



Évaluation du potentiel de rénovation énergétique d'un territoire dans le cadre de démarches de massification

Atelier EEDEMS – 30/06/2022

Doctorant : **Martin RIT**
Directeur de Thèse : Robin Girard, Mines ParisTech
Maître de Thèse : Jonathan Villot, Mines Saint-Etienne

SOMMAIRE

Introduction/Contexte

I. Etat de l'art et objectifs

- Cartographie du parc bâti
- Cartographie des modèles de simulation énergétique
- Cartographie des outils d'aide à la décision existants

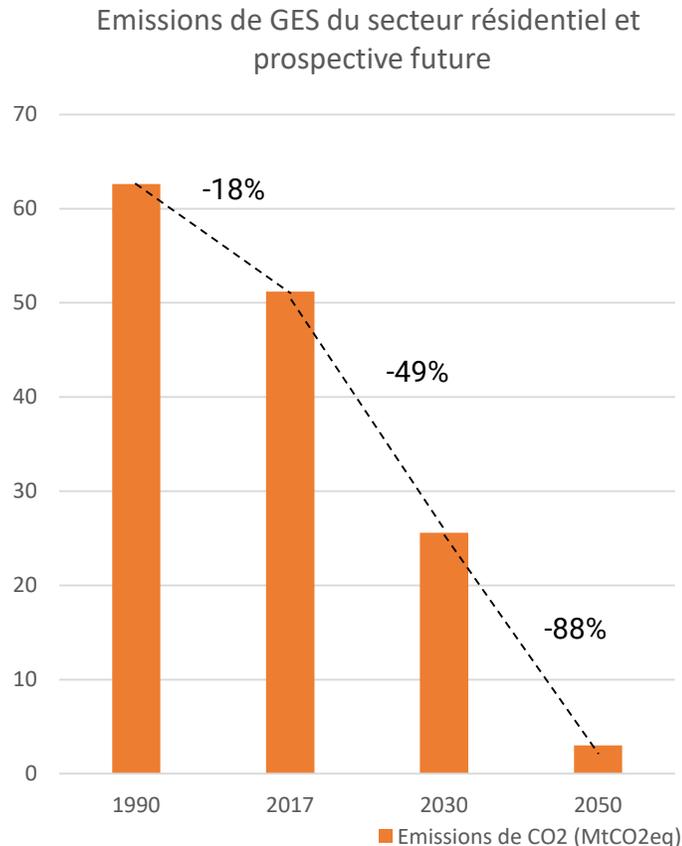
II. Présentation de la méthode de calibration

- Présentation de « Building Model »
- Données utilisables pour la calibration
- Méthode de calibration

III. Discussions et résultats

Conclusions/Perspectives

INTRODUCTION/CONTEXTE



Mise en place d'une politique environnementale nationale :

- **SNBC** : 700 000 rénovations annuelles au niveau BBC à partir de 2030, 49% de réduction d'émission de GES en 2030 par rapport à 2015.
- **PPE** : Obligation de rénovation des passoires thermiques (classes DPE F et G) avant 2028.
- **Plan de relance** : 2 milliards d'euros réparti sur 2021 et 2022 pour la rénovation énergétique des ménages.

Difficultés dans la massification :

- Rénovations globales ou par gestes ?
- 50 000 rénovations globales en 2021
- 28 M€ pour rénover 700 000 bâtiments

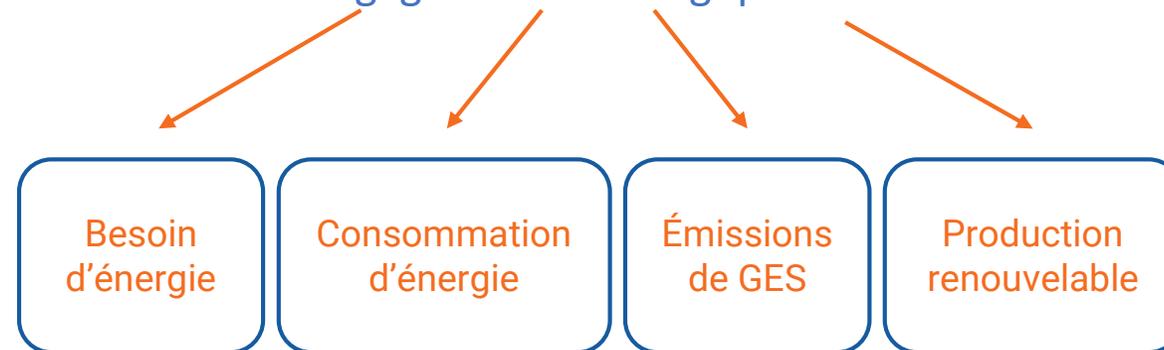
INTRODUCTION/CONTEXTE

- Différents niveaux géographiques d'action

- International
- National
- Régional
- Territoires
- Individu/Agent

Prise en compte
du contexte local

- Le territoire à l'interface entre actions concrètes et engagements stratégiques macro



- Objectif : aller vers la résilience territoriale

« Capacité à anticiper les crises, à bien les gérer et à se transformer pour réduire sa vulnérabilité sur le temps long »

(The Shift Project)

INTRODUCTION/CONTEXTE

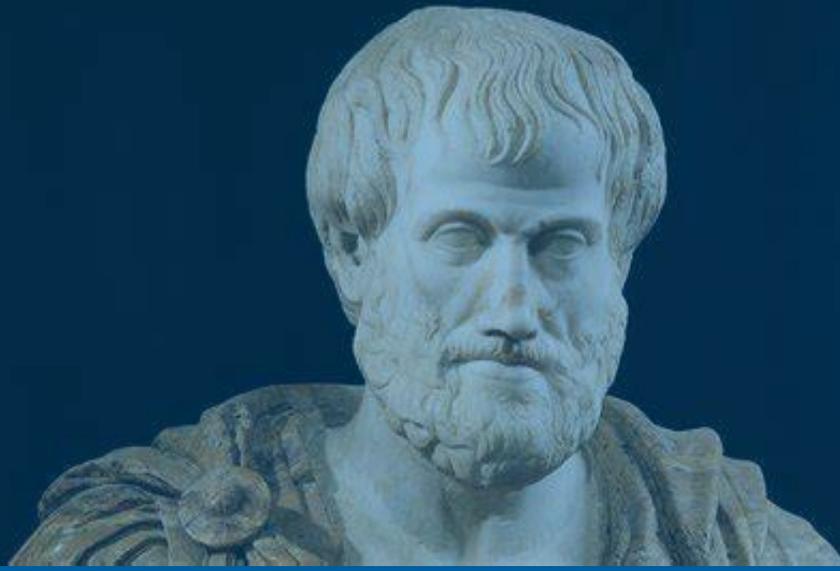
Personnalisation sur chaque territoire via des BD en Open Data :

Base de Données	Année	Description
BD Topo v3 [IGN]	2021	Emprises au sol, année de construction et matériaux des 24M de bâtiments
Base DPE	2020	Données pour la caractérisation thermique et technique des bâtiments
BDNB	2022	Base de Données Nationale des Bâtiments (CSTB)
DLE	2019	Données Locales de l'Energie. Consommation de gaz et d'électricité
INSEE	2017	Recensement de la population

Problématique scientifique :

« Quel modèle de simulation peut s'appuyer sur les bases de données existantes afin de participer à la planification énergétique à l'échelle locale et nationale ? »

01



« La science consiste à passer d'un étonnement à un autre »

Aristote

ETAT DE L'ART

- Cartographie du parc bâti
- Cartographie des modèles de simulation énergétique
- Cartographie des outils d'aide à la décision existants

ETAT DE L'ART ET OBJECTIFS

« Quel modèle de simulation peut s'appuyer sur les bases de données existantes afin de participer à la planification énergétique à l'échelle locale et nationale ? »

2 manières principales de cartographier le parc bâti existent :

Représentation	Archétype	Exhaustive
Précision		
Temps de calcul		
Projets	EPISCOPE (2013) ATRE (2016) Zéphyr (2017)	IMOPE (2018) GORENOVE (2018) Building Model (2020)

Modèle qui s'appuie sur des données de terrain décrivant des bâtiment

ETAT DE L'ART ET OBJECTIFS

« Quel modèle de simulation peut s'appuyer sur les bases de données existantes afin de participer à la planification énergétique à l'échelle locale et nationale ? »

De nombreux modèles de simulation énergétique existent dans la littérature :

- Ingénierie : basé sur des modélisations physiques
- Statistique : basé sur des régressions statistiques ou des réseaux de neurones

-> besoin de prendre en compte des changements physiques et s'appuyer sur des BD

Niveaux de complexité différents selon les outils et les phénomènes modélisés :

- Enveloppe : modélisation plus ou moins détaillée
- Systèmes de chauffage : rendement global à modélisation fine des contrôles
- Transferts aérauliques : modélisation dynamique en pression et température, transfert entre zone
- Eclairage, occupation, ...

Modèle ingénierie hybride utilisé :

- **Volonté de réaliser un modèle simplifié pour une adaptation sur l'ensemble du territoire**
- **Bases de données en Open Data nombreuses en France**

ETAT DE L'ART ET OBJECTIFS

« Quel modèle de simulation peut s'appuyer sur les bases de données existantes afin de participer à la planification énergétique à l'échelle locale et nationale ? »



Siterre et Casbà	GoRenove
Encapsulation de plusieurs outils de Energies Demain. Aide à l'élaboration d'un scénario prospectif par simulation.	Simulation énergétique à l'adresse pour particuliers et professionnels. Proposition de rénovation énergétique.
Basé sur les données réelles (DLE, DPE)	Utilises de nombreuses bases de données (publiques et privées)
Etude à l'échelle bâtiment	Etude à l'échelle bâtiment

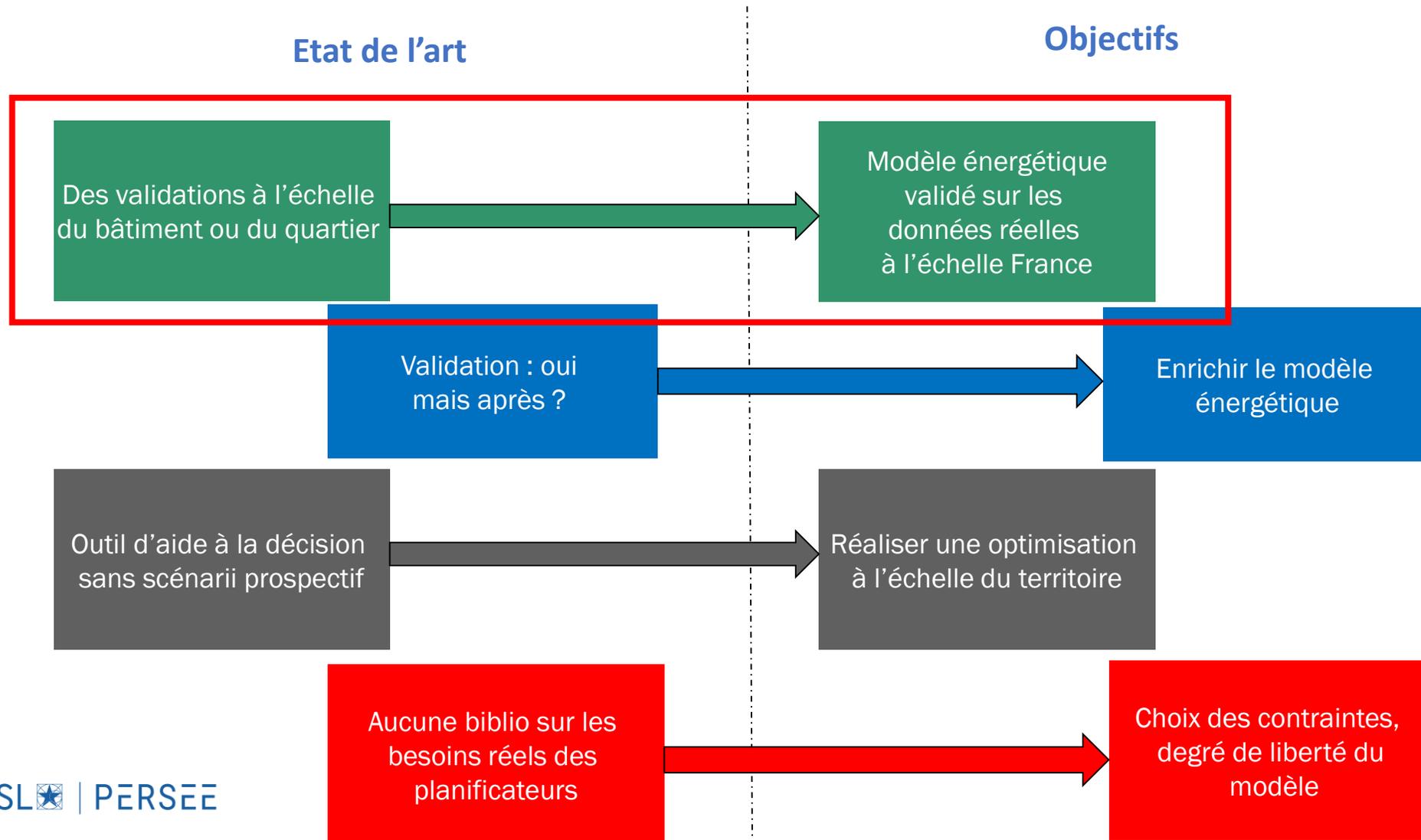


Imope	TerriSTORY
Simulation de la consommation à partir de données OpenData. Caractérisation des bâtiments énergivores.	Evaluation des potentiels des territoires sur la région Rhône-Alpes. Multi-énergies.
Basé sur les données réelles (DLE, DPE) + bases restreintes (DV3F, fichiers fonciers)	Basé sur IGN, INSEE et observatoires régionaux
-> Simulation disponible pour les acteurs territoriaux	-> Pas encore de simulation énergétique des bâtiments

Modèle linéaire intégrable dans un outil d'optimisation

ETAT DE L'ART ET OBJECTIFS

« Quel modèle de simulation peut s'appuyer sur les bases de données existantes afin de participer à la planification énergétique à l'échelle locale et nationale ? »



02



*« J'ai fait mes réglages, je me suis dit :
comme la perfection n'existe pas, vas te
coucher »*

Jean Le Cam, Vendée Globe 2020

PRÉSENTATION DE LA MÉTHODE DE CALIBRATION

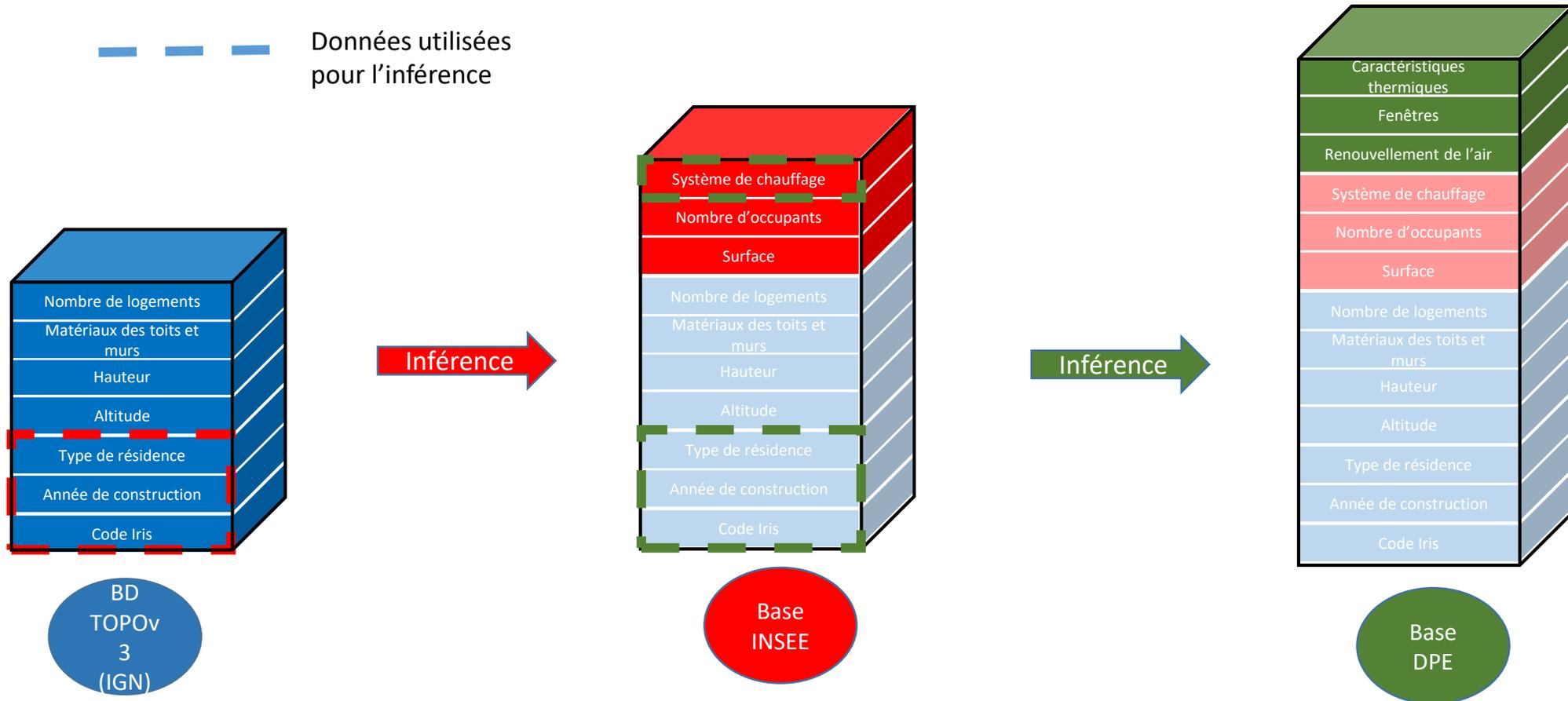
- Présentation de « Building Model »
- Données utilisables pour la calibration
- Méthode de calibration



| PSL  | PERSEE

OUTIL DE SIMULATION ÉNERGÉTIQUE

Collecte de données : approche détaillée à la maille bâtiment



OUTIL DE SIMULATION ÉNERGÉTIQUE

Modélisation énergétique des bâtiments

Résolution au niveau bâtiment pour un parc important de bâtiment → simplification des modèles

Utilisation d'un modèle du besoin annuel

- Basé sur un modèle statique simple (type 3CL-DPE)
- Modélisant les échanges thermiques par les différents éléments

$$Q_b = Q_b^{paroi} + Q_b^{vent} - Q_b^{gain}$$

- Dépendant des conditions climatiques
- Prenant en compte les ombrages entre bâtiments

Simulation linéaire pour outil d'optimisation

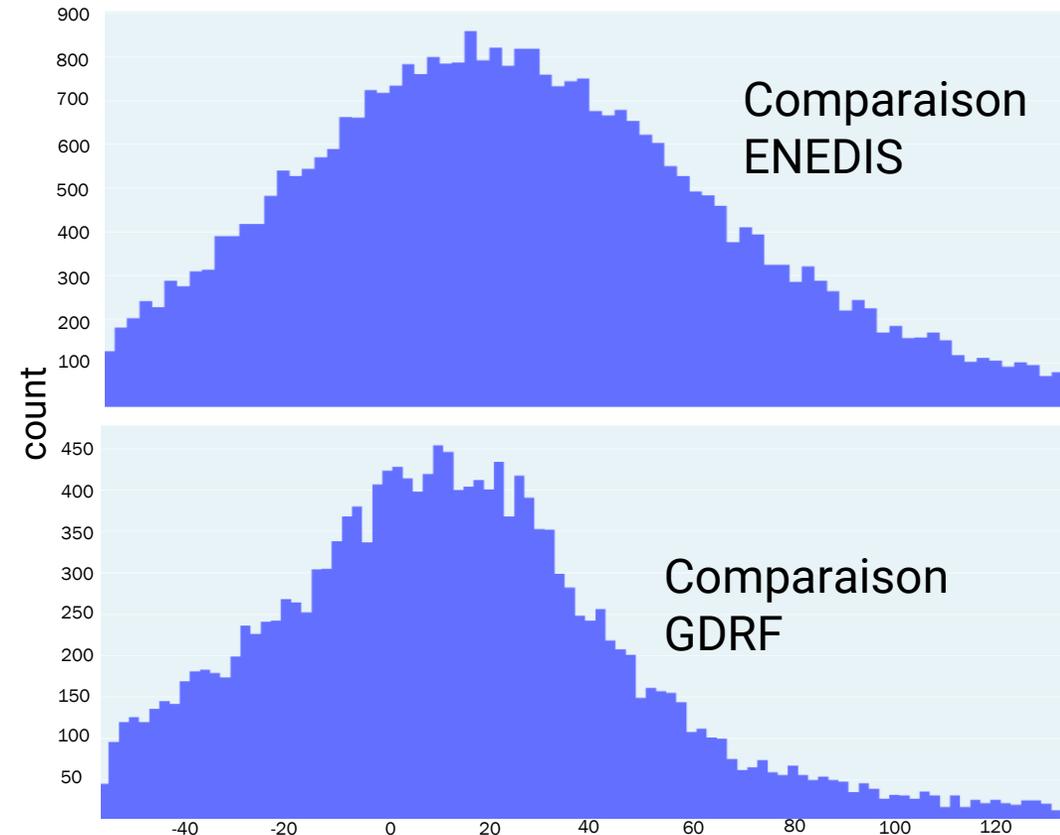
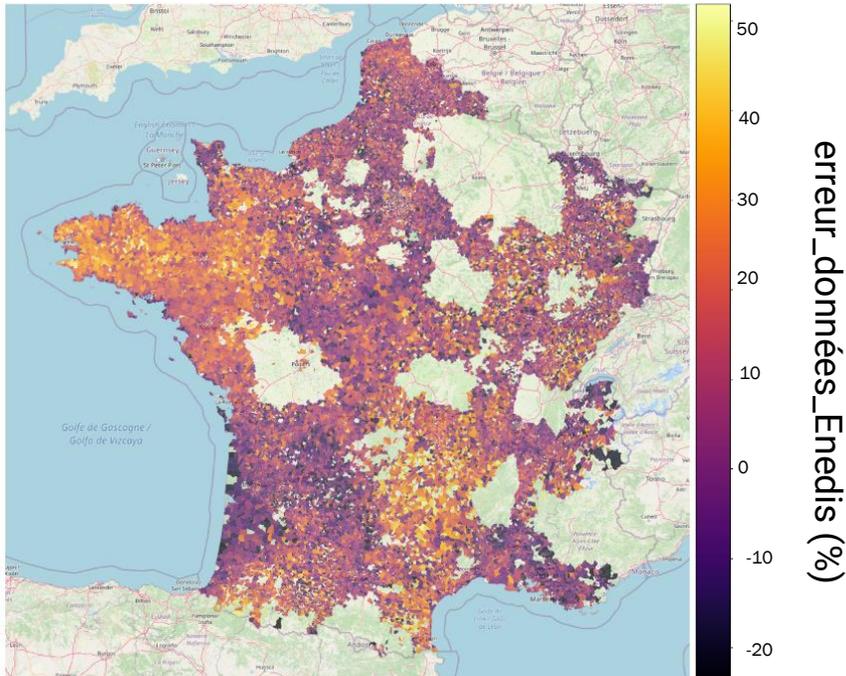
OUTIL DE SIMULATION ÉNERGÉTIQUE

Comparaison Building_Model - Données Locales de l'Energie

$$Erreur_i^{vect} = \sum_{b \in i} \sum_t C_{simulée_{t,b}^{vect}} - C_{observée_i^{vect}}$$

Avec :

- i l'iris concerné
- b les bâtiments
- t dans {chauffage, ECS, spécifique}
- vect dans {gas, electricité}



DONNÉES UTILISABLES POUR LA CALIBRATION

Maille géographique choisie

IRIS : zone géographique avec entre 1800 et 5000 habitants

Description du parc bâti

Base de Données	Année	Description
BD Topo v3 [IGN]	2021	Emprises au sol, année de construction et matériaux des 24M de bâtiments
Base DPE	2020	Données pour la caractérisation thermique et technique des bâtiments
DLE	2019	Données Locales de l'Energie. Consommation de gaz et d'électricité
INSEE	2017	Recensement de la population

Description supplémentaire : prise en compte des habitants

Base de Données	Année	Description
FILOSOFI	2018	Taux de pauvreté des ménages à la maille IRIS
INSEE	2017	% de retraités à la maille IRIS

MISE EN ŒUVRE DE LA CALIBRATION (1/2)

$$Erreur_i^{vect} = \sum_{b \in i} \sum_d C_{simulée_{d,b}^{vect}} - C_{observée_i^{vect}}$$

Avec :

- i l'iris concerné
- b les bâtiments
- d dans {chauffage, ECS, spécifique}
- vect dans {gas, electricité}

Hypothèse : $C_{calibrée_b^{vect}} = \sum_d \sum_d C_{simulée_{d,b}^{vect}} (1 + \Delta\alpha_{b,d}^{vect})$

Beaucoup de paramètres !

Objectif : définir un correctif pour chaque **catégorie** de bâtiments :

$$\Delta\alpha_{c,d}^{vect} = \sum_{b \in c} \Delta\alpha_{b,d}^{vect}$$

Avec :

- b les bâtiments
- c les catégories définissant les bâtiments
- d dans {chauffage, ECS, spécifique}
- vect dans {gas, électricité}

Comment définir les catégories ?

Classifier le parc bâti

Comment trouver $\Delta\alpha_{c,t}$?

Régression linéaire

$$Erreur_i^{vect} \sim \sum_{t,c} C_{simulée_{i,t,c}^{vect}}$$

MISE EN ŒUVRE DE LA CALIBRATION (1/2)

Exemple sur le modèle : Type – usage

Variables de classification

Type de résidence :

- Principale
- Secondaire
- Vacant

Energie de chauffage :

- Electricité
- Gaz
- Biomasse
- Fuel
- Réseau de chaleur

Usage :

- Individuel
- Collectif

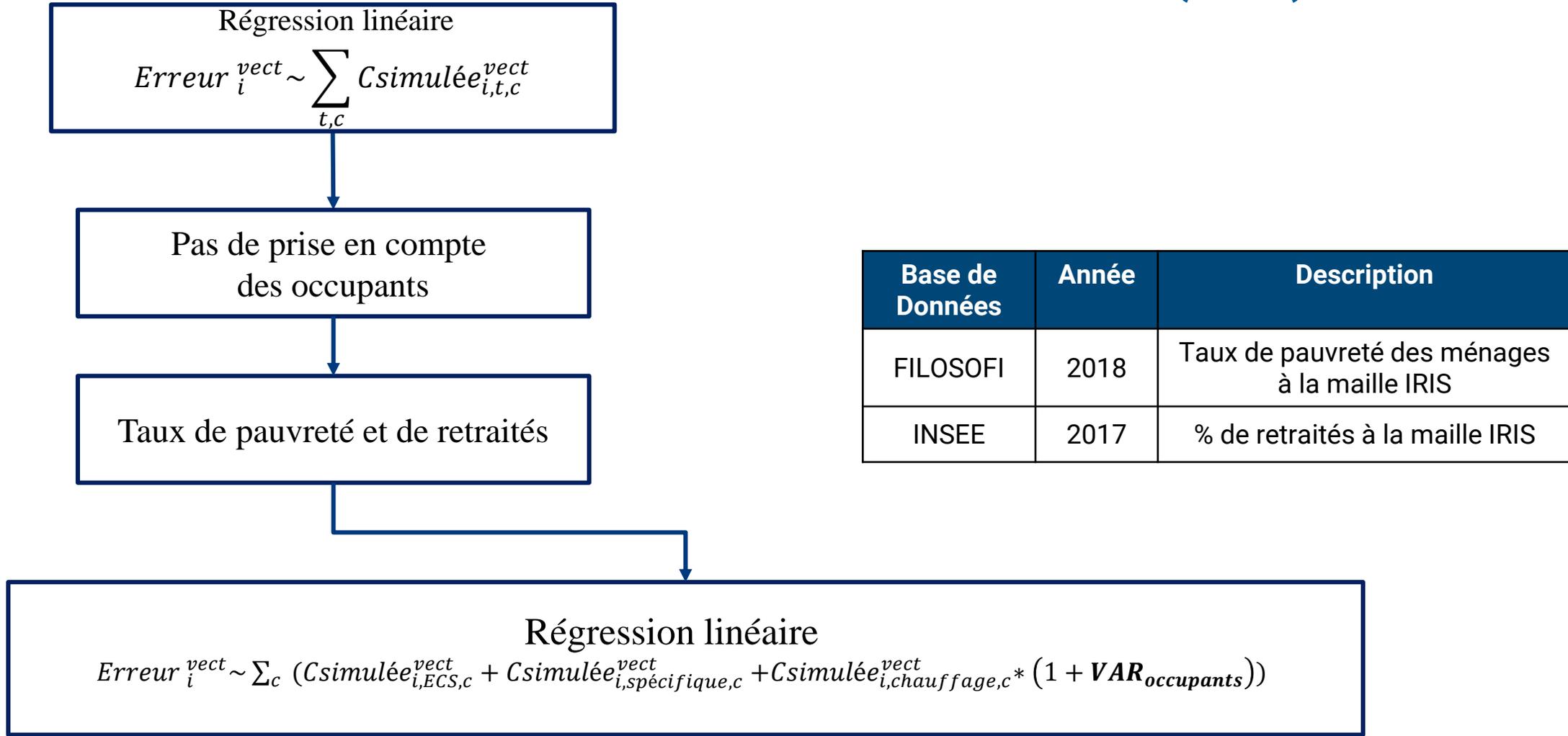
Période âge de construction :

- [1000,1945]
- [1946,1970]
- [1971,1990]
- [1991,2005]
- [2006, 2100]

Consommation (Mwh) Catégories	Consommation chauffage	Consommation ECS	Consommation spécifique
<i>Principal - Individuel</i>	$C_{i,\{principal,individuel\}}^{chauffage}$		
<i>Principal - Collectif</i>			
<i>Secondaire – Individuel</i>			
<i>Secondaire – Collectif</i>			
<i>Vacant</i>			

$$C_i^{calibrée} = \sum_c C_{i,c}^{chauffage} (1 + \Delta\alpha_{chauffage,c}) + C_{i,c}^{ECS} (1 + \Delta\alpha_{ECS,c}) + C_{i,c}^{spécifique} (1 + \Delta\alpha_{spécifique,c})$$

MISE EN ŒUVRE DE LA CALIBRATION (2/2)



MISE EN ŒUVRE DE LA CALIBRATION (2/2)

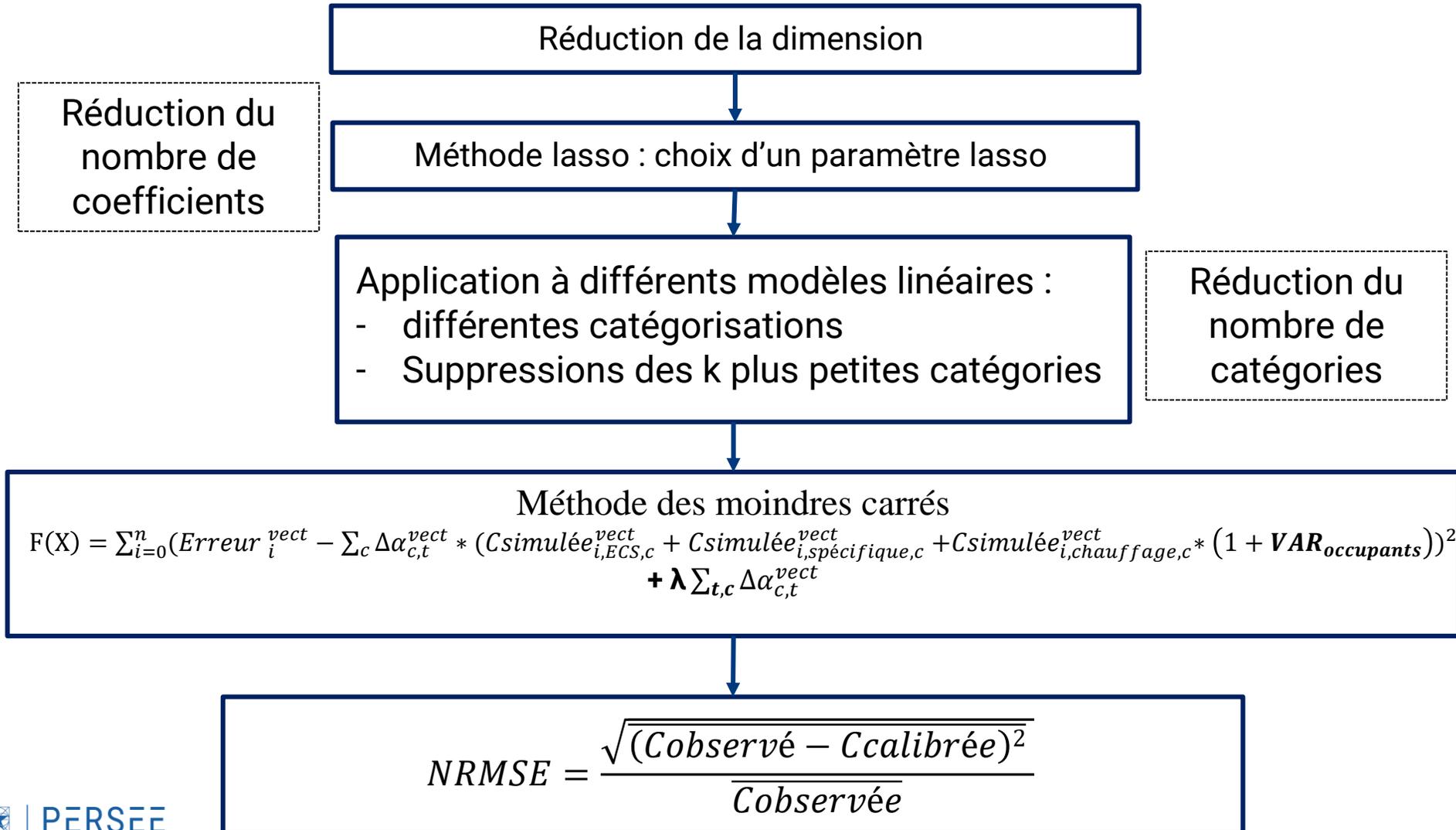
Exemple sur le modèle : Type – usage

Consommation (Mwh) Catégories	Consommation chauffage	Consommation chauffage Insee	Consommation chauffage Filosofi	Consommation ECS	Consommation spécifique
<i>Principal - Individuel</i>					
<i>Principal - Collectif</i>					
<i>Secondaire – Individuel</i>					
<i>Secondaire – Collectif</i>					
<i>Vacant</i>					

5 catégories et 25 coefficients de calibration

-> Méthode de réduction de dimension

MISE EN ŒUVRE DE LA CALIBRATION (2/2)



03



« Vous ne pouvez jamais prévoir les résultats d'une action, mais si vous ne faites rien, il n'y aura pas de résultats »

Gandhi

RÉSULTATS

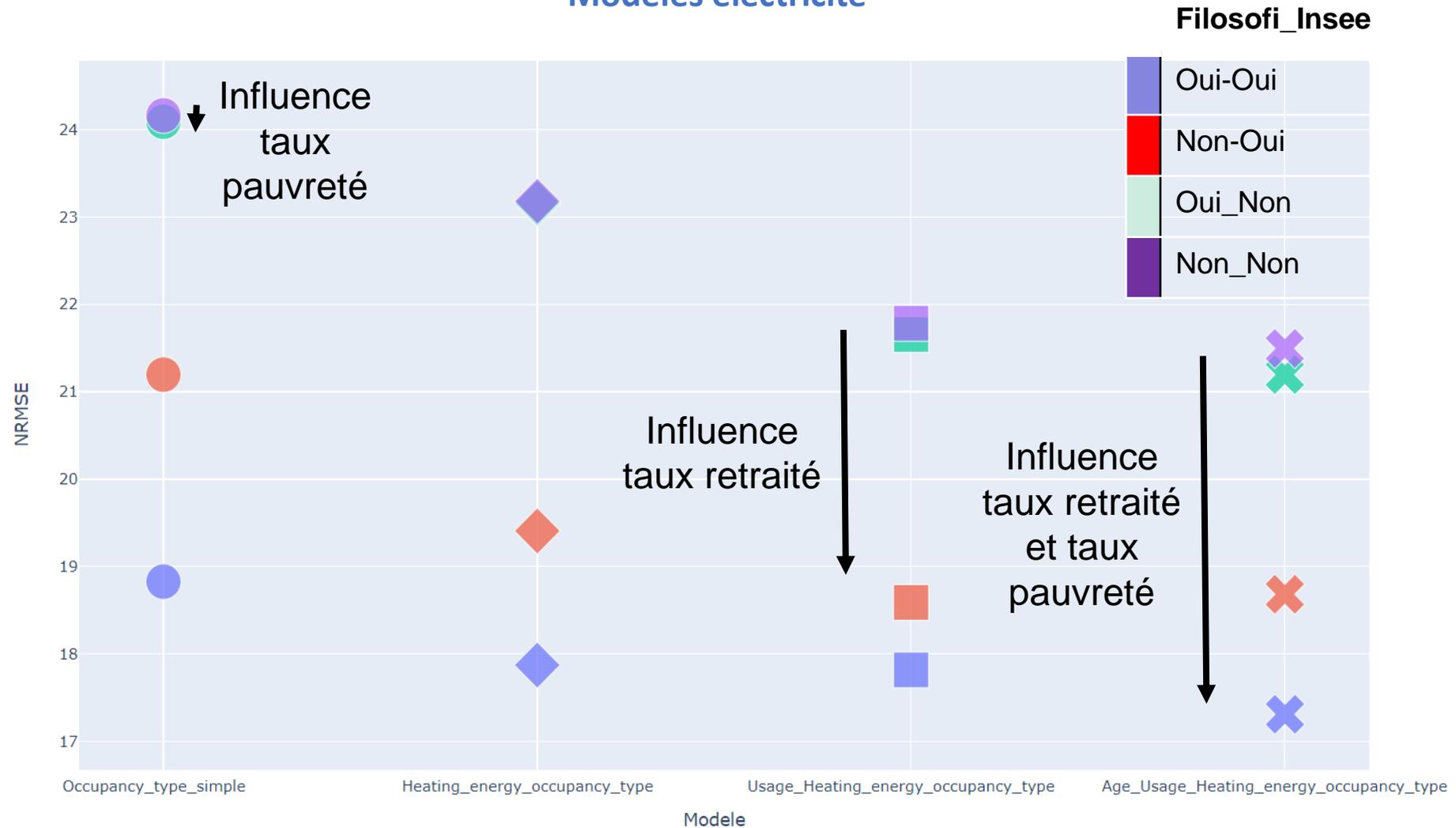
- Modèles optimisés
- Représentation géographique



| PSL  | PERSEE

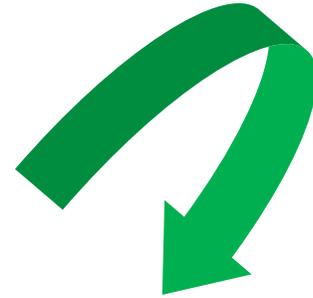
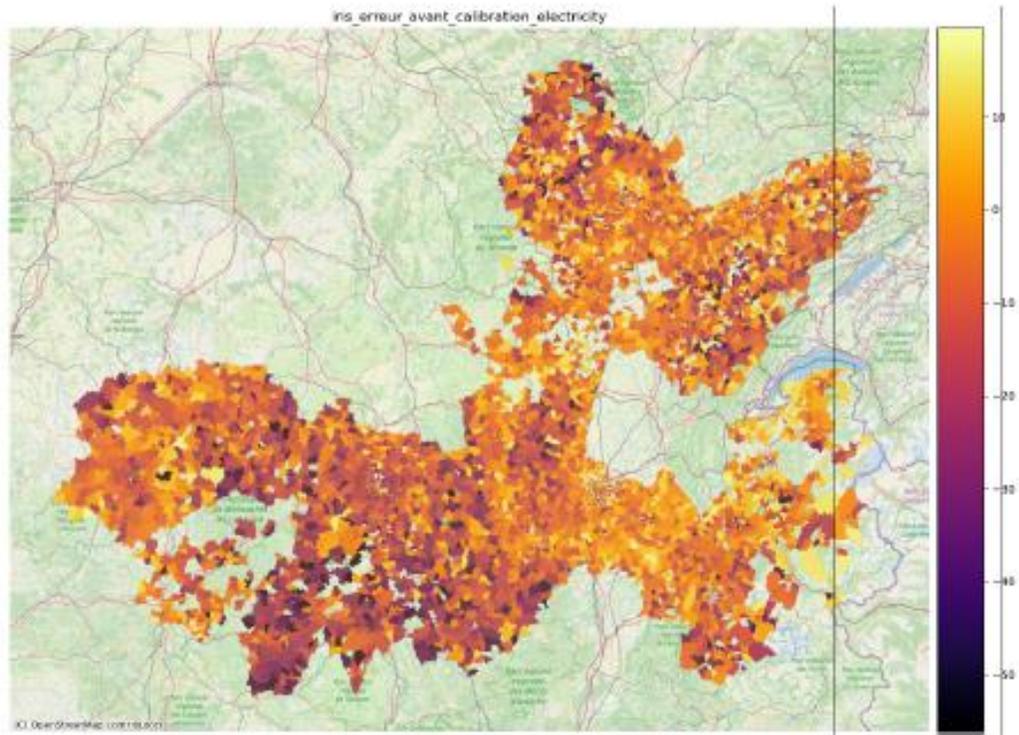
MODÈLES OPTIMISÉS

Modèles électricité

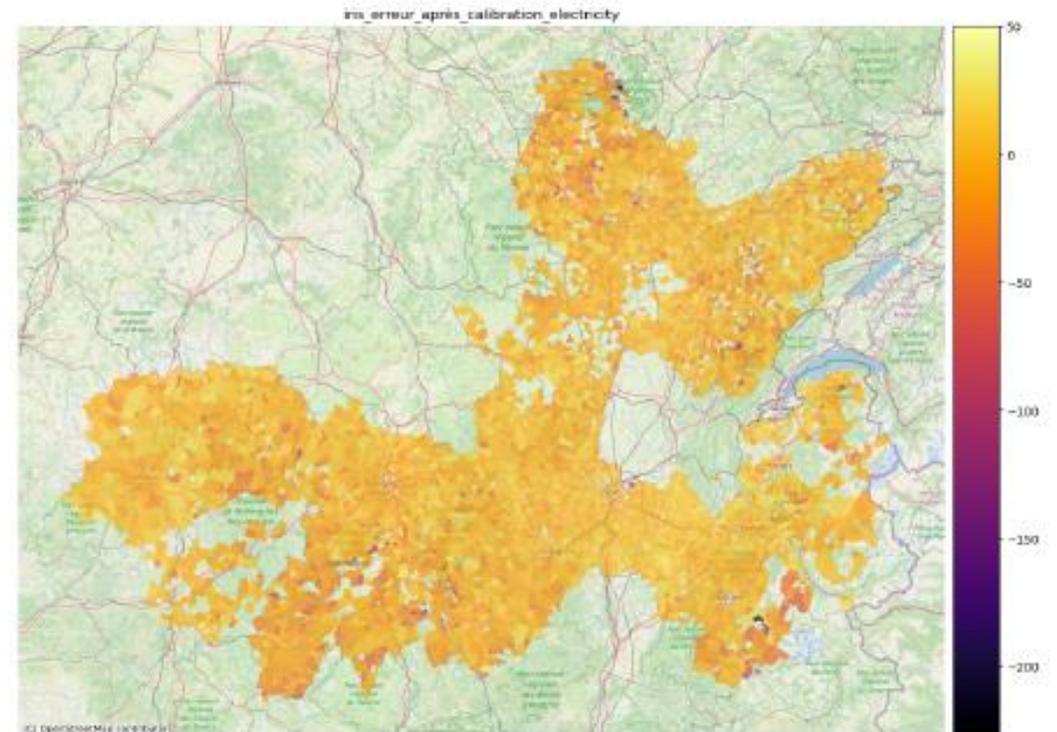


MODÈLES OPTIMISÉS

Influence de la calibration



Calibration



CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Création d'une méthode de calibration

- Amélioration des sorties du modèle pour l'utiliser en prédiction
- Méthode utilisable si autres jeux de données (BDNB, ...) et autres logiciels de simulation

Perspectives

- Utilisation de cette méthode pour améliorer le modèle de simulation
- Ajout de ce logiciel de simulation dans Shape
- Poursuite du travail avec les collectivités

04



*« Je ne cherche pas à connaître les réponses,
je cherche à comprendre les questions »*

Confucius

MERCI POUR VOS QUESTIONS