



# Incertitudes en énergétique du bâtiment : du diagnostic à la garantie de performance énergétique

Mathias Bouquerel  
EDF R&D, Département EnerBaT

Chatou, 08/12/2016  
IMdR, GT Incertitudes & Industries



# SOMMAIRE

1. Introduction – les missions d’EnerBaT
2. BuildSysPro – notre bibliothèque Modelica
3. Quels besoins pour la propagation d’incertitudes ?
4. Perspectives

# SOMMAIRE

- 1. Introduction – les missions d’EnerBaT**
- 2. BuildSysPro – notre bibliothèque Modelica**
- 3. Quels besoins pour la propagation d’incertitudes ?**
- 4. Perspectives**

# 1. Introduction – les missions d’EnerBaT

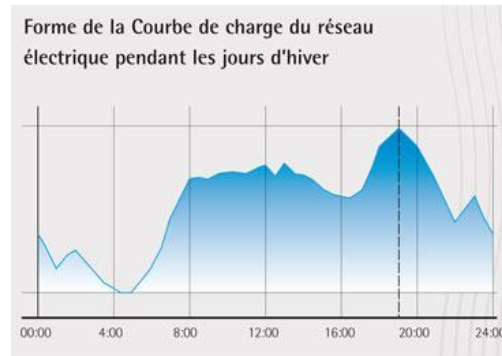
1. Développement de la connaissance client : qui consomme ? combien ? quand ?
2. Développement d’outils et de méthodes pour les forces commerciales
3. Innovation technologique en énergétique du bâtiment



# 1. Introduction – les missions d’EnerBaT

## 1. Développement de la connaissance client : qui consomme ? combien ? quand ?

- Secteur résidentiel et tertiaire : 44% de l’énergie finale consommée en France
- Rôle d’analyse sectorielle, réglementaire et prospective
- Appui à la stratégie du groupe EDF : prévision de la demande en énergie (cumul annuel) et en puissance (courbe de charge) et de son évolution à moyen et long termes
- Motivations : optimisation du système de production et de distribution, stratégie et prévisions budgétaires



## 2. Développement d’outils et de méthodes pour les forces commerciales

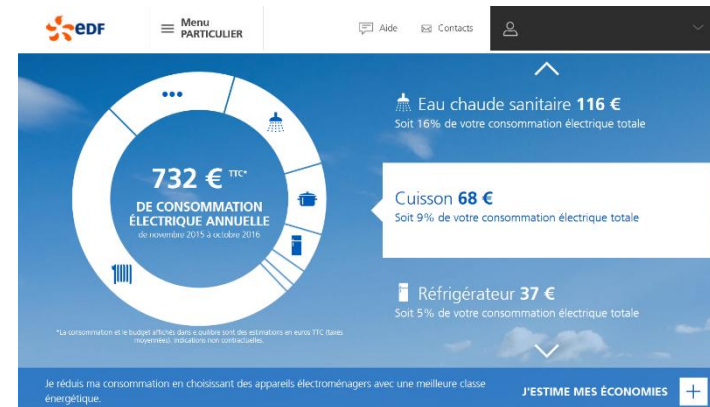
## 3. Innovation technologique en énergétique du bâtiment

# 1. Introduction – les missions d’EnerBaT

1. Développement de la connaissance client : qui consomme ? combien ? quand ?
2. Développement d’outils et de méthodes pour les forces commerciales
  - Appui aux offres d’éco-efficacité énergétiques sur les marchés résidentiels, tertiaires et collectivités locales. Exemples de service : outil de diagnostic énergétique, bouquet de solutions éco-efficaces, référentiels techniques, formations...
  - Motivations : qualité du service client, contrainte réglementaire et financière (CEE)

The screenshot shows the 'MON LOGEMENT' (My Home) diagnostic tool interface. It features a navigation menu with 'Menu PARTICULIER', 'Aide', and 'Contacts'. The main content area is divided into several sections:

- Mon appartement se situe :** (L'emplacement de votre appartement par rapport à l'immeuble) with options: 'Au dernier étage sous terrasse', 'Sous terrasse en pignon', 'Etage intermédiaire', 'Etage intermédiaire en pignon', 'Rez-de-chaussée', and 'Rez-de-chaussée en pignon'.
- La surface vitrée de mon logement est :** with options: 'Normale', 'Peu de vitrage', and 'Avec de grandes baies'.
- La hauteur moyenne sous plafond est :** with a value of '2,5 mètres'.
- J'ai déjà réalisé des travaux de rénovation ?** with 'OUI' and 'NON' buttons.



## 3. Innovation technologique en énergétique du bâtiment

# 1. Introduction – les missions d’EnerBaT

1. Développement de la connaissance client : qui consomme ? combien ? quand ?
2. Développement d’outils et de méthodes pour les forces commerciales
3. Innovation technologique en énergétique du bâtiment
  - Développement de solutions pour un bâtiment éco-efficace et bas carbone : efficacité énergétique (bâti et systèmes énergétiques) et énergies nouvelles réparties
  - Motivations : maintien de l’intérêt concurrentiel de l’énergie électrique dans le bâtiment malgré une réglementation pénalisante et un coût marginal élevé pour le chauffage à effet joule (convecteurs), maîtrise de l’évolution de la courbe de charge nationale



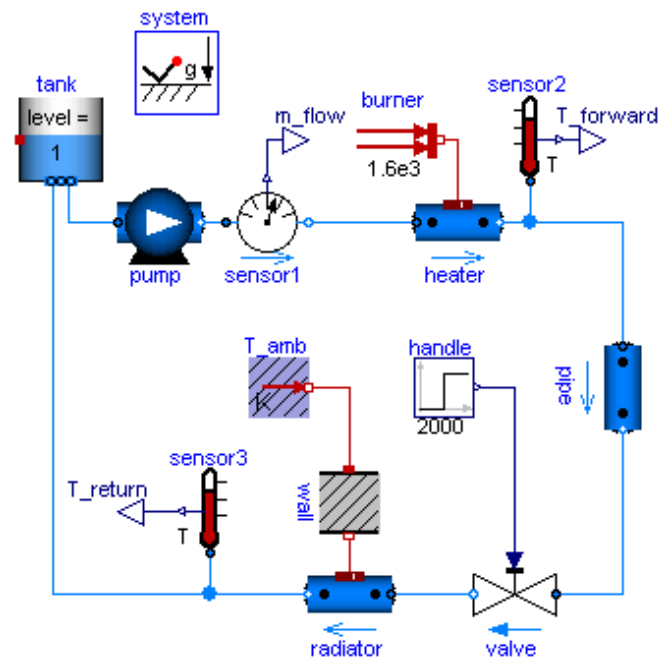
# SOMMAIRE

1. Introduction – les missions d’EnerBaT
2. BuildSysPro – notre bibliothèque Modelica
3. Quels besoins pour la propagation d’incertitudes ?
4. Perspectives

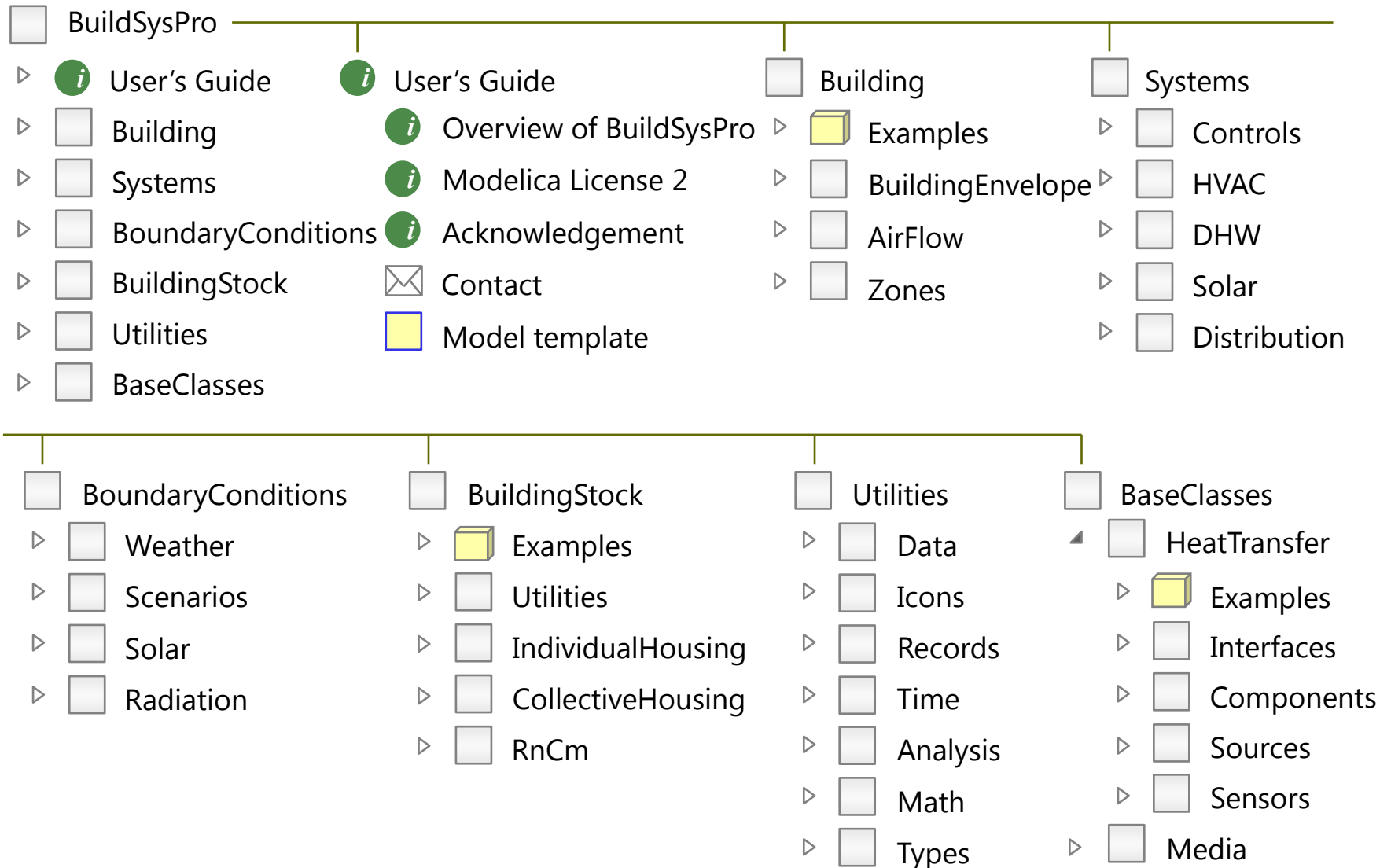


## 2. BuildSysPro – notre bibliothèque Modelica

- Bibliothèque « experte » pour la modélisation énergétique du bâtiment
- Langage Modelica :
  - Langage équationnel et acausale : plus proche de la physique
  - Modélisation orientée objet : grande souplesse d'utilisation, construction rapide d'une multitude de modèles à partir de blocs élémentaires
  - Modélisation multi-physique : connexion possible avec des modèles provenant d'autres métiers
  - Modélisation multi-échelles
  - Interopérabilité par standard FMI
  - Libre et non propriétaire : théoriquement pas d'adhérence à un éditeur

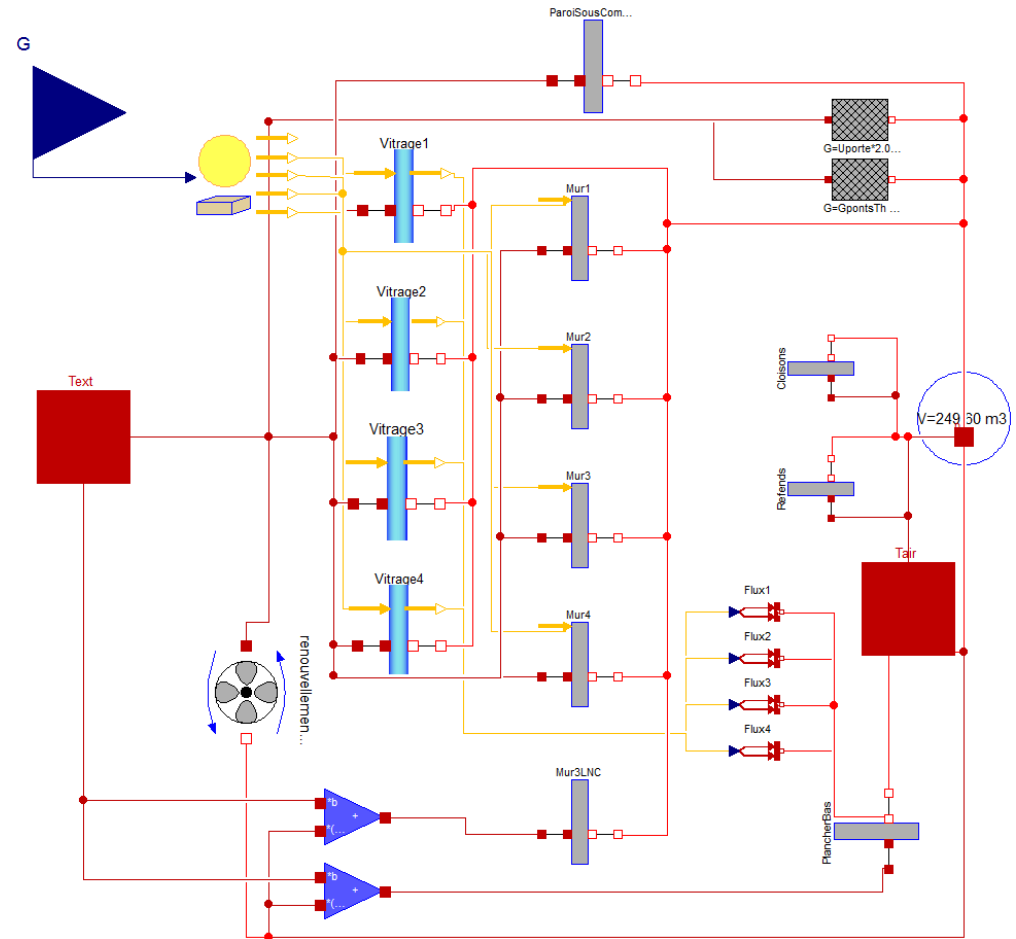
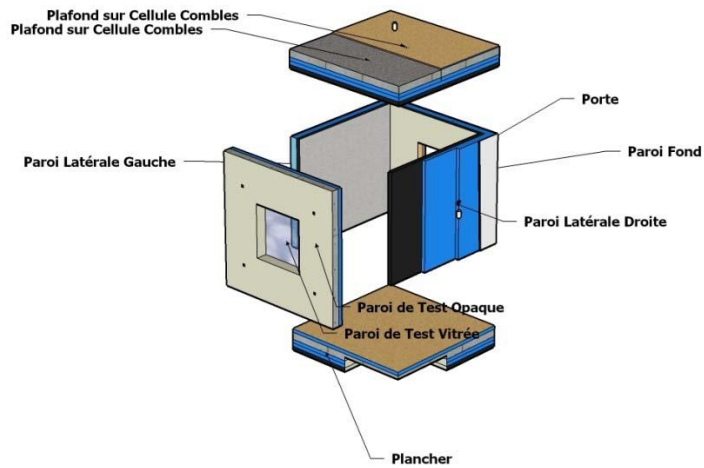


## 2. BuildSysPro structure

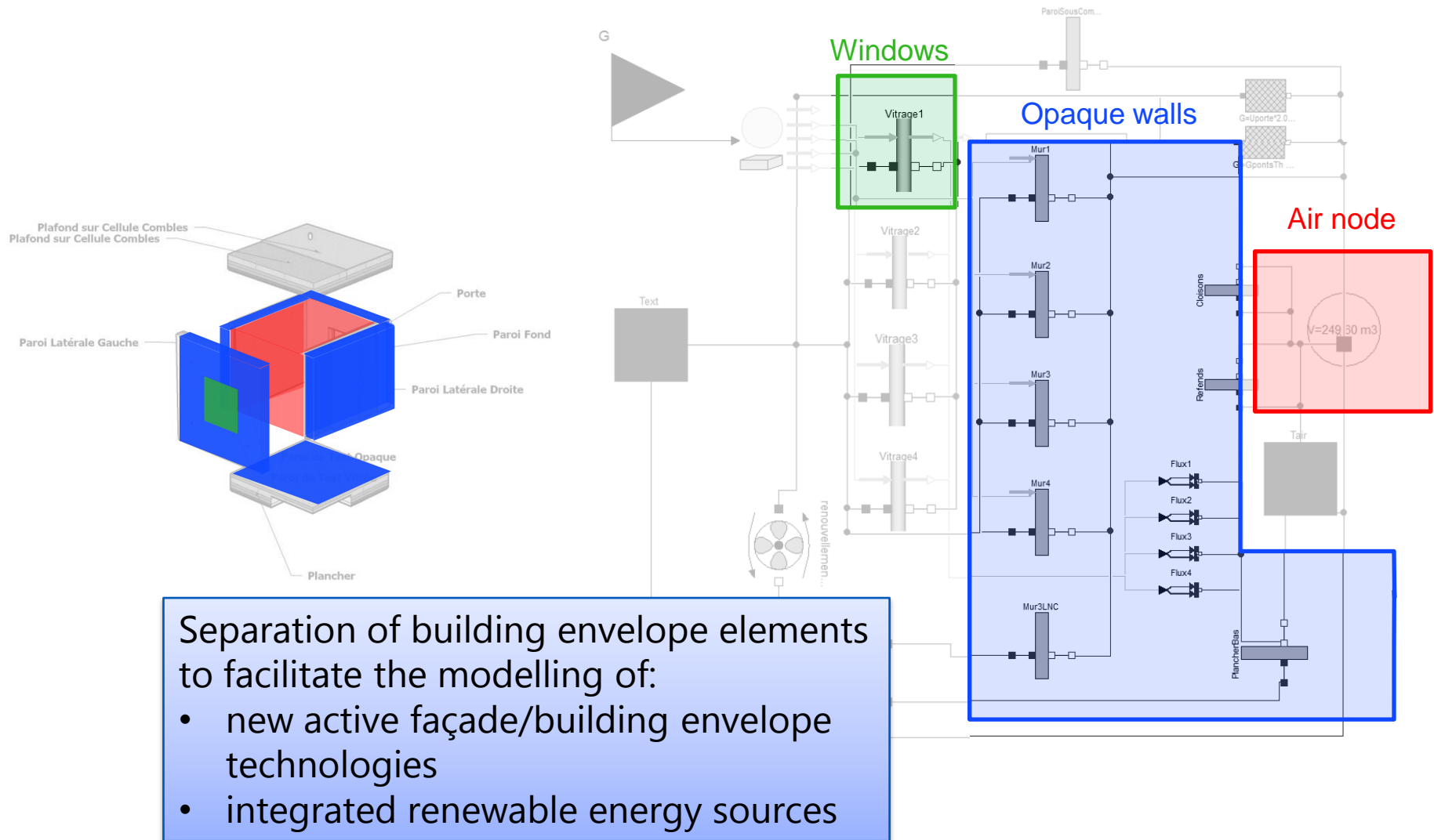




## 2. Main features : building envelope modelling (1/2)



## 2. Main features : building envelope modelling (2/2)



## 2. Similar models, various uses

- Building
  - Examples
  - BuildingEnvelope
  - AirFlow
  - Zones
    - HeatTransfer
      - ZoneCrawlSpace**
      - ZoneCrawlSpaceGlazed

General Vertical walls Horizontal walls Parois Horizontales

CaracParoiVert Walls generic structure - from outdoor to indoor(...)

S1nv	1	m2	South wall surface (unglazed)
S2nv	1	m2	West wall surface (unglazed)
S3nv	1	m2	North wall surface (unglazed)
S4nv	1	m2	East wall surface (unglazed)
hextv		W/(m2.K)	
hintv		W/(m2.K)	
albedo	0.2		Environment albedo
alpha	0.6		Absorption coefficient of the outer surface in the visible
eps	0.6		Emissivity in LWR

- BuildingStock
  - Examples
  - Utilities
  - IndividualHousing
    - Mozart
      - MozartZones
        - MozartMonozone**
        - MozartMultizone

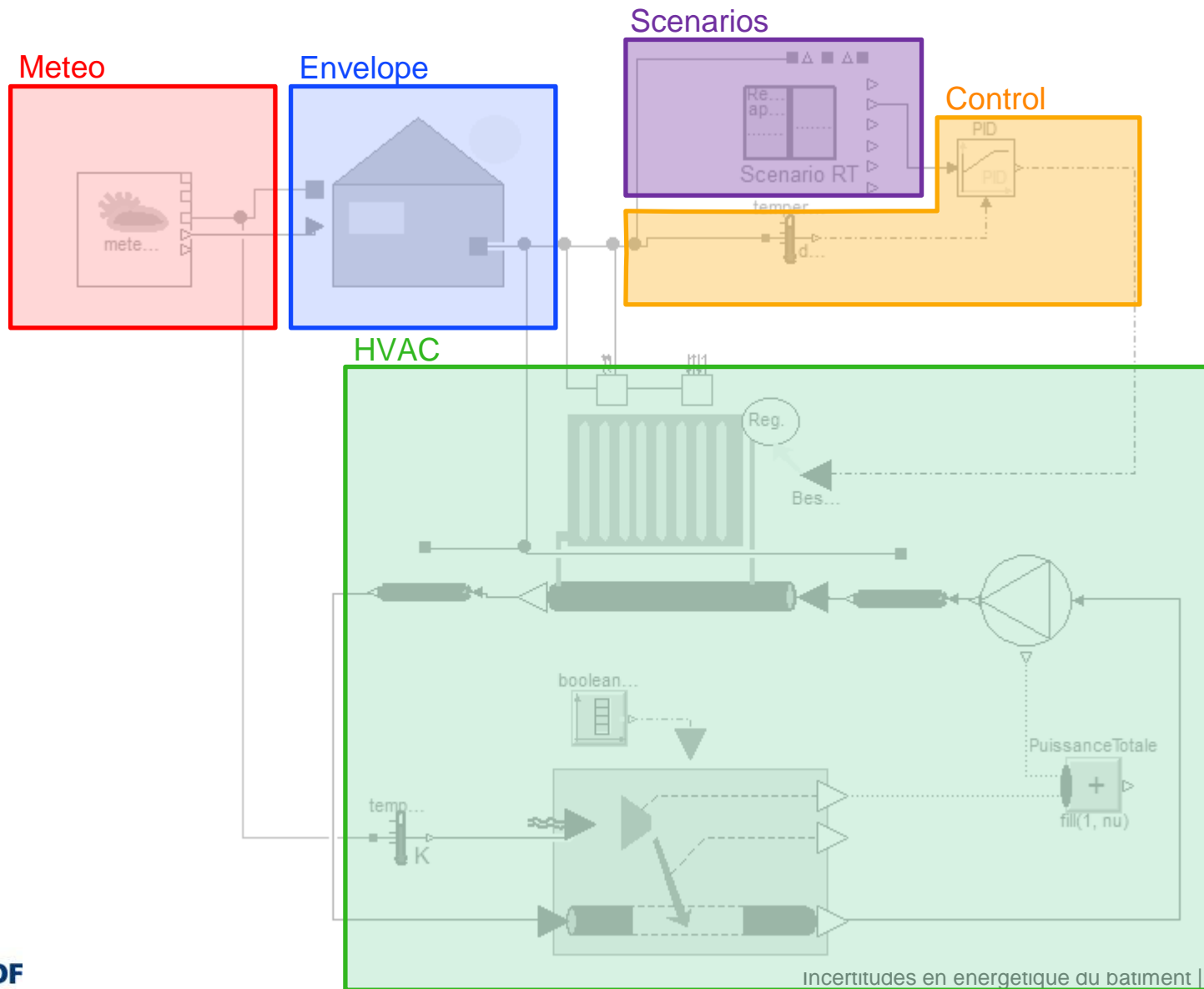
Parameters

beta 0 Orientation de la maison (ex. beta=90 le mur Nord est en réalité à l'Est, le mur Est au Sud etc.)

Choix de la RT

paraMaisonRT Liste de paramètres physiques d'un bâtiment(...) Réglementation thermique utilisée

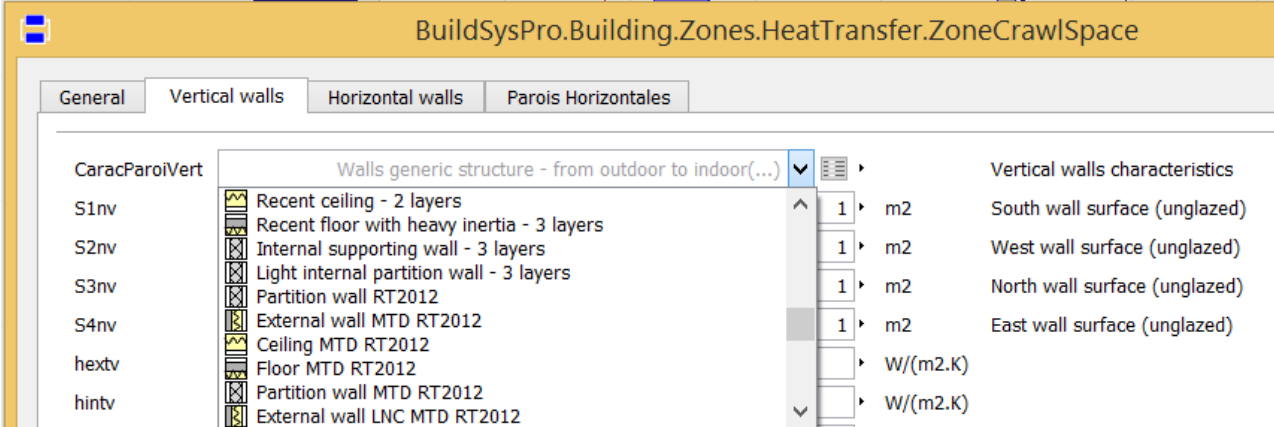
## 2. Main features : whole building modelling



## 2. Main features : French database

A general purpose Modelica library, which includes data specific to French building stock, energy systems and thermal regulations :

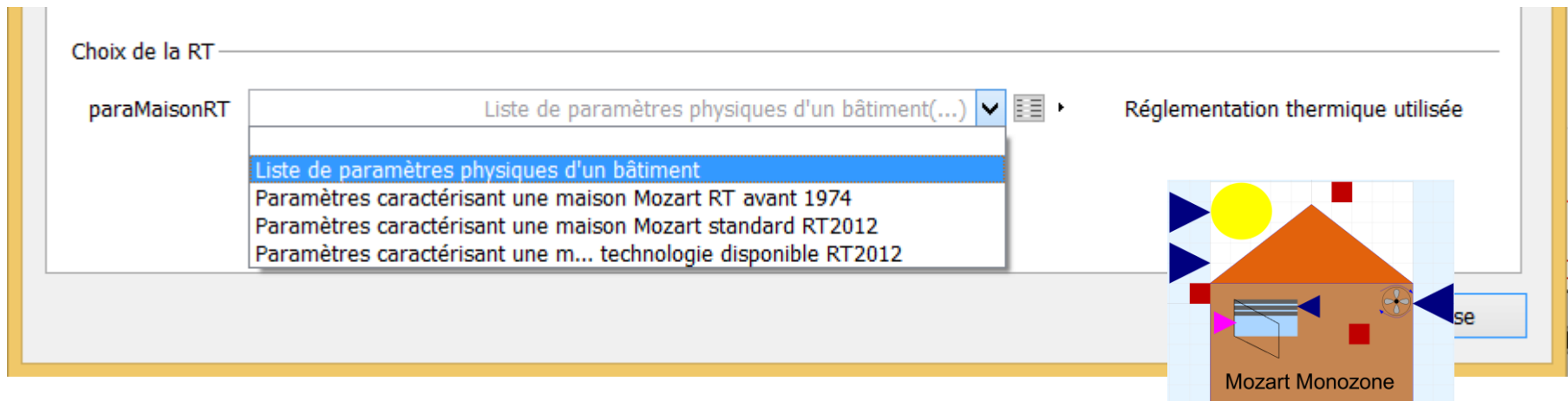
- Database of materials and constructions used in France, arranged by year of thermal regulation



BuildSysPro.Building.Zones.HeatTransfer.ZoneCrawlSpace

General Vertical walls Horizontal walls Parois Horizontales

CaracPariVert	Walls generic structure - from outdoor to indoor(...)		Vertical walls characteristics
S1nv	Recent ceiling - 2 layers	1 m2	South wall surface (unglazed)
S2nv	Recent floor with heavy inertia - 3 layers	1 m2	West wall surface (unglazed)
S3nv	Internal supporting wall - 3 layers	1 m2	North wall surface (unglazed)
S4nv	Light internal partition wall - 3 layers	1 m2	East wall surface (unglazed)
hextv	External wall MTD RT2012		W/(m2.K)
hintv	Ceiling MTD RT2012		W/(m2.K)
	Floor MTD RT2012		
	Partition wall MTD RT2012		
	External wall LNC MTD RT2012		



Choix de la RT

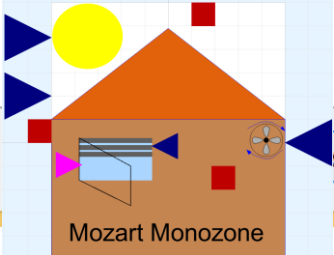
paraMaisonRT

Liste de paramètres physiques d'un bâtiment(...)

Liste de paramètres physiques d'un bâtiment

- Paramètres caractérisant une maison Mozart RT avant 1974
- Paramètres caractérisant une maison Mozart standard RT2012
- Paramètres caractérisant une m... technologie disponible RT2012

Réglementation thermique utilisée

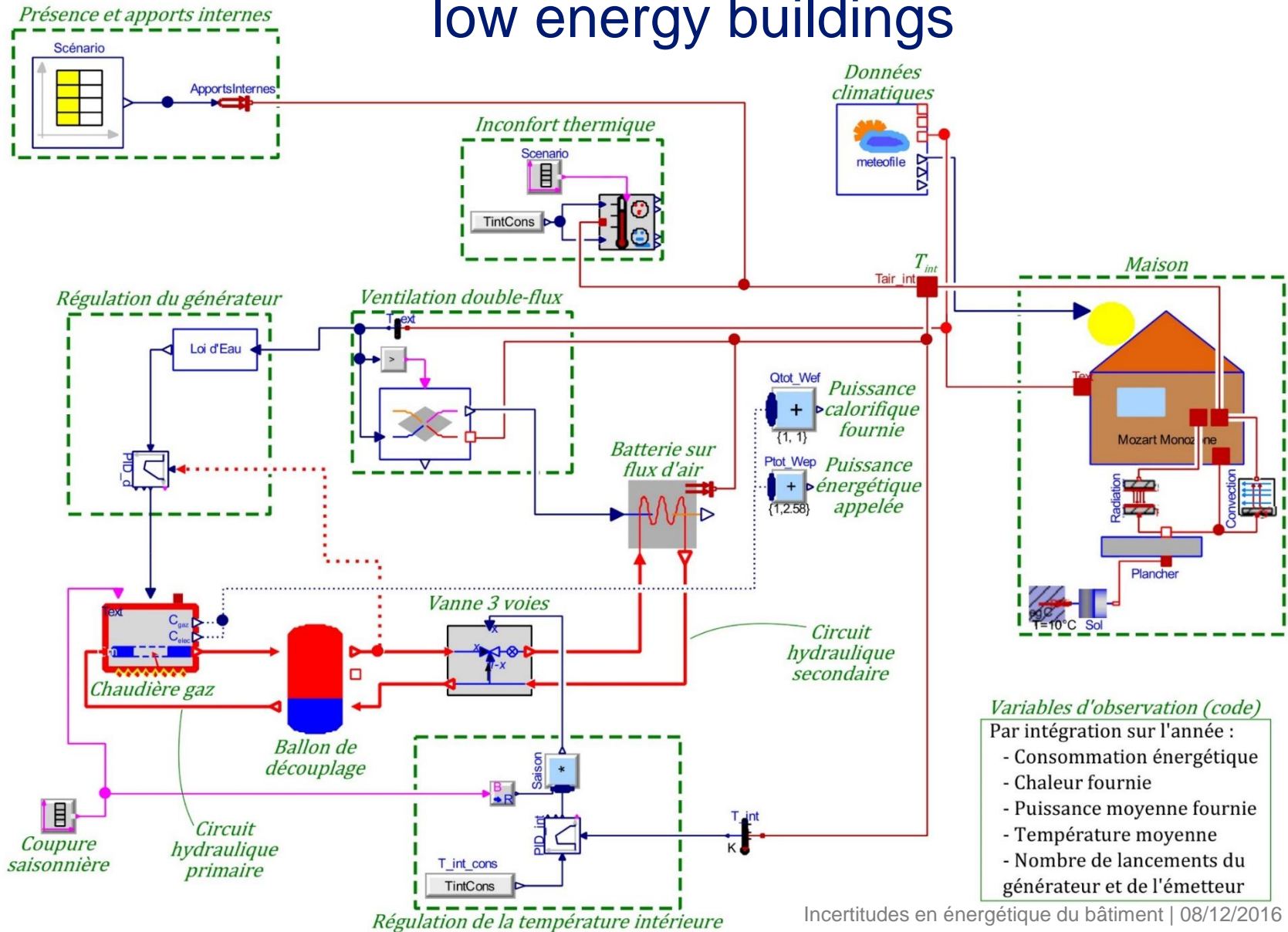


Mozart Monozone





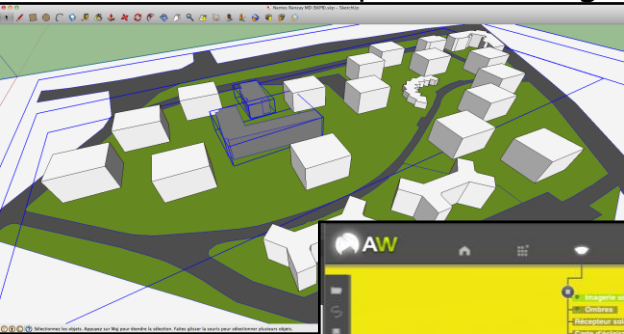
## 2. Use case : coupled building and hvac systems in low energy buildings



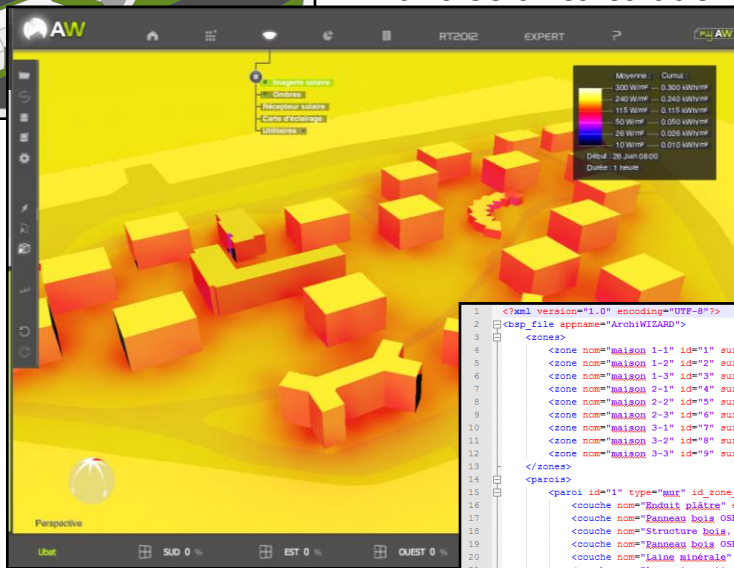
# 2. Use case : model generation, infrared interactions and dynamic bioclimatic design



SketchUp district design



Building identification and solar calculation

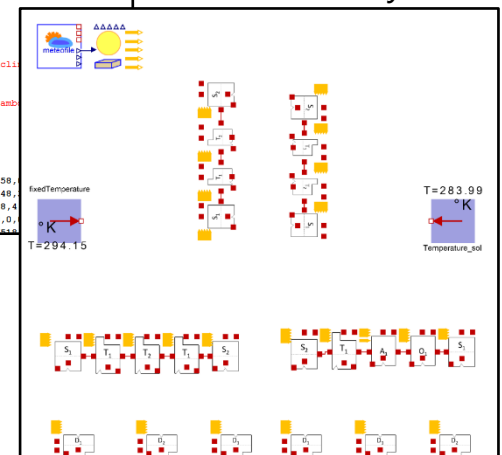


Use of gbXML for expert/data storage

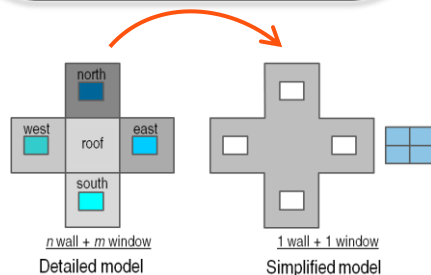
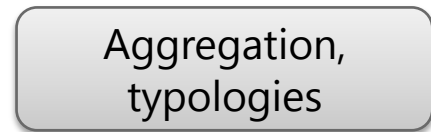
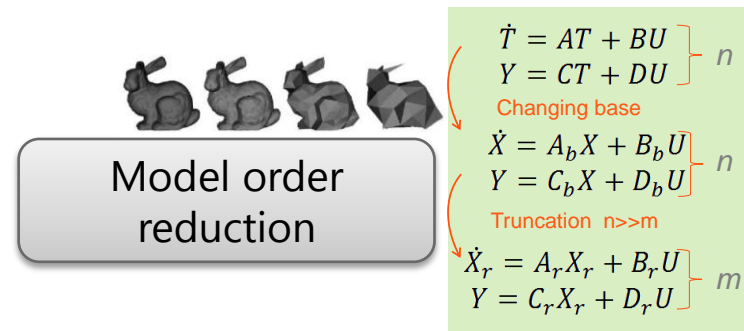
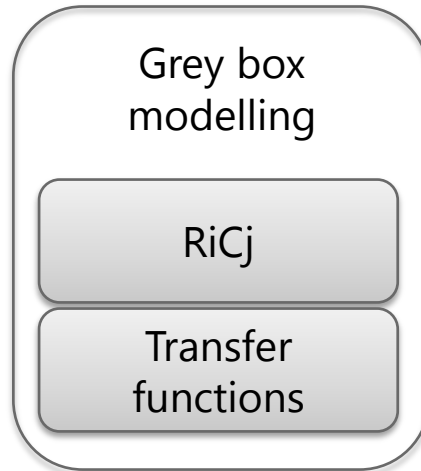
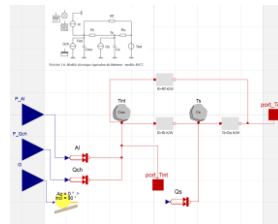
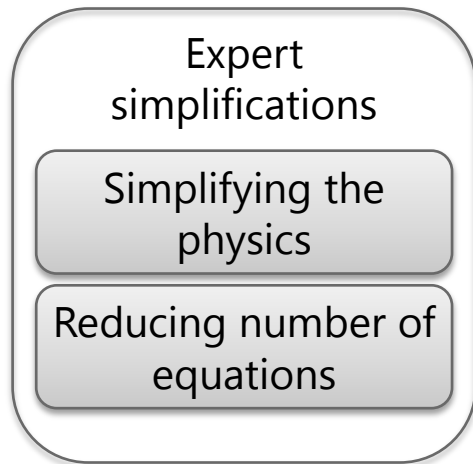
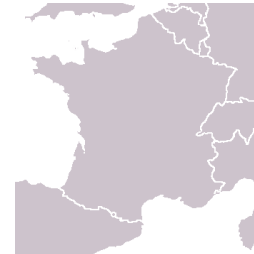
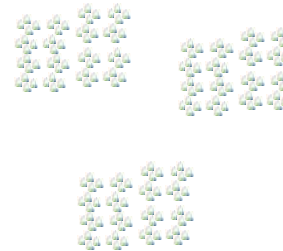
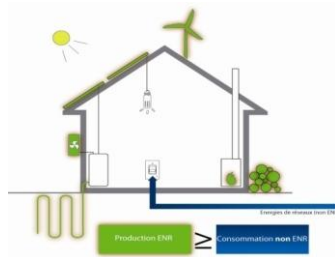
```

1 <<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
2 <kbsp_file appname="ArchiWIZARD">
3 <zone>
4 <zone nom="maison 1-1" id="1" surface="75.3597" volume="648.81"/>
5 <zone nom="maison 1-2" id="2" surface="75.3597" volume="648.81"/>
6 <zone nom="maison 1-3" id="3" surface="75.3598" volume="648.81"/>
7 <zone nom="maison 2-1" id="4" surface="75.3597" volume="648.81"/>
8 <zone nom="maison 2-2" id="5" surface="75.3597" volume="648.81"/>
9 <zone nom="maison 2-3" id="6" surface="75.3597" volume="648.81"/>
10 <zone nom="maison 3-1" id="7" surface="75.3597" volume="648.81"/>
11 <zone nom="maison 3-2" id="8" surface="75.3598" volume="648.81"/>
12 <zone nom="maison 3-3" id="9" surface="75.3597" volume="648.81"/>
13 </zone>
14 <parois>
15 <paroi id="1" type="mur" id_zone_1="0" id_zone_2="1" surface="70.764" orientation="270" incli
16 <couche nom="Enduit plâtre" e="0.2" rho="1200" Cp="1000" lambda="0.56"/>
17 <couche nom="Epanouss bois OSB" e="0.1" rho="650" Cp="1700" lambda="0.13"/>
18 <couche nom="Structure Bois, 160 mm LDV sulfate bois/bois" e="0.19" rho="200" Cp="1170" lamb
19 <couche nom="Rameaux bois OSB" e="0.1" rho="650" Cp="1700" lambda="0.13"/>
20 <couche nom="Laine Minérale" e="0.06" rho="30" Cp="1030" lambda="0.038"/>
21 <couche nom="Lame air verticale 1 - 1,5 cm" e="0.1" rho="1" Cp="1000" lambda="0.09"/>
22 <couche nom="Bardage mélèze" e="0.1" rho="5000" Cp="1600" lambda="0.12"/>
23 </parois>
    
```

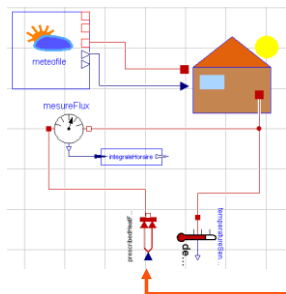
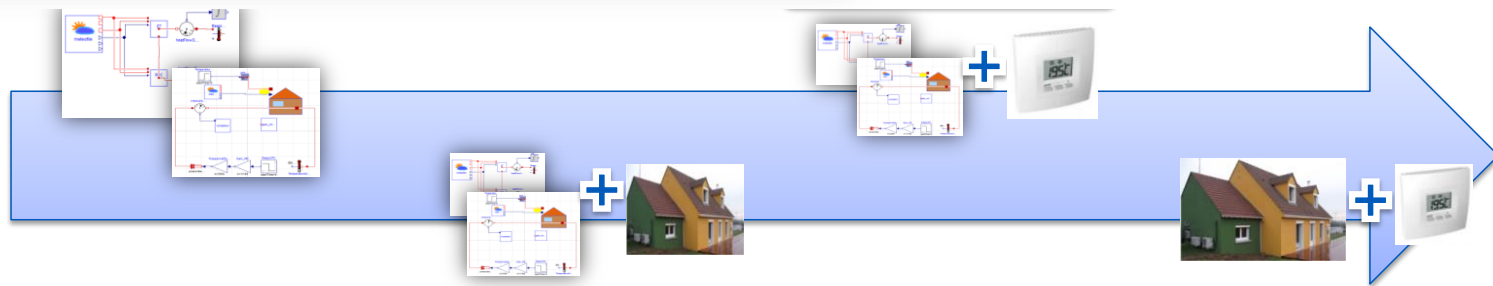
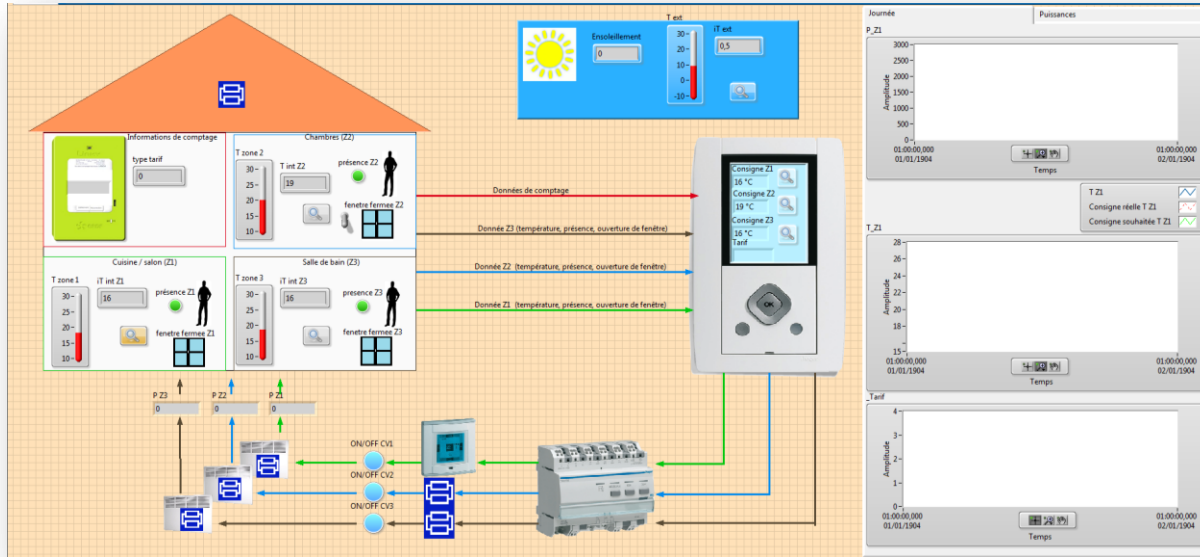
Automatic model generation and simulation (Python)



# 2. Use case : from building to city scale...



# 2. Use case : hardware in the loop : accelerating product development lifecycle



Data exchange via OPC server



# SOMMAIRE

1. Introduction – les missions d’EnerBaT
2. BuildSysPro – notre bibliothèque Modelica
- 3. Quels besoins pour la propagation d’incertitudes ?**
4. Perspectives

# 3. Quels besoins pour la propagation d'incertitudes ?

- **Paramètres d'entrée pour lesquels existe une incertitude (VA d'entrée) :**
  - **Caractéristiques physiques** du bâtiment étudié (enveloppe et système) : dimensions, matériaux, rendement des systèmes...
  - **Conditions aux limites intérieures** (comportement des occupants) : consignes de température, taux d'occupation, ouverture des fenêtres...
  - **Conditions aux limites extérieures** : conditions météo, échanges radiatifs de l'enveloppe
  
- **En énergétique du bâtiment, deux sorties sont principalement étudiées**
  - La température intérieure → confort thermique
  - La consommation énergétique → efficacité énergétique
  
- **Quelques cas identifiés pour le calcul d'incertitudes**
  1. Diagnostic énergétique : performance d'un bâtiment existant
  2. Conception / optimisation de bâtiment neuf
  3. Contrat de performance énergétique : garantie du montant maximum de la facture

# 3. Diagnostic énergétique

## ■ Objectifs de la démarche

- Quelle est la performance actuelle du bâtiment ? Vers un DPE ++
- Comment certaines rénovations peuvent améliorer la performance ?

## ■ Caractéristiques physiques du bâtiment étudié (enveloppe et système)

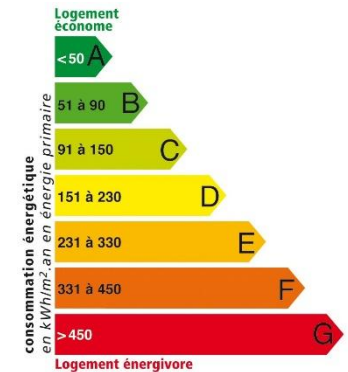
- Données difficilement accessibles sans documentation et sans mesure
- MAIS on peut connaître des fourchettes de performances selon la période de construction (réglementation thermique). Reste la question des rénovations.
- Coexistence de VA continues (dimensions, conductivité...) et discrètes (système constructif, type de chauffage)

## ■ Conditions aux limites intérieures (comportement des occupants)

- Dépendance observée entre l'efficacité énergétique du bâtiment et son intensité d'usage

## ■ Conditions aux limites extérieures

- Les sollicitations extérieures dépendent du site et de l'année
- On peut fixer le scénario météo pour avoir le résultat sur une année représentative





# 3. Conception / optimisation



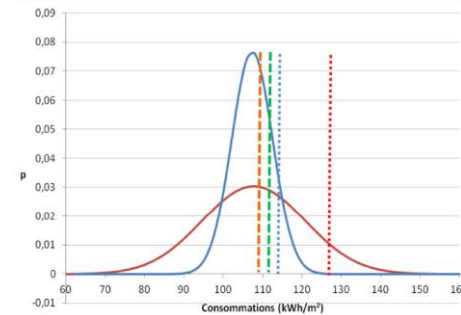
**RÉGLEMENTATION  
THERMIQUE  
2012**

- **Objectif de la démarche**
  - Concevoir un bâtiment respectant la réglementation thermique en trouvant l'optimum coût / performance
- **Caractéristiques physiques du bâtiment étudié (enveloppe et système)**
  - Les performances nominales sont bien documentées (plans et fiches techniques)
  - MAIS approche probabiliste très rarement appliquée (peu de données sur la distribution des caractéristiques), et écarts non négligeables entre plan d'exécution et réalisation
  - A priori, pas de VA discrètes (choix déterministes)
- **Conditions aux limites intérieures (comportement des occupants)**
  - Calculs généralement réalisés avec des scénarios d'usage conventionnels → incertitude à intégrer sur des VA fonctionnelles
- **Conditions aux limites extérieures**
  - Calculs généralement réalisés avec des scénarios météos conventionnels en fonction du site → incertitude à intégrer sur des VA fonctionnelles

# 3. Garantie de performance énergétique

## ■ Objectif de la démarche

- Garantir au client un montant maximum de la facture énergétique (quantile 95%)



## ■ Caractéristiques physiques du bâtiment étudié (enveloppe et système)

- Les performances nominales sont bien documentées (plans et fiches techniques)
- MAIS approche probabiliste très rarement appliquée (peu de données sur la distribution des caractéristiques), et écarts non négligeables entre plan d'exécution et réalisation
- A priori, pas de variables discrètes (choix déterministes)

## ■ Conditions aux limites intérieures et extérieures

- Si on intègre l'incertitudes sur les usages et sur la météo, la consommation garantie est trop élevée et la démarche perd son intérêt.
- Solution : démarche de type IMPVP. On détermine, par propagation d'incertitudes puis régression, un modèle analytique donnant le besoin en fonction de quelques paramètres clé (consigne de chauffage, température extérieure...) et on recale le modèle selon ses paramètres durant les premières années d'utilisation du bâtiment.
- Attention ce sont des VA fonctionnelles !

# SOMMAIRE

1. Introduction – les missions d’EnerBaT
2. BuildSysPro – notre bibliothèque Modelica
3. Quels besoins pour la propagation d’incertitudes ?
4. Perspectives

# 4. Perspectives

- **Des attentes importantes pour la prise en compte des incertitudes**
  - Améliorer l'estimation de la performance actuelle et du gain possible
  - Fiabiliser les outils et méthodes de conception de bâtiments à haute performance énergétique
  - Une dynamique poussée par l'augmentation continue de la performance réglementaire minimale → en route pour le BEPOS !
- **Quelques travaux réalisés ou en cours**
  - Projet ANR Fiabilité : analyse de sensibilité, propagation d'incertitudes et estimation de paramètres sur un modèle de cellule de la plateforme expérimentale BESTLab
  - Thèse en cours EnerBAT / MRI / AgroParisTech sur la garantie de performance d'une centrale PV
  - Travaux en cours dans le cadre du projet MOVIE pour coupler OpenTURNS et Modelica par le standard FMI



# Merci