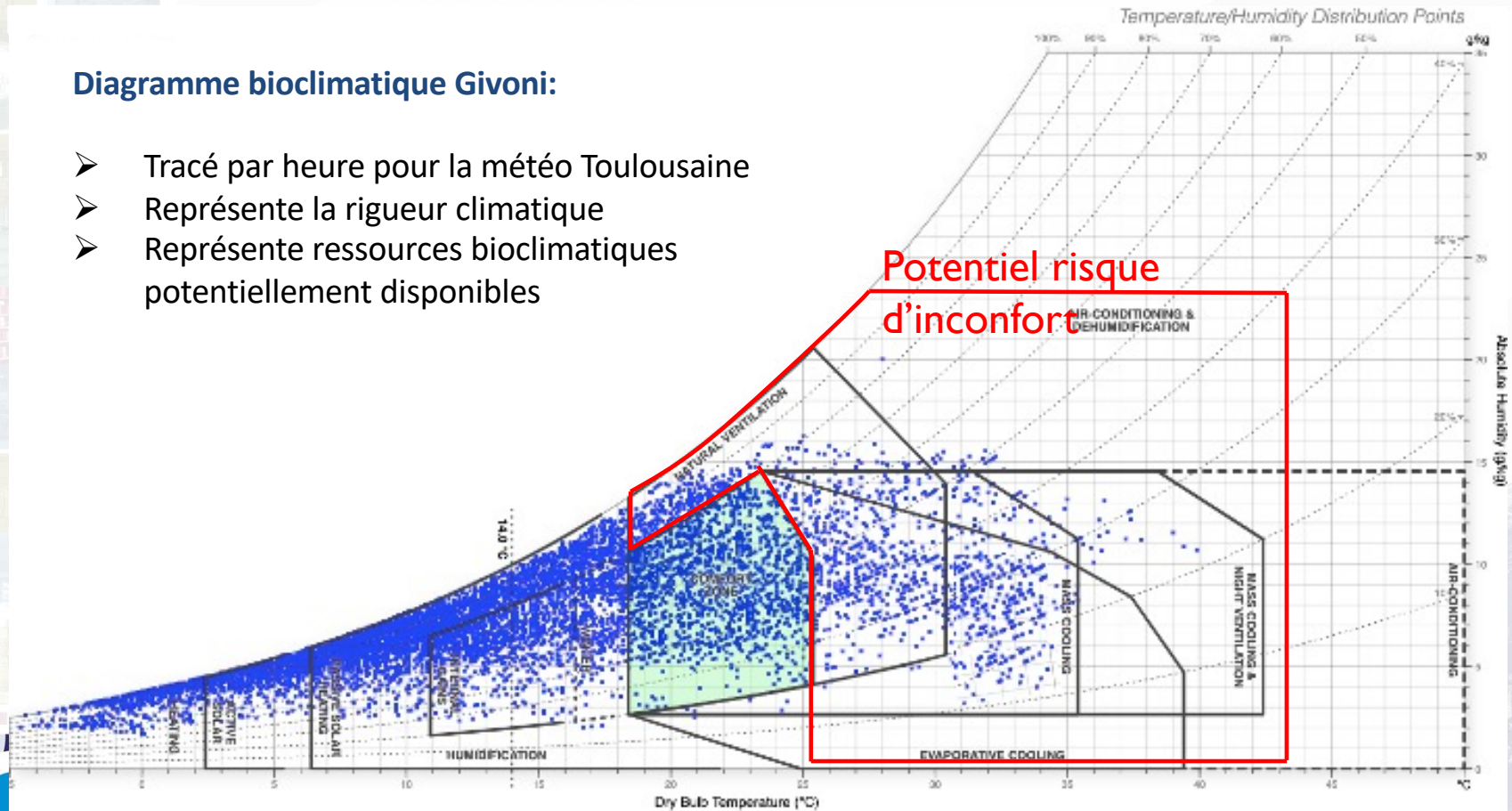
# Identification des typologies impactantes



# Impact des conditions bioclimatiques sur le confort thermique en construction

## Diagramme bioclimatique Givoni:

- Tracé par heure pour la météo Toulousaine
- Représente la rigueur climatique
- Représente ressources bioclimatiques potentiellement disponibles



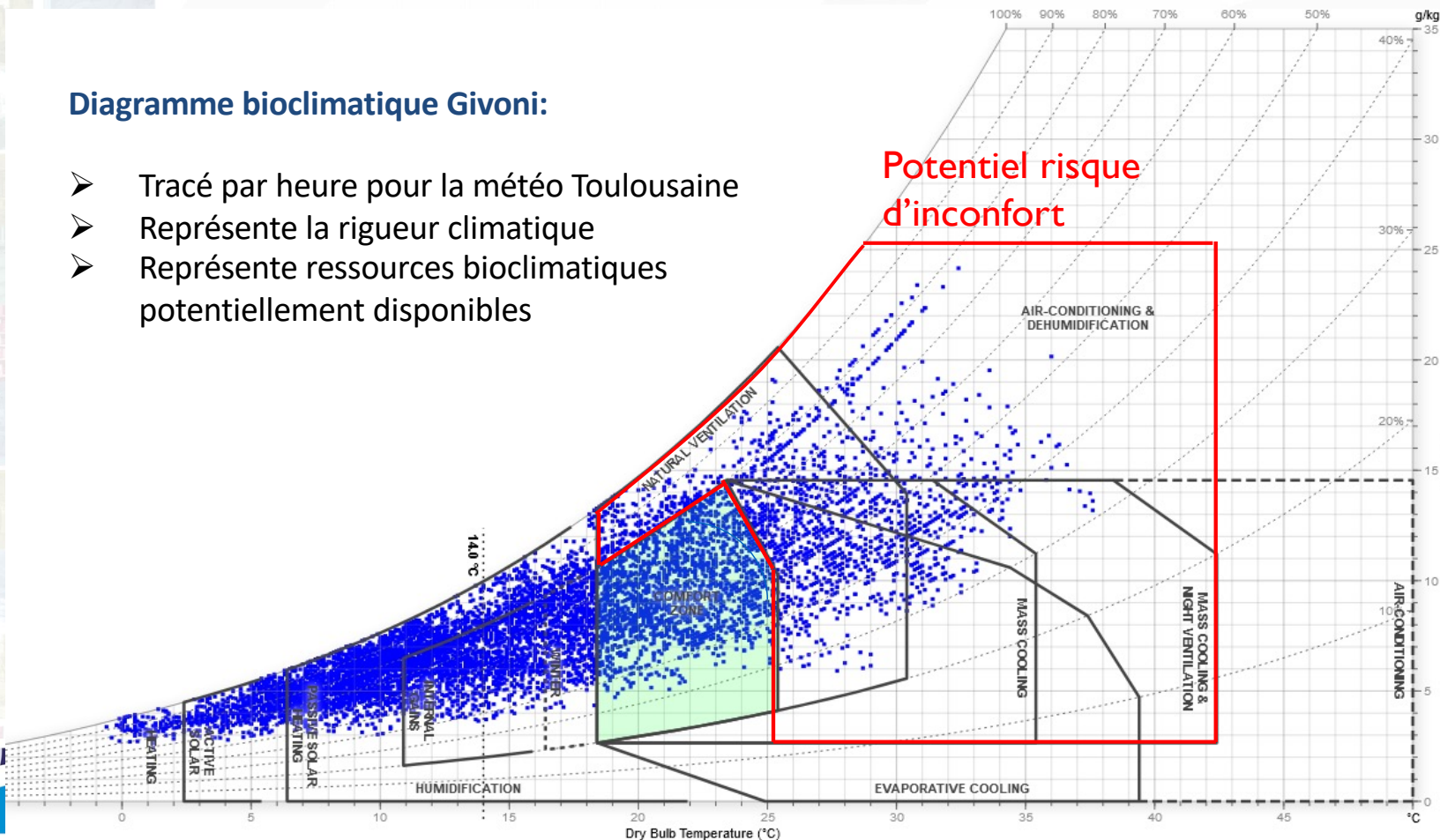


# Impact des conditions bioclimatiques sur le confort thermique en construction

## Diagramme bioclimatique Givoni:

- Tracé par heure pour la météo Toulousaine
- Représente la rigueur climatique
- Représente ressources bioclimatiques potentiellement disponibles

Potentiel risque d'inconfort



# 3

## Confort thermique

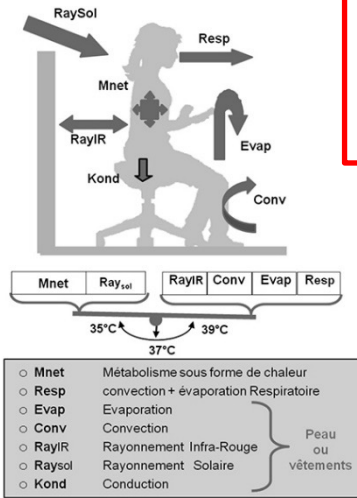
### Bibliographie :

- *Adelaide Mailhac. Contribution au développement d'une méthodologie d'évaluation environnementale aux échelles urbaines. Manuscrit de These. Institut National des Sciences Appliqués de Toulouse, 2021.*
- *Marion Bonhomme. Contribution to the generation of multiscalar and evolutionary databases for a multidisciplinary approach to urban energy, s. d.*
- *Nathalie Tornay, Marion Bonhomme, Serge Faraut. « GENIUS, a methodology to integer building scale data into urban microclimate and energy consumption modelling ». Project: MAPUCE - Conference: ICUCAT : 12th Symposium on the Urban Environment, 2015.*

## Qu'est-ce que le confort thermique ?

$$m_c \cdot c_c \frac{dT_{c_{moy}}}{dt} = (M - W) \pm \Phi_{ech}$$

$$= (M - W) - (\Phi_{evap} + \Phi_{res} + \Phi_{ray} + \Phi_{cond} + \Phi_{conv})$$



### Types d'échanges

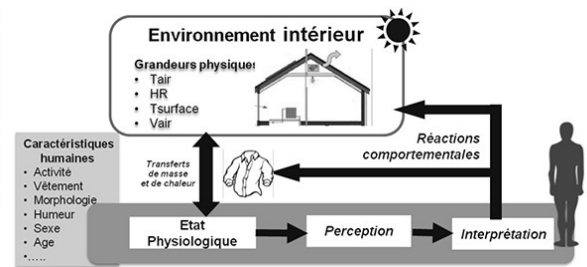
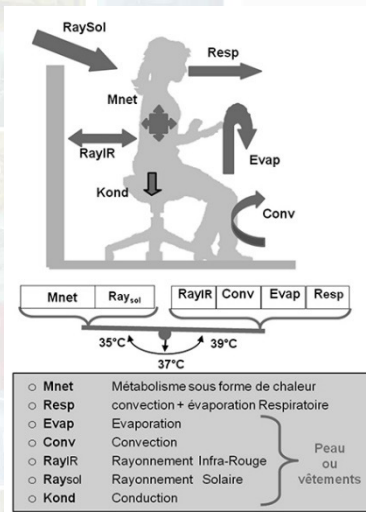
- Echanges par rayonnement
- Echanges par convection
- Echanges par convections
- Les échanges latents : transpiration + respiration
- Activité de la personne
- Autres facteurs (habillement, position...ect)

### Homéotherme 37°C → Thermo régulation

- Frisson, Chair de poule...
- Sudation, vasodilatation...

Confort thermique = Conséquence de fréquence et amplitude de sollicitation des mécanismes de thermorégulation

# Qu'est-ce que le confort thermique ?



- Caractéristiques humaines
- Activité
  - Vêtement
  - Morphologie
  - Humeur
  - Sexe
  - Age
  - .....

- Mnet : Métabolisme sous forme de chaleur
  - Resp : convection + évaporation Respiratoire
  - Evap : Evaporation
  - Conv : Convection
  - RayIR : Rayonnement Infra-Rouge
  - Raysol : Rayonnement Solaire
  - Kond : Conduction
- Peau ou vêtements

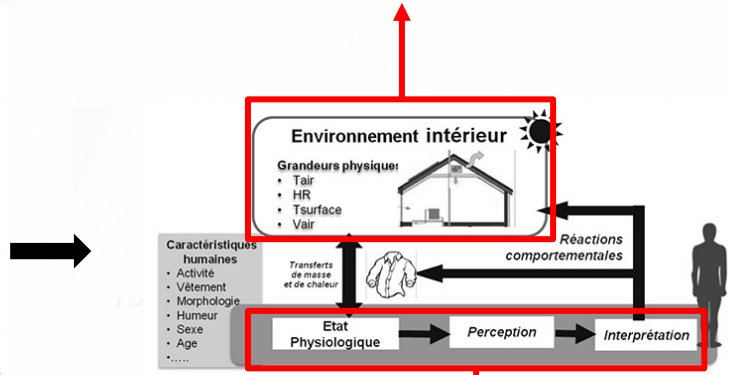
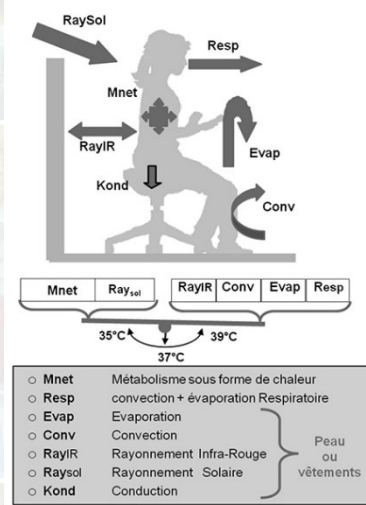
# Qu'est-ce que le confort thermique ?

Evaluation de la qualité thermique des d'ambiances

16) En ce moment avez-vous ? \*

1 2 3 4 5

Très froid      Très chaud



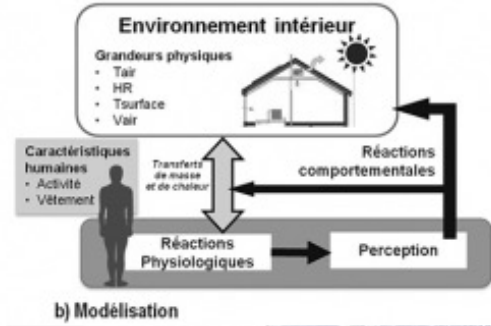
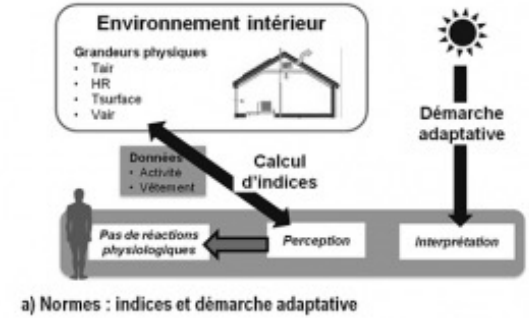
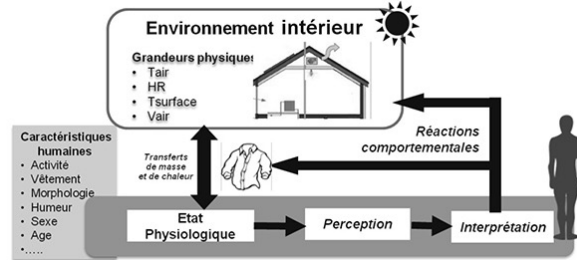
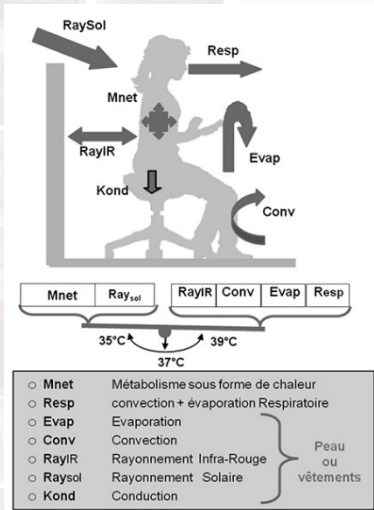
Interprétation du confort

17) Trouvez-vous cela ? \*

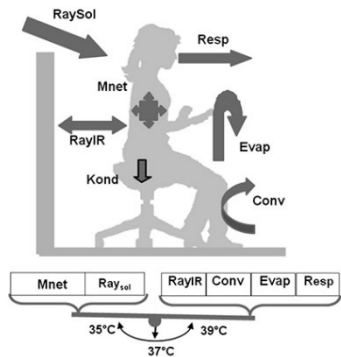
1 2 3 4 5

Très confortable      Très inconfortable

# Qu'est-ce que le confort thermique ?



# Quel modèle de confort thermique ?



- Mnet Métabolisme sous forme de chaleur
  - Resp convection + évaporation Respiratoire
  - Evap Evaporation
  - Conv Convection
  - RayIR Rayonnement Infra-Rouge
  - Raysol Rayonnement Solaire
  - Kond Conduction
- } Peau ou vêtements

Nom	Variables climatiques et individuelles						Variables physiologiques
	Tair	Tmray	HR Pvsat	Vair	M	Icl	
DH	x						
PMV-PPD	x	x	x	x	x	x	x
TSV	x	x	x	x	x	x	x
Tair	x						
Top	x	x					
CTA	x	x					
CTA+CE	x	x	x	x			
WBGT'		x	x				
Teq	x	x		x			
DISC							x
Tsk / Tcr	x	x	x	x	x	x	x
*ET	x	x	x		x		
SET	x	x	x		x		

# 3

## Cahors Projet ENERPAT

### Bibliographie :

- ASHRAE. *HANDBOOK 2017: Fundamentals i-p and Si Editions*. S.I.: ASHRAE, 2017.
- « International Standards ». In *Human Thermal Environments*, 445-502. CRC Press, 2014.  
<https://doi.org/10.1201/b16750-19>.
- Lavoye, Frédéric, Frédéric Boeuf, et Françoise Thellier. *Qualité des ambiances dans les bâtiments: le confort thermique de l'habitant*, 2015.



# Protocole expérimental

## Kimo KCC 320

- **Grandeurs** : Température (CTN), Humidité (Capacitif), Patm (piezorésistif), CO2 (NDIR)
- **Précision** :  $\pm 2\%$  HR (de 15 à 25 °C, de 5 à 95% HR)
  - $\pm 0.4$  °C de 0 à 50 °C
  - $\pm 3$  hPa
  - $\pm 3\% \pm 50$ ppm
- Fréquence de mesure min : 15 sec
- Nombre de points d'enregistrement : 2 000 000
- Vie de la batterie : 3 ans



## Trépieds confort

- Température d'air
- Humidité
- Température moyenne de rayonnement
- Luminosité
- Vitesse d'air



## Kimo KH 50

- **Grandeurs** : Température (CTN), Humidité (Capacitif)
- **Précision** :  $\pm 2.5\%$  HR (de 15 à 25 °C, de 5 à 95% HR)
  - $\pm 0.4$  °C de 0 à 50 °C
- Fréquence de mesure min : 1 minutes
- Nombre de points d'enregistrement : 16 000
- Vie de la batterie : 365 jours



## Kimo KH 220-O

- **Grandeurs** : Température (CTN), Humidité (Capacitif), Luminosité (photodiode)
- **Précision** :  $\pm 2\%$  HR (de 15 à 25 °C, de 5 à 95% HR)
  - $\pm 0.4$  °C de 0 à 50 °C
  - $\pm 10\% \pm 10$  lux
- Fréquence de mesure min : 1 sec
- Nombre de points d'enregistrement : 1 000 000
- Vie de la batterie : 4 ans



# Questionnaire confort

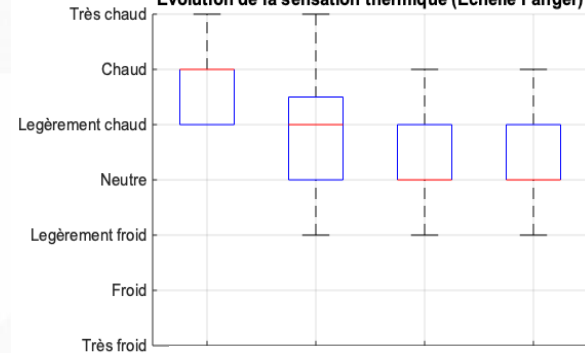
16) En ce moment avez-vous ? \*

	1	2	3	4	5	
Très froid	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Très chaud

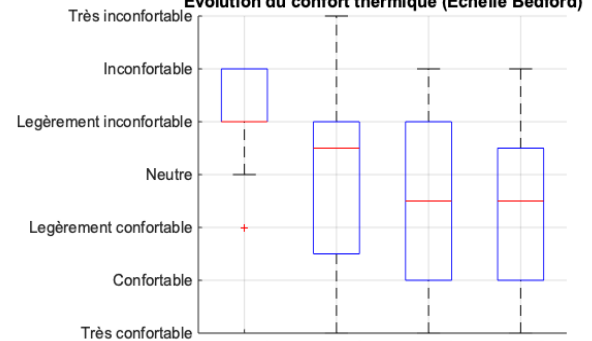
17) Trouvez-vous cela ? \*

	1	2	3	4	5	
Très confortable	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Très inconfortable

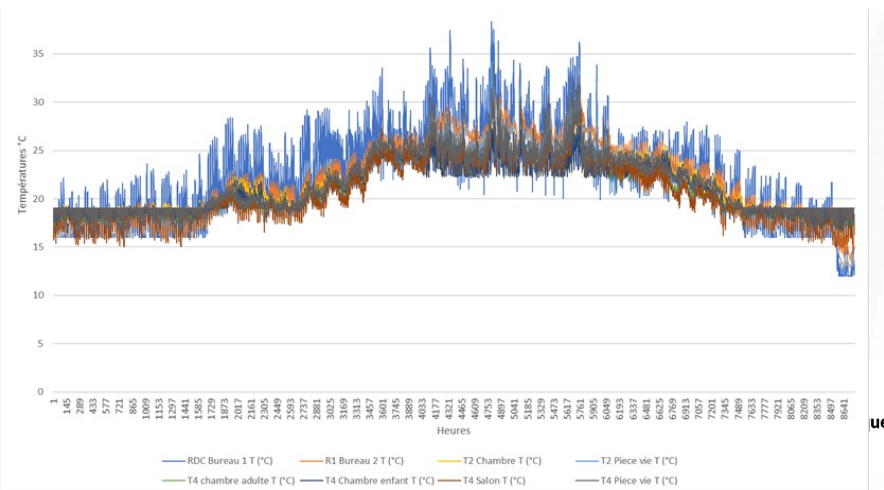
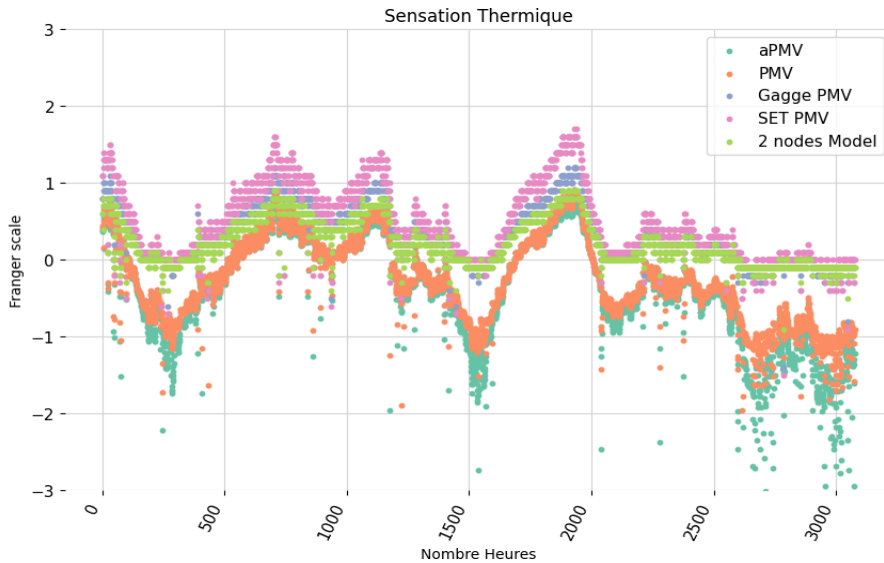
Evolution de la sensation thermique (Echelle Fanger)



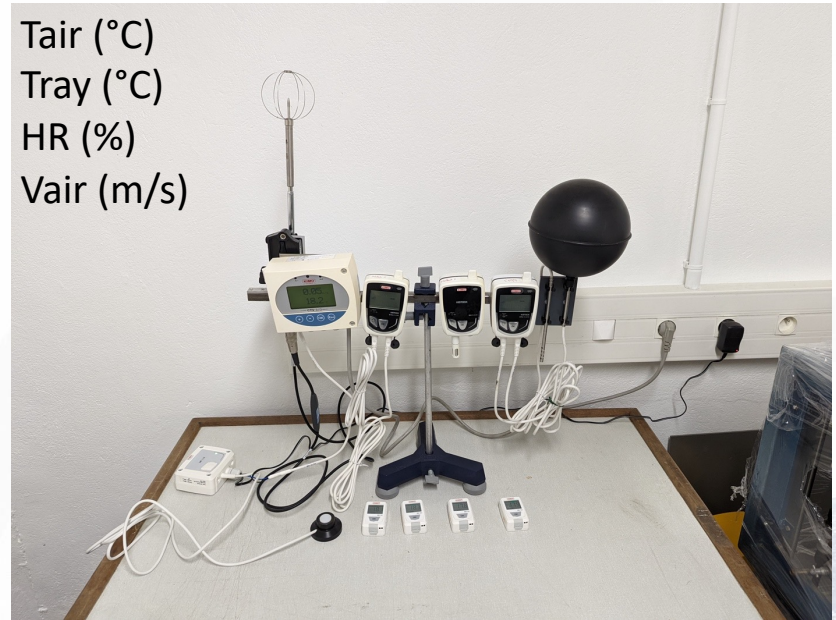
Evolution du confort thermique (Echelle Bedford)



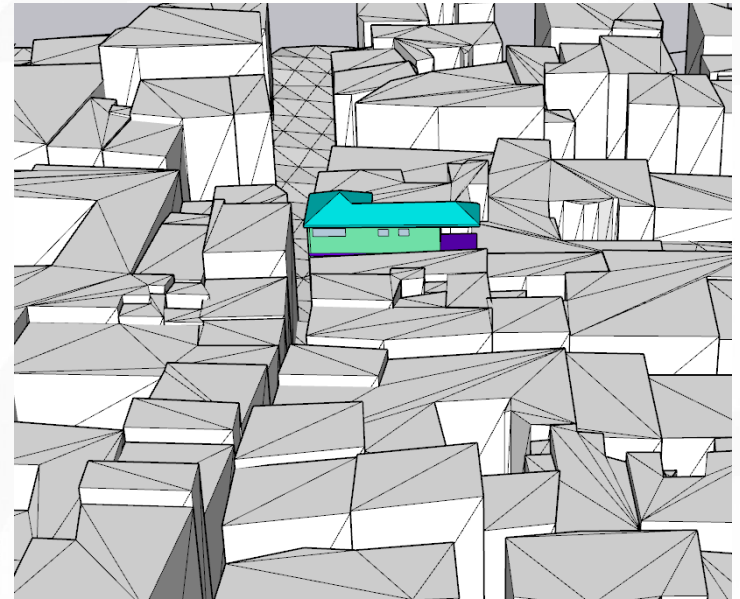
# Résultats de l'instrumentation



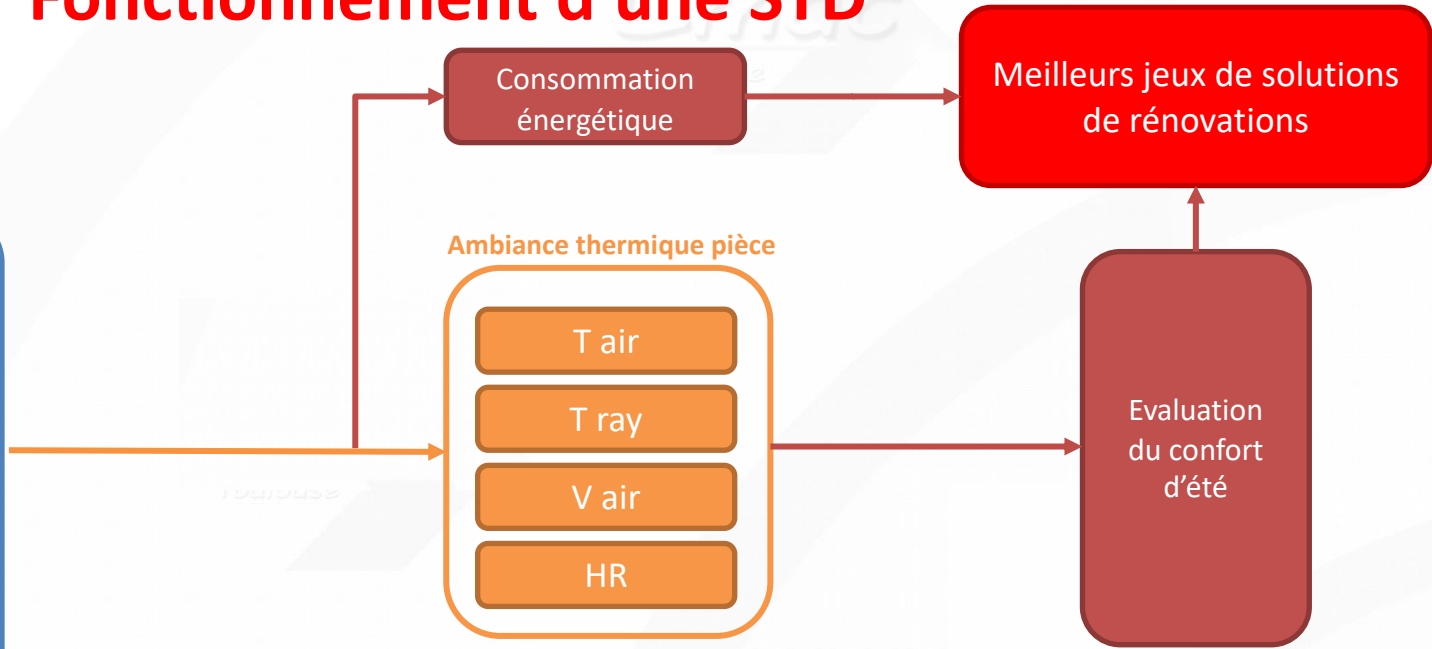
Tair (°C)  
Tray (°C)  
HR (%)  
Vair (m/s)



## Cas d'étude : création maquette numérique

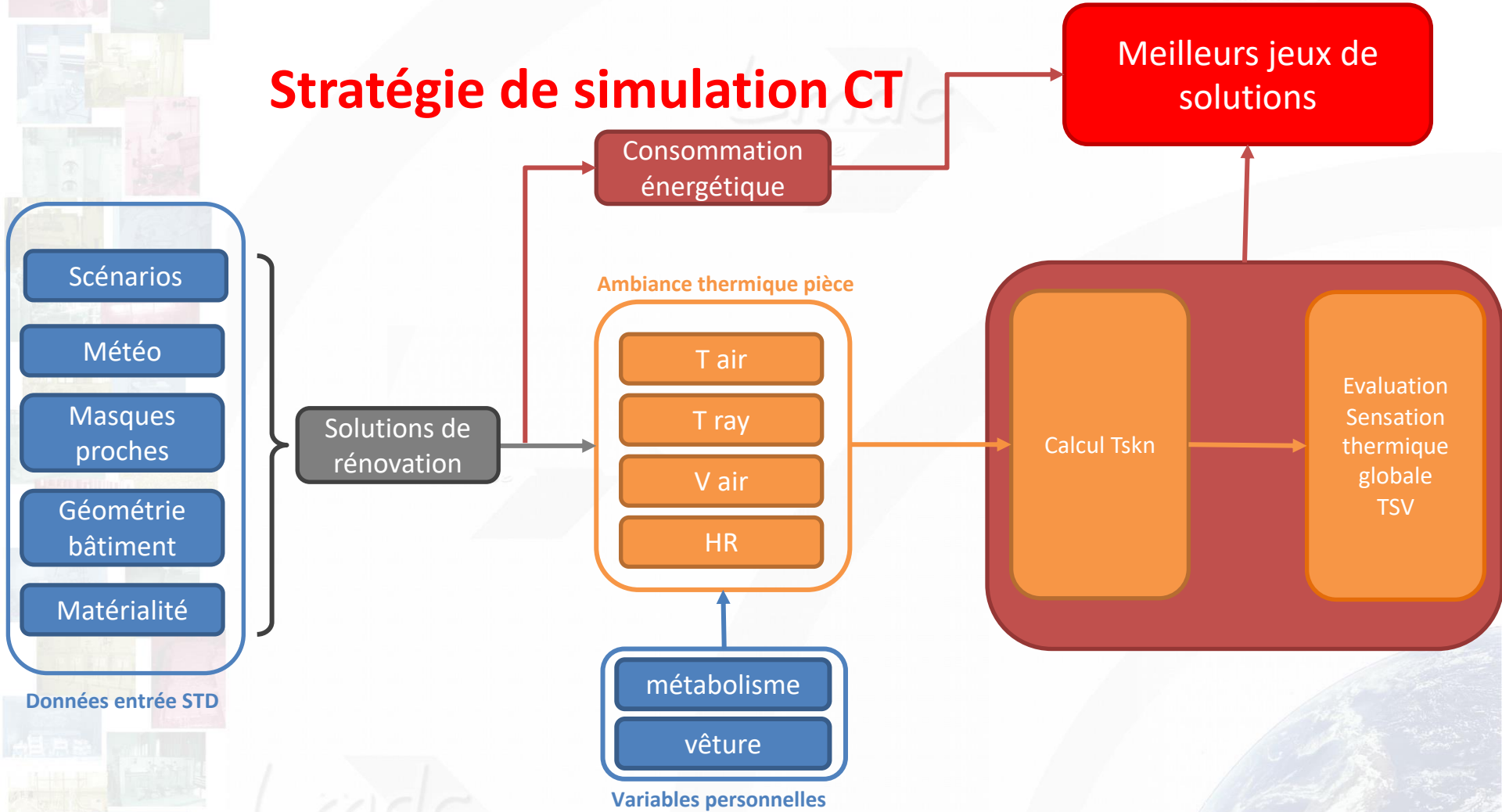


# Fonctionnement d'une STD



Données entrée STD

# Stratégie de simulation CT



Données entrée STD

Variables personnelles

## Un peu de biblio...

- International Standards, In *Human Thermal Environments*, 445-502. CRC Press, 2020. <https://doi.org/10.1201/b16750-19>.
- Thermal environmental conditions for human occupancy: ansi/ashrae standard 55-2017 ... (2017).
- Zhao, Qiantao, Zhiwei Lian, et Dayi Lai. « Thermal Comfort Models and Their Developments: A Review ». *Energy and Built Environment 2*, n° 1 (janvier 2021): 21-33. <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2020.05.007>.
- Carlucci, Salvatore, et Lorenzo Pagliano. « A Review of Indices for the Long-Term Evaluation of the General Thermal Comfort Conditions in Buildings ». *Energy and Buildings 53* (octobre 2015): 194-205. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.06.015>.
- Sophie Claude. « Étude expérimentale et numérique de solutions basées sur les éco-matériaux pour la rénovation thermique du patrimoine bâti urbain ». Toulouse 3 Paul Sabatier - LMDC - INSA Toulouse, 2018. <http://www.theses.fr/2018ISAT0008>.
- NF EN 9886:2004. *Ergonomie des Ambiances thermiques -Évaluation de l'astreinte thermique par mesures physiologiques (2022)*.
- ISO 7730 : 2005, International Standard, Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria (2022).
- Mathieu Bonte. *Influence du comportement de l'occupant sur la performance énergétique du bâtiment : modélisation par intelligence artificielle et mesures in situ*. Manuscrit These, PHASE, Université Paul Sabatier, Toulouse., 2014. <https://www.theses.fr/18401333X>.
- Martínez-Molina, Antonio, Isabel Tort-Ausina, Soolyeon Cho, et José-Luis Vivancos. « Energy Efficiency and Thermal Comfort in Historic Buildings: A Review ». *Renewable and Sustainable Energy Reviews 61* (août 2016): 70-85. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.03.018>.
- Peeters, Leen, Richard de Dear, Jan Hensen, et William D'haeseleer. « Thermal Comfort in Residential Buildings: Comfort Values and Scales for Building Energy Simulation ». *Applied Energy 86*, n° 5 (mai 2009): 772-80. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.07.011>.
- Lavoye, Frédéric, Frédéric Boeuf, et Françoise Thellier. *Qualité des ambiances dans les bâtiments: le confort thermique de l'habitant*, 2015.
- Marion Bonhomme (2013) *Contribution to the generation of multiscale and evolutionary databases for a multidisciplinary approach to urban energy*. Manuscrit de These. (INSA Toulouse -LRA).
- Adelaide Mailhac (2019) *Contribution au développement d'une méthodologie d'évaluation environnementale aux échelles urbaines*. Manuscrit de These. (INSA Toulouse).
- Nathalie Tornay, M.B., Serge Faraut (2015) 'GENIUS, a methodology to integer building scale data into urban microclimate and energy consumption modelling'. Project: MAPUCE - Conference: ICUCAt : 12th Symposium on the Urban Environment.
- Tobias Loga et al. (2012) 'Typology Approach for Building Stock Energy Assessment (TABULA)'. Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt. Available at: <https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects>
- Alexandre AMOSSE, « Projet MAPUCE : Tâche 1.3 : Analyse automatique des îlots urbains de France - Identification automatique d'une typologie urbaine des îlots urbains en France »
- Martínez-Rocamora, A., Solís-Guzmán, J. and Marrero, M. (2016) 'LCA databases focused on construction materials: A review', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, pp. 565–573. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.243>.
- ADEME (2017) 'Stratégie de rénovation - PACTE Rapport - Programme d'action pour la qualité de la construction et de la transition énergétique.' Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012.
- European Commission. « Integrated Home Energy RenOvation Service ». Innovations for home renovation in Toulouse Métropole, 2020. <https://cordis.europa.eu/project/id/890598>.
- European Commission. *Statistical Office of the European Union. Sustainable Development in the European Union*, 2021.
- ONPE, *Analyse des facteurs d'évolution de la précarité énergétique, Observatoire National de la Précarité Énergétique*, 2021.
- Marina Malagoni. *Etude de la rénovation hygrothermique de parois anciennes utilisant des matériaux biosourcés*, 2021
- Liu, Hong & Wu, Yuxin & Lei, Danni & Li, Baizhan. (2018). Gender differences in physiological and psychological responses to the thermal environment with varying clothing ensembles. *Building and Environment*. 141. 10.1016/j.buildenv.2018.05.040.



# Etude expérimentale et numérique de l'impact de la rénovation des comportements énergétiques sur le confort d'été :

vers une application aux programmes de rénovation à  
l'échelle d'une métropole.

**ESTAY Lucas**

17/11/2023

lucas.estay@insa-toulouse.fr

## Encadrement :

- GINESTET Stéphane
- BONHOMME Marion
- OMS Claire