

**CSTB**  
*le futur en construction*

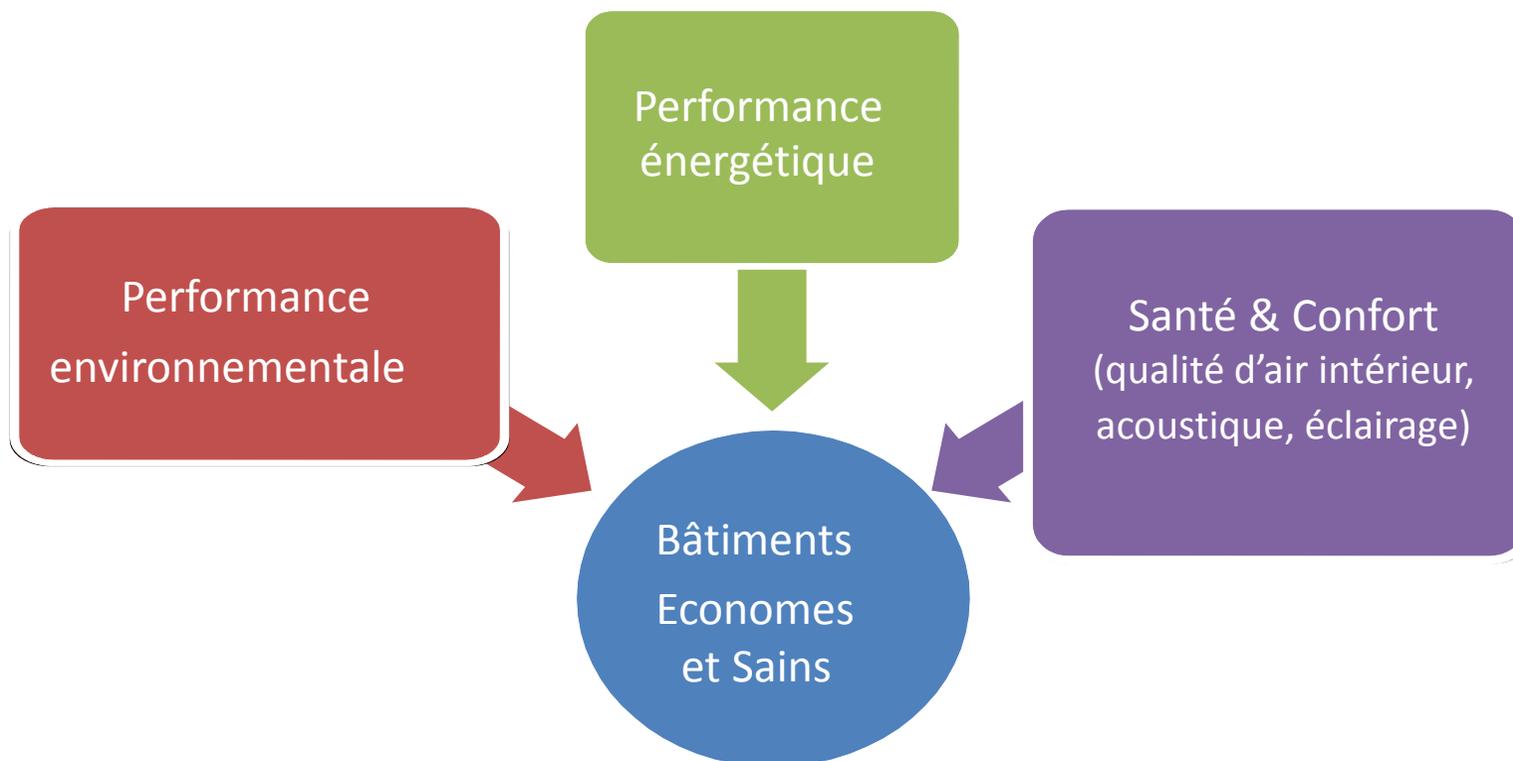
# Programme d'Innovations

## Garantie de Performance

Daniel Quenard - Direction Energie-environnement

[daniel.quenard@cstb.fr](mailto:daniel.quenard@cstb.fr)





PROGRAMMATION

CONCEPTION

CONSTRUCTION

RECEPTION

EXPLOITATION



**BIM**

**CPE**

Neuf  
Existant  
Rénovation

Energie  
Environnement  
Qualité de l'air - COV  
Acoustique  
Eclairage

DECONSTRUCTION



## LA RT 2012 VA ETRE REMPLACEE PAR UNE REGLEMENTATION ENVIRONNEMENTALE

### Label Expérimental E+C- :

- Un indicateur d'énergie positive **E+**
- Un indicateur de réduction des GES **C-**

**É+** : basé sur les principes de la **RT2012**, plus :

- utilisation des **ENR**
- prise en compte **tous les usages** de l'énergie

**C-** : prise en compte des **émissions de GES** sur **tout le cycle de vie**

Deux indicateurs :

- produits de construction et équipements techniques
  - tous les lots du bâtiment, gros œuvre, second œuvre, équipements ...
  - tous les produits
- émissions de CO<sub>2</sub> liées aux consommations d'énergie

Les matériaux & produits de construction : plus de la moitié de cet impact.

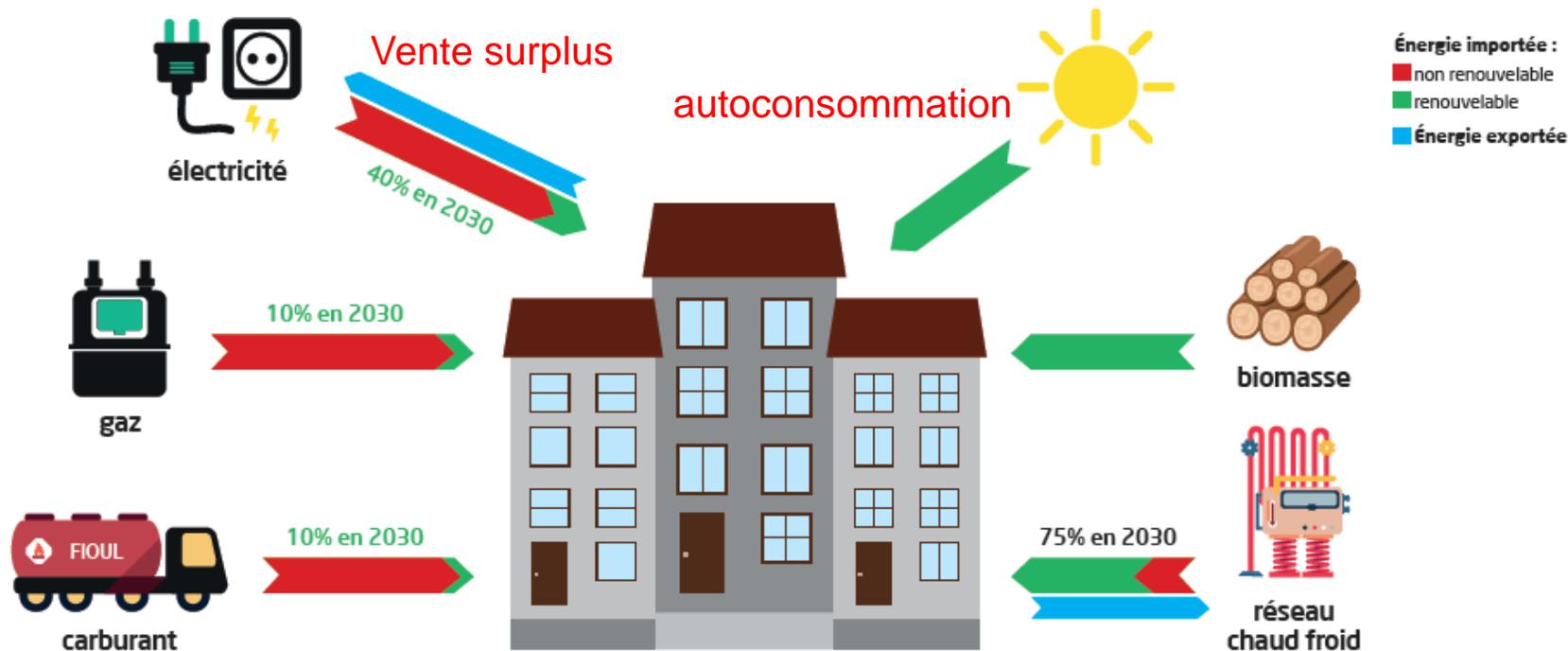
Sobriété  
ENR

ENR

Bilan Bepos =

Consommation d'énergie  
non renouvelable

Exportation d'énergie  
renouvelable



	Émissions totales	Émissions produits & équipements
<b>CARBONE 1</b>		
Maisons	1350	700
<b>Bâtiments collectifs habitation</b>	<b>1550</b>	<b>800</b>
Bureaux	1550	1050
Autres tertiaires soumis à la RT	1625	1050
<b>CARBONE 2</b>		
Maisons	800	650
<b>Bâtiments collectifs habitation</b>	<b>1000</b>	<b>750</b>
Bureaux	980	900
Autres tertiaires soumis à la RT	850	750

Maison 100 m<sup>2</sup>  
135 tonnes – 50 ans

Voiture 120gCO<sub>2</sub>/km  
15000km/an  
1800 kg/an  
90 tonnes - 50 ans

**Énergie**  
4 niveaux repères

Énergie 4 : bilan nul

Énergie 3

Énergie 2

Énergie 1

RT 2012



Quelques  
champions



Une approche  
pour tous

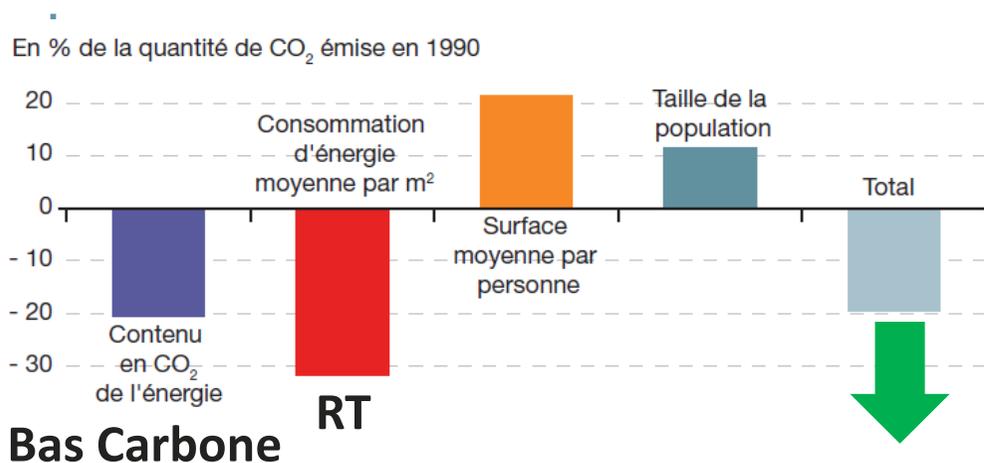
**Carbone**  
2 niveaux repères

Carbone 2

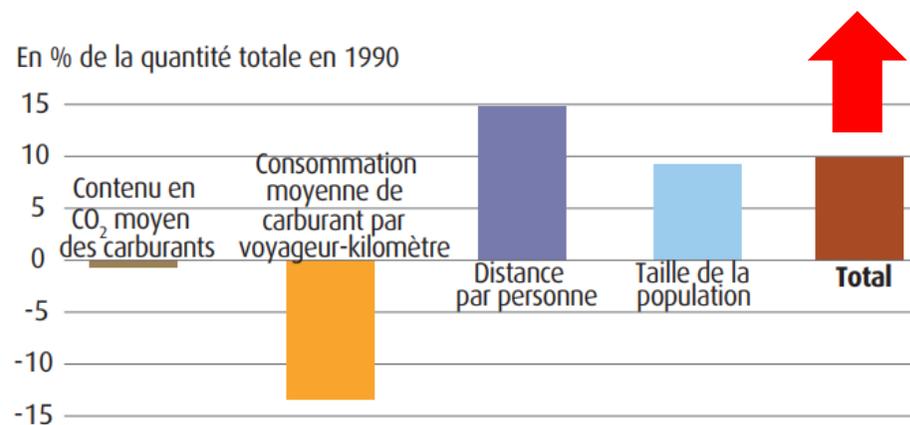
Carbone 1

$$CO_2^{Bat} = Pers * \frac{m^2}{Pers} * \frac{kWh}{m^2} * \frac{CO_2}{kWh}$$

$$CO_2^{Mob-Pét} = Pers * \frac{km}{Pers} * \frac{l}{km} * \frac{CO_2}{l}$$



Evolution des émissions de CO2 ans le bâtiment entre 1990 et 2016

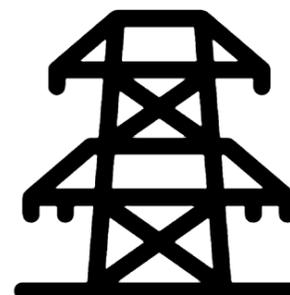


Evolution des émissions de CO2 liées aux voitures particulières entre 1990 et 2007

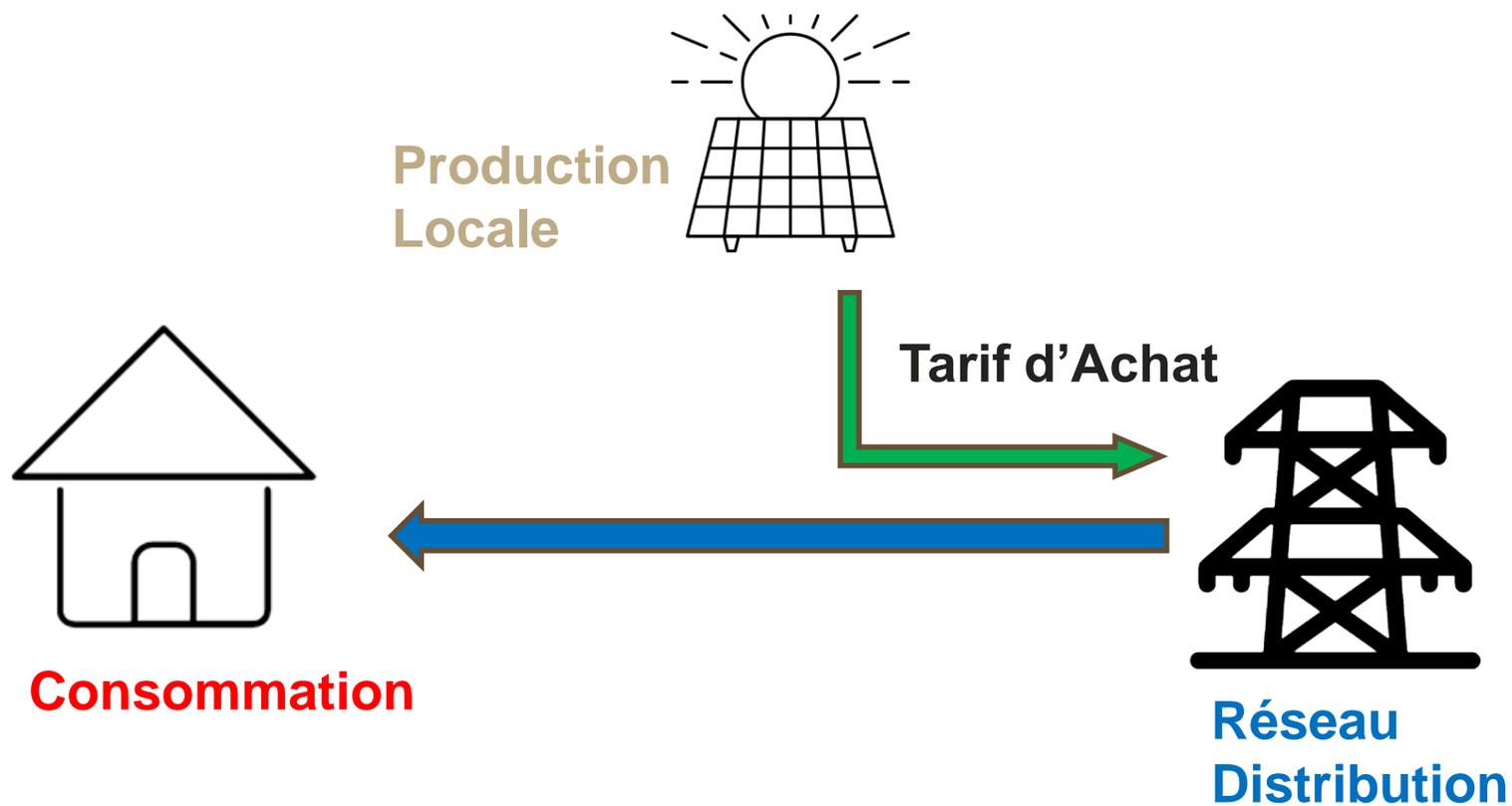
## Modèle : Réseau de Distribution

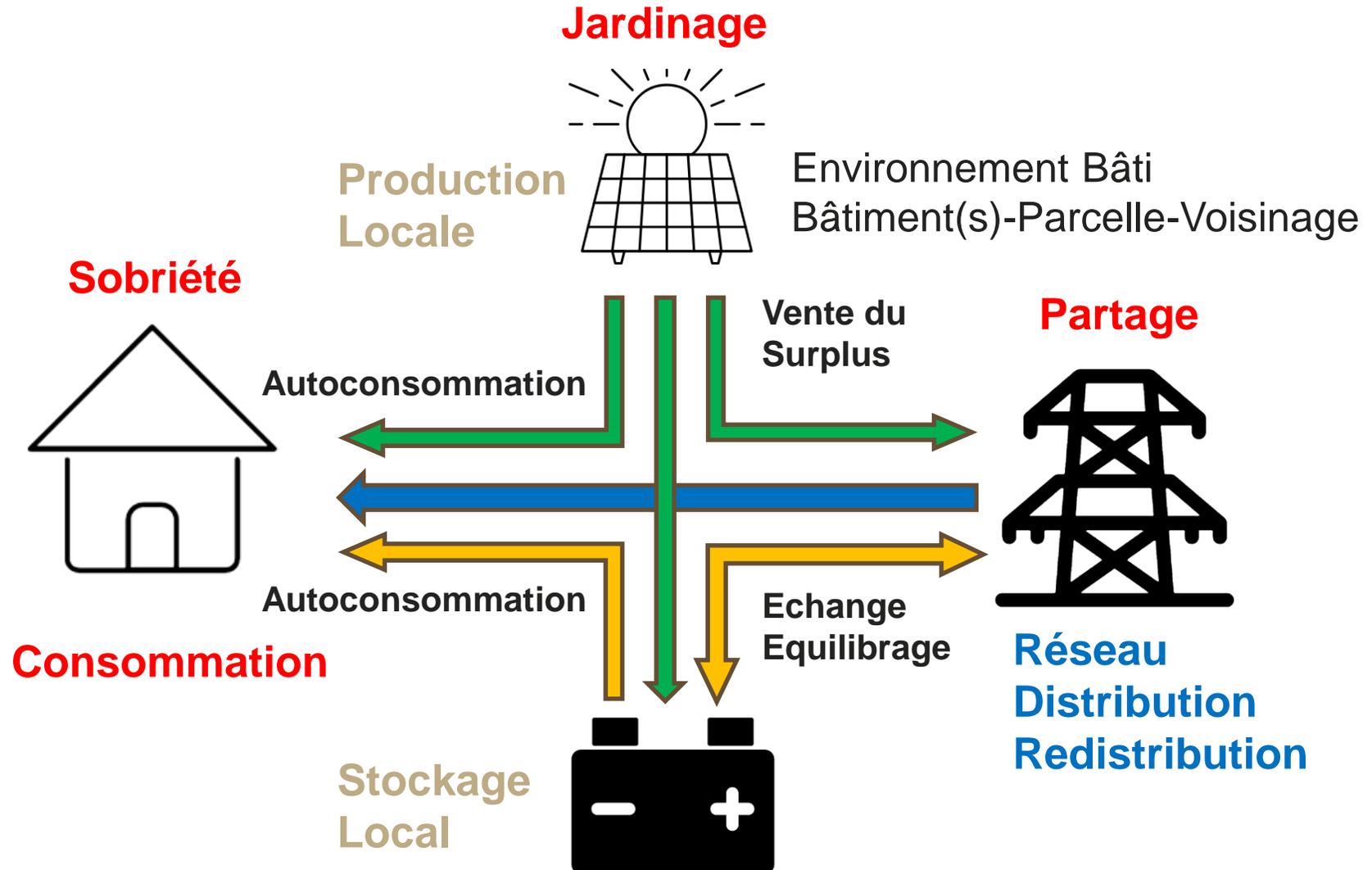


**Consommation**



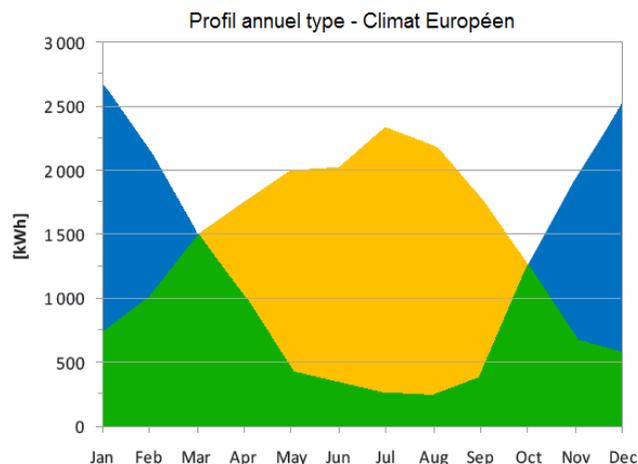
**Réseau  
Distribution**





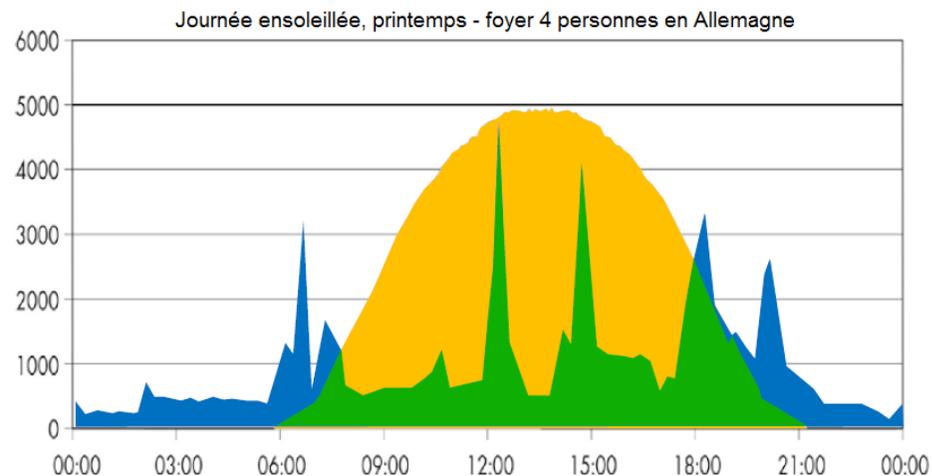
- **Maisons individuelles ou accolées**
- **Entrées**
  - *Fichiers RSET (Récapitulatif Standardisé Etude Thermique)*
  - *Options possibles*
    - Stockage ballon ECS (CET)
    - 2 températures de consignes (55°C et 65°C)
- **Courbes de charges pré-calculées (Qiriel / Croniq) :  
économique, moyen, énergivore**
- **Sorties**
- **Calcul des indicateurs (Tous usages)**
  - *Autoconsommation*
  - *Autoproduction*
  - *« % temps à énergie positive »*
  - *Taux de couverture nouveau*





- Surplus de production électrique sur site
- Demande électrique couverte par la production sur site
- Demande électrique

\* Source : Letz, Bales et al "A new concept for combisystems characterization : the FSC method, Elsevier. 83: 1540-1549, 2009



- Surplus de production électrique sur site
- Demande électrique couverte par la production sur site
- Demande électrique

\* Source : GENIN P. "Autoconsommation : L'exemple allemand", Salon ENR - ENERPLAN, Lyon, 21 février 2013

$TX\_COU = \frac{\text{Surplus de production} + \text{Demande couverte}}{\text{Demande} + \text{Demande couverte}}$	$REF = \frac{\text{Demande couverte}}{\text{Demande} + \text{Demande couverte}}$	$REM = \frac{\text{Demande couverte}}{\text{Surplus de production} + \text{Demande couverte}}$
<b>Taux de couverture</b>	<b>AutoProduction</b>	<b>AutoConsommation</b>



## Calcul'autoPV

Evaluation du potentiel d'autoconsommation et d'autoproduction en maison individuelle



Fiches pédagogiques

Accéder aux principales hypothèses de l'étude

Quelques conseils pour aller plus loin

Aide

1 Chemin d'accès au fichier 'RSET' (Récapitulatif Standardisé d'Etude Thermique) :

Parcourir... Aucun fichier sélectionné.

Fichier RSET

2 Paramètres de l' 'ECS' (eau chaude sanitaire)

Gestion de l'ECS en journée :

- Pas de stockage d'électricité photovoltaïque dans le ballon d'ECS.
- Alimentation par l'électricité photovoltaïque du compresseur du chauffe-eau thermodynamique.
- Alimentation par l'électricité photovoltaïque de la résistance électrique d'appoint du ballon de stockage d'ECS.

Température de consigne :

- Tconsigne = 55°C
- Tconsigne = 65°C

Choix des variantes ECS

Calcul des indicateurs



**CSTB**  
*le futur en construction*

# Garantie de Performance



## Contexte

- Avec la RT2012, passage d'une exigence de moyens à une approche « performantielle »
- **Mais les performances sont elles effectivement au rendez vous?**



## Enjeux

- **Politique**
  - > Maitrise/réduction des consommations réelles des bâtiments
- **SOCIO-ECONOMIQUE**
  - > Exigences des maîtres d'ouvrages/financeurs quant aux performances réelles des bâtiments,
  - > Valoriser le travail réalisé par les professionnels en objectivant sa qualité.



## Consommations d'énergie : pourquoi un écart entre consommations prévisionnelles et réelles?



- **La qualité de la modélisation en phase de conception:**

- Niveau de représentation des phénomènes physiques dans l'outil de simulation
- Niveau de compétence du concepteur et de sa connaissance du logiciel utilisé
- Consommations non évaluées, mauvais dimensionnement des systèmes

- **Choix des composants** (non conformités, etc.)

- **Mise en œuvre** (mode de transport, stockage, mode d'assemblage etc.)

- **Les conditions climatiques, l'environnement du bâtiment**

- **Les conditions d'utilisation réelles du bâtiment** (usages des différentes zones du bâtiment, horaire d'occupations, taux effectifs d'équipements mobiliers etc.)

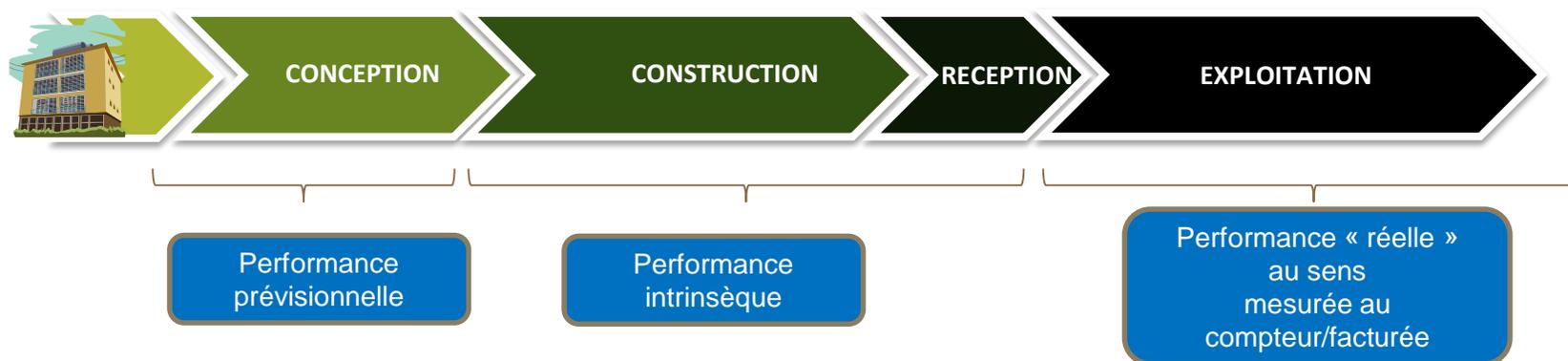
- **Le comportement des occupants** (ouverture/fermeture des fenêtres/protections mobiles, dérogation des systèmes de contrôle, apports de systèmes individuels de chauffage etc.)

- **La qualité de la gestion et de maintenance des équipements techniques de l'ensemble** (Réglages de l'ensemble des équipements techniques et des systèmes de contrôle associés, maintenance prédictive ou corrective)

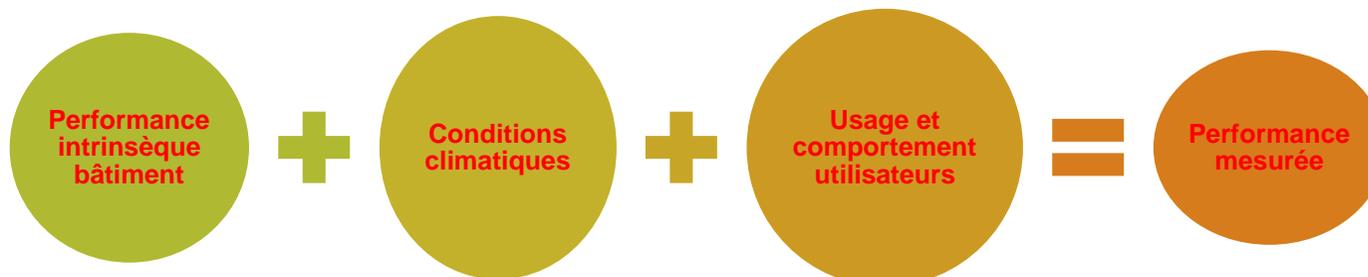
**Des raisons économiques, techniques, humaines sur l'ensemble du cycle de vie du bâtiment**

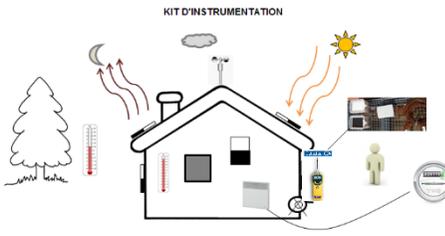
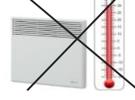
## Performance énergétique intrinsèque

- résulte des processus de conception, construction (ou travaux de rénovation)



- Les éléments principaux responsables de cette performance sont :
  - > Le bâti,
  - > Equipements techniques inclus à la construction (« immobiliers »)



	1	3	4	5	6	7	
<b>PREPARATION CHANTIER</b>	<b>PERFORMANCES TESTEES</b>	<b>FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES DE VENTILATION</b>  <b>MESURE DES DEBITS D'AIR</b> 	<b>QAI ETANCHEITE A L'AIR + RADON + CAMERA IR</b> 	<b>ENERGIE</b>  <small>KIT D'INSTRUMENTATION</small> 	<b>ACOUSTIQUE</b>   1 Haut parleur 1 sonomètre	<b>ECLAIRAGE NATUREL</b>   Luxmètre int-ext Ciel couvert ou toile diffusante	
	<b>VOLETS</b>						
	<b>CHAUFFAGE</b>						
	<b>VENTILATION</b>						
	2						
	<b>QAI ENERGIE</b> 	<b>Capteurs COV</b>	 <b>Thermohygromètre</b>	 <b>Fluxmètres</b>	<b>MESURES EN CONTINU</b>		
							
	J1	J1	J2	J3-4	J5-6-7	J8-9	
						Vendredi	
						J10	

**CSTB**  
le futur en construction

# ISABELE

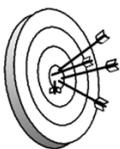
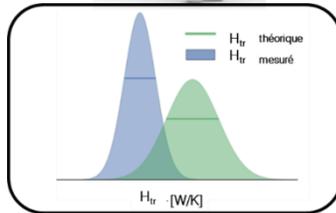
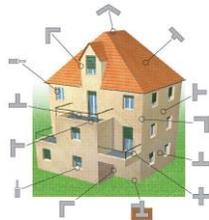
*In Situ Assessment of the Building Envelope performance*



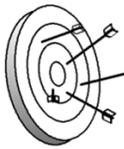
## ISABELE

### METHODE ET PROTOCOLE

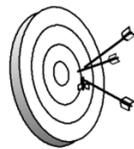
.



L'idéal...



Incertitude importante



Erreur systématique importante

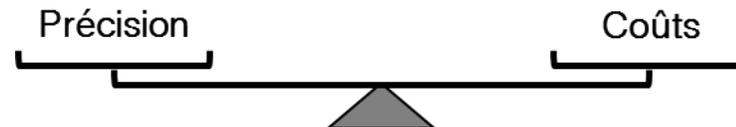
> **Mesure in situ du coefficient d'isolation globale  $H_{tr}$  (NF EN ISO 13790:2013 ) et quantification de l'erreur totale sur cette mesure**

## PRINCIPE

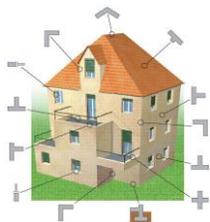
> Pas de mesure directe possible. On soumet le bâtiment à une sollicitation thermique, on utilise un modèle thermique dans lequel on injecte des mesures (températures, consommations, etc.) et on identifie  $H_{tr}$ ,

## Difficulté majeure

> **objectiver l'erreur totale sur la mesure pour identifier un compromis acceptable entre précision de la mesure, simplicité et coûts.**



### • PROTOCOLE



Maison individuelle  
Bâtiment neuf et inoccupé

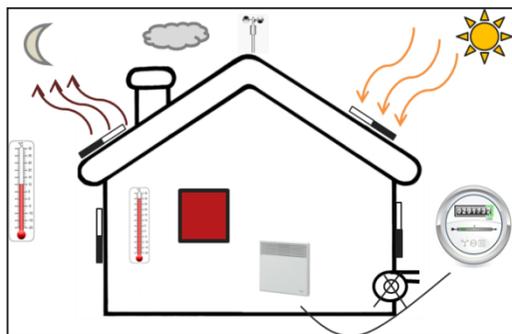
Mesure in situ à réception des travaux  
en quelques jours

**MI neuve ITI**  
**(~90% du marché neuf  
actuel)**  
**4 jours de mesure  
recommandés**



### LES CONDITIONS D'ESSAI

- Volets fermés
- Système de ventilation stoppé, fermeture ou obturation des ouvertures. (idem NF EN 13829 mesure de perméabilité à l'air)
- Système de chauffage rapporté
- **Bâtiment inoccupé** durant la période d'essai
- Une mesure de perméabilité à l'air (conforme RT2012) préalable est requise

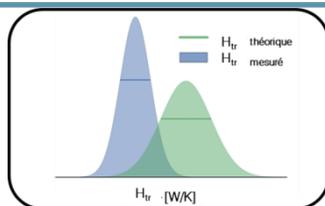


### KIT DE MESURE

- Mesures de température extérieure équivalente (une par face)
- Mesure locale de la température extérieure
- Mesure locale de la vitesse du vent
- Pilotage des convecteurs et comptage de l'énergie injectée
- Mesure de températures intérieures
- Humidité (intérieure et extérieure)

### REALISATION DE L'ESSAI

- Chauffage du bâtiment : idéalement 10°C au dessus de la température extérieure



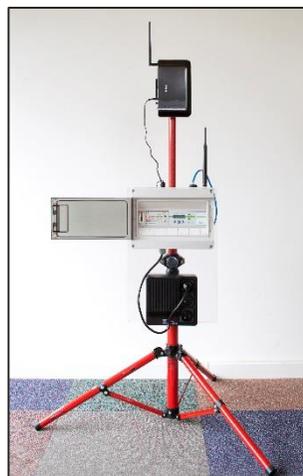
### ANALYSE DES DONNEES

- Identification de  $H_{tr}$
- **Quantification de l'erreur sur  $H_{tr}$**

## • KIT DE MESURE



**UN CONCENTRATEUR**  
Pilote de l'essai et recueil  
des données



### MODULES INTERIEURS

- Convecteur
- Pilotage du convecteur et comptage de l'énergie injectée
- Mesure de températures et humidités intérieures
- Brasseur d'air

### MESURES DE TEMPERATURES EXTERIEURES EQUIVALENTES

- Mesures de température extérieure équivalente (une par face) – CAPTEURS SENS



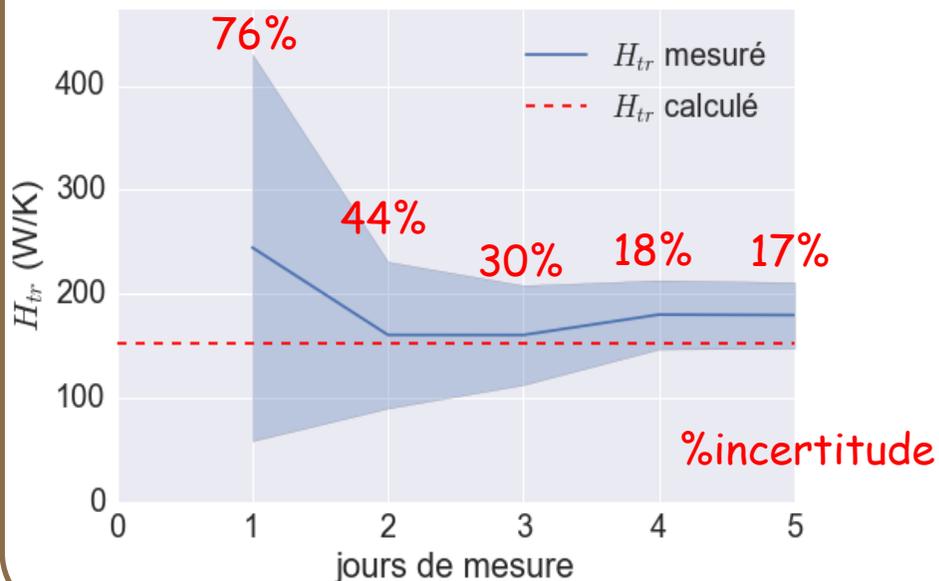
### STATION METEO

- Mesure locale de la température extérieure
- Mesure locale de la vitesse du vent

## Résultats

### 1 Niveau d'isolation mesuré

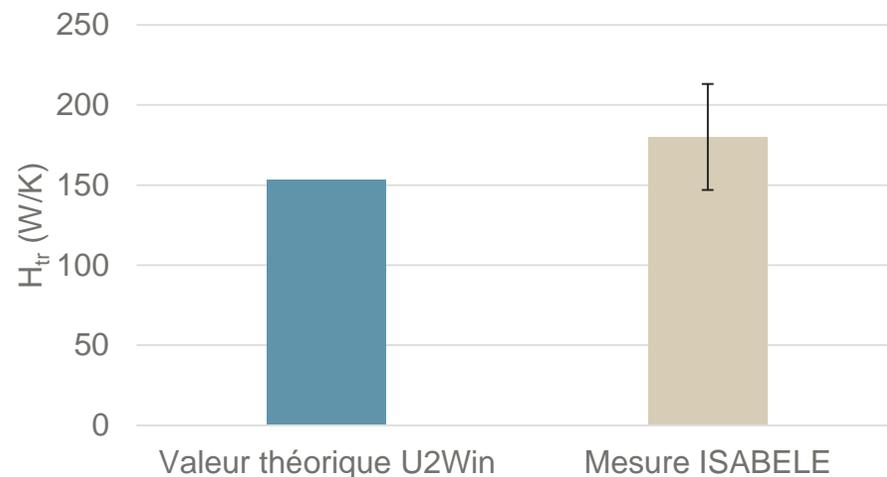
**Htr mesuré =  $180 \pm 33$  W/K**



### 2

### Comparaison à la valeur calculée par le BET

**Htr calculé = 153 W/K**



#### Comment interpréter ce résultat :

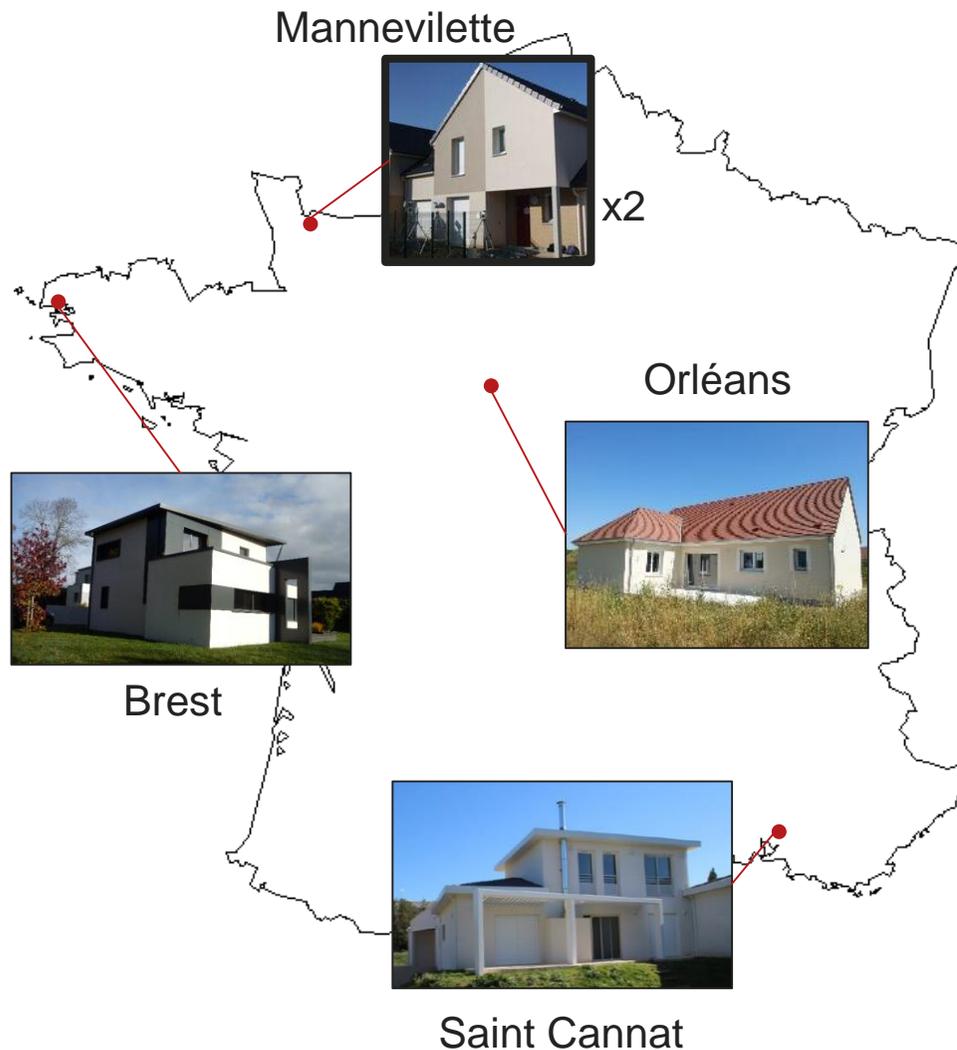
- > Probabilité que Htr mesuré soit supérieur à la valeur théorique: 95 %
- > Probabilité que Htr mesuré soit 20% supérieur à la valeur théorique: 39 %

## ISABELE

### ESSAIS

> En 2016, déploiement de la méthode sur 5 maisons individuelles neuves

> **Protocole de mesure et méthode ISABELE testés et validés sur le terrain**



## Méthode et protocole mature pour la maison individuelle neuve ITI

- **Méthode et protocole validés pour la Maison Individuelle neuve ITI**

- > Applicable aujourd'hui si revêtements de sol posés,
- > 5 jours d'immobilisation requis (1 jours pour préparation du bâtiment, la pose et la dépose du kit + **4 jours de test**)

- **La méthode MI neuve peut s'appliquer sur tous types de bâtiment neuf de surface inférieure à 200 m<sup>2</sup>, petit tertiaire d'enseignement, crèches en particulier.**

**CSTB**  
le futur en construction

# Méthode REPERE

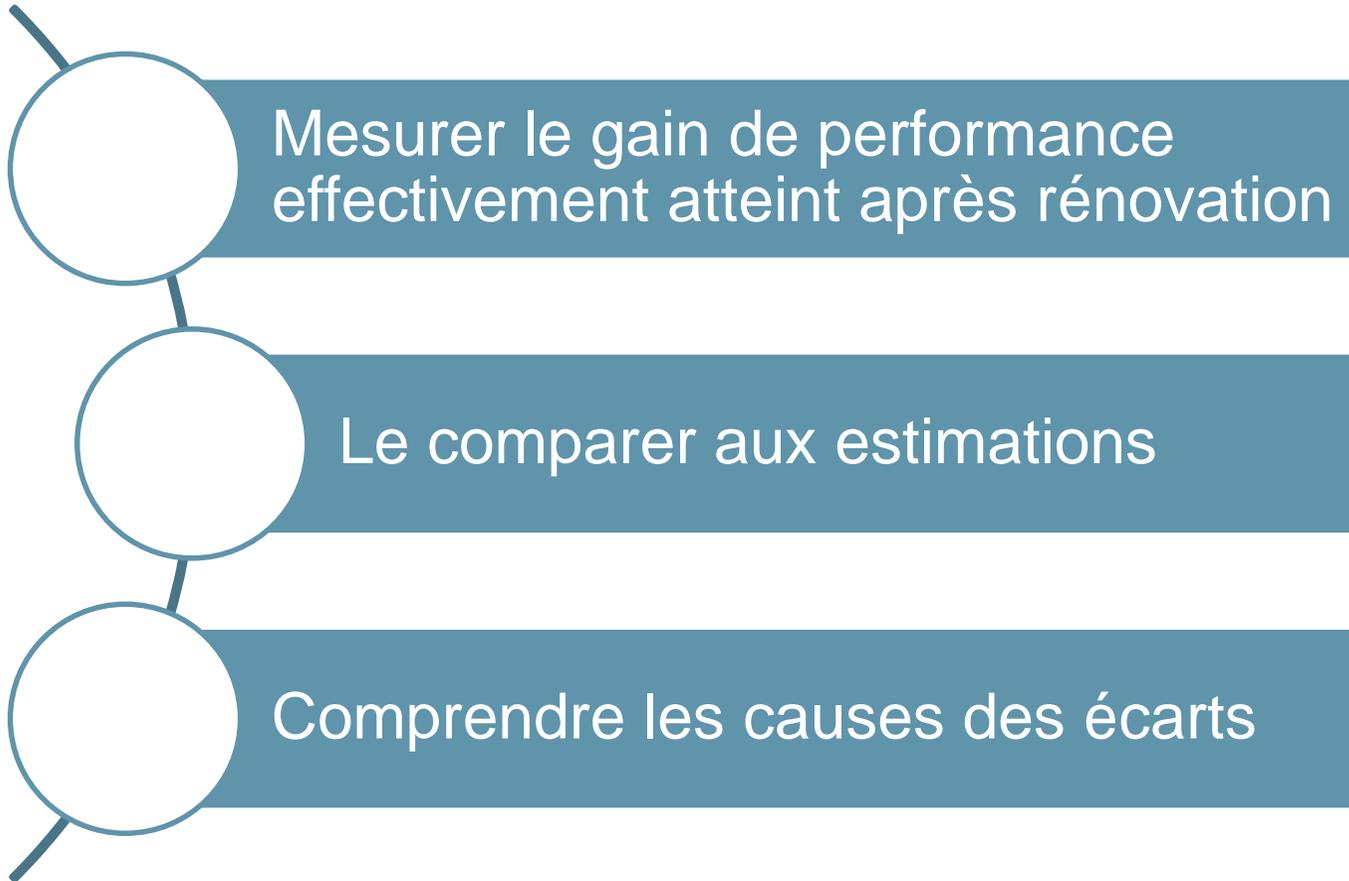
Mesure du gain de performance énergétique après **rénovation**



Divergence de performance énergétique entre :

- la performance théorique calculée en conception
- la performance énergétique effective

Enjeu actuel : **maîtriser la performance effective**



## Technique

- contrôler la qualité des travaux
- corriger les défauts de réglage
- répliquer les meilleures pratiques

## Financier

- justifier les économies de charges pour les locataires
  - (3<sup>è</sup> ligne de quittance)
- sécuriser les investissements de rénovation

→ Neutralisation  
des effets

## Météo

## Comportement du locataire

Température  
extérieure

Ensoleillement

Température  
intérieure

Période de  
chauffe

Demande  
d'ECS

Occupation

→ Analyse  
des causes

Simulation

Equipements de  
chauffage

Enveloppe  
du bâti

Données  
d'entrée

Erreurs de  
modélisation

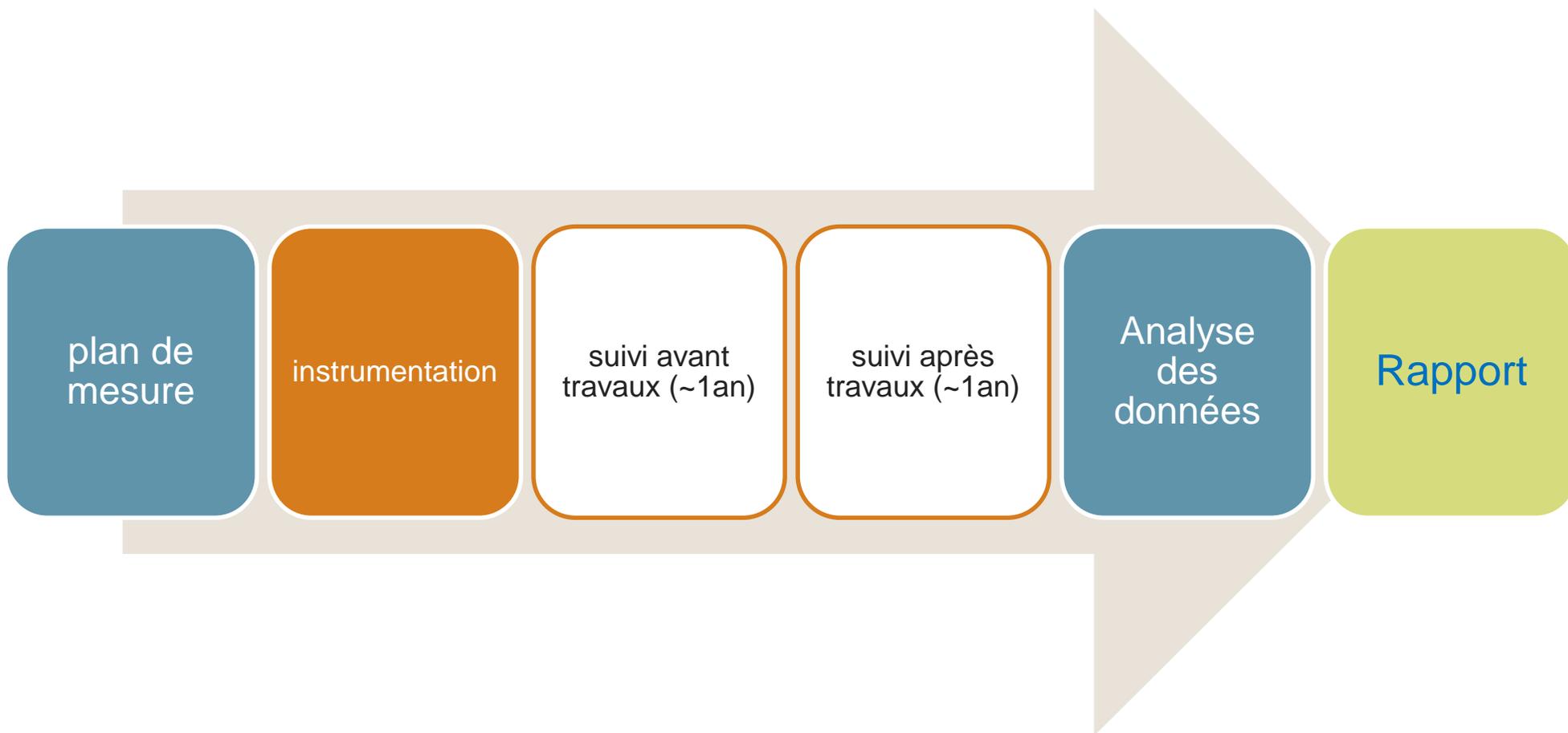
Rendement

Réglage loi  
d'eau

Équilibrage  
du réseau

Déperdition

Ventilation



- Capteur CO<sub>2</sub>
- Capteur pulse radio  
(compteur gaz)
- Capteur  
d'ambiance  
(température,  
humidité)
- Capteur TIC  
(compteur  
électrique)



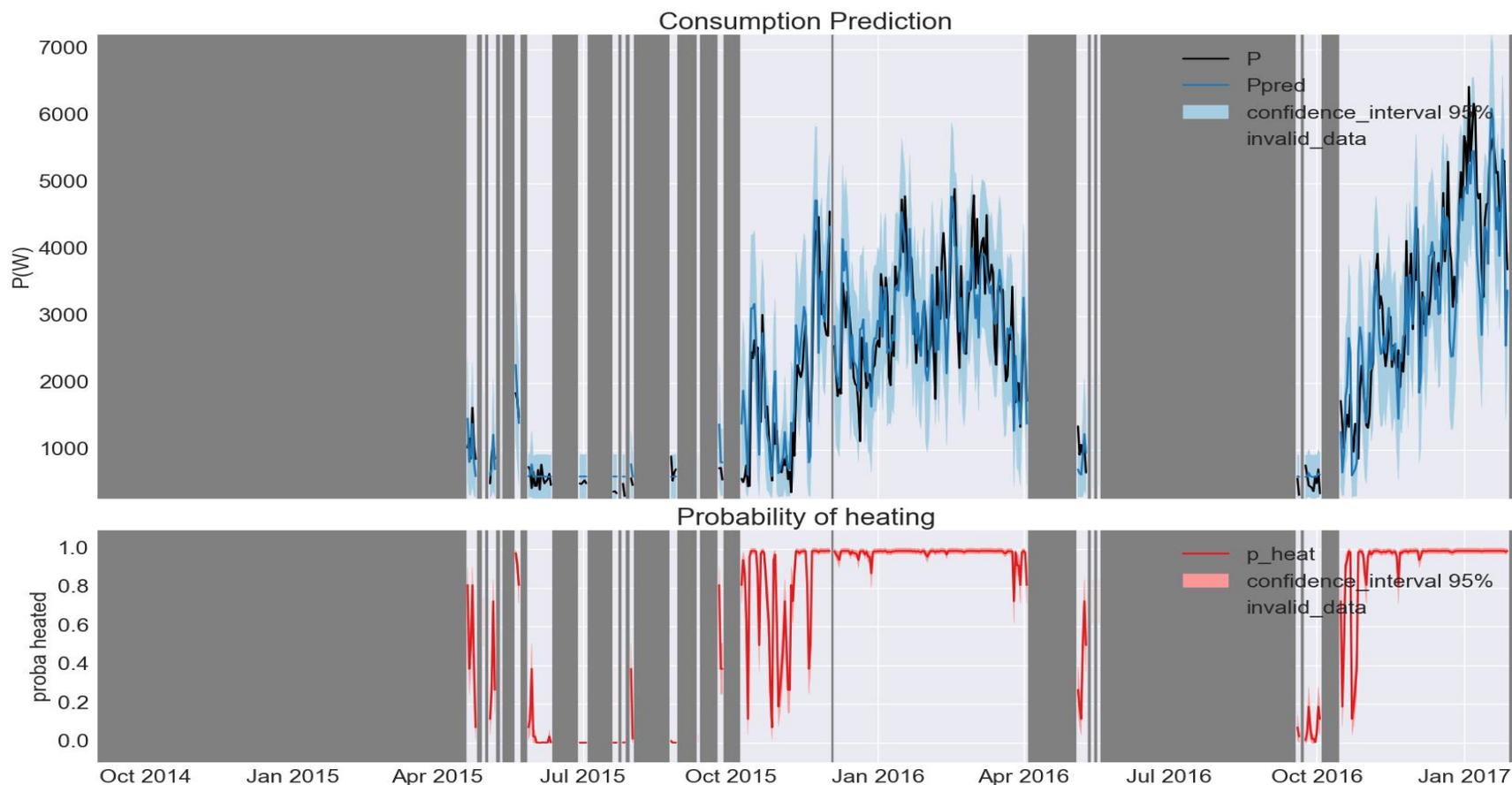
Stations de base  
(antenne de  
transmission)

## Une librairie de +100 briques de calcul innovantes issues de la recherche CSTB :

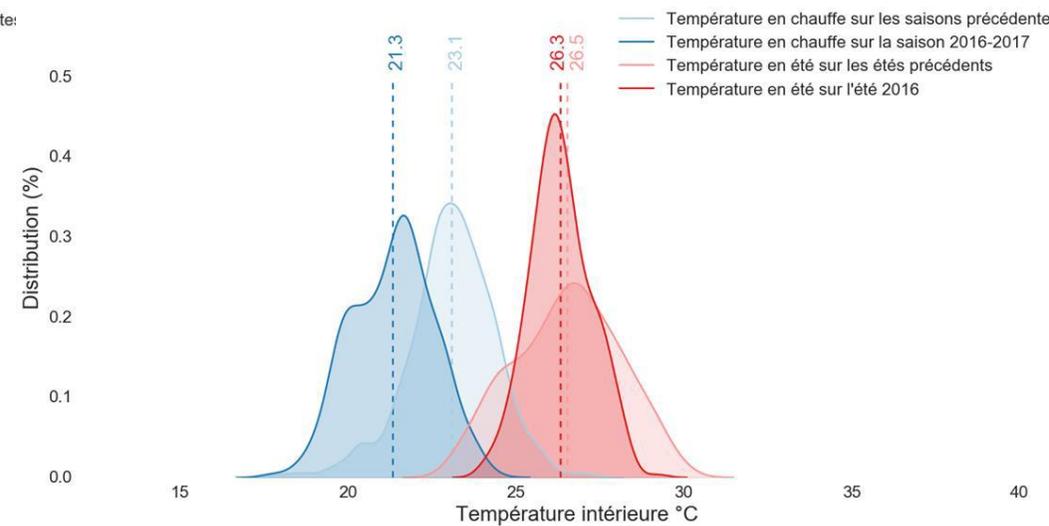
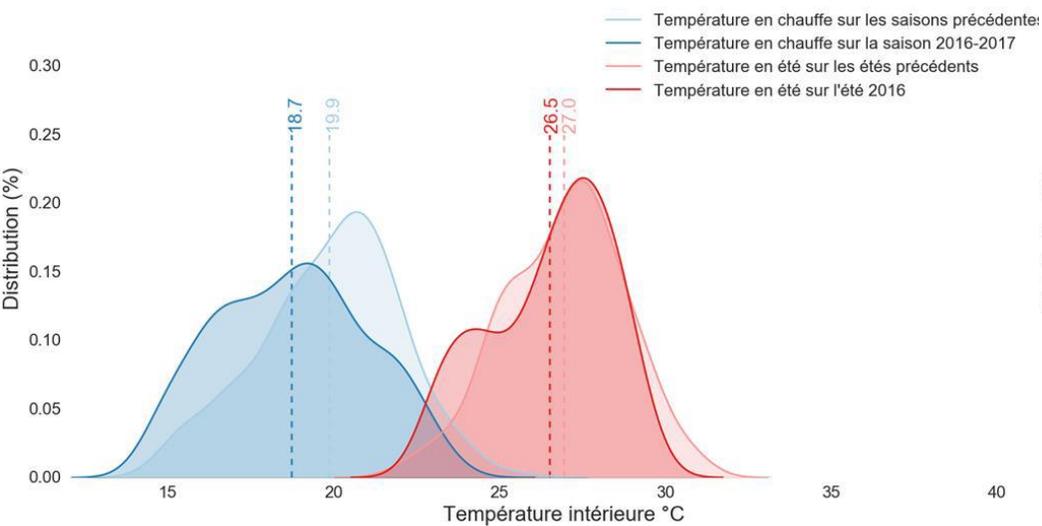
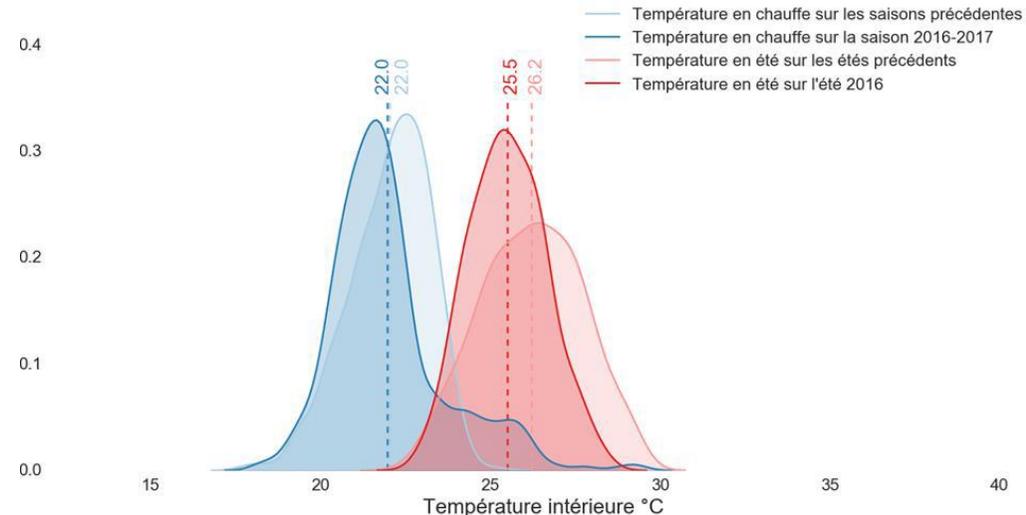
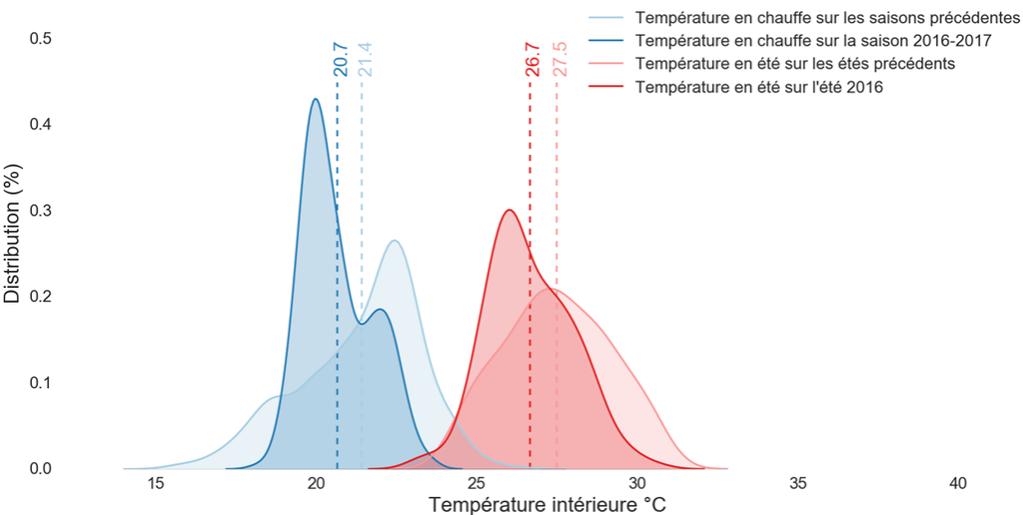
- **station météo virtuelle**
- **capteur virtuel d'occupation**
- **traitement des erreurs de mesures**
- **analyse statistique des températures**
- **reconnaissance des consommations chauffage, ECS**
- **calcul des apports solaires**
- **calcul des apports internes**
- **modélisation thermique par machine learning**
- **normalisation des consommations**
- **etc...**

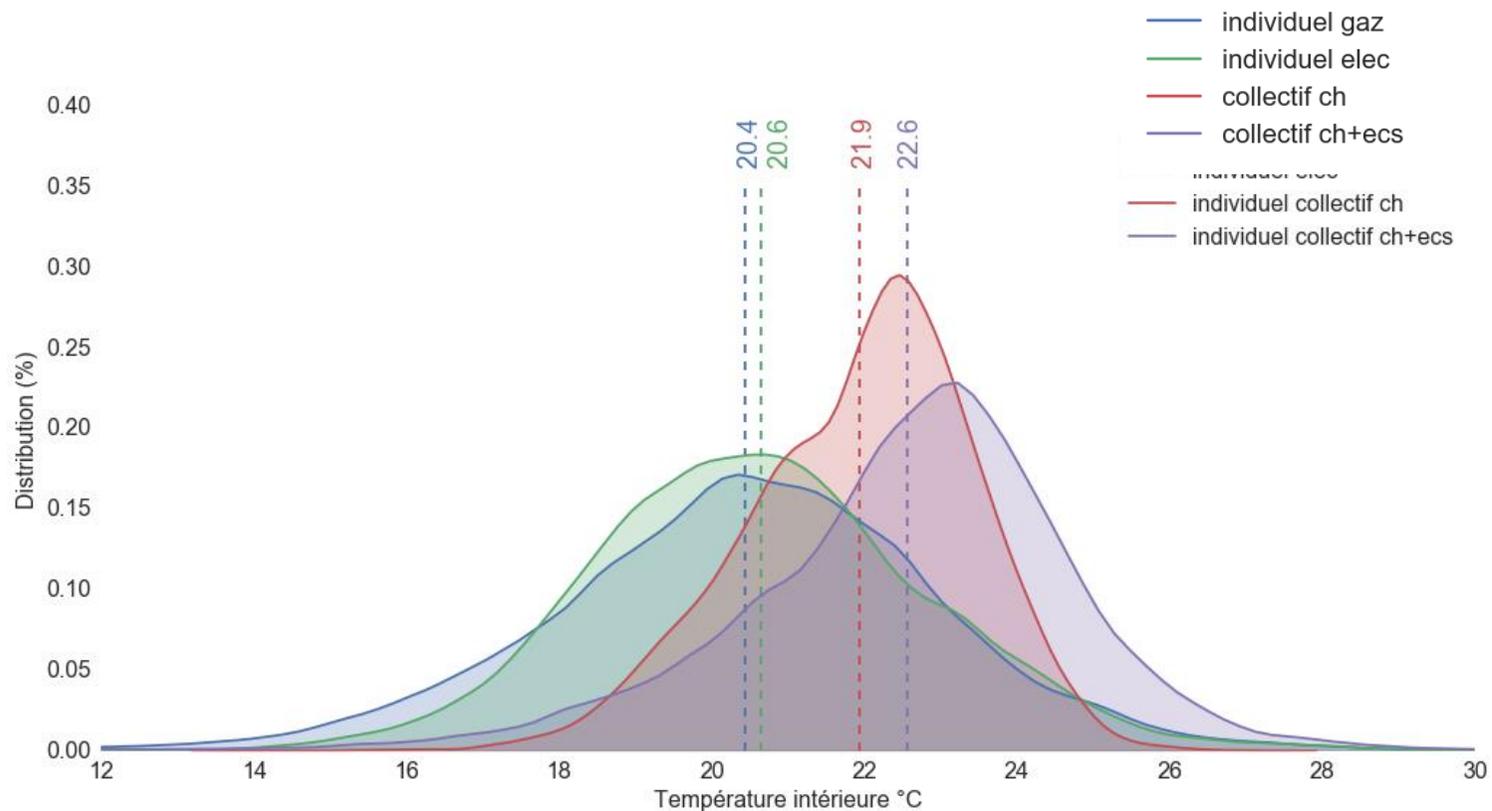
Résultats de modélisation sur set d'apprentissage pour le site ANDRE\_DASTE\_1\_2 et le modèle  $\text{model\_Pgaz} = f(\text{DTfixe}) + \text{model\_Pgaz} = f(\text{cste})$

Biais : -0.2 % , Incertitude sur somme : 1.0 % RMSE : 16.2 % , NombreJourValides : 352 j









## Offre de base

mesure du gain de performance globale  
{ énergie & confort }

### Option 1

Audit du calcul  
THC-ex

### Option 2

Audit équilibrage  
du réseau

### Option 3

Audit rendement et  
réglage chaufferie

### Option 4

Audit ventilation,  
QAI, moisissures

## Offre de base

mesure du gain de performance globale  
{ énergie & confort }

### Option 1

Audit du calcul THC-ex

### Option 4

Audit ventilation, QAI,  
moisissures



- Evaluation d'un programme de rénovation de 1300 logements (2012-2017)



- Evaluation d'un programme de rénovation de 1000 logements (2017)



Contacts : Lionel BERTRAND 01.64.68.84.35 [lionel.bertrand@cstb.fr](mailto:lionel.bertrand@cstb.fr)

**CSTB**  
le futur en construction