

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

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

ESTAY Lucas

26/06/2024

lucas.estay@insa-toulouse.fr

Encadrement :

- GINESTET Stéphane
- BONHOMME Marion
- OMS Claire

Sommaire

**Contexte
Introduction**

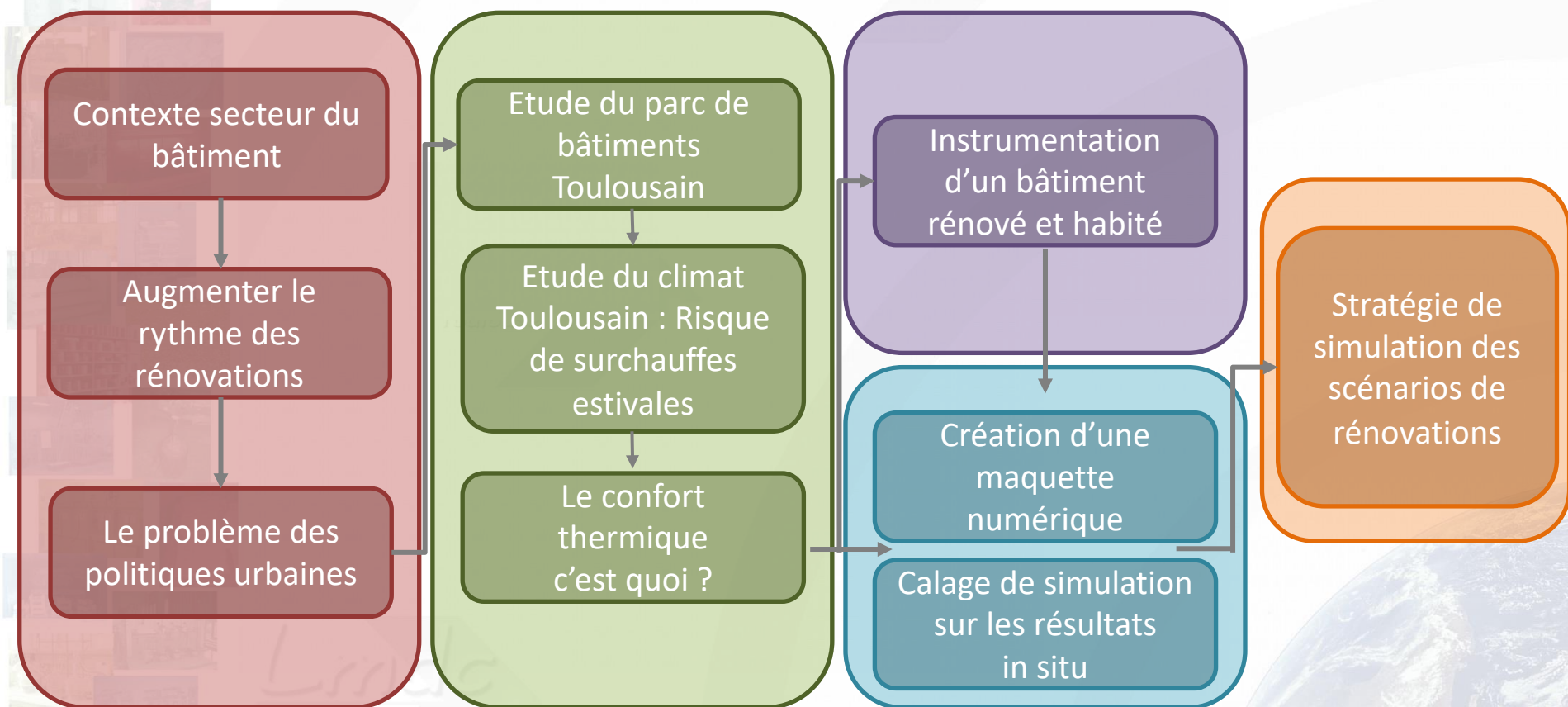
**Cas de
l'agglomération
Toulousaine**

Instrumentation

Simulation

**Etude de
solutions de
rénovations**

Sommaire



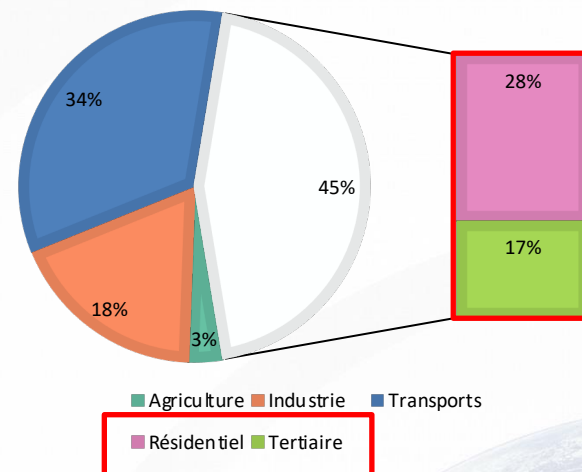
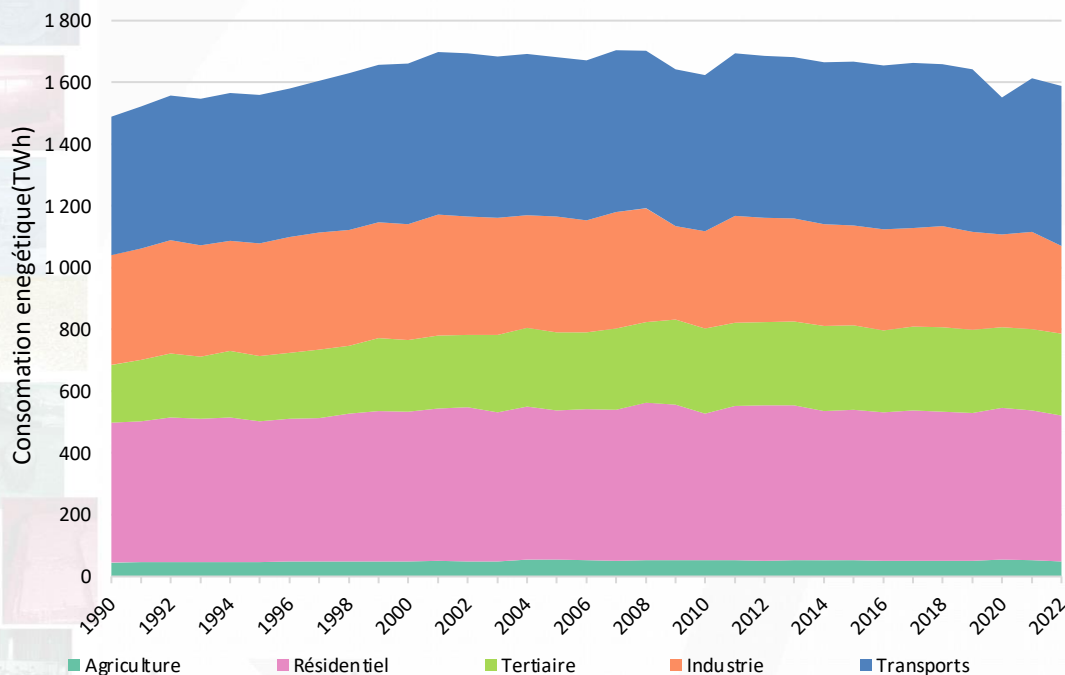
1

Contexte Introduction

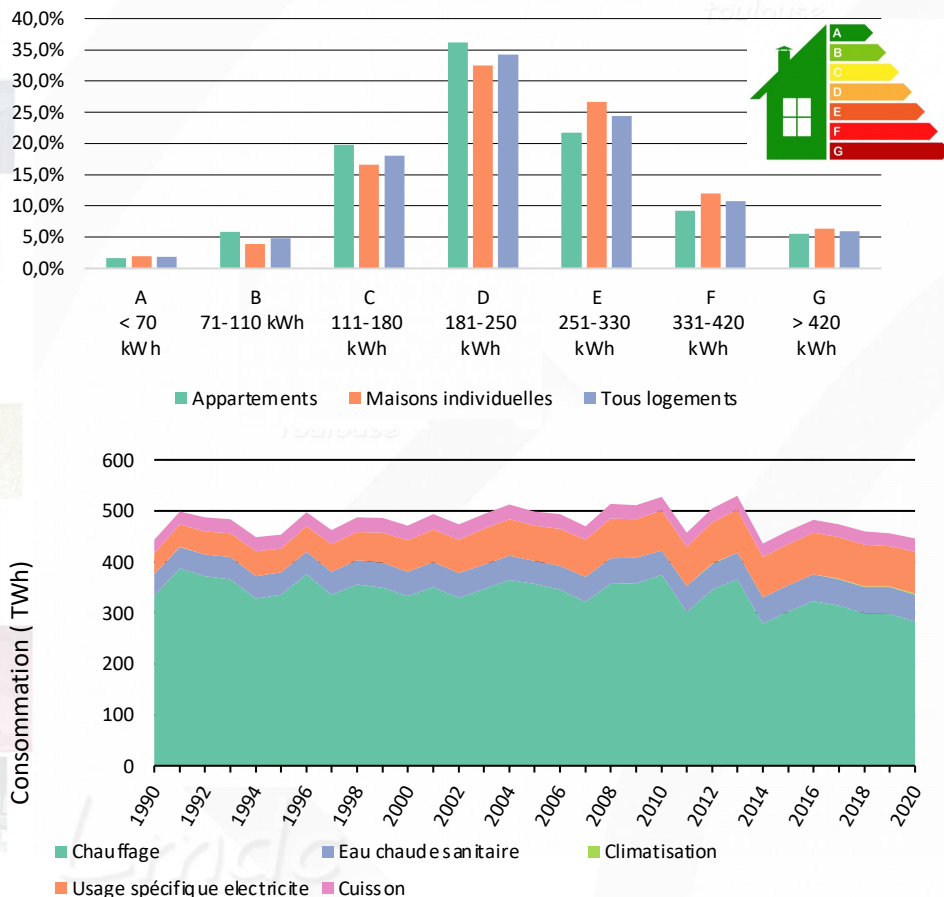
Bibliographie :

- Annual Report of the Market Observatory for Energy, et European Commission. « Europe's energy position-markets and supply », 2010.
- Journal de l'Union Europeene.
« Directive (ue) 2018/844 du parlement européen et du conseil du 30 mai 2018 ». 156/7, 2018. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L0844&from=EN>
- Bel, Germà, et Stephan Joseph. « Climate Change Mitigation and the Role of Technological Change: Impact on Selected Headline Targets of Europe's 2020 Climate and Energy Package ». *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 82 (février 2018): 3798-3807.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.090>.

Consommations énergétiques par secteurs en France



Consommations énergétiques résidentielles



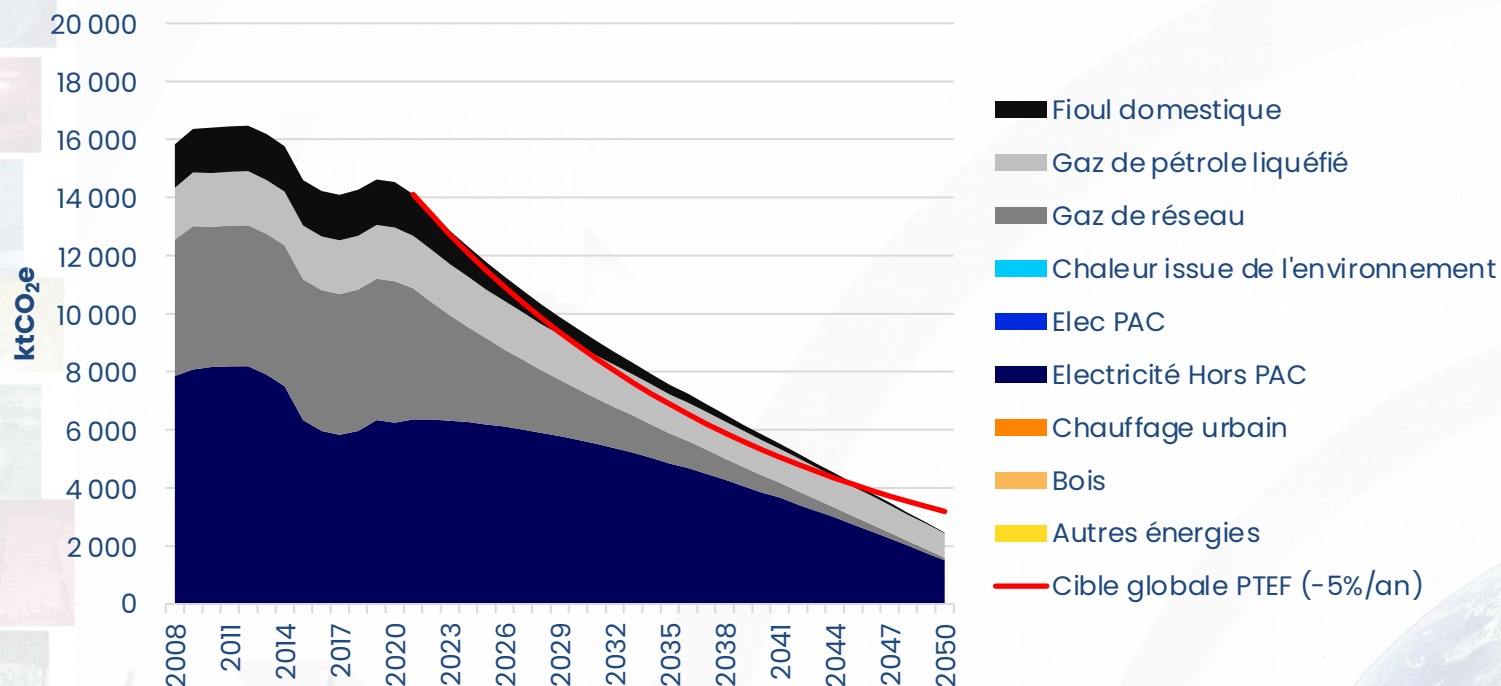
Objectifs nationaux

- Neutralité carbone 2050

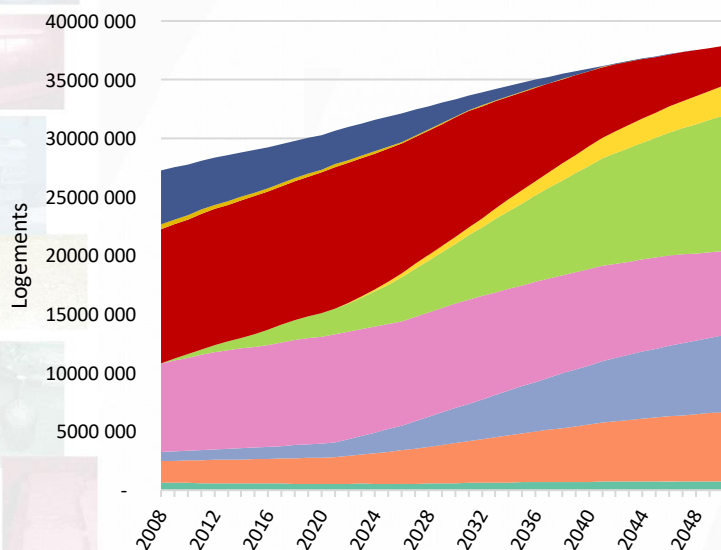
Enjeux sur le patrimoine immobilier

- ¾ du parc de logement de 2050 déjà existant.
- 35% logements ont plus de 50ans
- 37,8 millions de logements

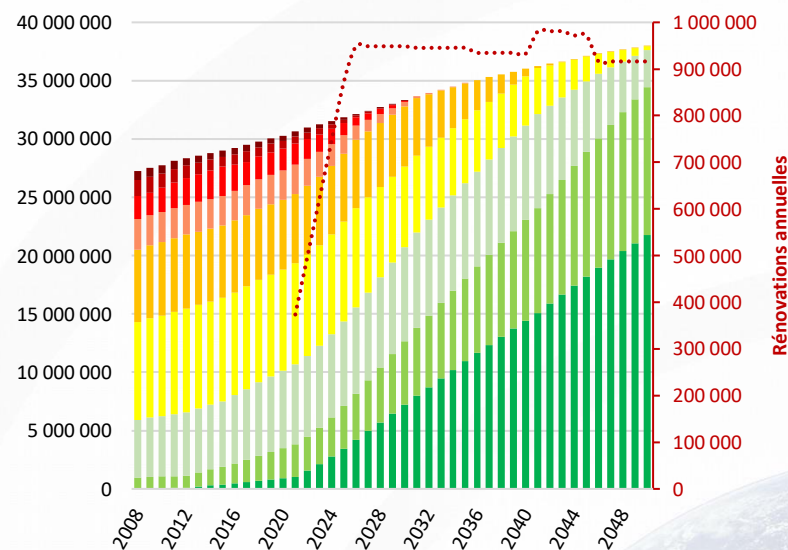
Quel rythme de rénovations pour la neutralité carbone d'ici 2050 ?



Quel rythme de rénovations pour la neutralité carbone d'ici 2050 ?



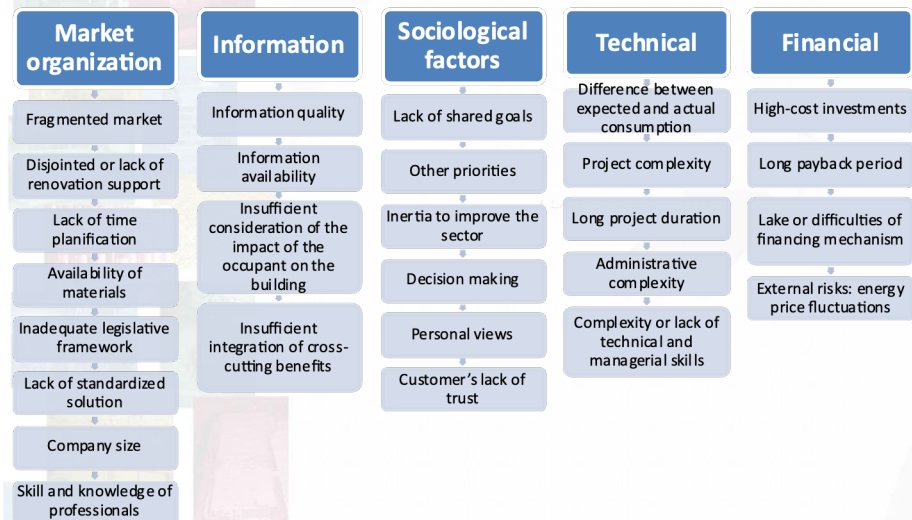
Autres énergies
Bois
Chauffage urbain
Joule
PAC
PAC Hybride
Gaz de réseau
Gaz de pétrole liquéfié
Fioul domestique



A
B
C
D
E
F
G
H
I
Rénos globales

La rénovation : une problématique locale

Le projet H2020 I-HEROS



Toulouse métropole rénove

UNE OFFRE UNIQUE POUR Y VOIR PLUS CLAIR DANS LA RÉNOVATION ÉNERGÉTIQUE.

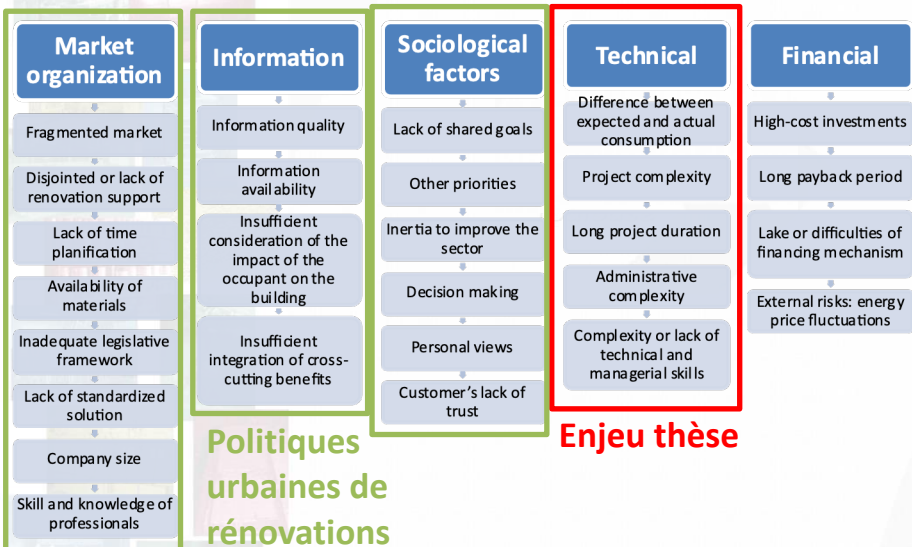
Au cœur de votre quotidien

toulouse métropole

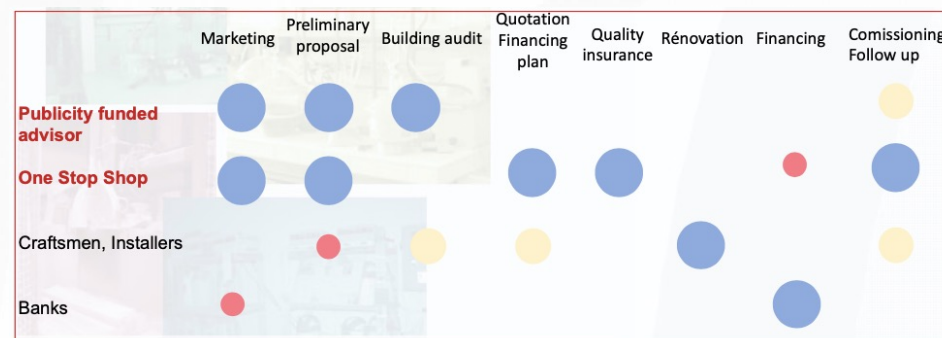
renov.toulouse-metropole.fr

Intégration du parcours de rénovation

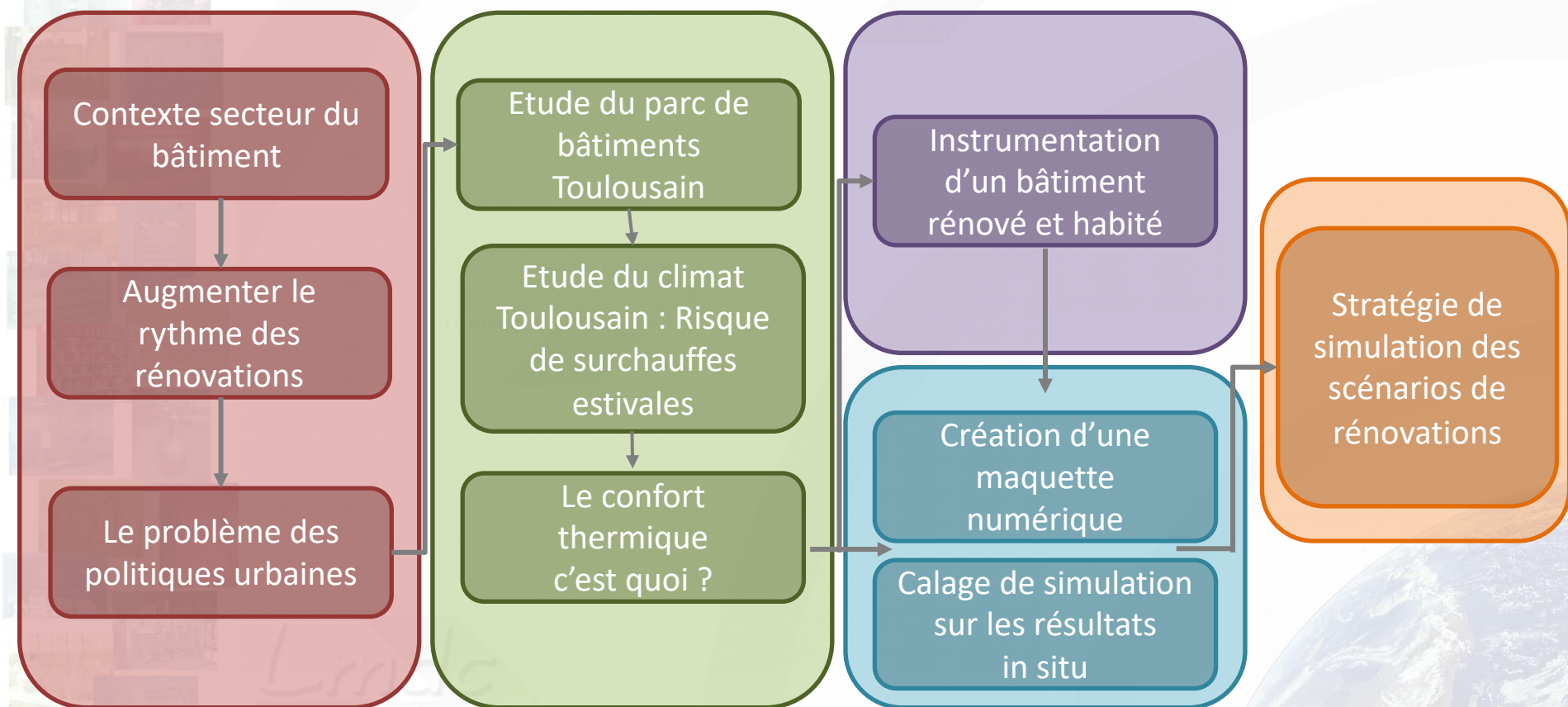
Pourquoi le taux de rénovation est si bas ?



Les guichets uniques : vers de nouvelles politiques urbaines



Sommaire









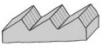
2

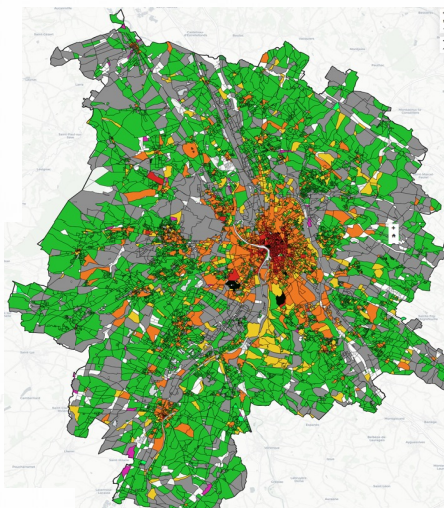
Etude de préfiguration du contexte toulousain

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 multiscale 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.








Caractérisation parc toulousain

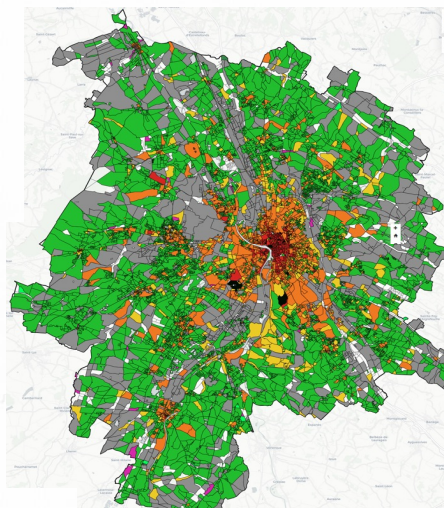
Type de quartier	Illustration
Pavillon discontinu	
Pavillon continu	
Immeuble discontinu	
Immeuble continu	
Immeuble de grande hauteur	
Centre ancien	
Bâtiment d'activités	



- 37 communes
- 806 053 habitants
- 458 km²
- 1,630 habitants/km²
- 446,996 batiments
- 90% residences primaires

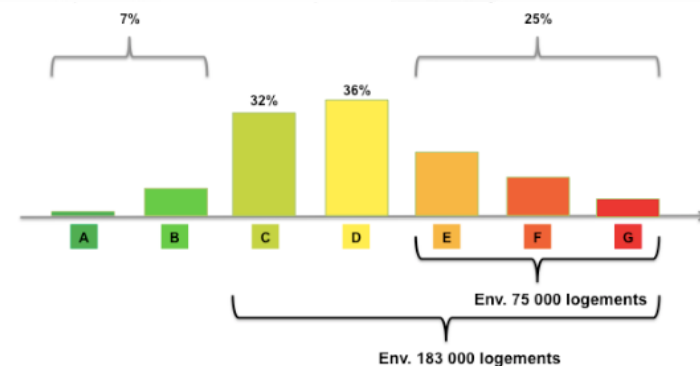
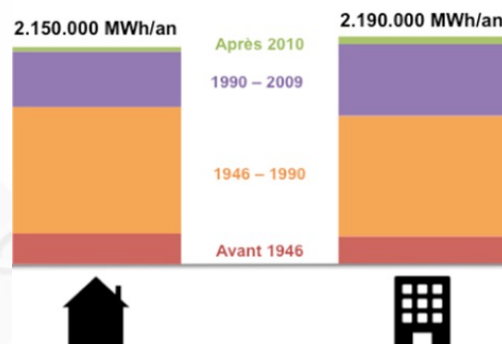
Caractérisation parc toulousain

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

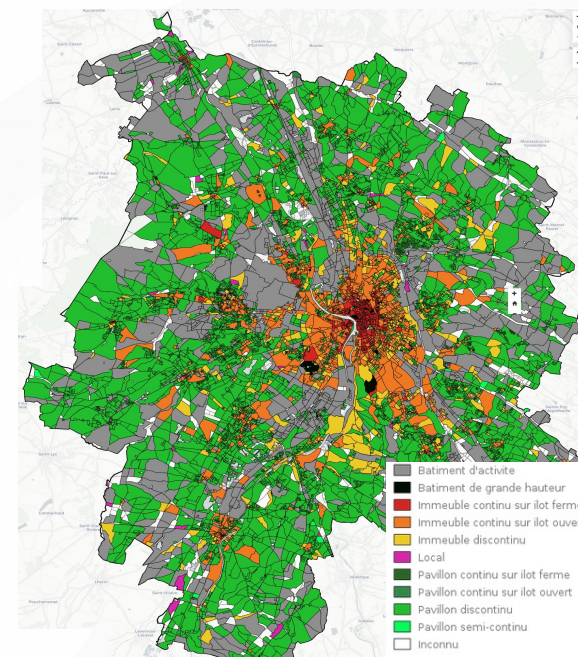
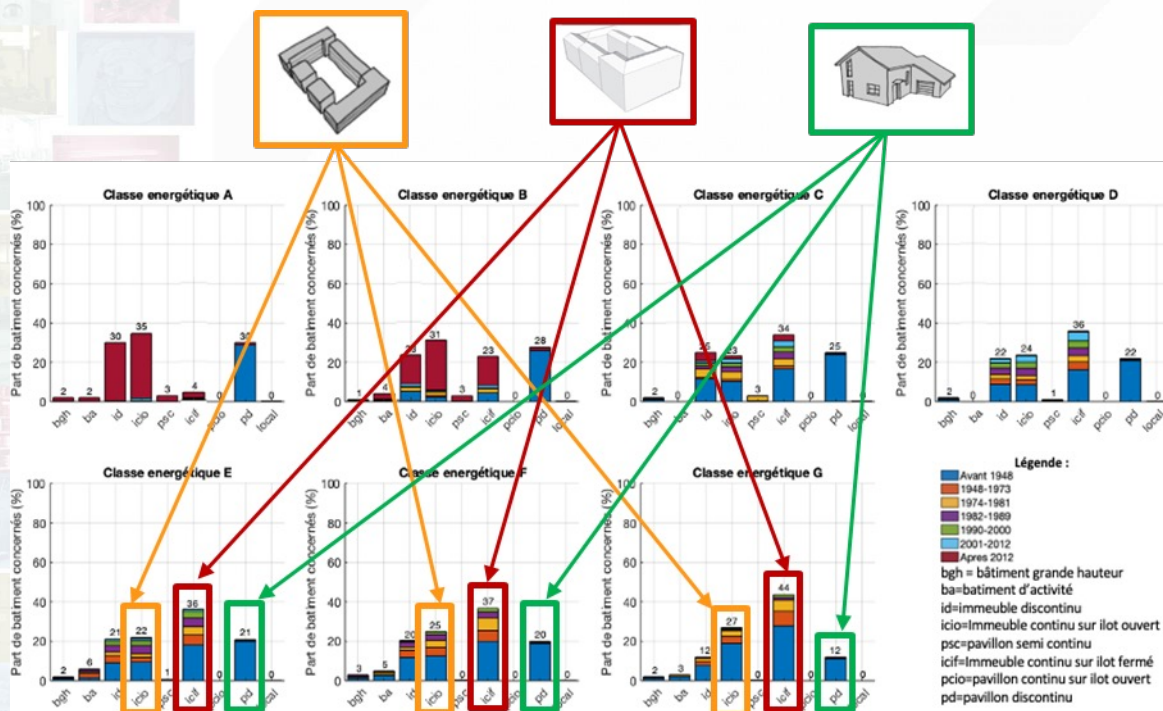


➤ 50% des batiments contruits avant 1975

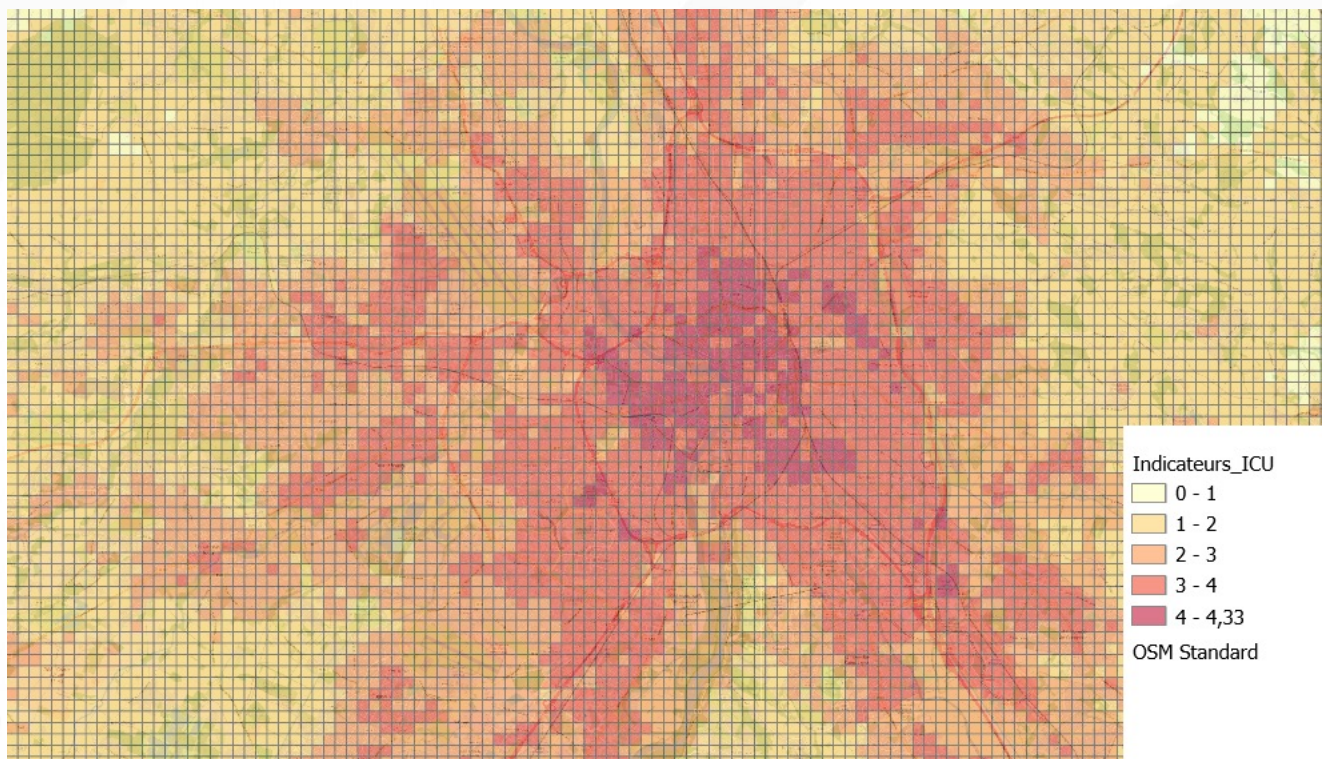
➤ 60% des classes énergétiques des ménages > D, E, F, G



Identification des typologies impactantes



Impact de l'ICU sur le confort thermique en rénovation

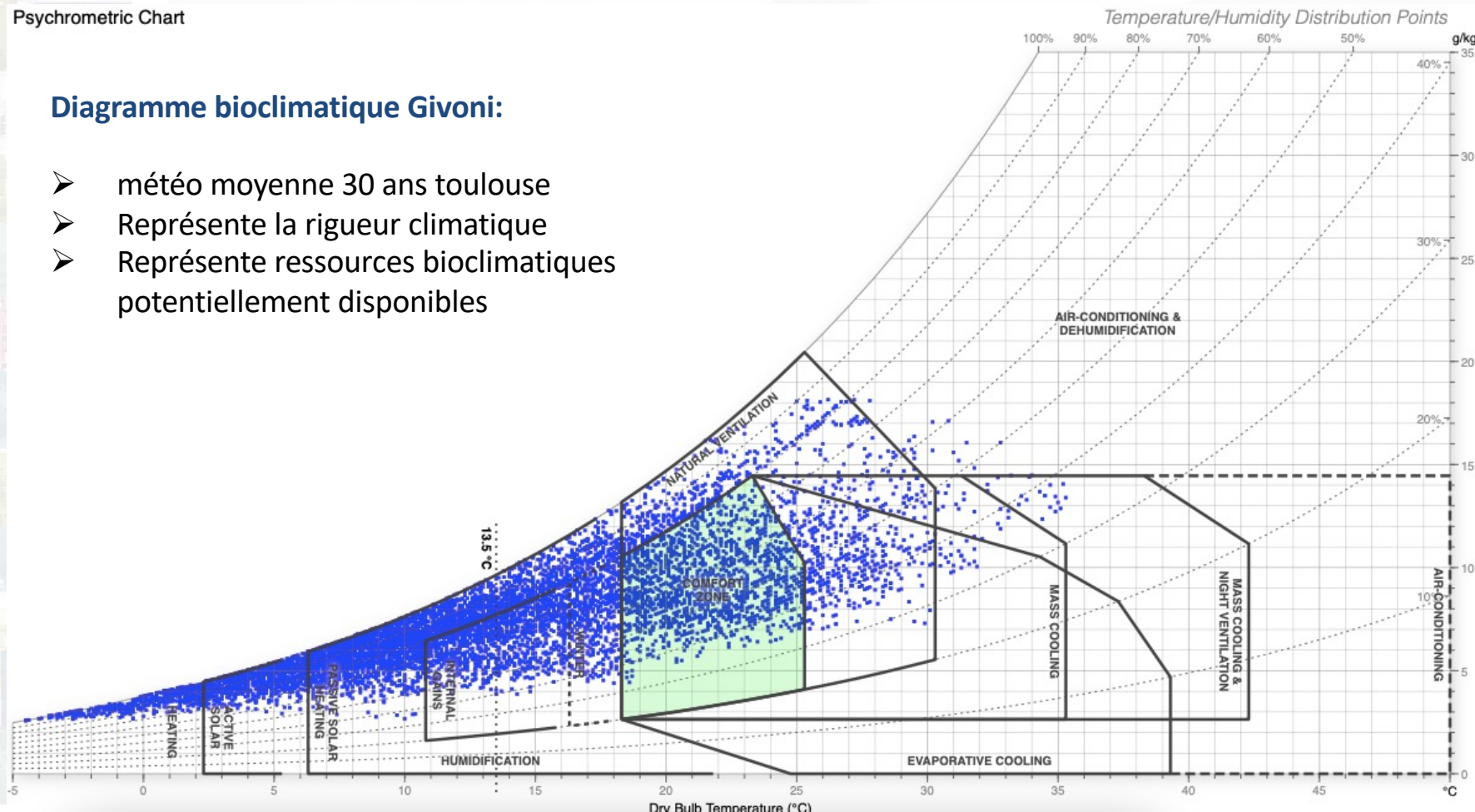


Impact des conditions bioclimatiques sur le confort thermique en rénovation

Psychrometric Chart

Diagramme bioclimatique Givoni:

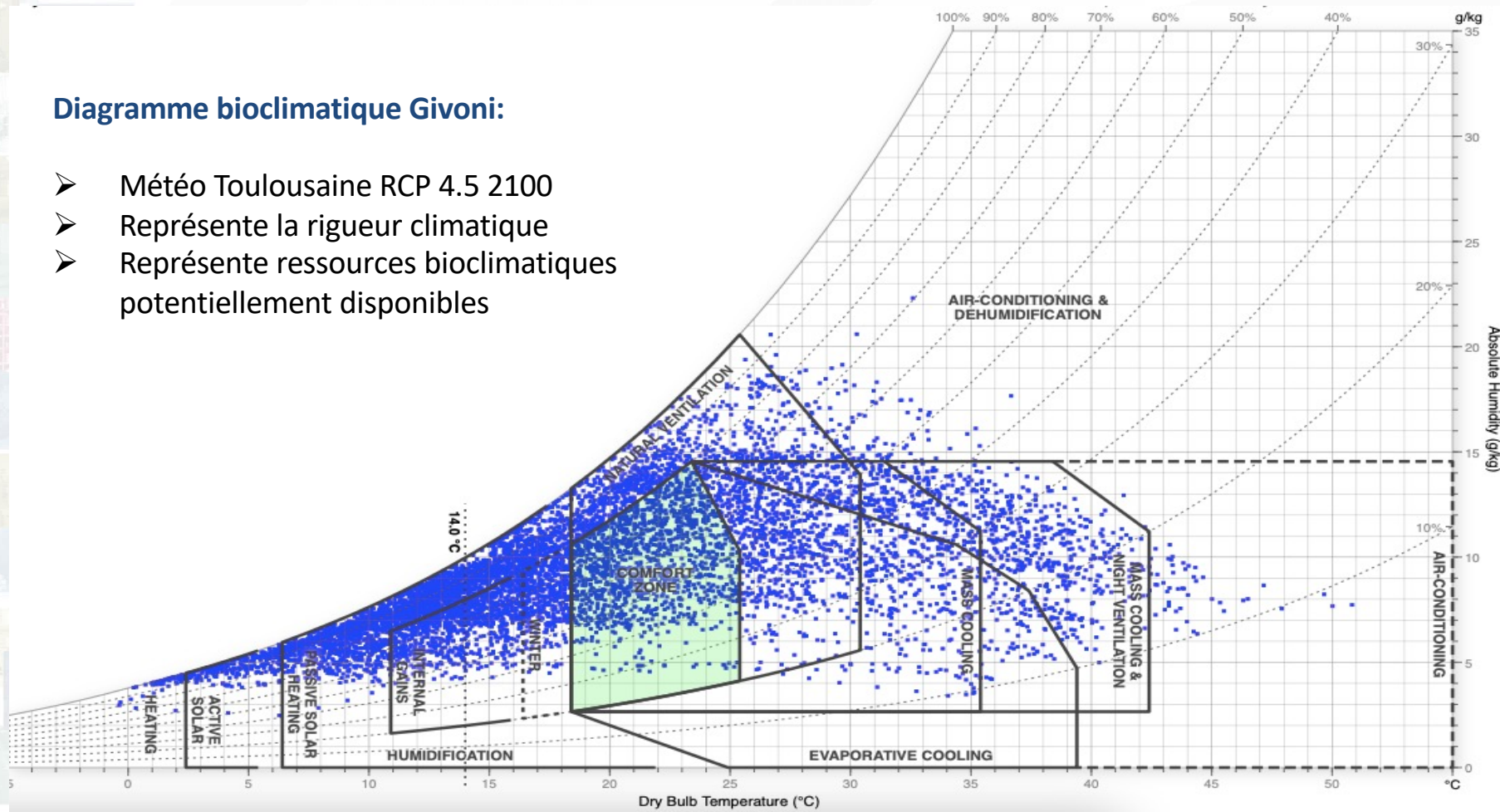
- météo moyenne 30 ans toulouse
- Représente la rigueur climatique
- Représente ressources bioclimatiques potentiellement disponibles



Impact des conditions bioclimatiques sur le confort thermique en construction

Diagramme bioclimatique Givoni:

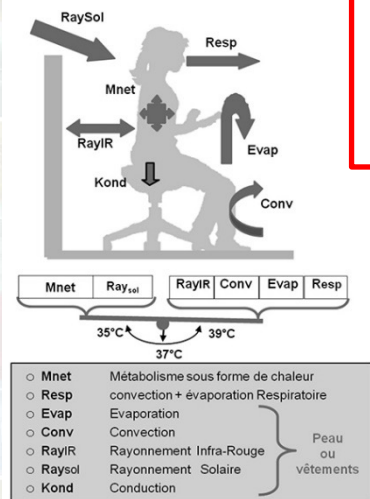
- Météo Toulousaine RCP 4.5 2100
- Représente la rigueur climatique
- Représente ressources bioclimatiques potentiellement disponibles



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...

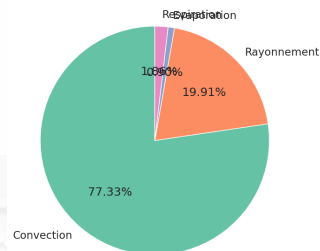
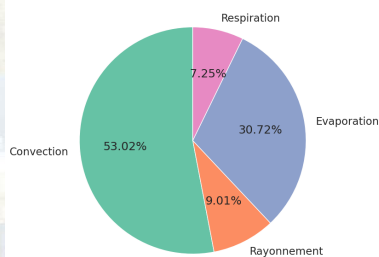
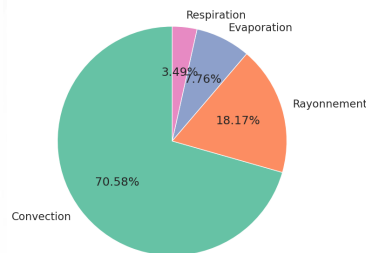
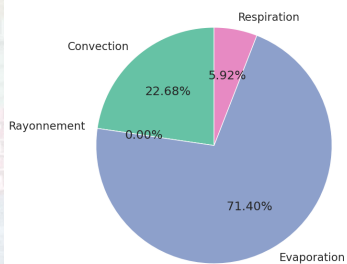
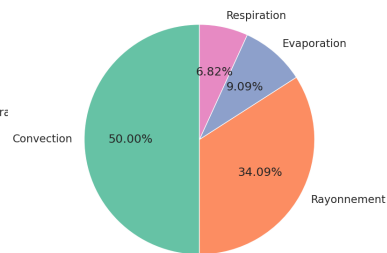
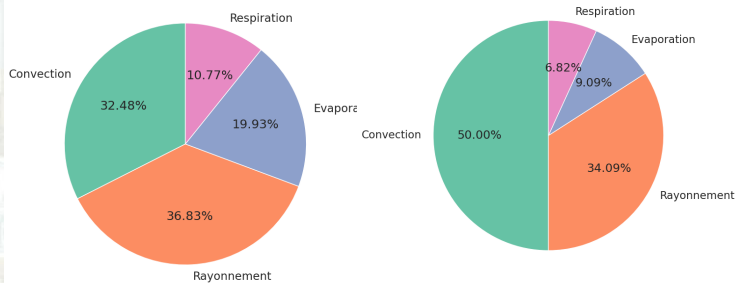
Confort thermique = Conséquence de fréquence et amplitude de sollicitation des mécanismes de thermorégulation

Source : -K. C. Parsons, *Human thermal environments: the effects of hot, moderate, and cold environments on human health, comfort, and performance*, Third edition. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2014.

-“Thermal Comfort », in *Human Thermal Environments*, CRC Press, 2014, p. 257-290. doi: 10.1201/b16750-12

-*Thermal environmental conditions for human occupancy: ansi/ashrae standard 55-2017 ... 2017.*

Ambiances standard et types d'échanges



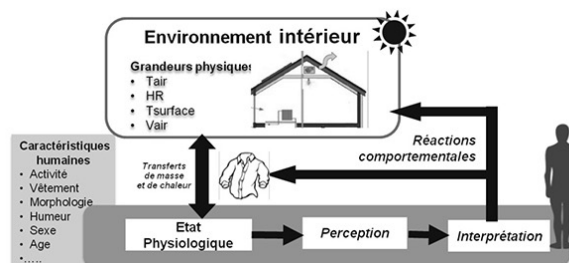
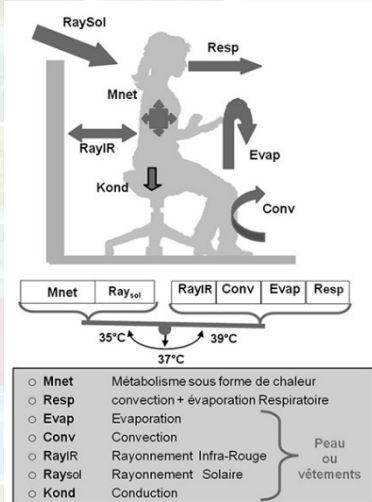
N° cas	a.	b.	c.	d.	e.	f.
Conditions	Intérieur été	Intérieur hiver	Extérieur, ciel dégagé, été	Extérieur, ciel dégagé, hiver	Extérieur, ciel couvert, été	Extérieur, ciel couvert, hiver
Tair	27	20	30	-5	30	-5
Tmray	27	20	60	40	30	-5
HR	40%	60%	40%	50%	50%	80%
V	0,5	0,1	1	0,5	1	5
Clo	0,5	1	0,5	1,2	0,5	2
Met	1	1	1,5	1,5	1,5	1,5

Source : -K. C. Parsons, *Human thermal environments: the effects of hot, moderate, and cold environments on human health, comfort, and performance*, Third edition. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2014.

-“Thermal Comfort », in *Human Thermal Environments*, CRC Press, 2014, p. 257-290. doi: 10.1201/b16750-12

-Thermal environmental conditions for human occupancy: ansi/ashrae standard 55-2017 ... 2017.

Le confort thermique en rénovation



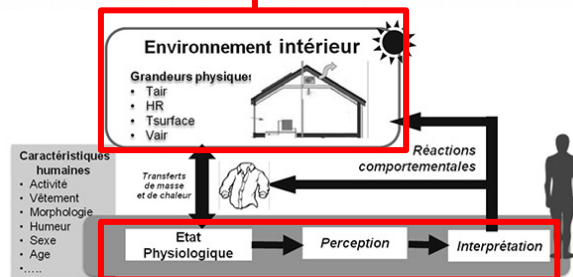
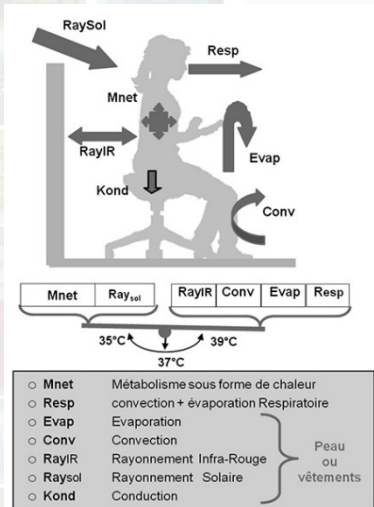
Le confort thermique en rénovation

Evaluation de la qualité
thermique des d'ambiances

16) En ce moment avez-vous ? *

Très froid 1 2 3 4 5 Très chaud

○ ○ ○ ○ ○



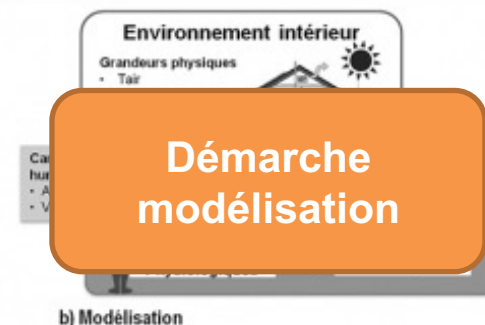
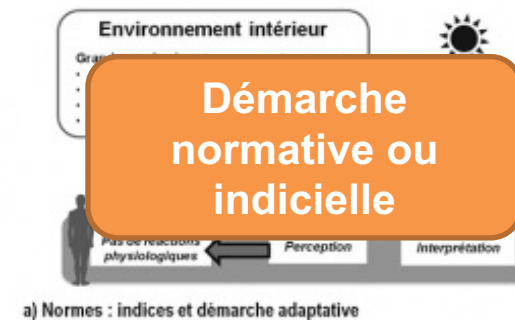
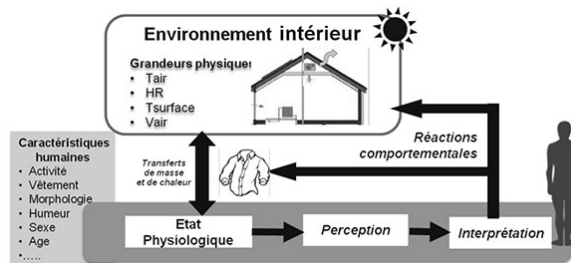
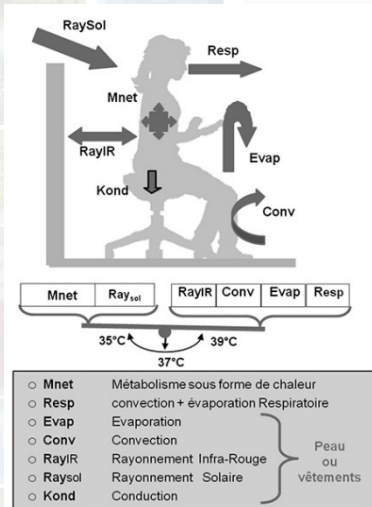
Interprétation du confort

17) Trouvez-vous cela ? *

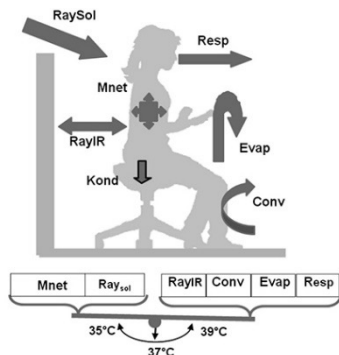
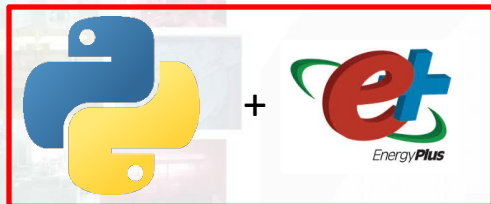
Très confortable 1 2 3 4 5 Très inconfortable

○ ○ ○ ○ ○

Le confort thermique en rénovation



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

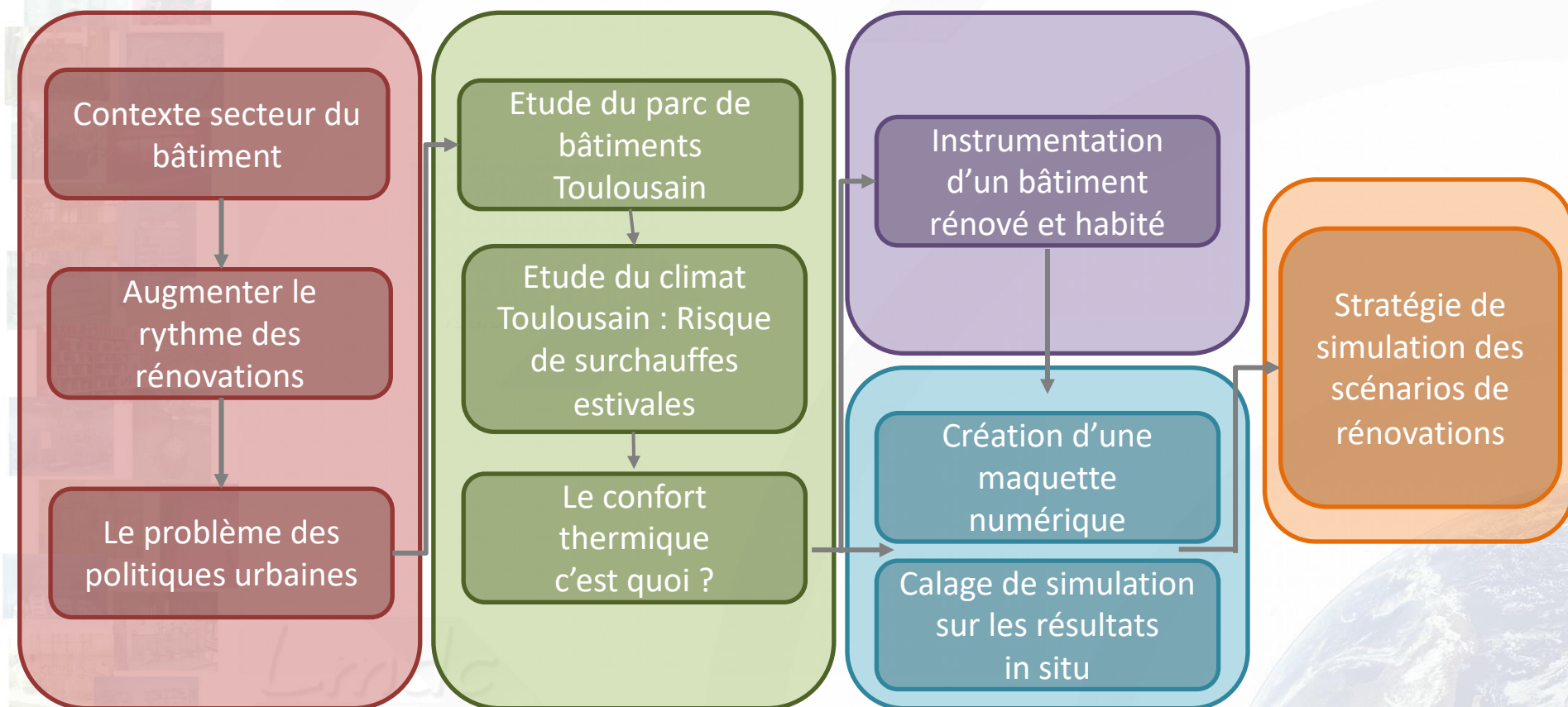
Nom	Variables climatiques et individuelles						Variables physiologiques
	Tair	Tmray	HR Pvsat	Vair	M	Icl	
DH	x						
PMV	x	x	x	x	x	x	x
TSV	x	x	x	x	x	x	x
Tair	x						
Top	x	x					
CTA	x	x					
CTA+CE	x	x	x	x			
WBGT		x	x				
Teq	x	x		x			
DISC							x
Tsk / Tcr	x	x	x	x	x	x	x
*ET	x	x	x		x		
SET	x	x	x	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

Source : -K. C. Parsons, *Human thermal environments: the effects of hot, moderate, and cold environments on human health, comfort, and performance*, Third edition. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2014.

-“Thermal Comfort », in *Human Thermal Environments*, CRC Press, 2014, p. 257-290. doi: 10.1201/b16750-12

-Thermal environmental conditions for human occupancy: ansi/ashrae standard 55-2017 ... 2017.

Sommaire



3

Instrumentation

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.

Cas d'étude : instrumentation in situ

AVANT RÉNOVATION



APRÈS RÉNOVATION



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)
 - ± 0.4 °C de 0 à 50 °C
 - ± 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)
 - ± 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

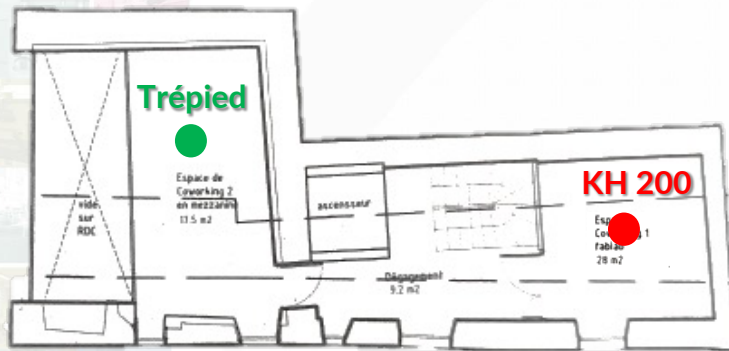


Kimo KH 220-O

- **Grandeurs** : Température (CTN), Humidité (Capacitif), Luminosité (photodiode)
- **Précision** : $\pm 2\%$ HR (de 15 à 25 °C, de 5 à 95% HR)
 - ± 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



Protocole expérimental



Niveau 0

KH50 → T+HR

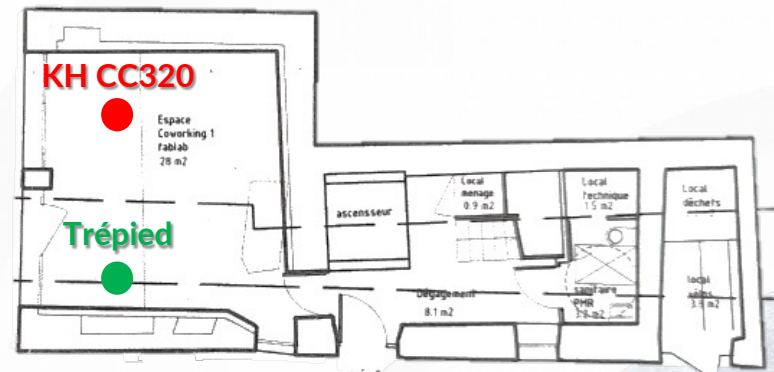
KH 200 → T+HR+Lux

KH CC320 → T+HR+CO2+Patm

Trépied confort

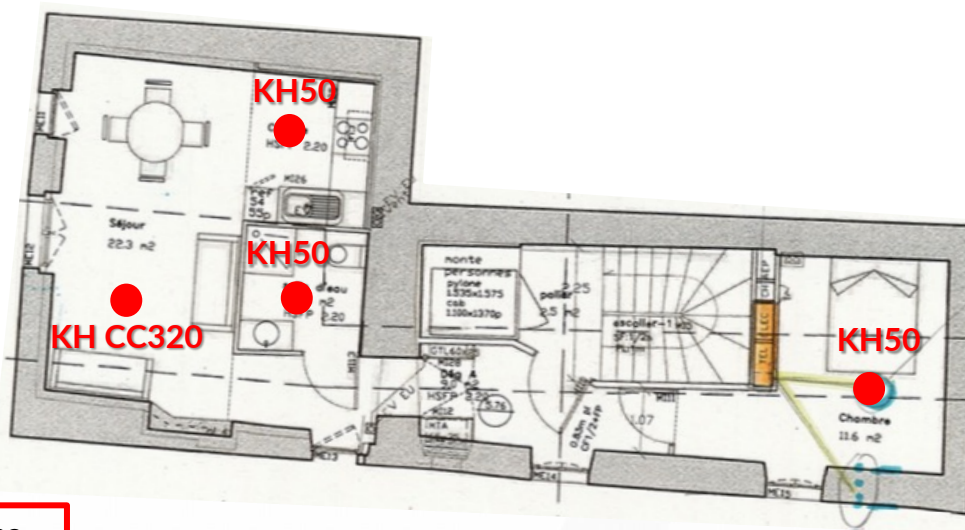


Instrumentation Kimo



Niveau 1

Protocole expérimental



Instrumentation Kimo

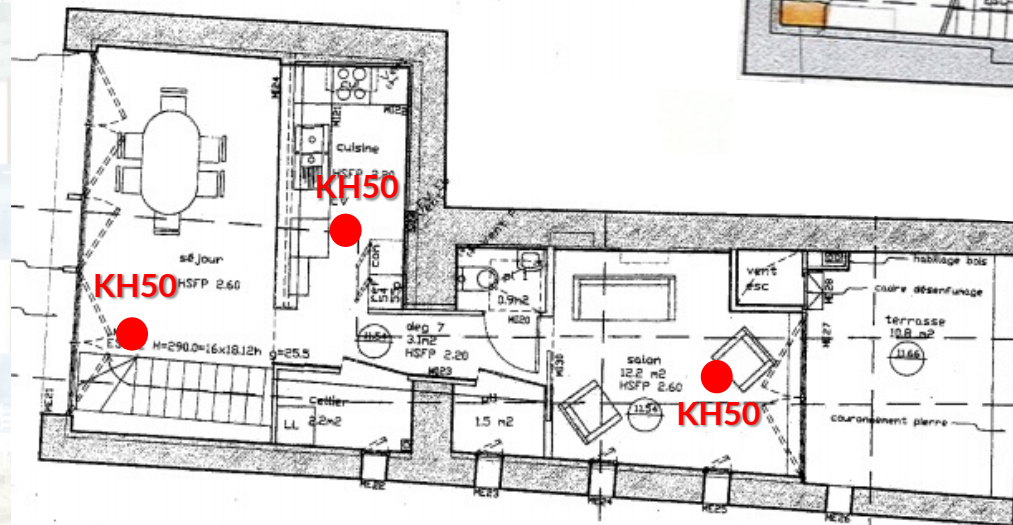


KH50 → T+HR

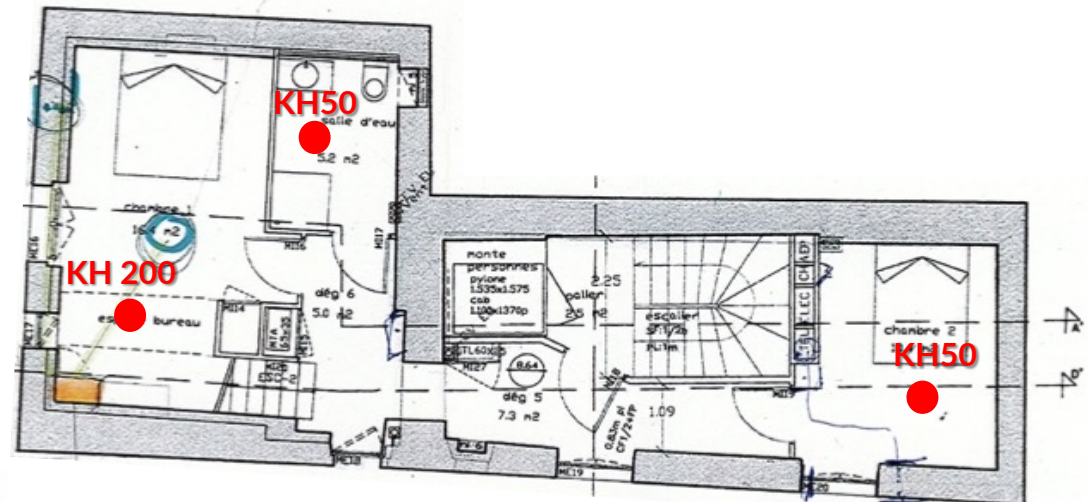
KH CC320 → T+HR+CO₂+Patm

Protocole expérimental

Instrumentation Kimo



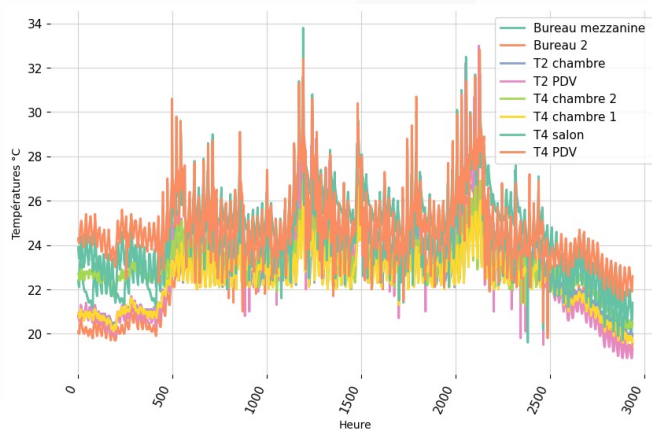
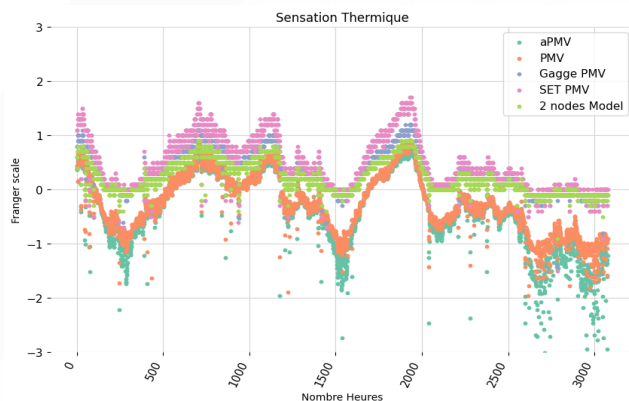
Niveau 4



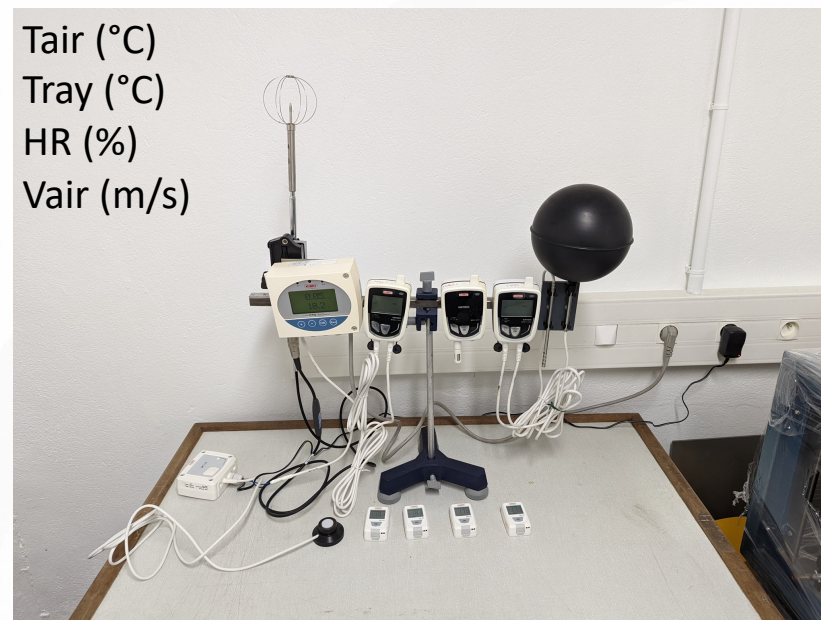
Niveau 3

KH 200 → T+HR+Lux
KH50 → T+HR

Résultats de l'instrumentation



Tair (°C)
Tray (°C)
HR (%)
Vair (m/s)



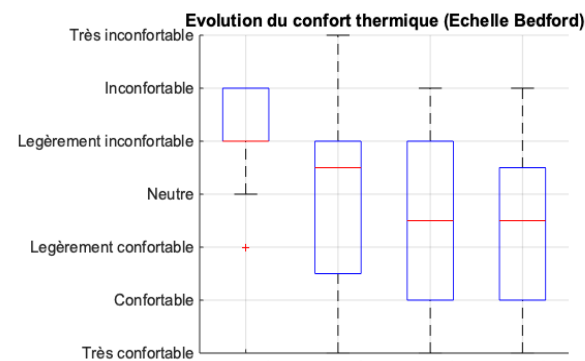
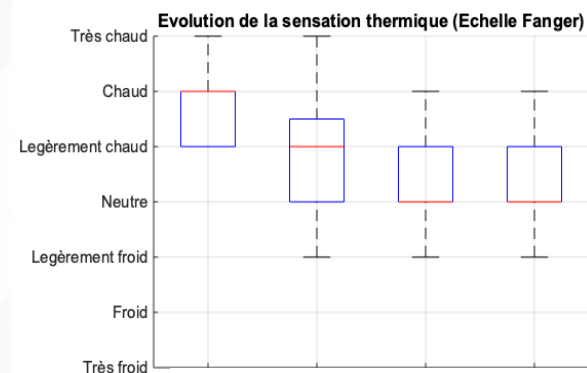
Questionnaire confort

16) En ce moment avez-vous ? *

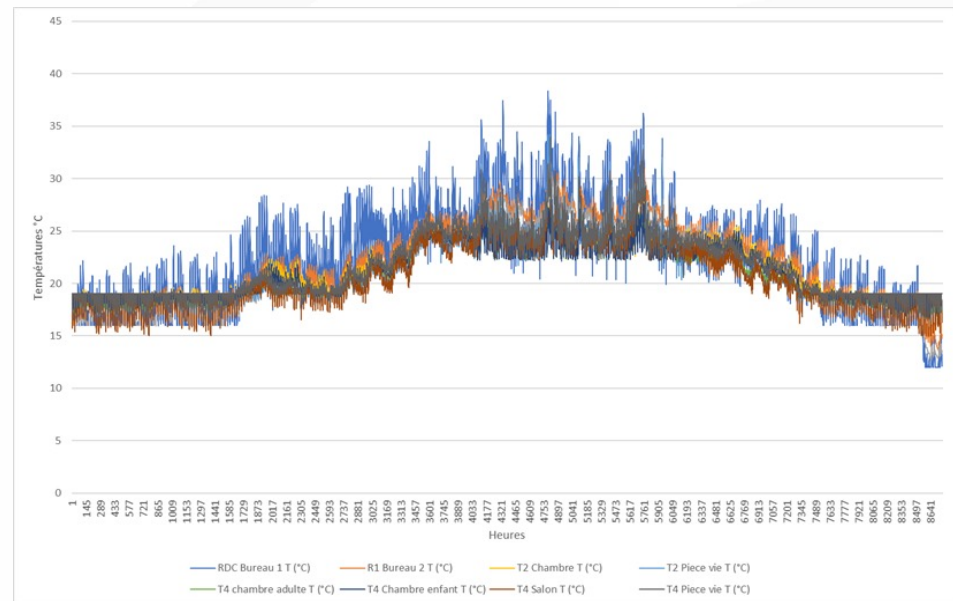
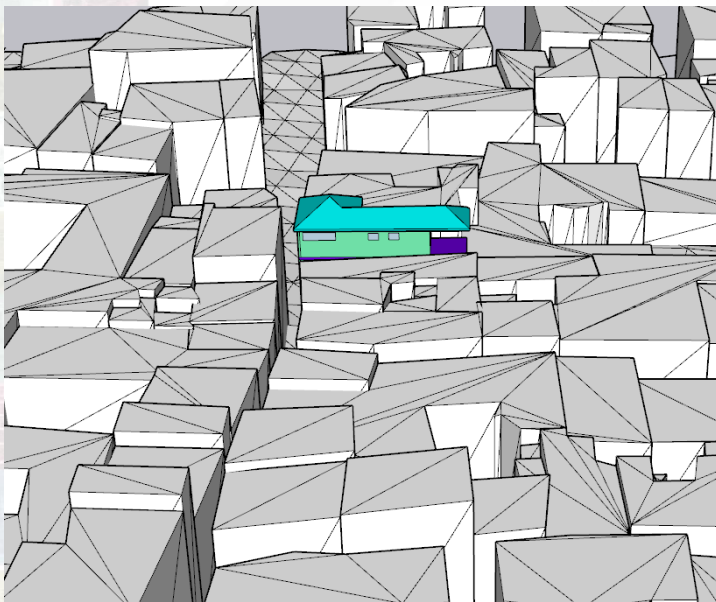
	1	2	3	4	5	
Très froid	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Très chaud

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



Cas d'étude : création maquette numérique



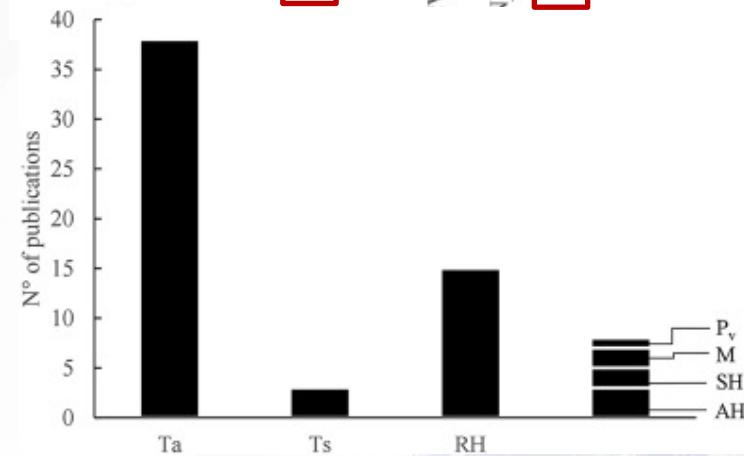
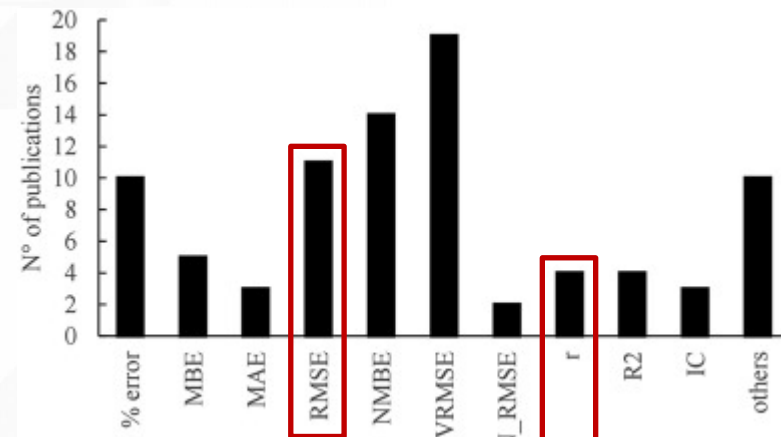
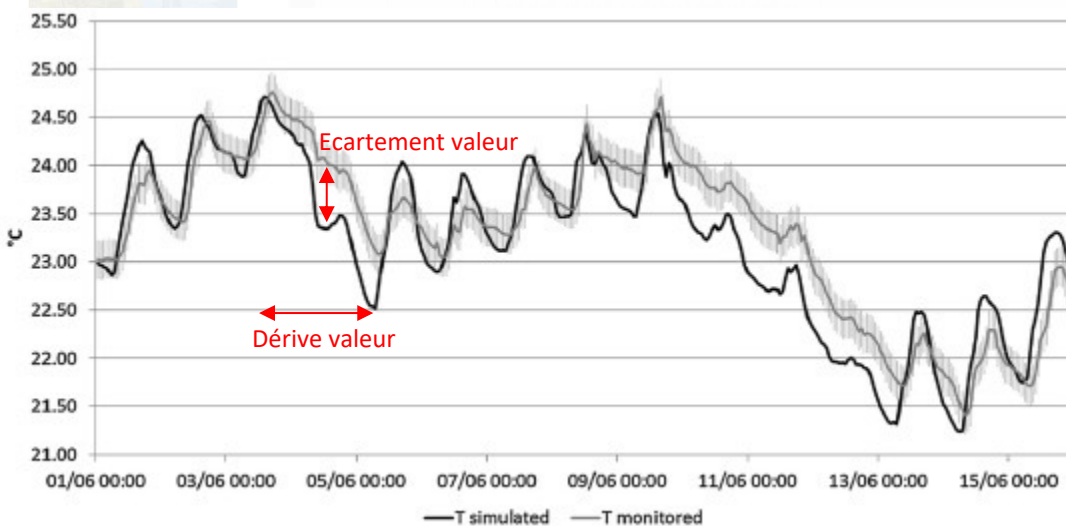
Validation du modèle de simulation

Indicateur d'écartement de valeur :

- $5\% < \text{RMSE} < 10\%$

Dérive de la valeur:

- $\text{PEARSON} > 80\%$



Citation : H.E. Huerto-Cardenas, F. Leonforte, N. Aste, C. Del Pero, G. Evola, V. Costanzo, E. Lucchi : Validation of dynamic hygrothermal simulation models for historical buildings: State of the art, research challenges and recommendations, Building and Environment,

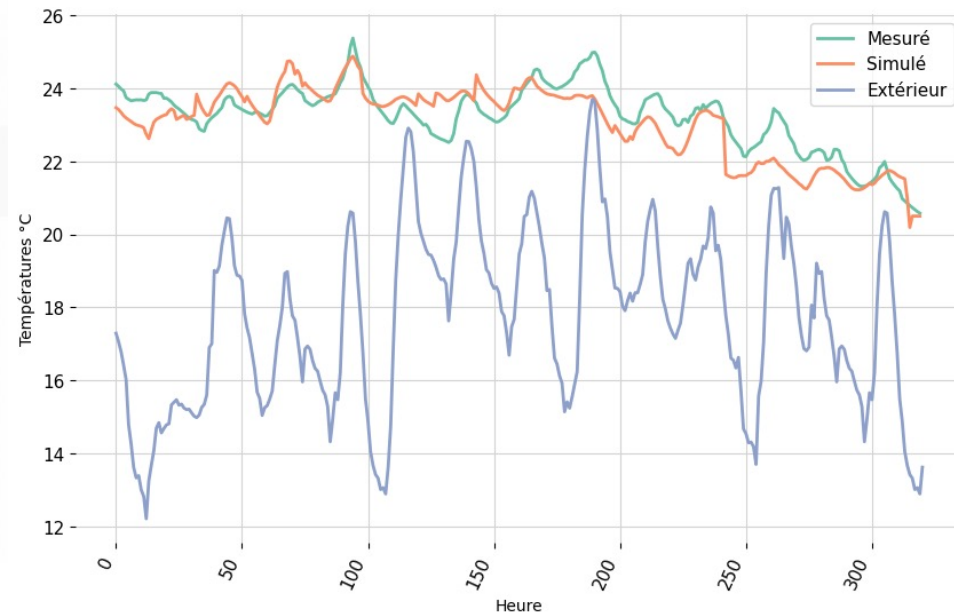
T2 Salle de vie:

- Pearson : 0.81
- RMSE : 1.03°C



T4 Chambre:

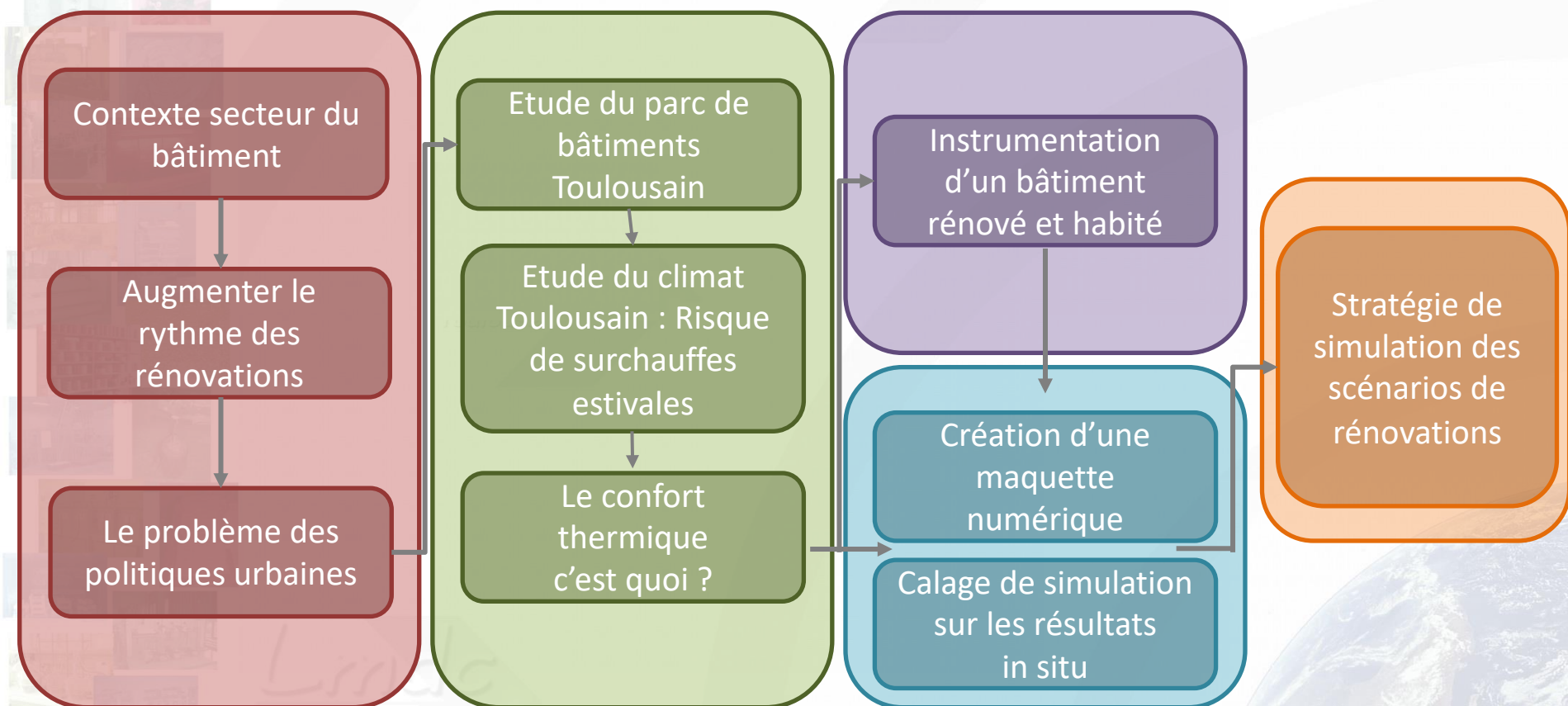
- Pearson : 0.78
- RMSE : 0,97 °C



Objectif			
Temperature		Conso	
Pearson	0.8	Erreur Abs	0.05
RMSE	2		

T4						
		Temperature			Conso	
Chambre adulte	Pearson	0.95	RMSE	1.6	Erreur Absolue	2%
Chambre enfant	Pearson	0.65	RMSE	1.73		
Salon	Pearson	0.87	RMSE	1.39		
Cuisine	Pearson	0.91	RMSE	1.58		
T2						
		Temperature			Conso	
Chambre	Pearson	0.93	RMSE	1.5	Erreur Absolue	<1%
Salon	Pearson	0.97	RMSE	1.1		
Bureau						
		Temperature			Conso	
Co working	Pearson	0.85	RMSE	1.82	Erreur Absolue	<1%

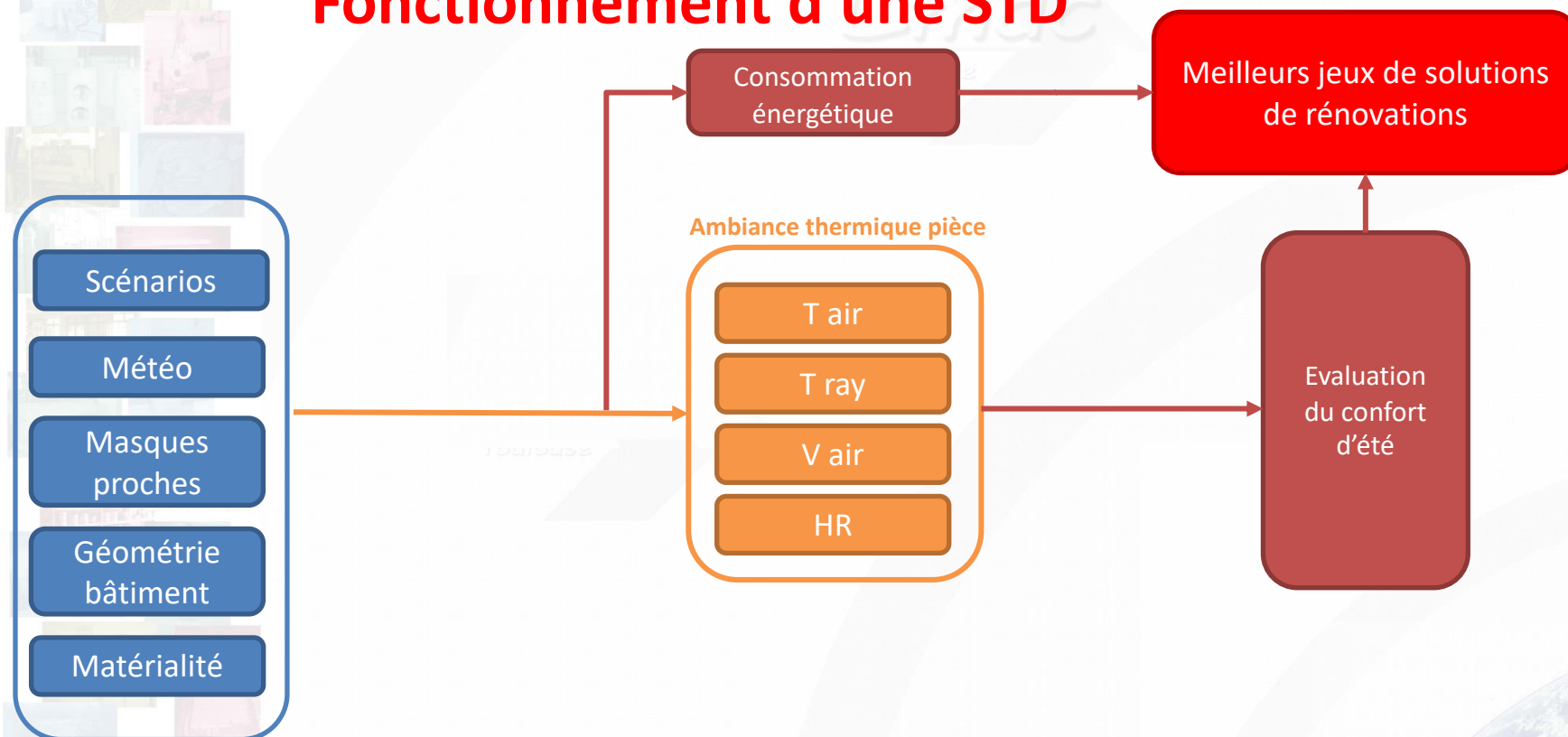
Sommaire



4

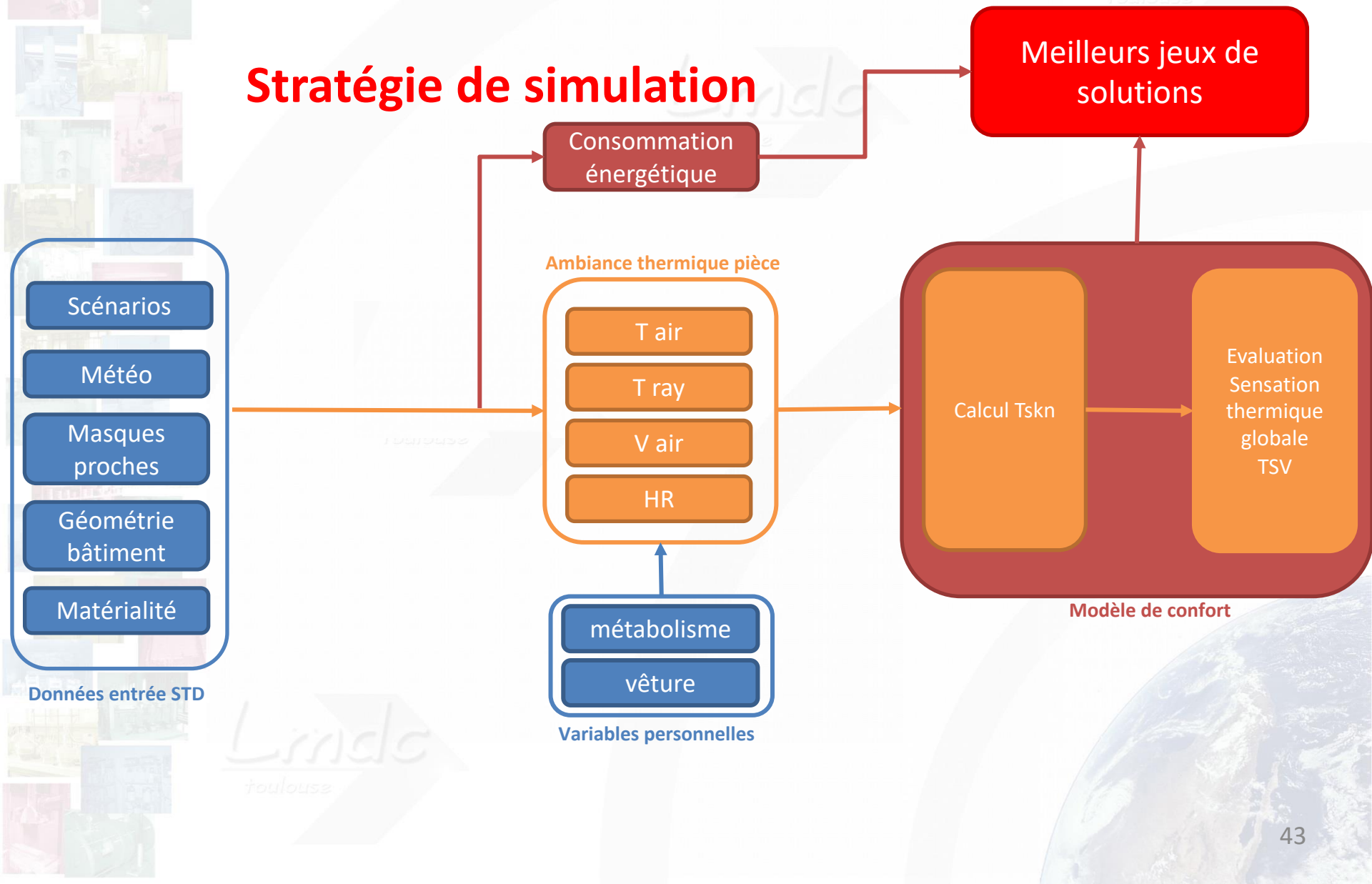
Stratégie de simulation

Fonctionnement d'une STD

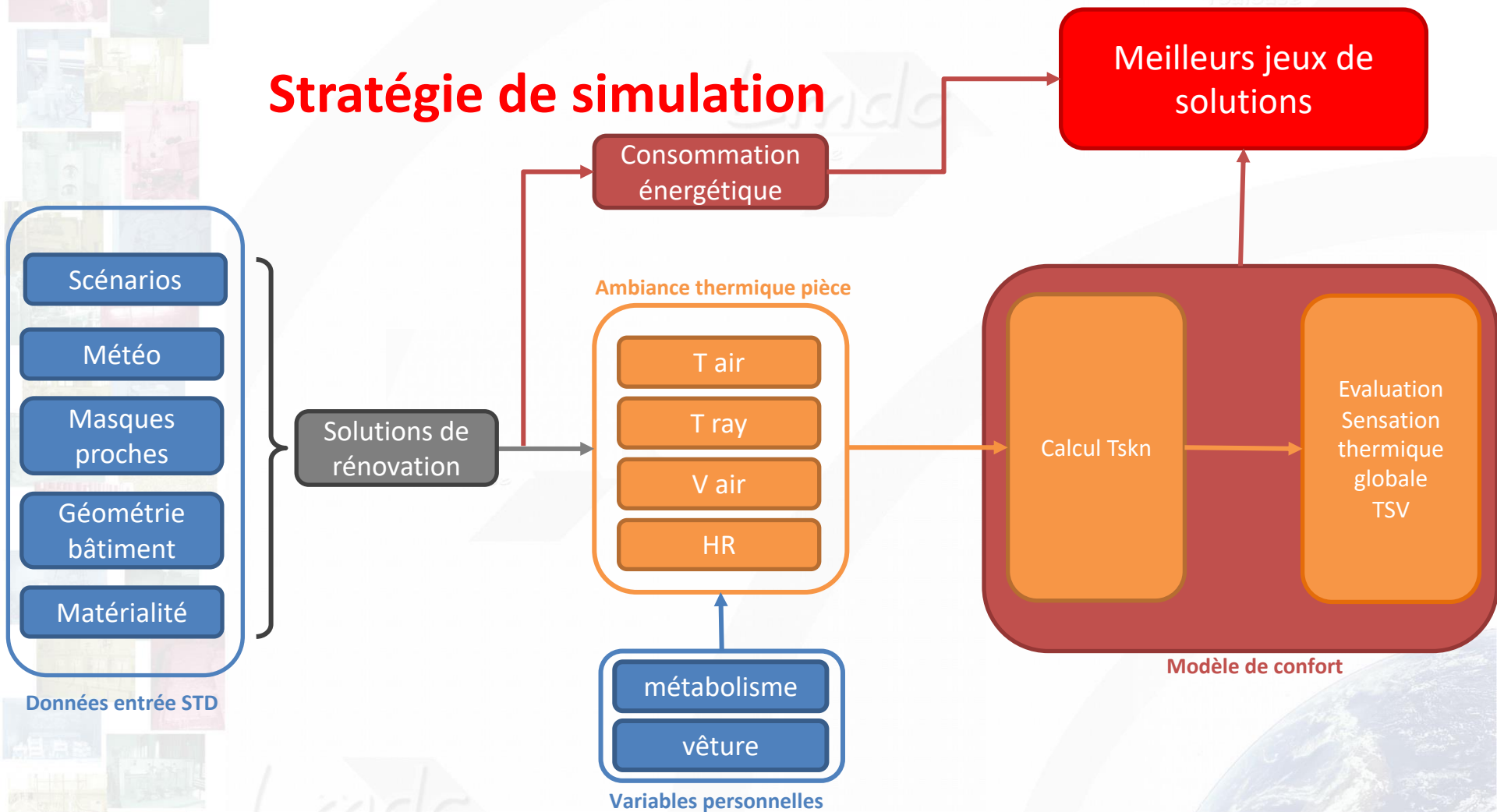


Données entrée STD

Stratégie de simulation



Stratégie de simulation

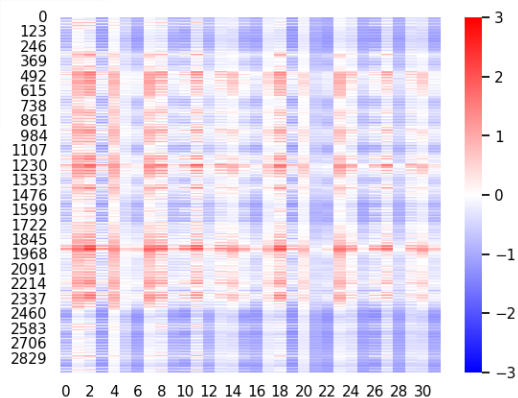


Plan d'expérience factoriel réduit

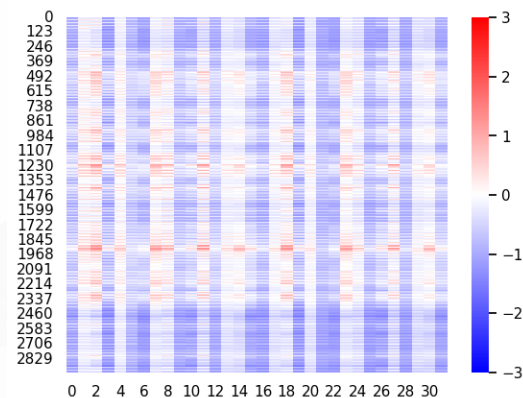
Numéro expérience	Occultation	Ventilation nocturne (Vol/h)	Masse volumique porteur	Lambda isolant	Epaisseur isolant	Emissivité revêtements	Utilisation ventilateur vagues de chaleur	Vitrage solaire (Sg)	Modification vêtue
0	Bas	Bas	Bas	Bas	Bas	Haut	Haut	Haut	Haut
1	Bas	Bas	Bas	Bas	Haut	Bas	Bas	Bas	Bas
2	Bas	Bas	Bas	Haut	Bas	Bas	Bas	Haut	Bas
3	Bas	Bas	Bas	Haut	Haut	Haut	Haut	Bas	Haut
4	Bas	Bas	Haut	Bas	Bas	Bas	Bas	Bas	Haut
5	Bas	Bas	Haut	Bas	Haut	Bas	Haut	Haut	Bas
6	Bas	Bas	Haut	Haut	Bas	Haut	Haut	Bas	Bas
7	Bas	Bas	Haut	Haut	Haut	Bas	Bas	Haut	Haut
8	Bas	Haut	Bas	Bas	Bas	Haut	Bas	Bas	Bas
9	Bas	Haut	Bas	Bas	Haut	Bas	Haut	Haut	Haut
10	Bas	Haut	Bas	Haut	Bas	Bas	Haut	Bas	Haut
11	Bas	Haut	Bas	Haut	Haut	Haut	Bas	Haut	Bas
12	Bas	Haut	Haut	Bas	Bas	Bas	Haut	Haut	Bas
13	Bas	Haut	Haut	Bas	Haut	Haut	Bas	Bas	Haut
14	Bas	Haut	Haut	Haut	Bas	Haut	Bas	Haut	Haut
15	Bas	Haut	Haut	Haut	Haut	Bas	Haut	Bas	Bas
16	Haut	Bas	Bas	Bas	Bas	Bas	Haut	Bas	Bas
17	Haut	Bas	Bas	Bas	Haut	Haut	Bas	Haut	Haut
18	Haut	Bas	Bas	Haut	Bas	Haut	Bas	Bas	Haut
19	Haut	Bas	Bas	Haut	Haut	Bas	Haut	Haut	Bas
20	Haut	Bas	Haut	Bas	Bas	Haut	Bas	Haut	Bas
21	Haut	Bas	Haut	Bas	Haut	Bas	Haut	Bas	Haut
22	Haut	Bas	Haut	Haut	Bas	Bas	Haut	Haut	Haut
23	Haut	Bas	Haut	Haut	Haut	Haut	Bas	Bas	Bas
24	Haut	Haut	Bas	Bas	Bas	Bas	Bas	Haut	Haut
25	Haut	Haut	Bas	Bas	Haut	Haut	Haut	Bas	Bas
26	Haut	Haut	Bas	Haut	Bas	Haut	Haut	Haut	Bas
27	Haut	Haut	Bas	Haut	Haut	Bas	Bas	Bas	Haut
28	Haut	Haut	Haut	Bas	Bas	Haut	Haut	Bas	Haut
29	Haut	Haut	Haut	Bas	Haut	Bas	Bas	Haut	Bas
20	Haut	Haut	Haut	Haut	Bas	Bas	Bas	Bas	Bas
31	Haut	Haut	Haut	Haut	Haut	Haut	Haut	Haut	Bas

Résultats confort

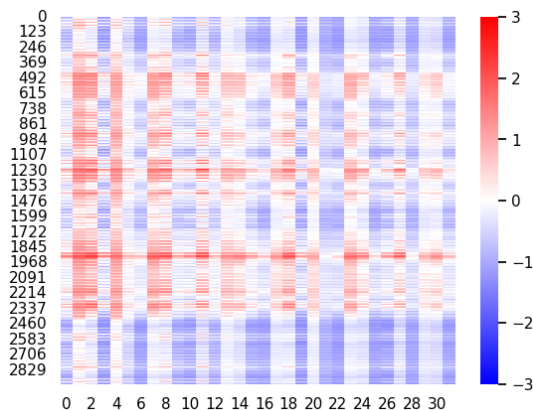
➤ T2



➤ Bureaux



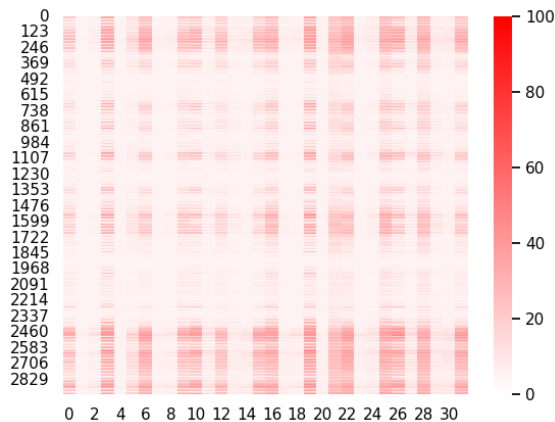
➤ T3



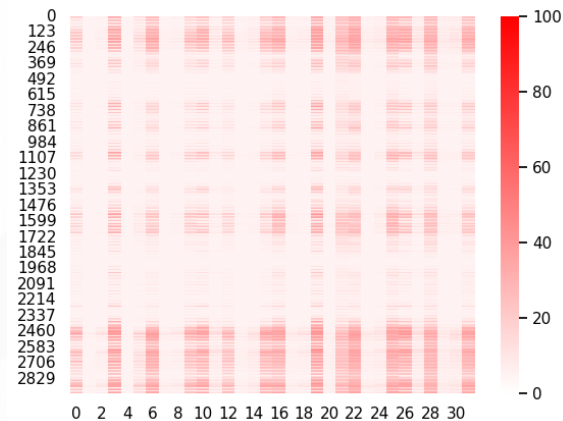
Scale	Thermal Sensation
+3	Hot
+2	Warm
+1	Slightly Warm
0	Neutral
-1	Slightly Cool
-2	Cool
-3	Cold

Pourcentage d'insatisfaits

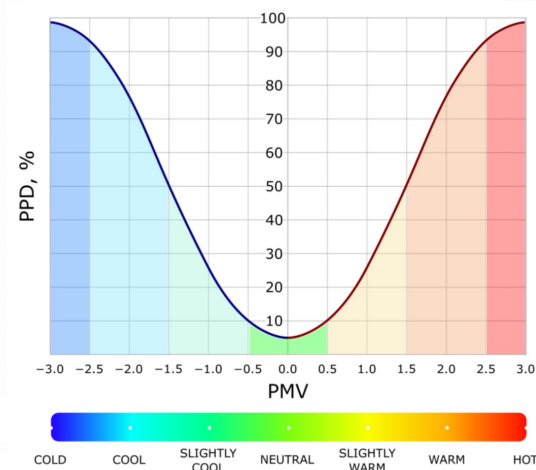
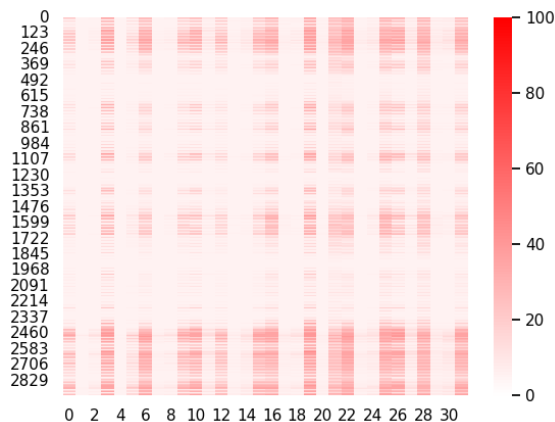
➤ T2



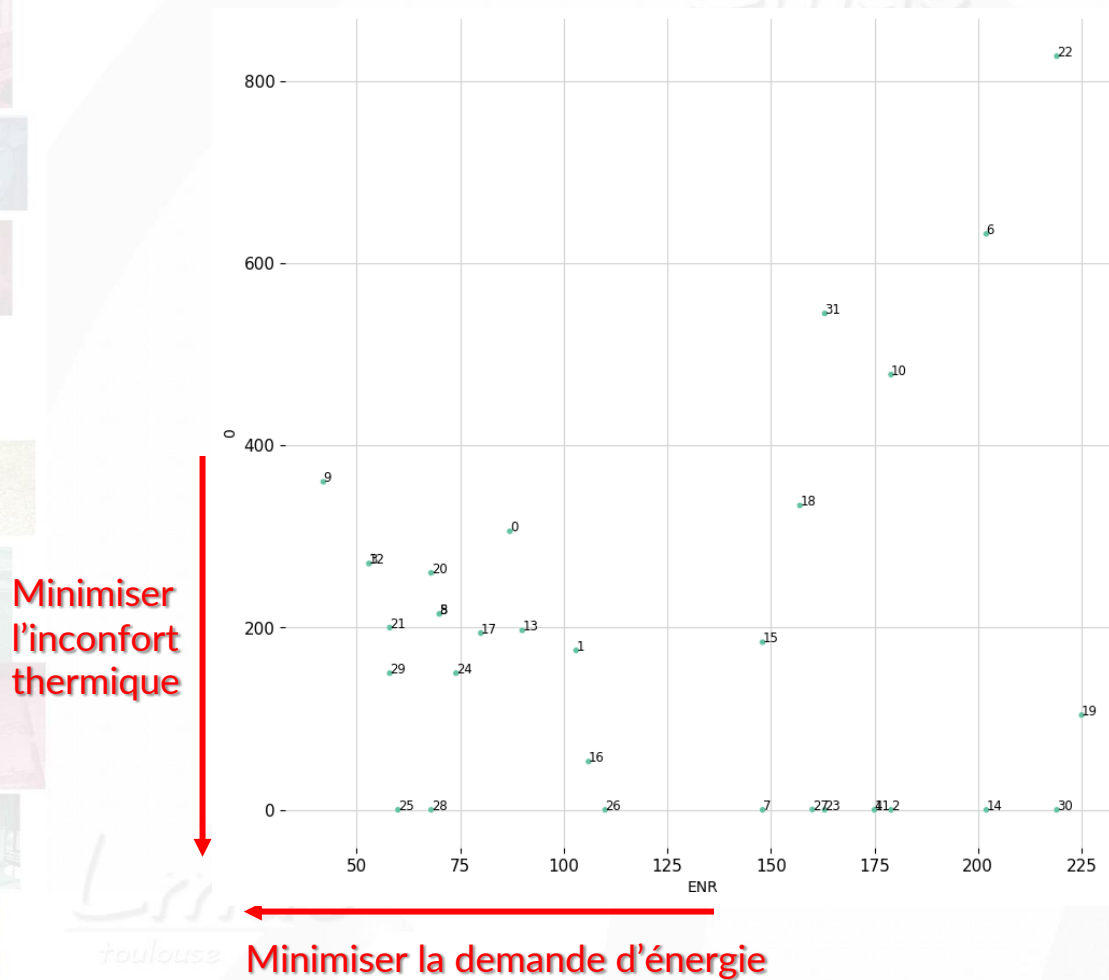
➤ Bureaux



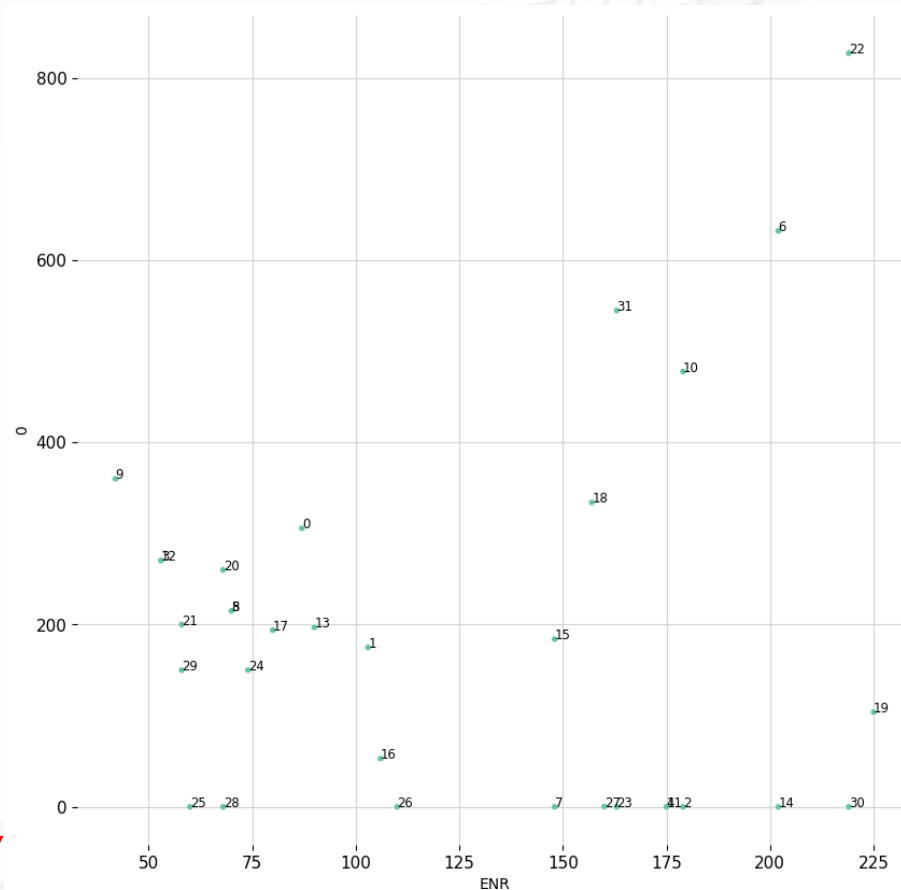
➤ T3



Observation des résultats



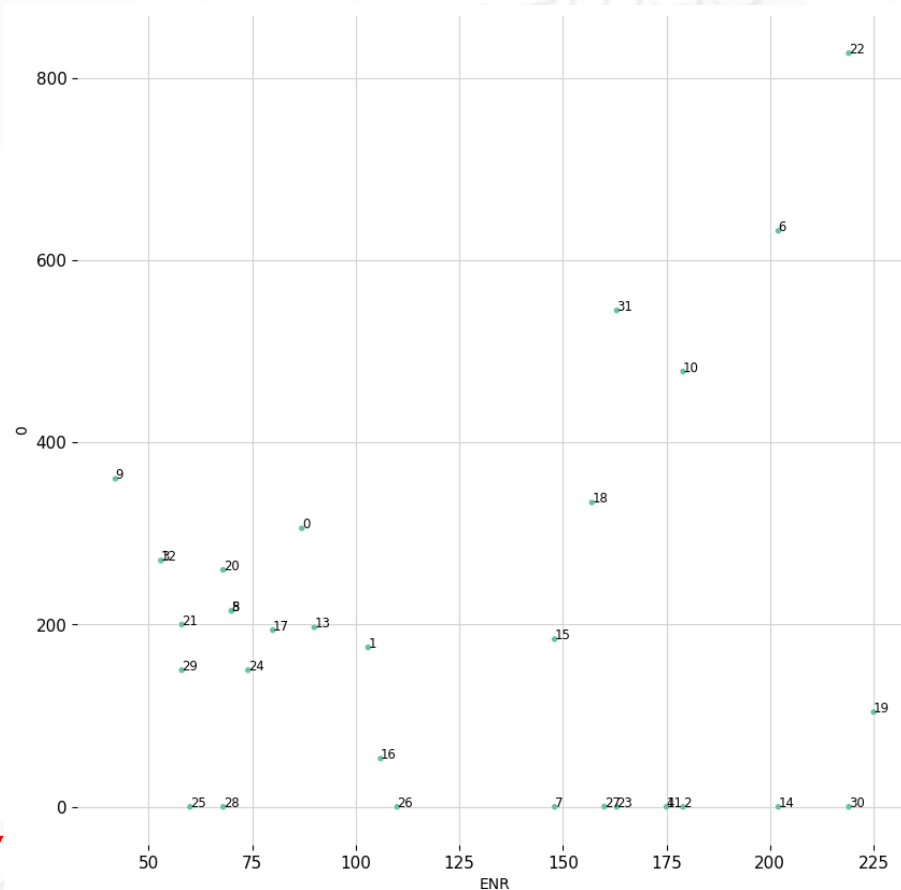
Observation des résultats



-Occultation des menuiseries
-Utilisation brasseurs d'air
-Inertie et ventilation
-Faible inertie sans ventilation

-Isolant performant
-Isolant épais
-Sans vitrage solaire

Observation des résultats

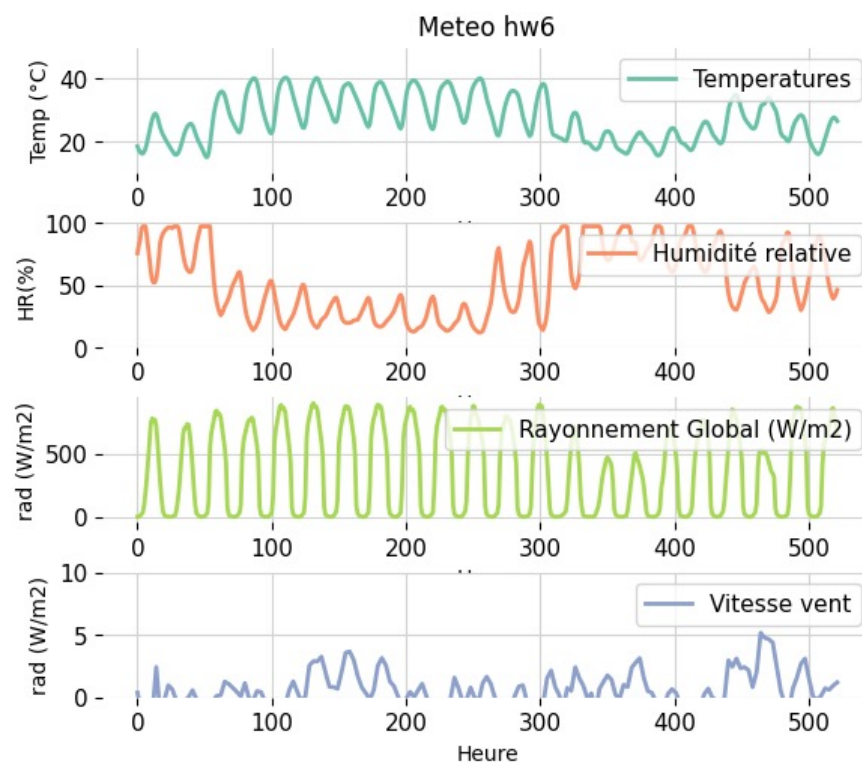
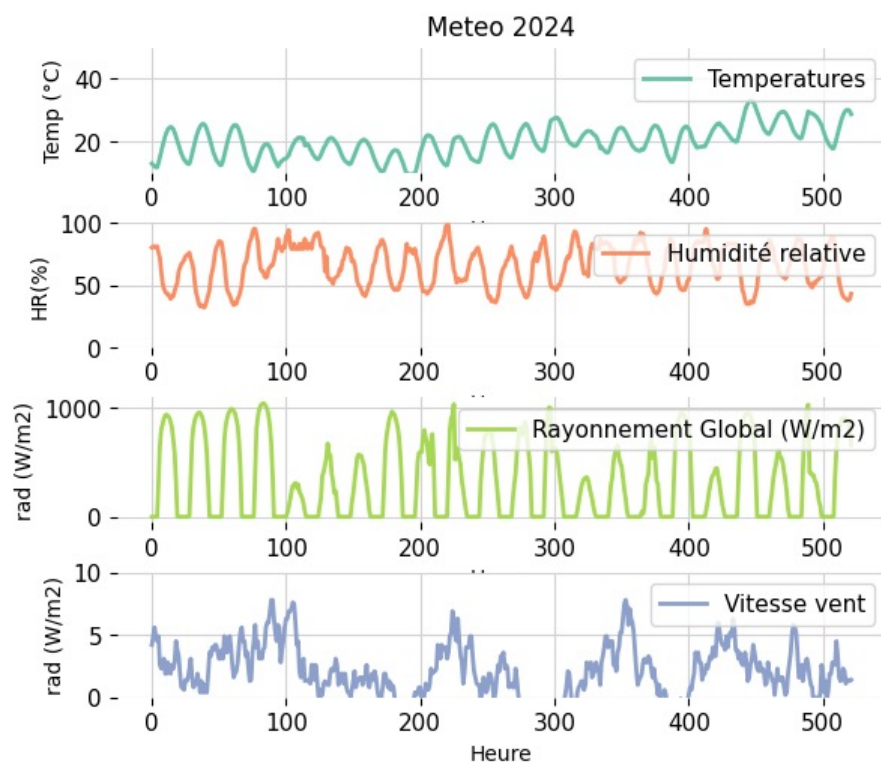


-Occultation des menuiseries
-Utilisation brasseurs d'air
-Inertie et ventilation
-Faible inertie sans ventilation

-Isolant performant
-Isolant épais
-Sans vitrage solaire

Occultation	0.54	0.43
Ventilation nocturne	0.013	0.32
Masse volumique porteur	0	0
Lambda isolant	0.89	0
Epaisseur isolant	-0.54	0.029
Emissivité revêtements	0.01	0
Utilisation brasseur air	0.04	0.91
Modification vêtre	0	0.56
Vitrage solaire	0.11	0.2
Energie Confort		

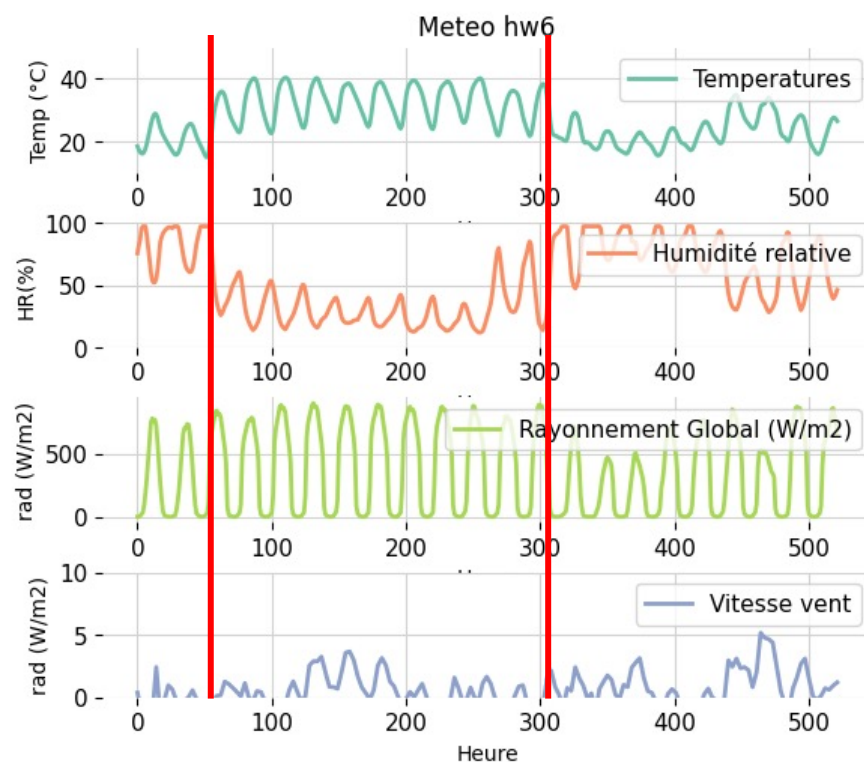
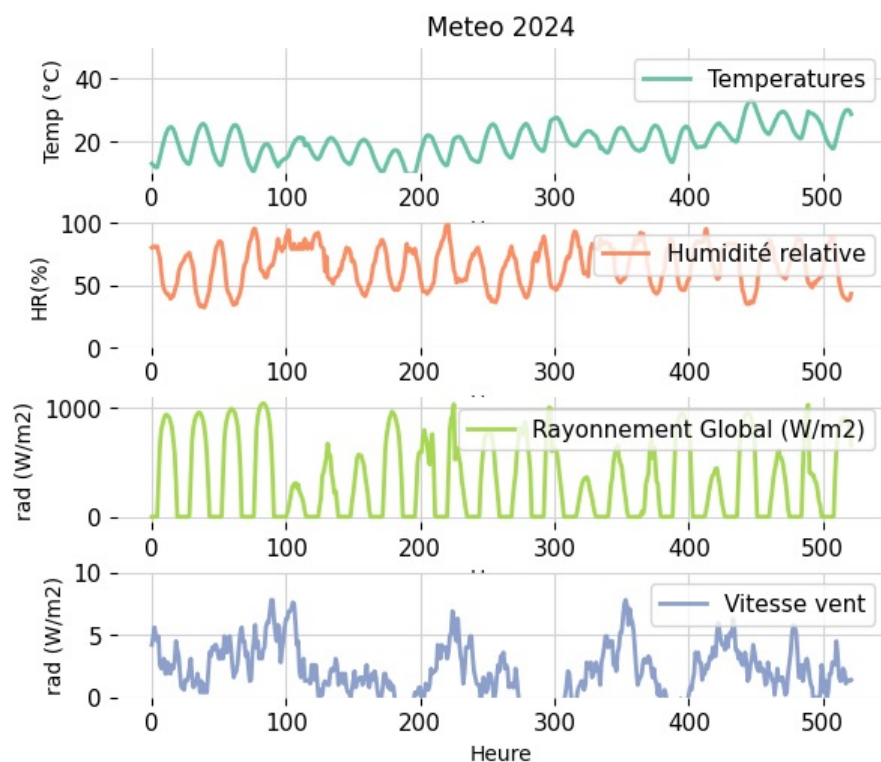
Caractéristiques des scénarios météo



Citation : CNRM Projet CORDEX

Adrien Toesca, Damien David, Kévin Johannes, Michel Lussault, Generation of weather data for the assessment of building performances under future heatwave conditions, Building and Environment, Volume 242, 2023, 110491, ISSN 0360-1323, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110491>.

Caractéristiques des scénarios météo

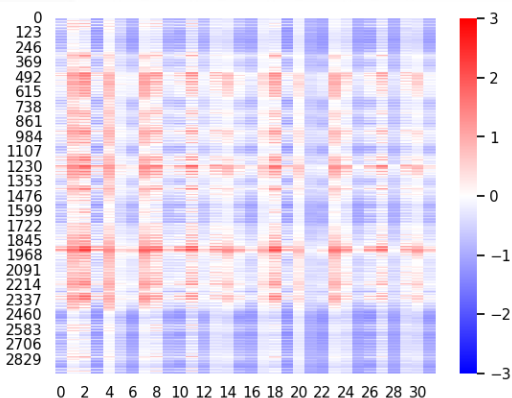


Vague de chaleur

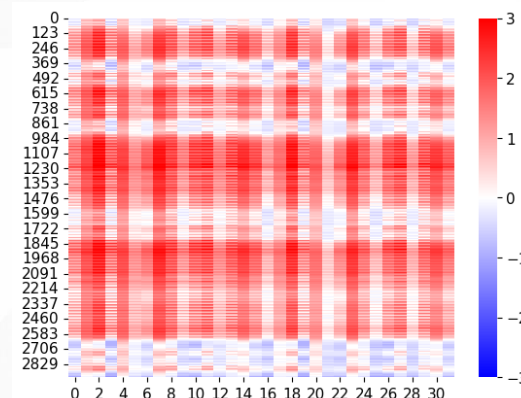
Comparaison confort thermique

➤ T2

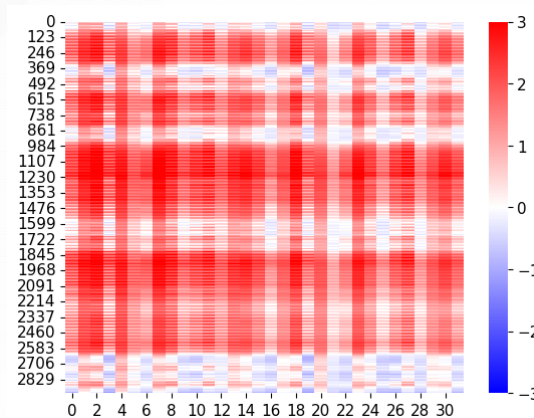
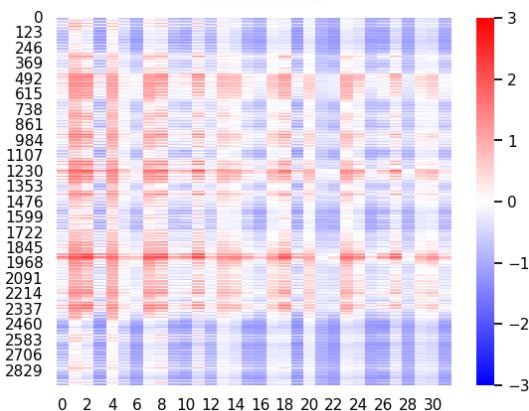
Météo 2024



Météo hw6

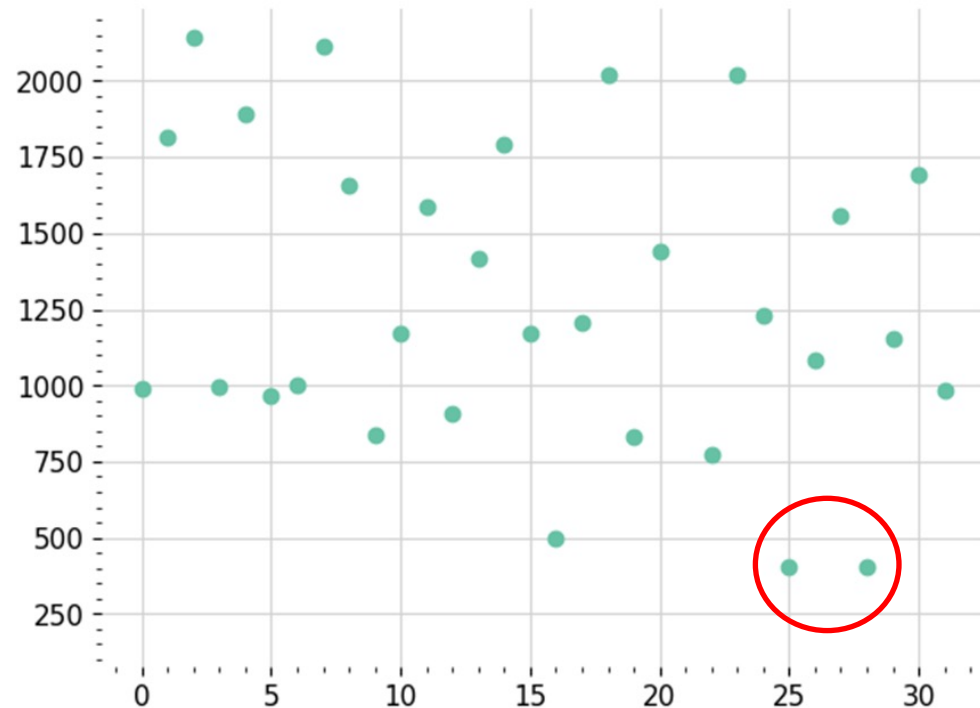


➤ T3



Plan d'expérience

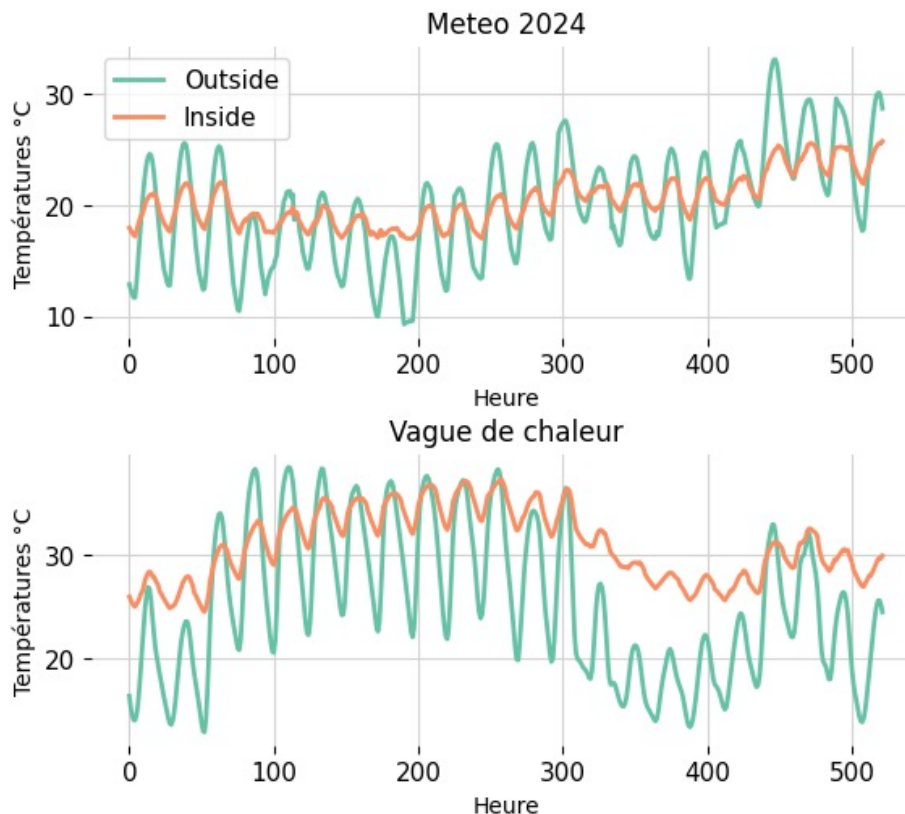
Numéro expérience	Occultation	Ventilation nocturne (Vol/h)	Masse Volumique porteur	Lambda isolant	Ep
0	Bas	Bas	Bas	Bas	Ba
1	Bas	Bas	Bas	Bas	Ha
2	Bas	Bas	Bas	Haut	Ba
3	Bas	Bas	Bas	Haut	Ha
4	Bas	Bas	Haut	Bas	Ba
5	Bas	Bas	Haut	Bas	Ha
6	Bas	Bas	Haut	Haut	Ba
7	Bas	Bas	Haut	Haut	Ha
8	Bas	Haut	Bas	Bas	Ba
9	Bas	Haut	Bas	Bas	Ha
10	Bas	Haut	Bas	Haut	Ba
11	Bas	Haut	Bas	Haut	Ha
12	Bas	Haut	Haut	Bas	Ba
13	Bas	Haut	Haut	Bas	Ha
14	Bas	Haut	Haut	Haut	Ba
15	Bas	Haut	Haut	Haut	Ha
16	Haut	Bas	Bas	Bas	Bas
17	Haut	Bas	Bas	Bas	Haut
18	Haut	Bas	Bas	Haut	Bas
19	Haut	Bas	Bas	Haut	Haut
20	Haut	Bas	Haut	Bas	Bas
21	Haut	Bas	Haut	Bas	Haut
22	Haut	Bas	Haut	Haut	Bas
23	Haut	Bas	Haut	Haut	Haut
24	Haut	Haut	Bas	Bas	Bas
25	Haut	Haut	Bas	Bas	Haut
26	Haut	Haut	Bas	Haut	Bas
27	Haut	Haut	Bas	Haut	Haut
28	Haut	Haut	Haut	Bas	Bas
29	Haut	Haut	Haut	Bas	Haut
30	Haut	Haut	Haut	Haut	Bas
31	Haut	Haut	Haut	Haut	Bas



Impact d'une vague de chaleur caractéristique

Scénario 28:

- Isolant haut
- Inertie haute
- Ventilation nocturne haute
- Scénario occultation
- Pas vitrage solaire



5

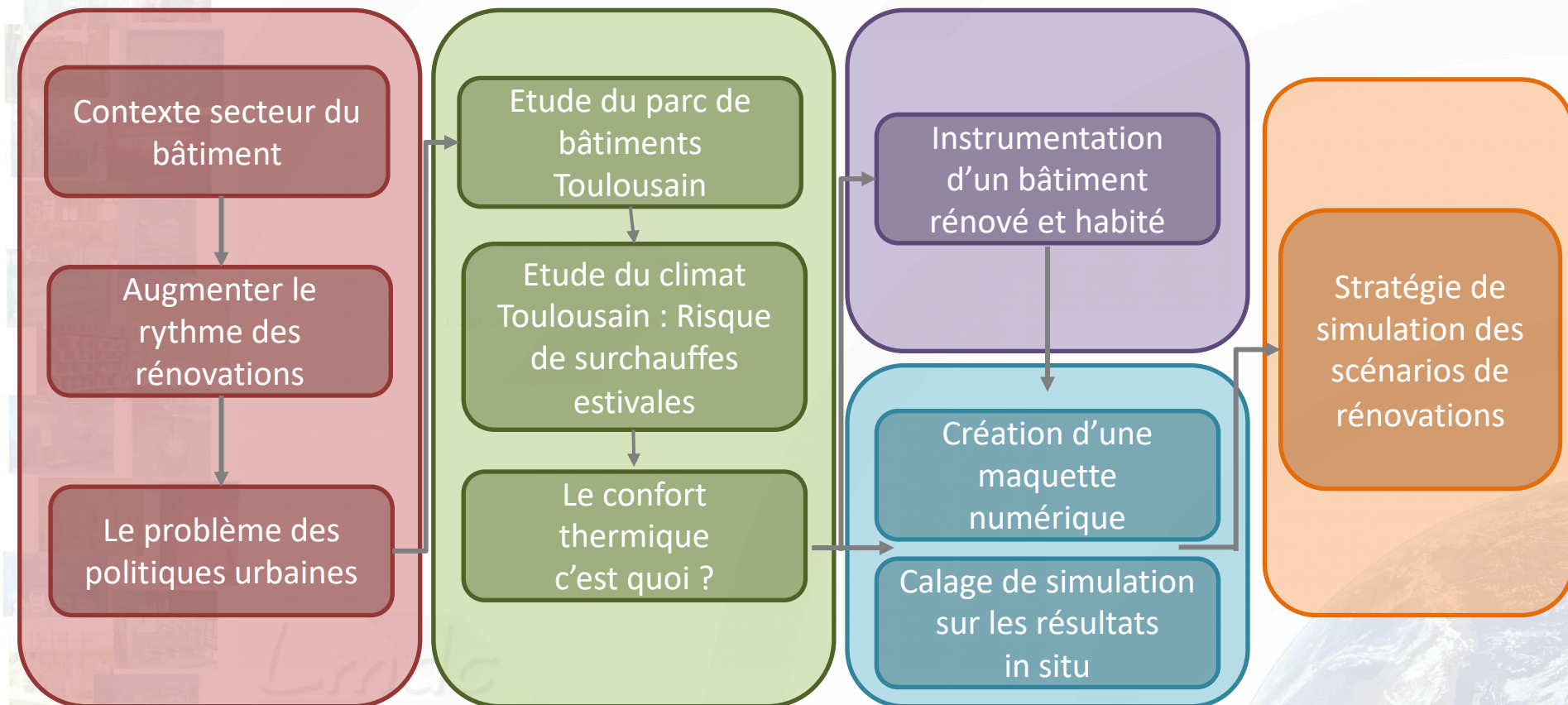
Perspectives

Conclusions

Bibliographie :

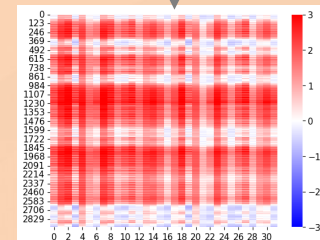
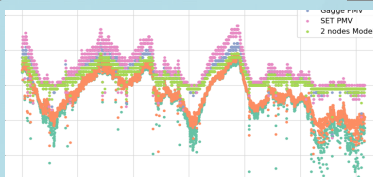
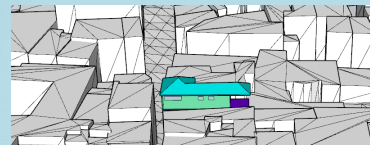
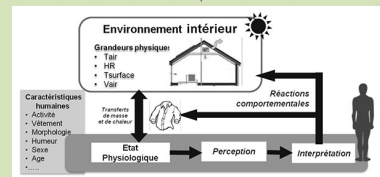
Pascal M, Gorla S, Wagner V, Guillet A, Sabastia M, Cordeau E, et al. Influence de caractéristiques urbaines sur la relation entre température et mortalité en Île-de-France. Saint-Maurice : Santé publique France, 2020. 62 p.
Disponible à partir de l'URL : www.santepubliquefrance.fr

Conclusion



Conclusion

Linde
toulouse

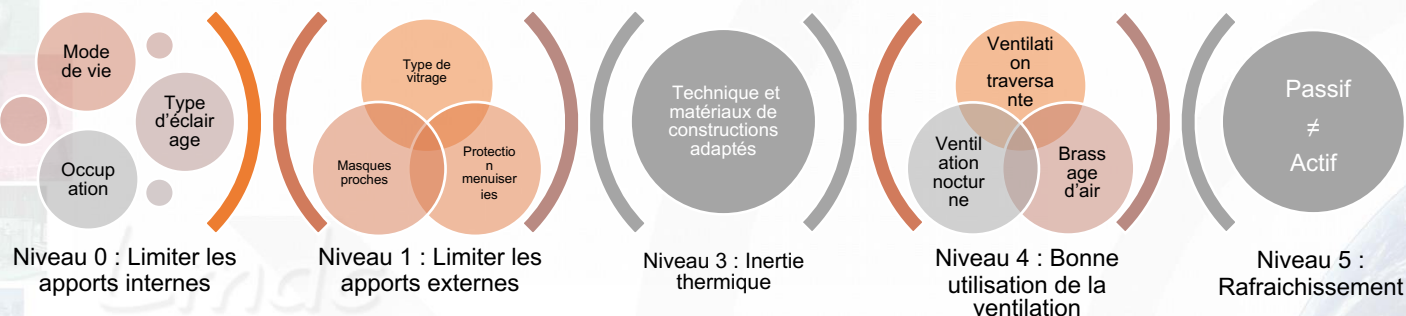


Perspectives et conclusion

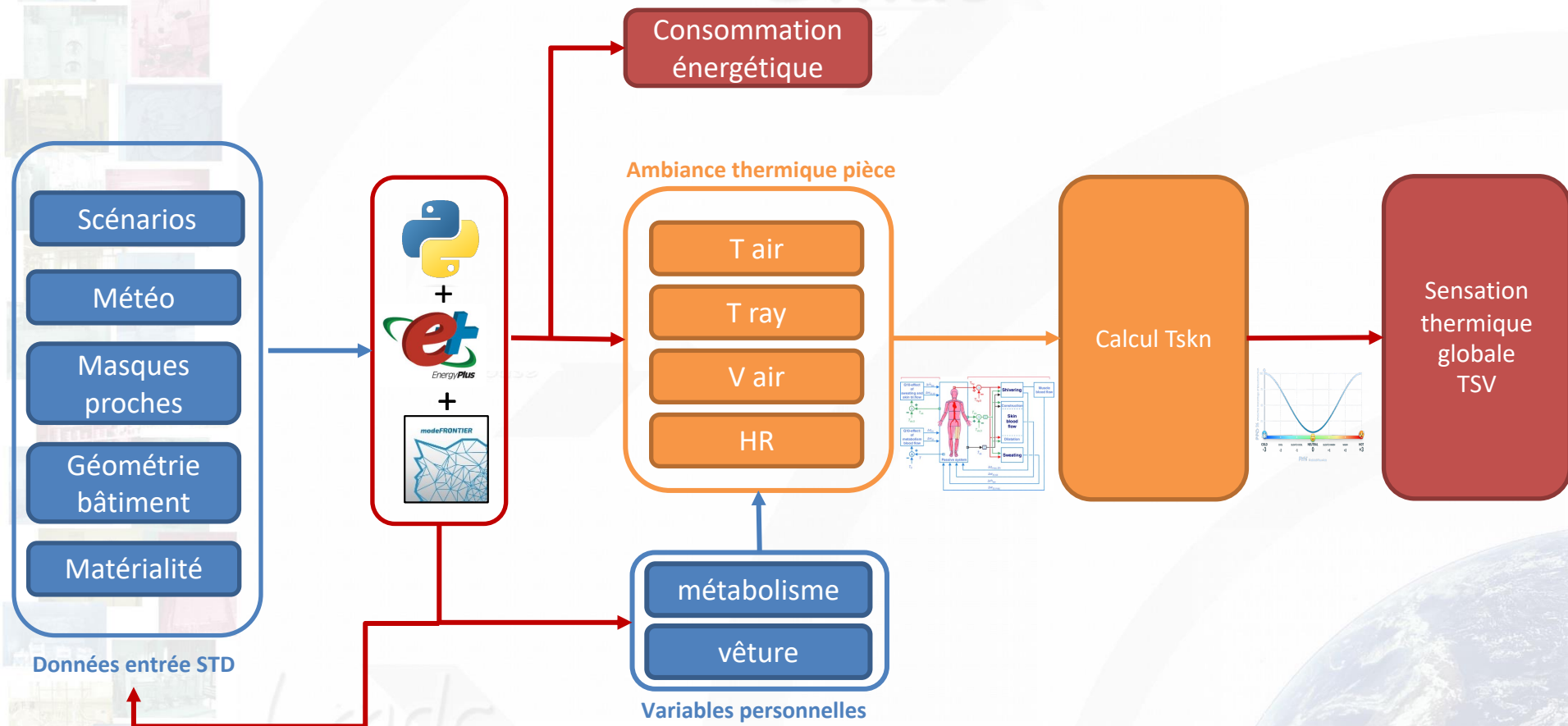
Améliorations :

- Etude de sensibilité au seuil de saturation de l'inertie (DOE FC)
- Etude d'optimisation pour limiter les apports externes
- Intégration du calcul de transfert hydrique
- Intégration du phénomène d'acclimatation

Gestion des rénovations toulousaines :



Perspectives



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. *Étude 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.