



VERS UNE PLATE-FORME DE MODÉLISATION DU BÂTIMENT AU QUARTIER MULTI-PHYSIQUES AVEC MODELICA ET BUILDSYSPRO

29 octobre 2015

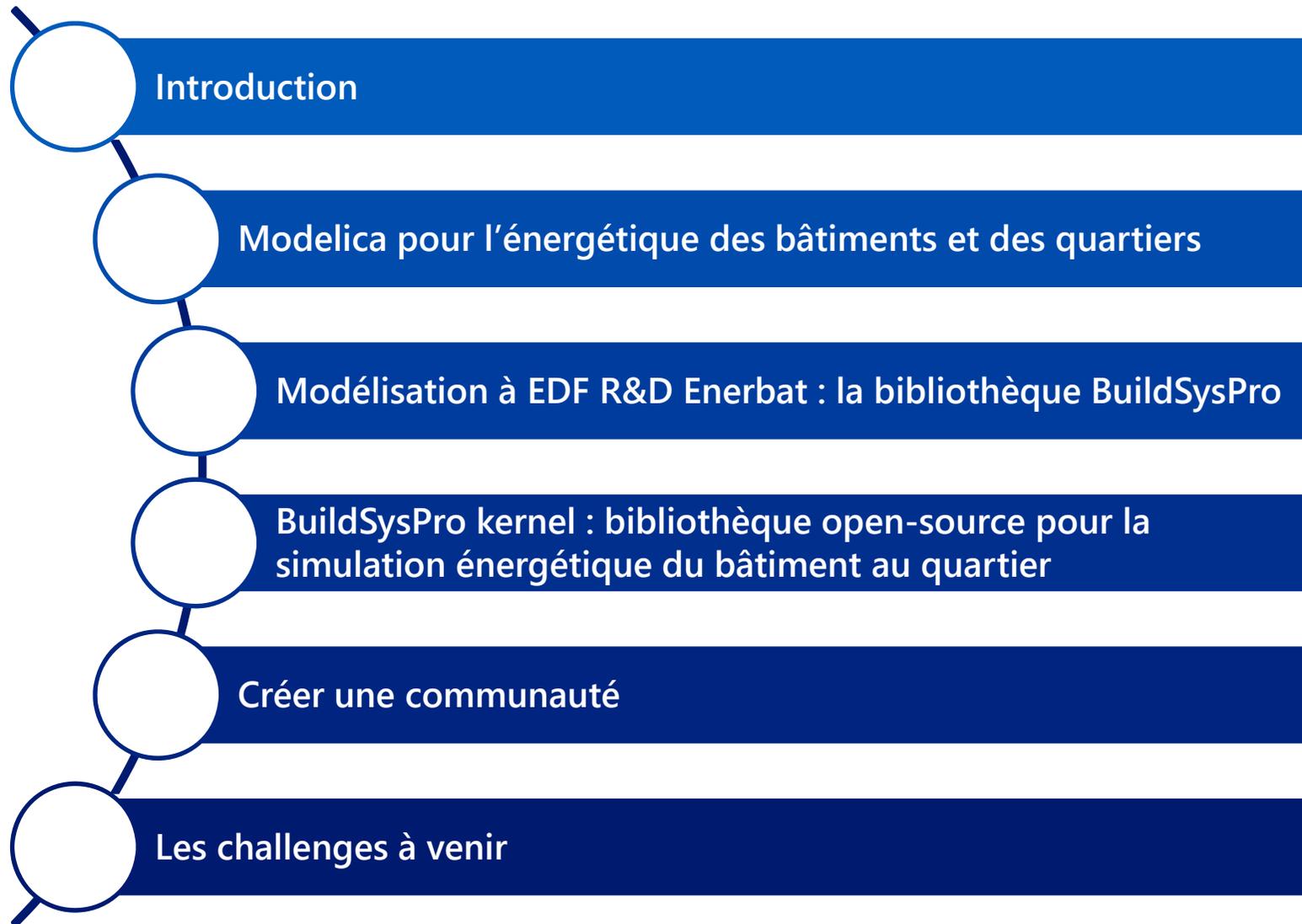
Mathieu Schumann

EDF R&D – Département EnerBaT

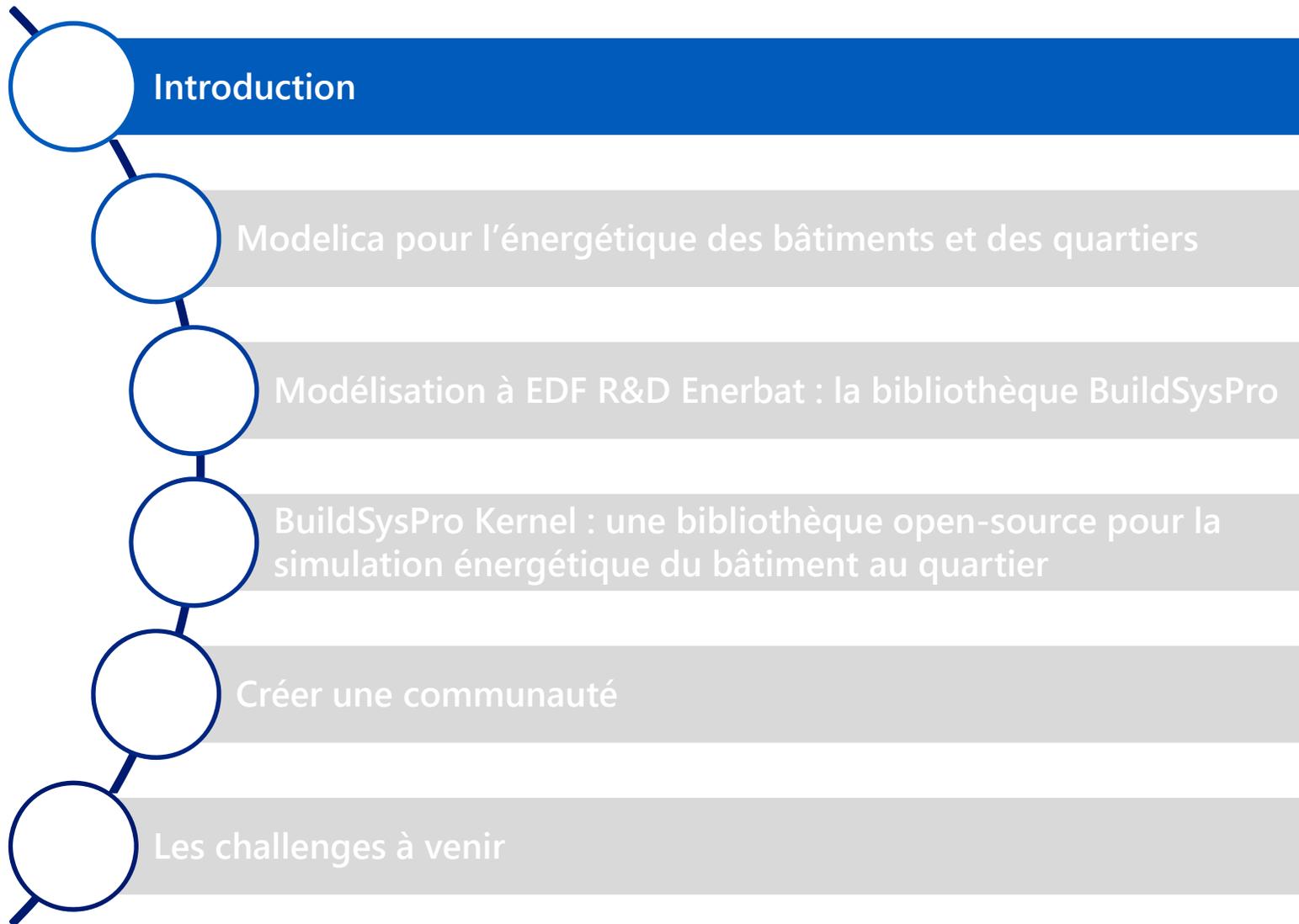
Chef de projet R&D « Modélisation énergétique des bâtiments,
quartiers et réseaux »



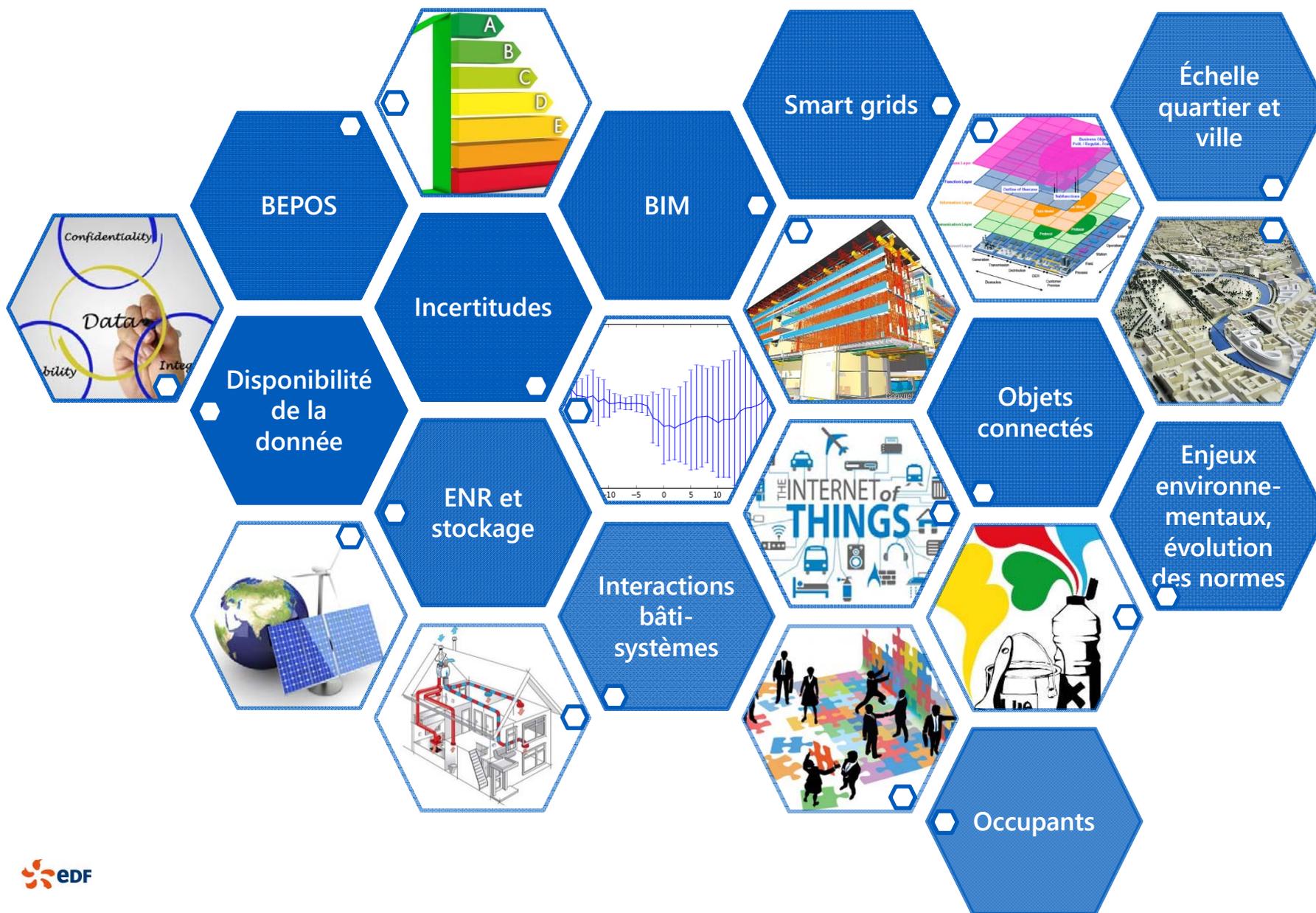
SOMMAIRE



SOMMAIRE



ENJEUX SCIENTIFIQUES ET TECHNOLOGIQUES



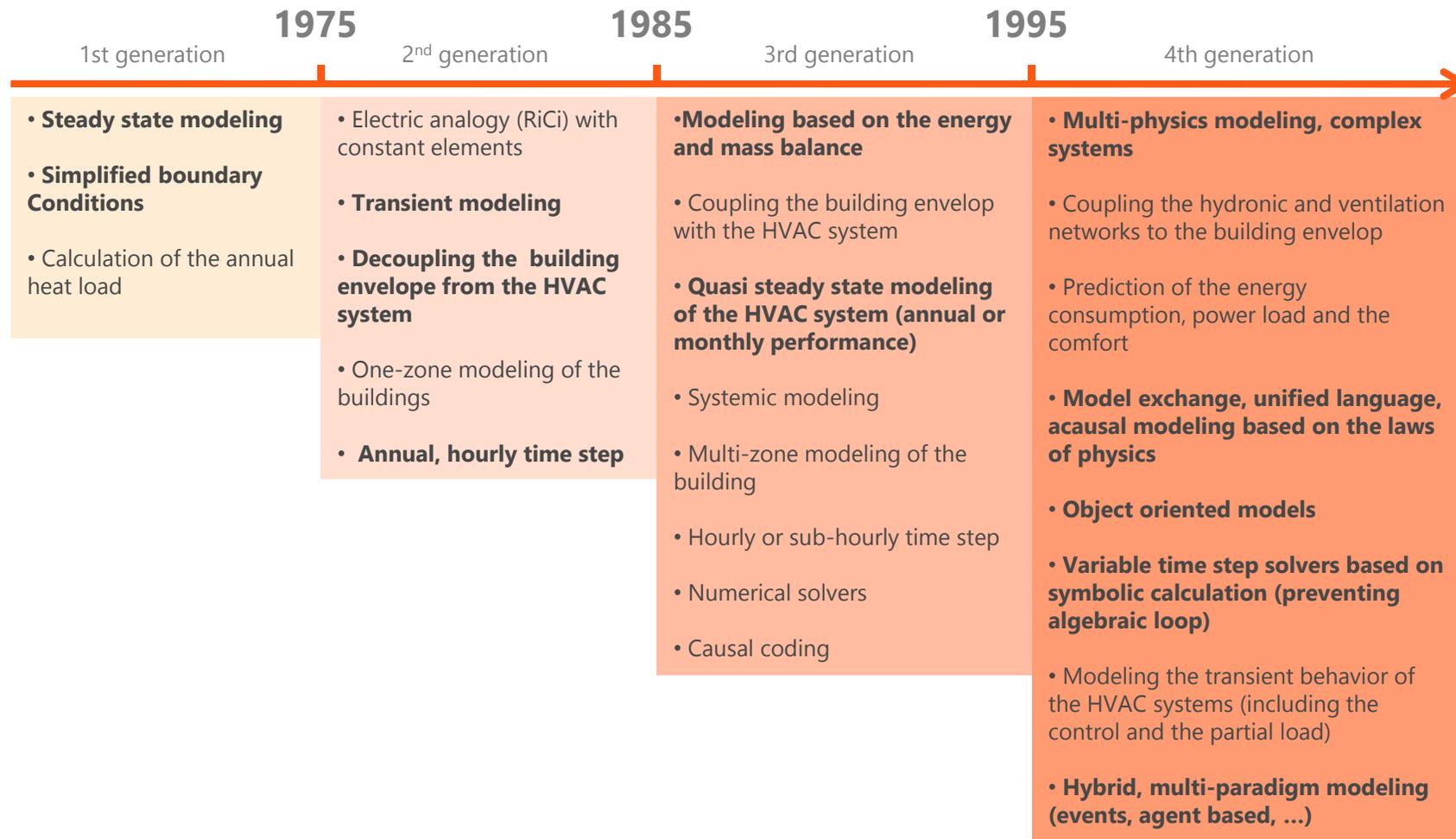
ÉVOLUTION DES ENJEUX HUMAINS

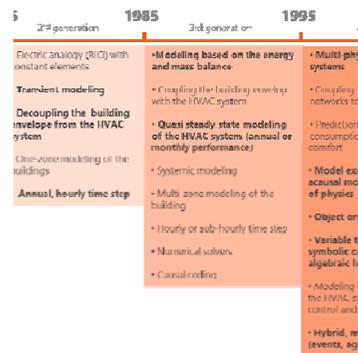


Développement et pérennisation du savoir

- Interdisciplinarité
- Échanges
- Capitalisation

ÉVOLUTION DES OUTILS DE SIMULATION





Besoin de nouveaux outils et points de vue

Il n'y aura jamais un outil unique pour tous les besoins

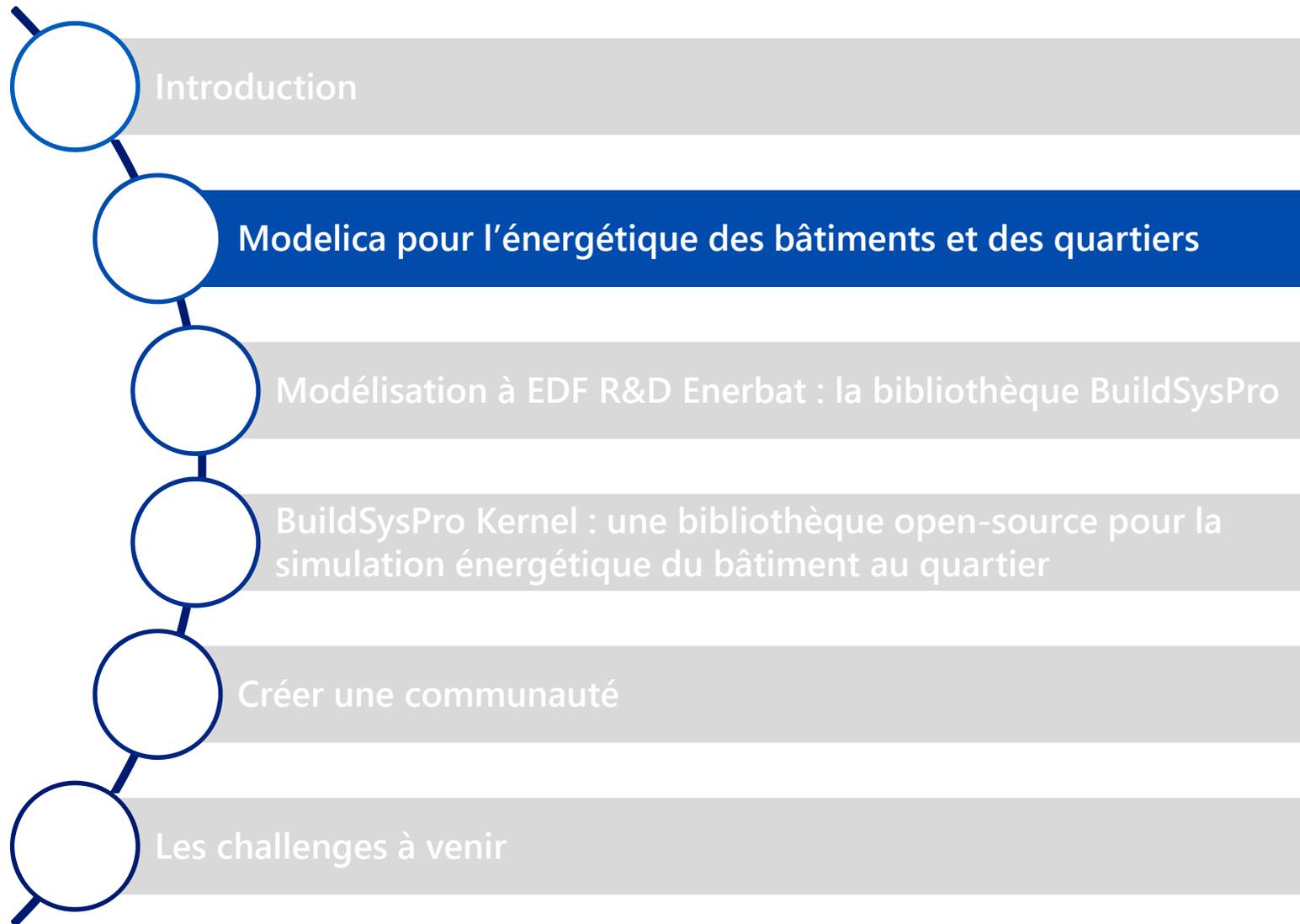


Développement et pérennité du savoir

- Échanges
- Capitalisation
- Interdisciplinarité

Modelica et le standard d'interopérabilité FMI répondent à certaines de ces questions

SOMMAIRE



LA LANGAGE MODELICA

1. Un langage équationnel pour la modélisation à l'échelle système (0D/1D)
2. Basé sur la physique (expression formelle des équations)
3. Naturellement multiphysique
4. Représentation des modèles en blocs ou en code
5. Orienté objet
6. Ouvert, non propriétaire
7. Acausal

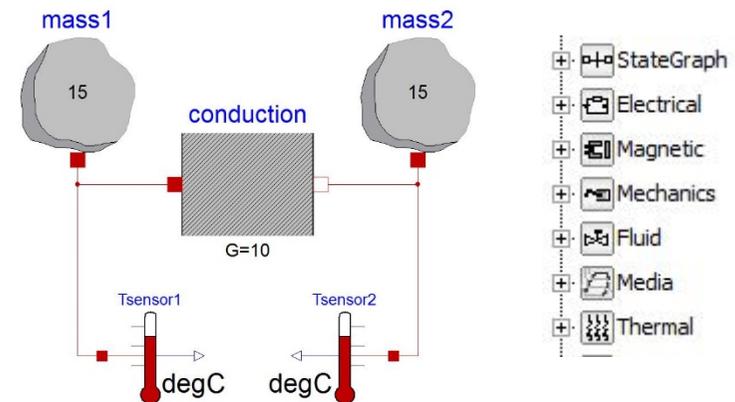
$$G \frac{dT}{dt} = Q_{flow}$$

```
equation
```

```
Q_flow - G*dT = 0;
```

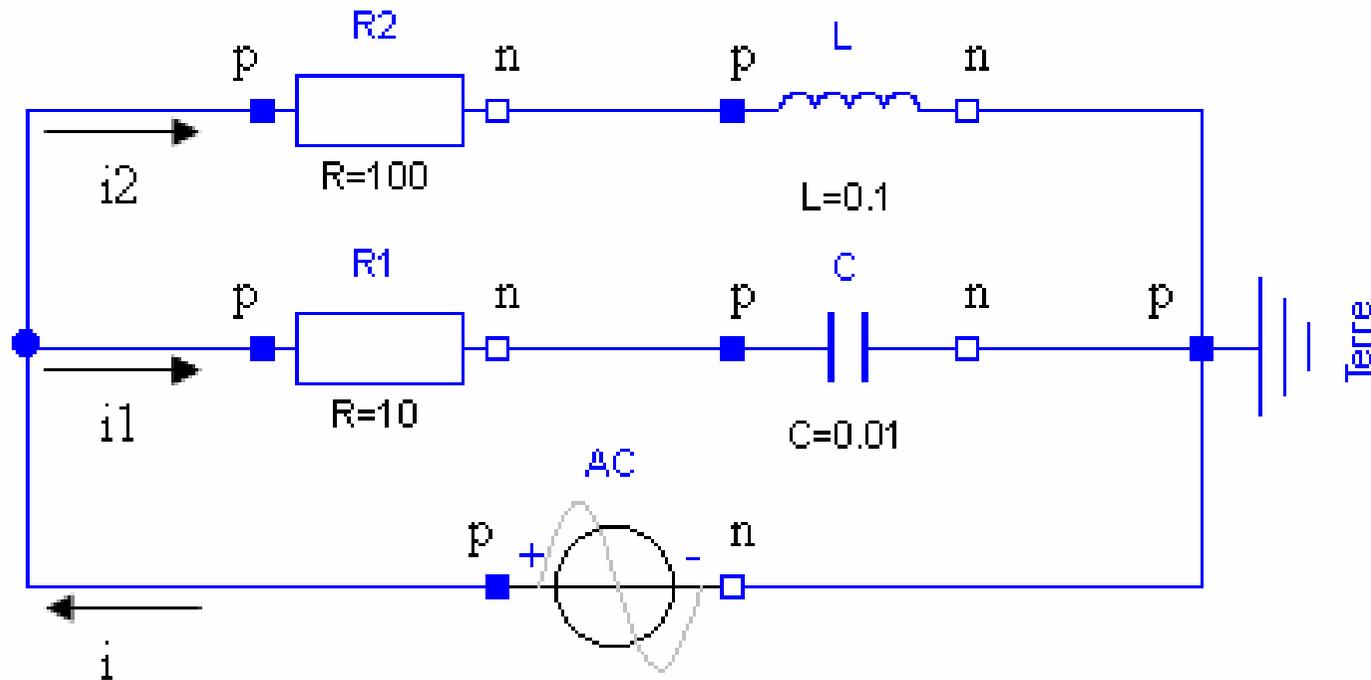
```
equation
```

```
G*dT = Q_flow;
```



```
model ThermalConductor
  extends Interfaces.Element1D;
  parameter ThermalConductance G
  "Constant thermal conductance of
  material";
  equation
    Q_flow = G*dT;
end ThermalConductor;
```

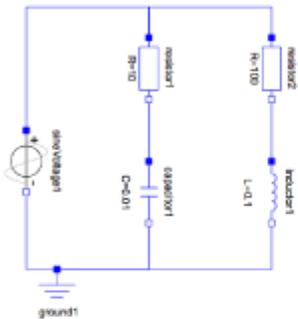
REPRÉSENTATION ACAUSALE DES PHÉNOMÈNES



Component-Based

1. Drag and drop components.

2. Connect the components together.



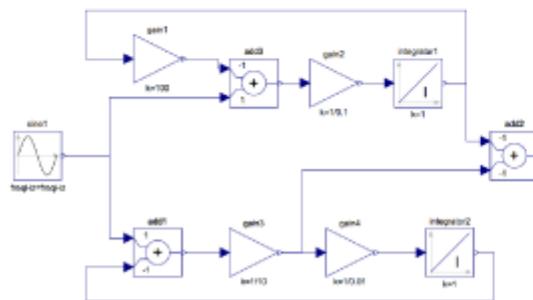
Block-Based

1. Decide on input and output signals for the system.

2. Set up the system of equations.

3. Derive the output as a function of the input.

4. Create the model.



$$u(t) = R_1 i_1(t) + \frac{1}{C} \int i_1(t) dt$$

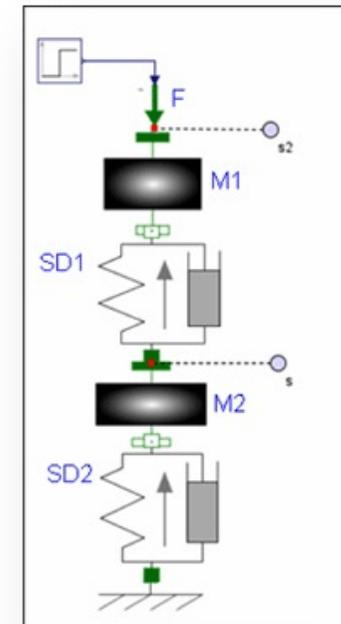
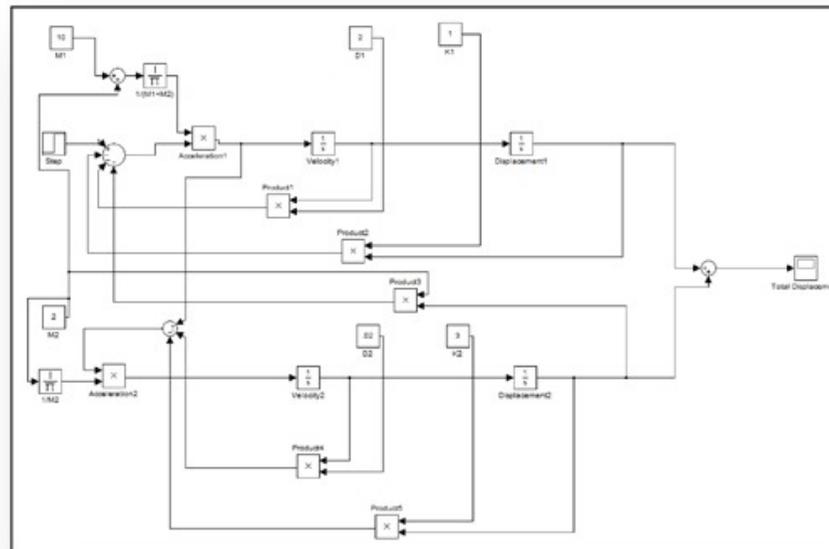
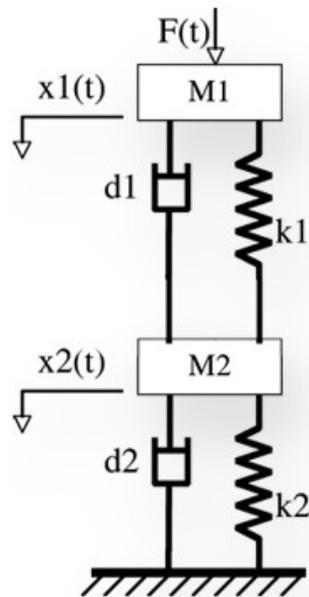
$$u(t) = R_2 i_2(t) + L \frac{di_2(t)}{dt}$$

$$i(t) = i_1(t) + i_2(t)$$

$$i_1(t) = \frac{1}{R_1} \left(u(t) - \frac{1}{C} \int i_1(t) dt \right)$$

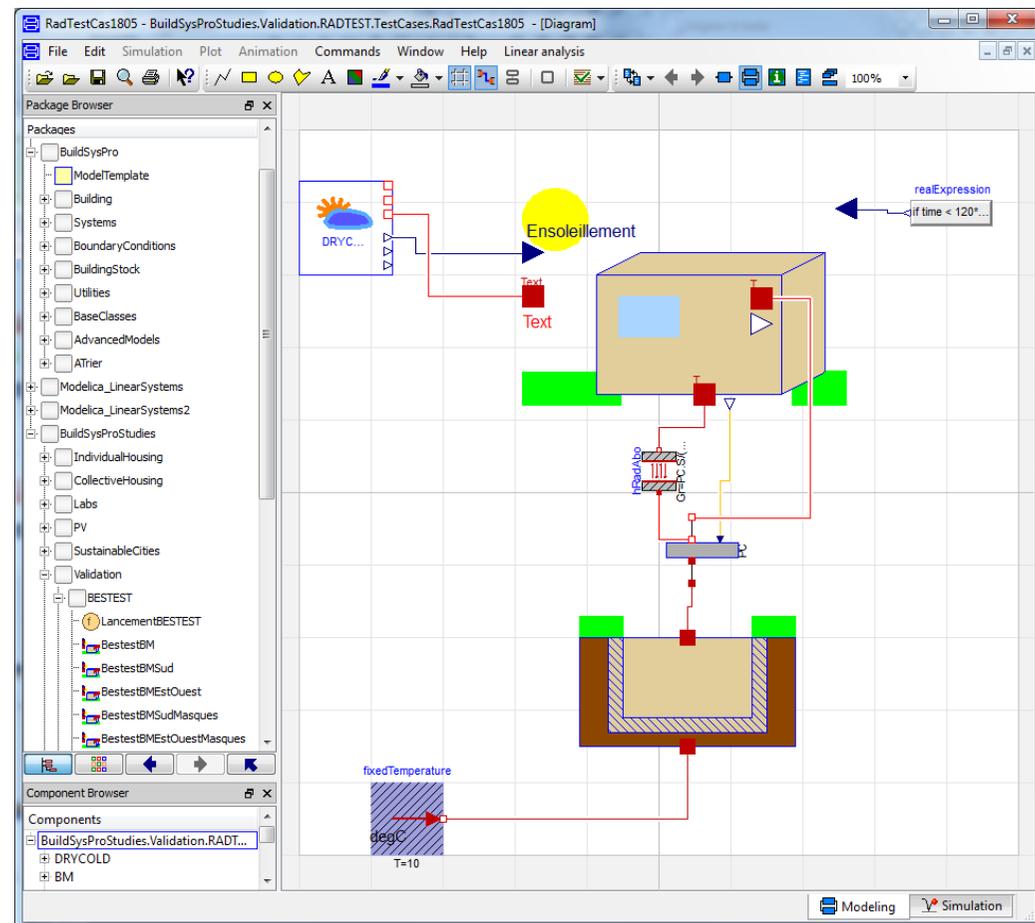
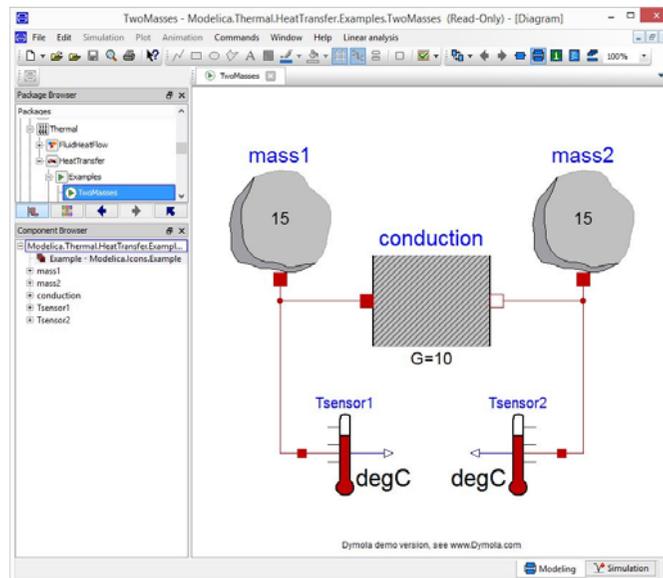
$$i_2(t) = \int \frac{u(t) - R_2 i_2(t)}{L} dt$$

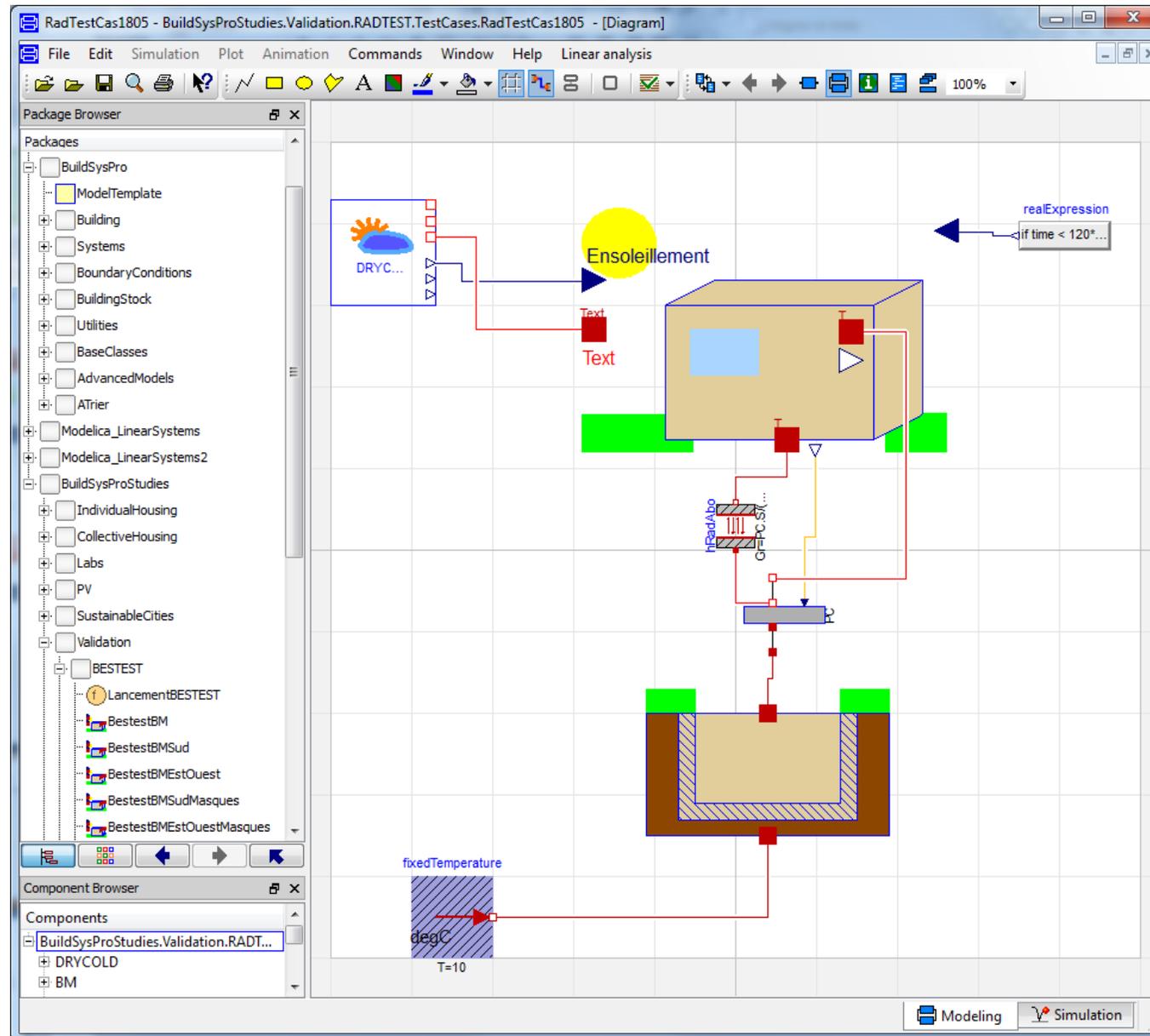
REPRÉSENTATION ACAUSALE DES PHÉNOMÈNES



« FAIRE TOURNER DU MODELICA » : ENVIRONNEMENTS DE SIMULATION

- Les modèles Modelica (.mo) sont de simples fichiers textes
- Pour faciliter la modélisation, on utilise un environnement de modélisation et simulation





« FAIRE TOURNER DU MODELICA » : ENVIRONNEMENTS DE SIMULATION

modelica.org/tools

Organisme	Logiciel	Licence
CyDesign Labs	CyModelica®	Propriétaire
	Vertex®	Propriétaire
	Converge®	Propriétaire
Dassault Systèmes	Dymola	Propriétaire
ITI GmbH	SimulationX	Propriétaire
Maplesoft	Maplesim™	Propriétaire
Siemens PLM Software	LMS Imagine.Lab Amesim	Propriétaire
Suzhou Tongyuan	MWorks	Propriétaire
Wolfram	SystemModeler®	Propriétaire
Jmodelica.org	Jmodelica.org	GPL
Scilab/Scicos	Modelicac	CeCILL/GPL
OSMC (Open Source Modelica Consortium) & Linköping Uni.	OpenModelica	OSMC-GPL & OSMC-EPL

« FAIRE TOURNER DU MODELICA » : ENVIRONNEMENTS DE SIMULATION

modelica.org/tools

Organisme	Logiciel	Licence
CyDesign Labs	CyModelica®	Propriétaire
	Vertex®	Propriétaire
	Converge®	Propriétaire
Dassault Systèmes	Dymola	Propriétaire
ITI GmbH	SimulationX	Propriétaire
Maplesoft	Maplesim™	Propriétaire
Siemens PLM Software	LMS Imagine.Lab Amesim	Propriétaire
Suzhou Tongyuan	MWorks	Propriétaire
Wolfram	SystemModeler®	Propriétaire
Jmodelica.org	Jmodelica.org	GPL
Scilab/Scicos	Modelicac	CeCILL/GPL
OSMC (Open Source Modelica Consortium) & Linköping Uni.	OpenModelica	OSMC-GPL & OSMC-EPL

CHALLENGES DU PASSAGE À MODELICA : FREINS ET SOLUTIONS

Passer à Modelica

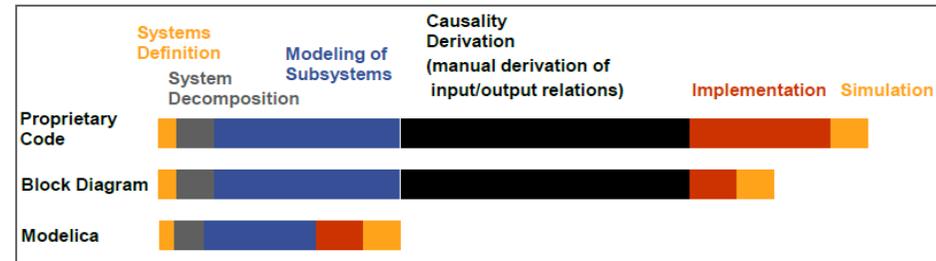
- **Apprendre un nouveau langage**, mais un langage lisible par le physicien
- **Réécrire des modèles maison** ou les importer comme exécutable/FMU
- **Utiliser un nouvel environnement de travail** : besoin de formation & REX

Travailler avec Modelica

- **Des temps de calcul potentiellement plus long qu'avec un logiciel spécialisé**, selon le niveau de complexité des modèles
- **Pré et post-traiter ce qui peut l'être** avec des outils adaptés et efficaces
- **Adapter sa démarche en fonction de l'objectif** (du détaillé au simplifié)

Une bibliothèque Modelica n'est pas nécessairement un logiciel spécialisé !

QUELQUES AVANTAGES



Scientifique / modélisation

- Large spectre (mathématique, physique, ingénierie)
- Se concentrer sur le problème physique et non du code
- Solveurs adaptés aux problèmes physiques (pas de temps fixes/variables, raideur)
- Favoriser la coopération interne/externe

Implémentation

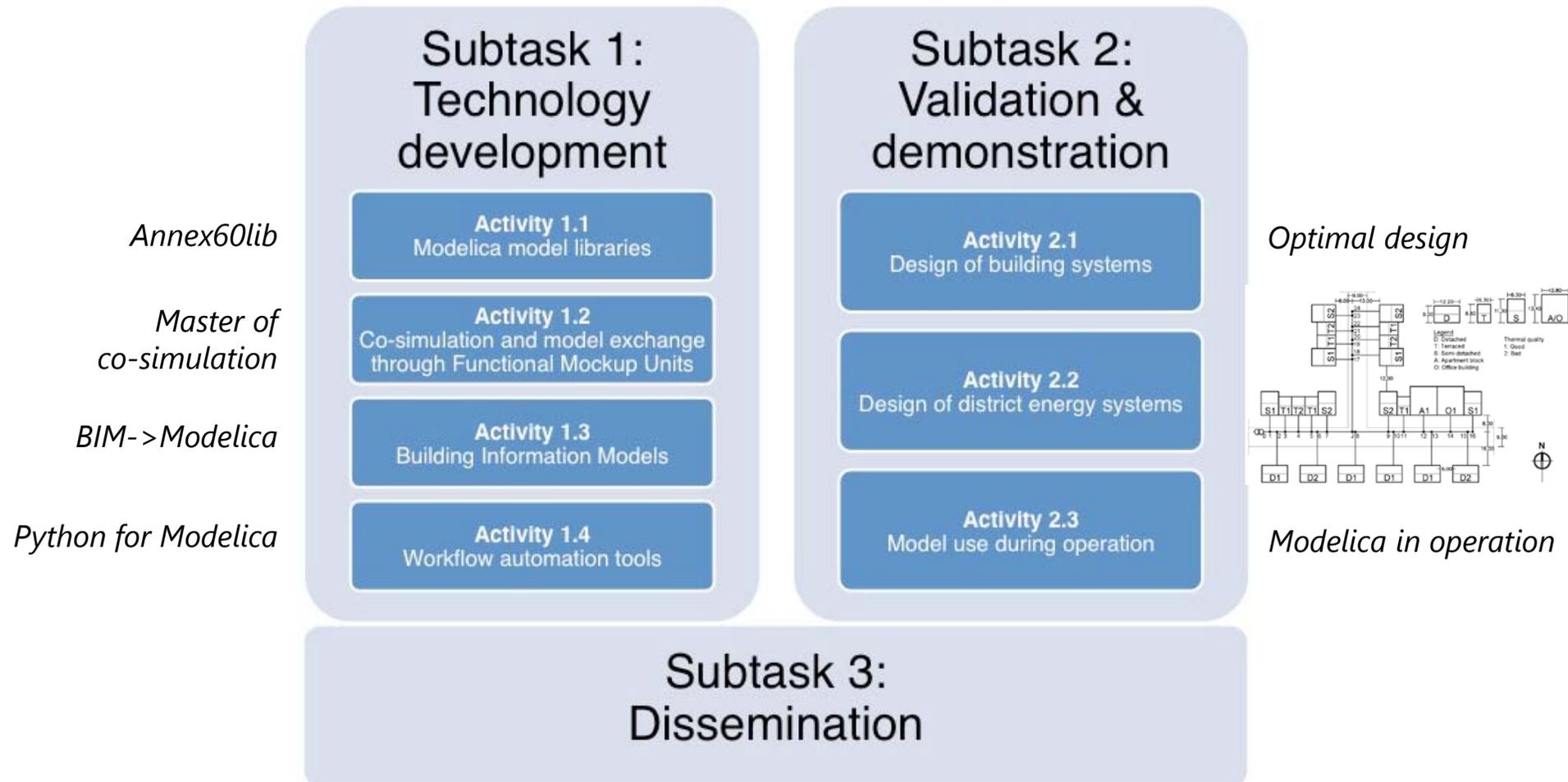
- Diminuer les temps d'implémentation et modification des modèles
- Faciliter la maintenance préventive et corrective
- Faciliter la réutilisation des modèles existants et leur évolution
- Couplage avec d'autres outils (FMI, Python, Fortran, OpenTURNS...)

SOLVEURS NUMÉRIQUES : OPTIMISATION DU CALCUL EN FONCTION DU PROBLÈME

- **Calcul des points de restitution**
 - Forcer la résolution du système d'équations aux instants fixés par le maillage de sortie
 - ... ou interpoler aux points souhaités
- **Nombre d'évènements du système**
 - Nombre important d'évènements : privilégier les solveurs à un seul antécédent (esdirk)
- **Ordre d'intégration du système**
 - Dérivées importantes → pas de temps courts → solveurs à ordre d'intégration réduit plus efficaces.
 - Ordre d'intégration peut être fixe (Esdirk23a, Esdirk34a, Esdirk45a d'ordre 3, 4 et 5) ou variable (DASSL [Petzold, 1982] ou Cvode [Cohen et Hindmarsh, 1995])
- **Raideur du système**
 - Systèmes raides : le solveur doit savoir gérer le choix du pas de temps et la stabilité du système

Lsodar
Dassl
Euler
Rkfix2
Rkfix3
Rkfix4
Radau IIa - order 5 stiff
Esdirk23a - order 3 stiff
Esdirk34a - order 4 stiff
Esdirk45a - order 5 stiff
Dopri45 - order 5
Dopri853 - order 8
Sdirk34hw - order 4 stiff
Cerk23 - order 3
Cerk34 - order 4
Cerk45 - order 5
Cvode - variable order

IEA ANNEX 60 : UN ÉLAN MONDIAL VERS MODELICA ET LE STANDARD FMI POUR L'ÉNERGÉTIQUE DES BÂTIMENTS ET DES QUARTIERS

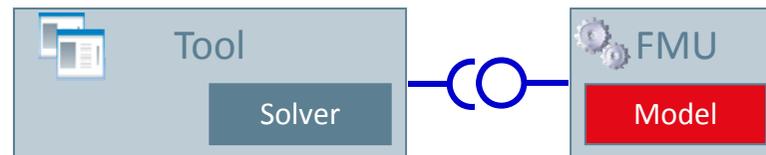




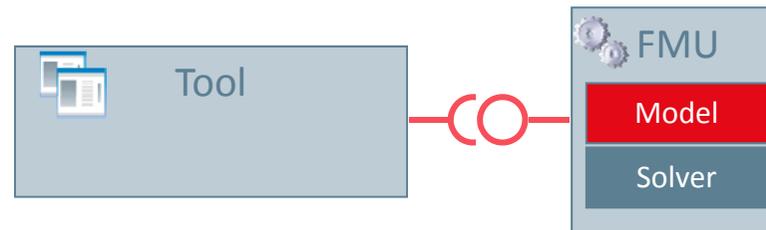
LE STANDARD FMI POUR L'INTEROPÉRABILITÉ DES MODÈLES ET DES OUTILS

Functional Mock-Up Interface : encapsuler des modèles pour les exploiter dans d'autres outils

FMI for Model Exchange :



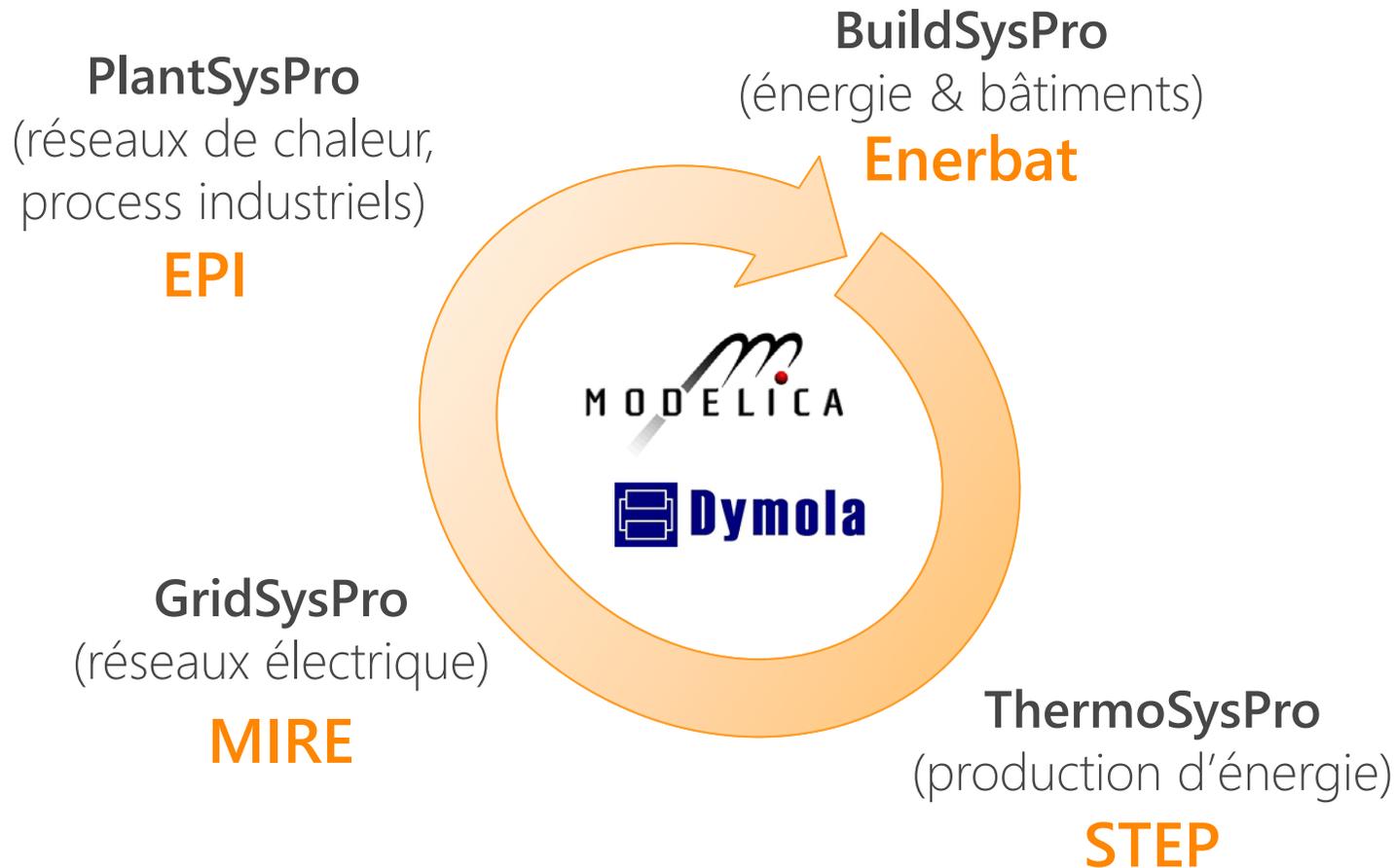
FMI for Co-Simulation :



SOMMAIRE

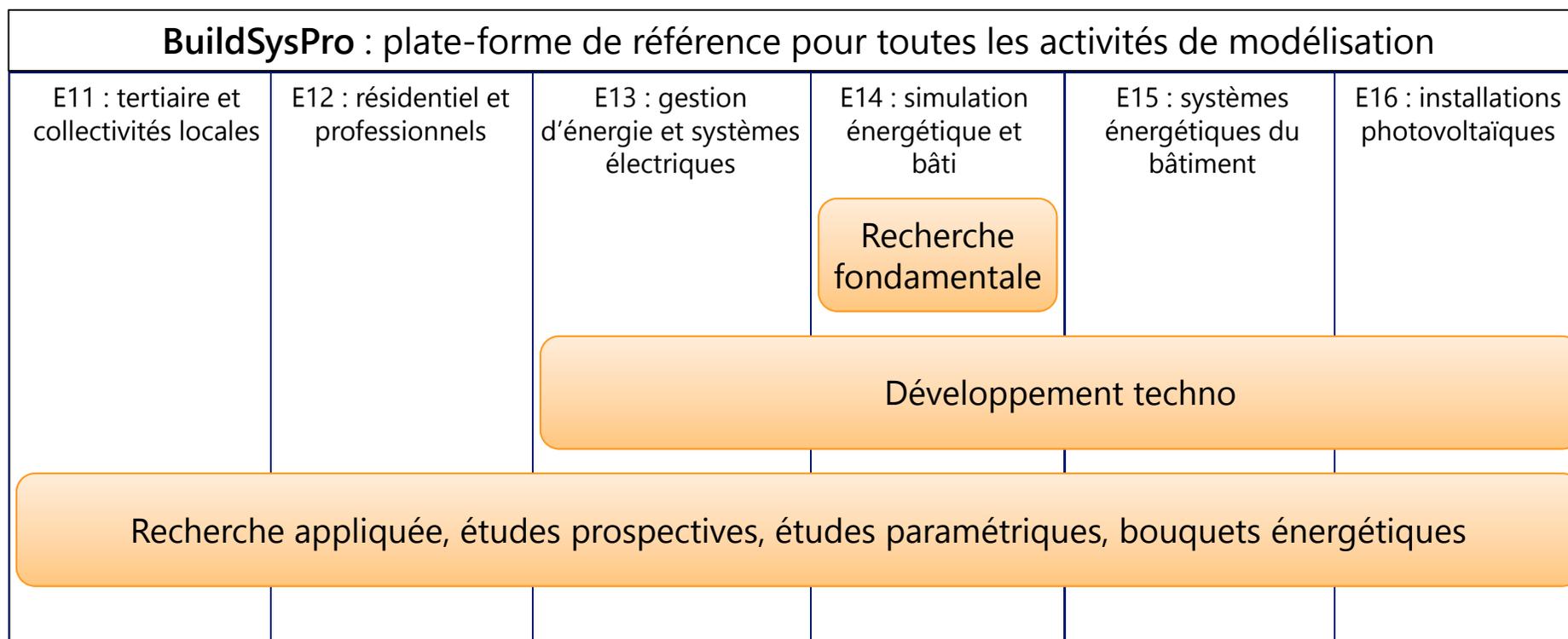


MODELICA : CHOIX D'EDF POUR LA SIMULATION À L'ÉCHELLE SYSTÈME



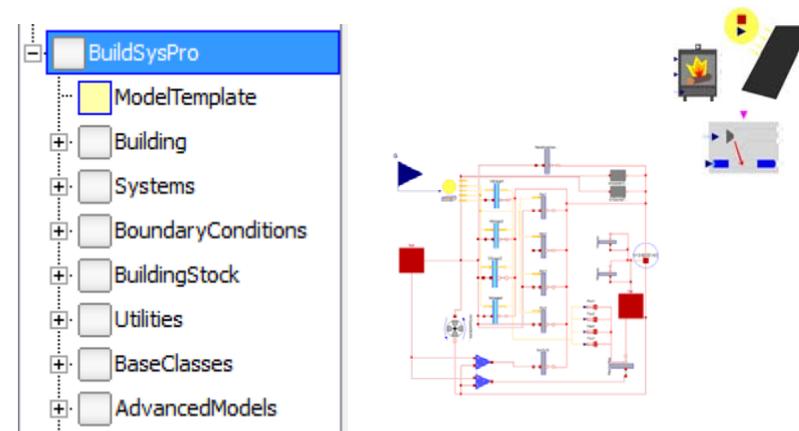
MODÉLISATION À ENERBAT

Quatre grands leviers d'actions de l'efficacité énergétique des bâtiments :
 réduction des besoins
 performance des systèmes
 pilotage et valorisation des énergies locales

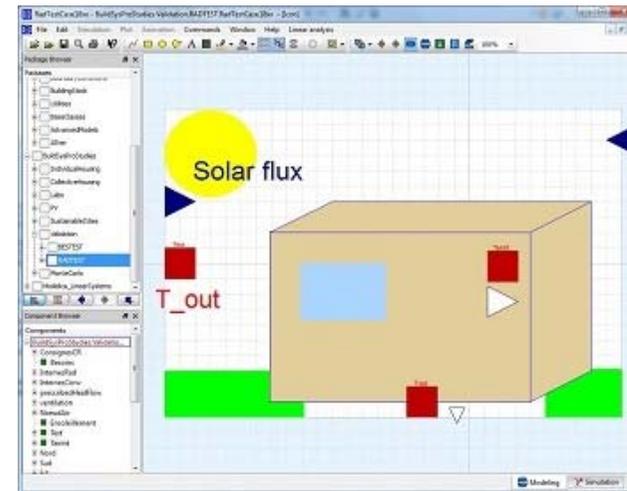


QU'EST-CE QUE BUILDSYSPRO ?

- Une bibliothèque de modèles
- Écrite en langage Modelica
- Exploitée dans l'environnement Dymola (aujourd'hui) et OpenModelica (demain)



```
equation
  G*dT = Q_flow;
end ThermalConductor;
```



UTILISATIONS

Multi-métiers

- Utilisée par l'ensemble métiers d'Enerbat (physicien du bâtiment, prospective énergétique, développement technologique)

Multi-échelles

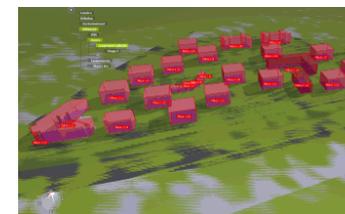
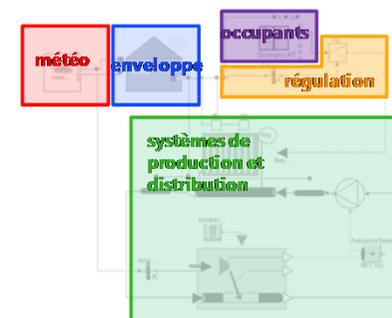
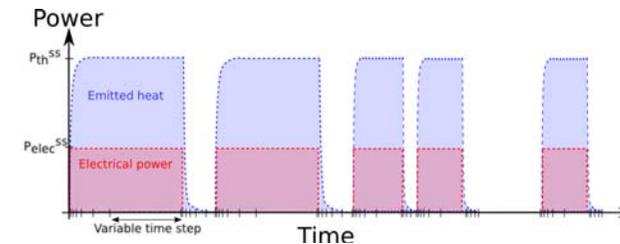
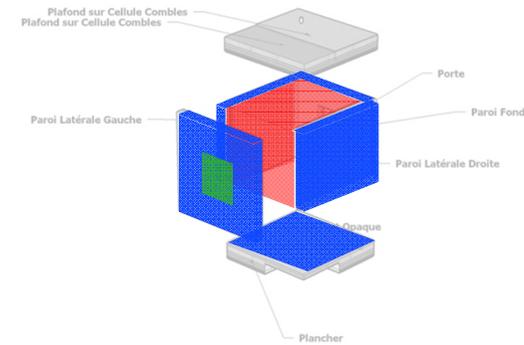
- Du composant de bâtiment au parc

Multi-domaines

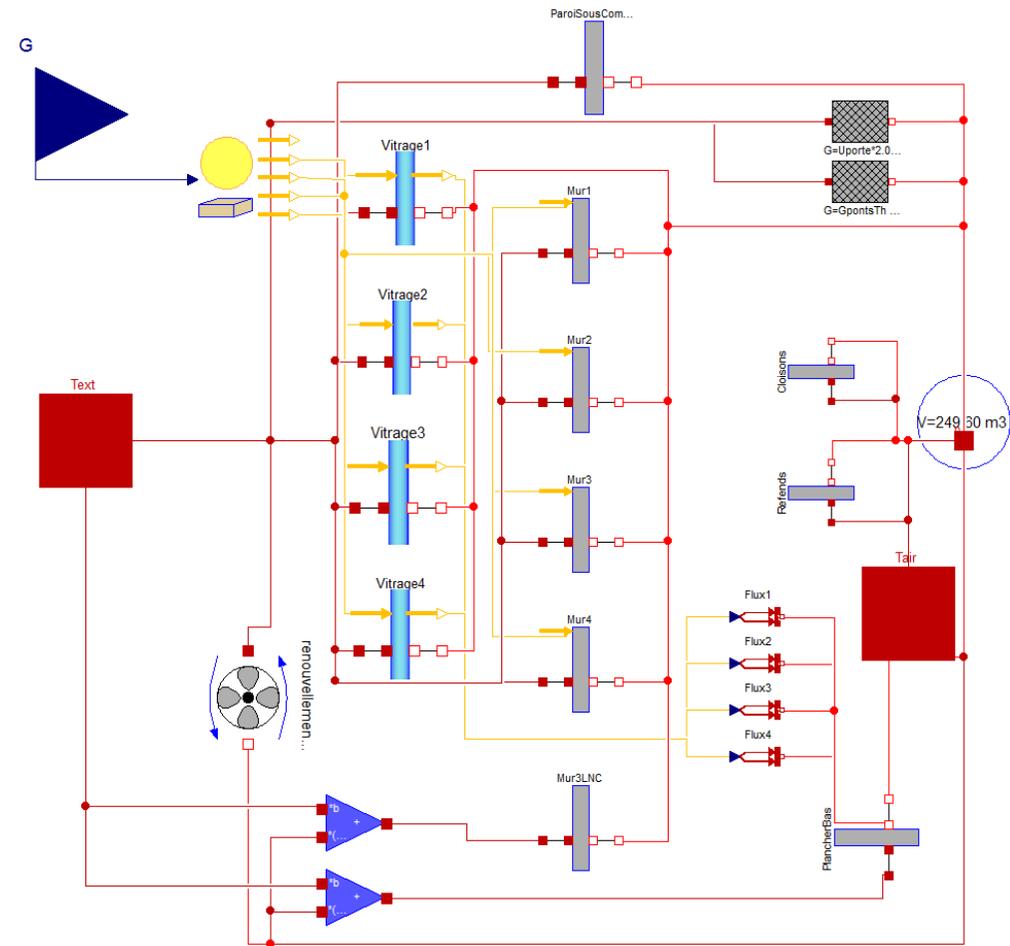
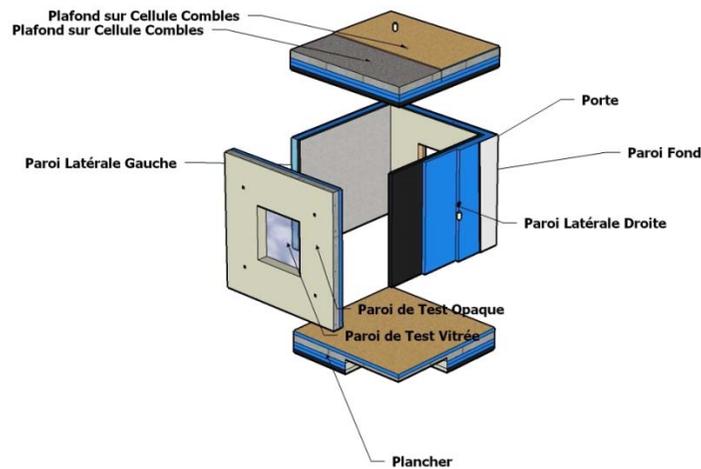
- Thermique, électricité, fluides, économique ...

QUE MODÉLISE-T-ON ?

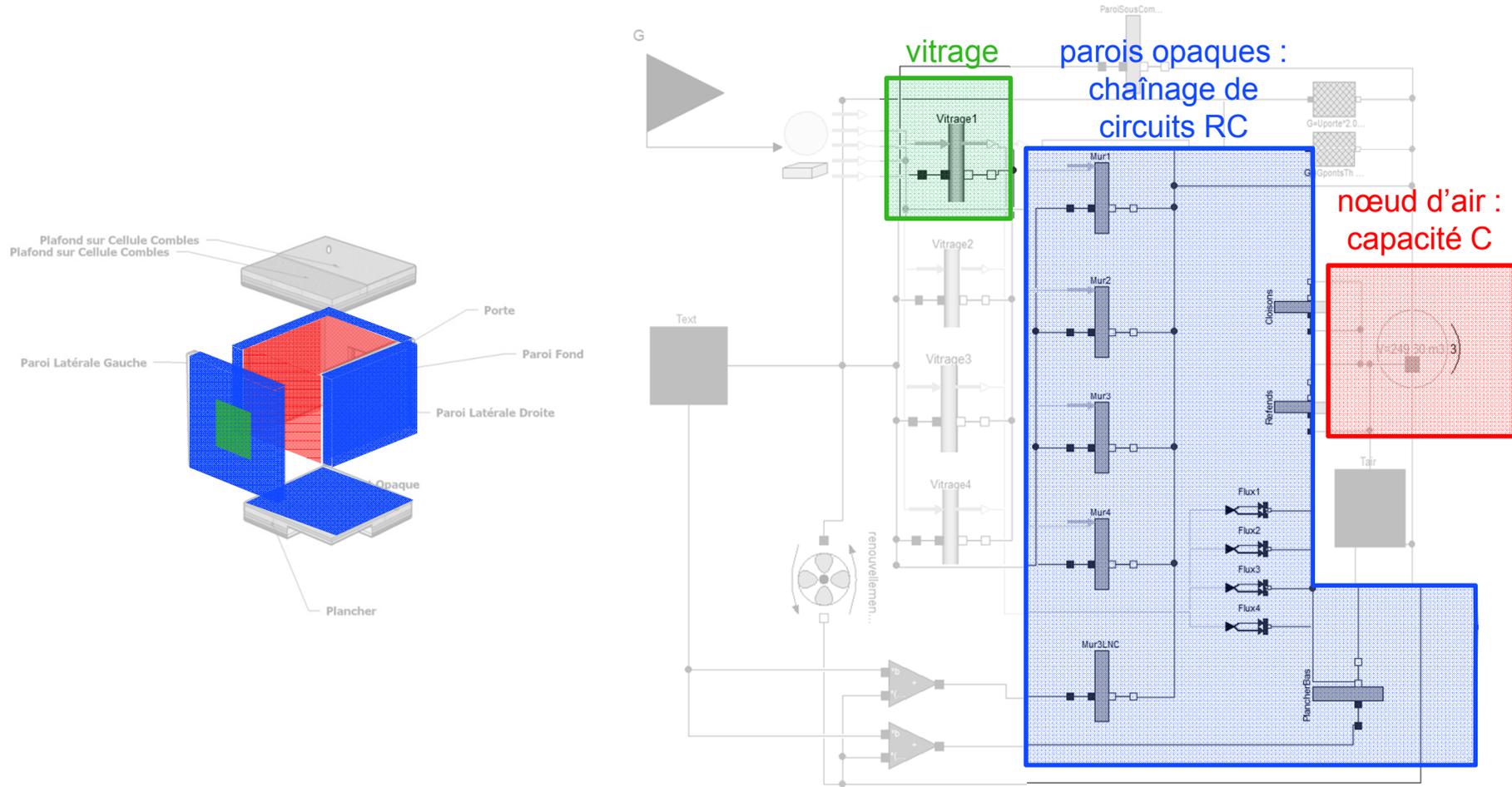
- **Physique du bâtiment**
(thermique, hygro-aéraulique, transferts de polluants, ...)
- Fonctionnement des **systemes énergétiques** et de leur **régulation**
- **Bâtiment complet**
avec ses occupants
(courbe de charge, consommation annuelle)
- **Du quartier au parc** : agrégation et modèles simplifiés



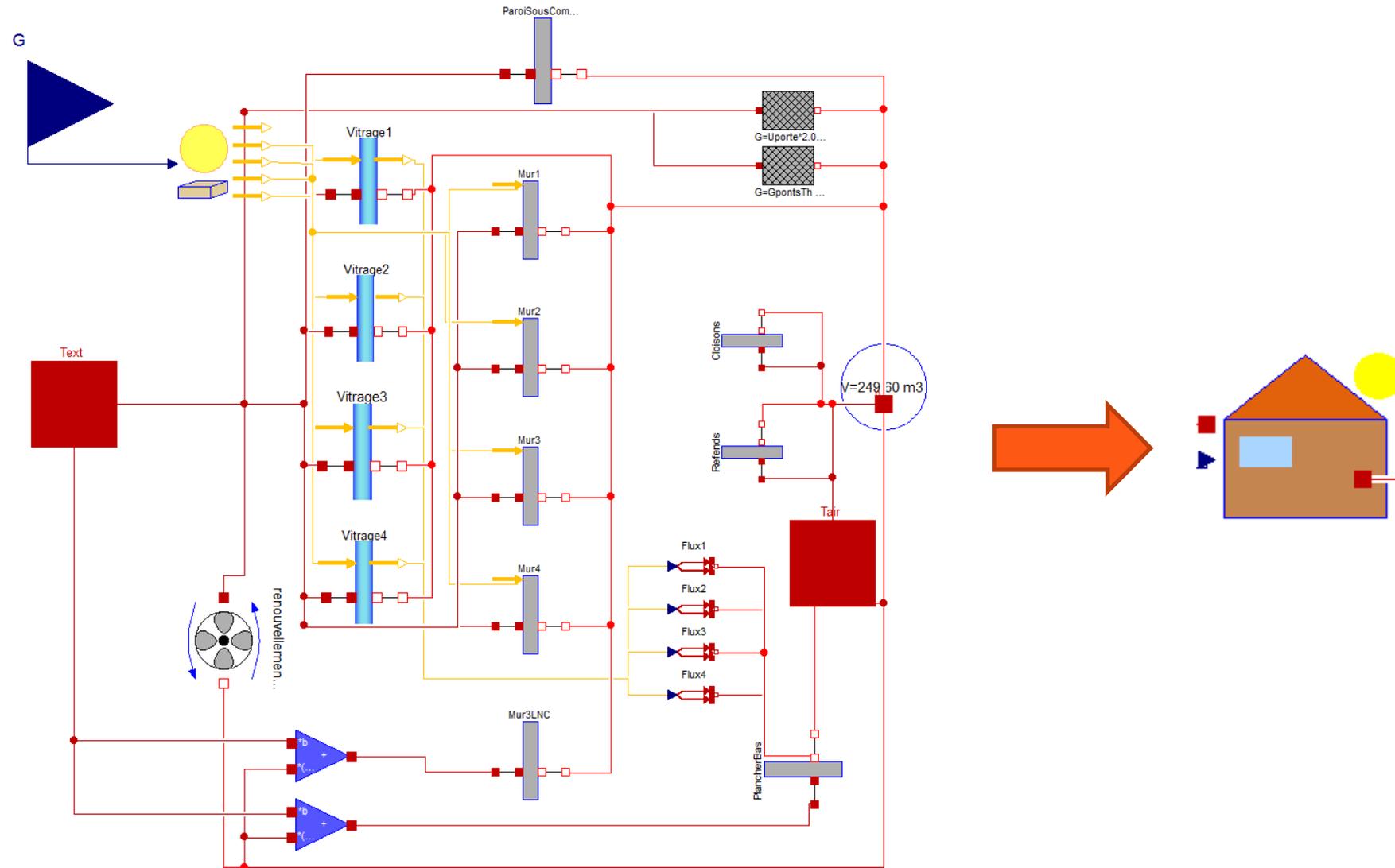
MODÉLISATION 0D-1D EN THERMIQUE DU BÂTIMENT



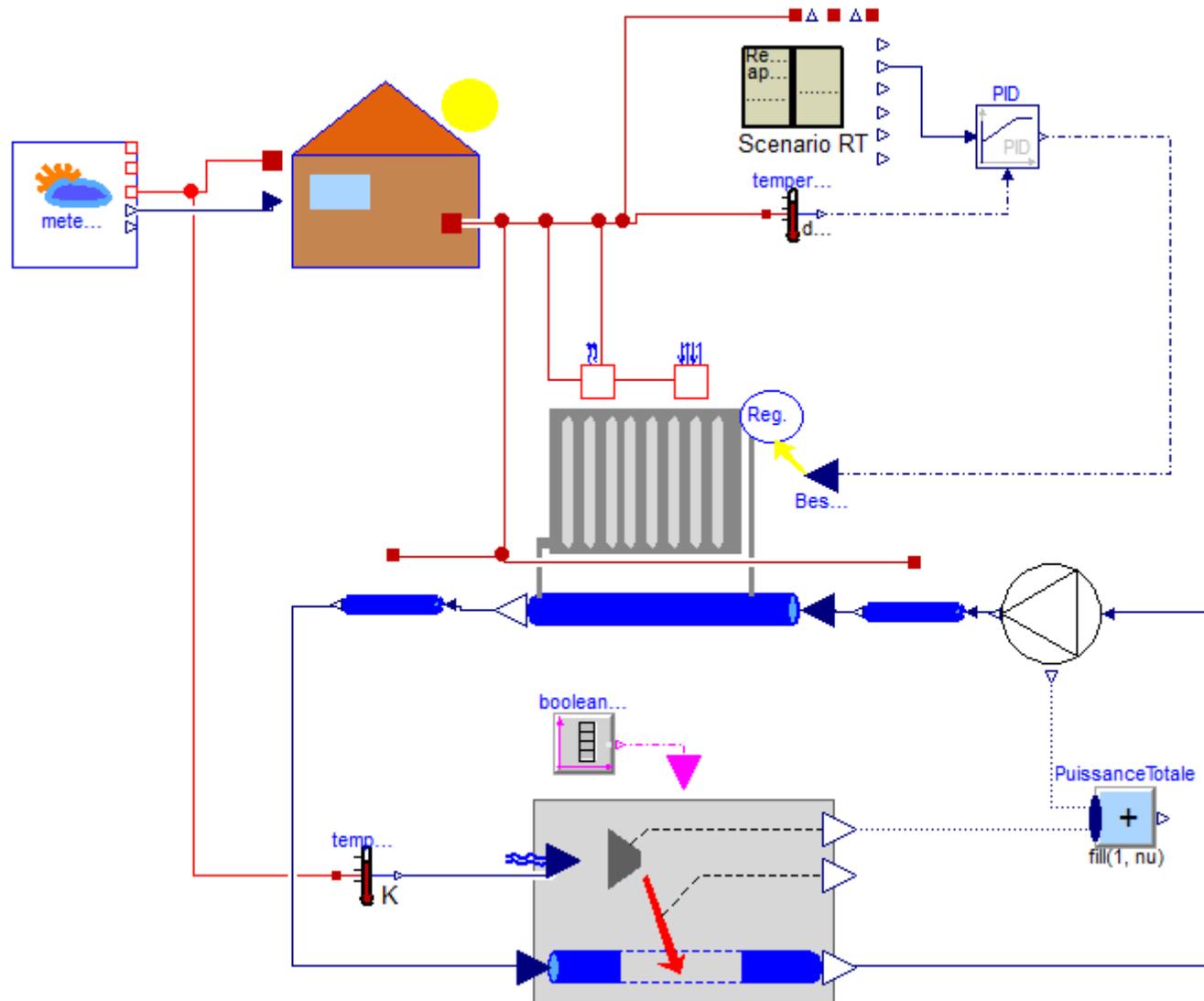
MODÉLISATION 0D-1D EN THERMIQUE DU BÂTIMENT



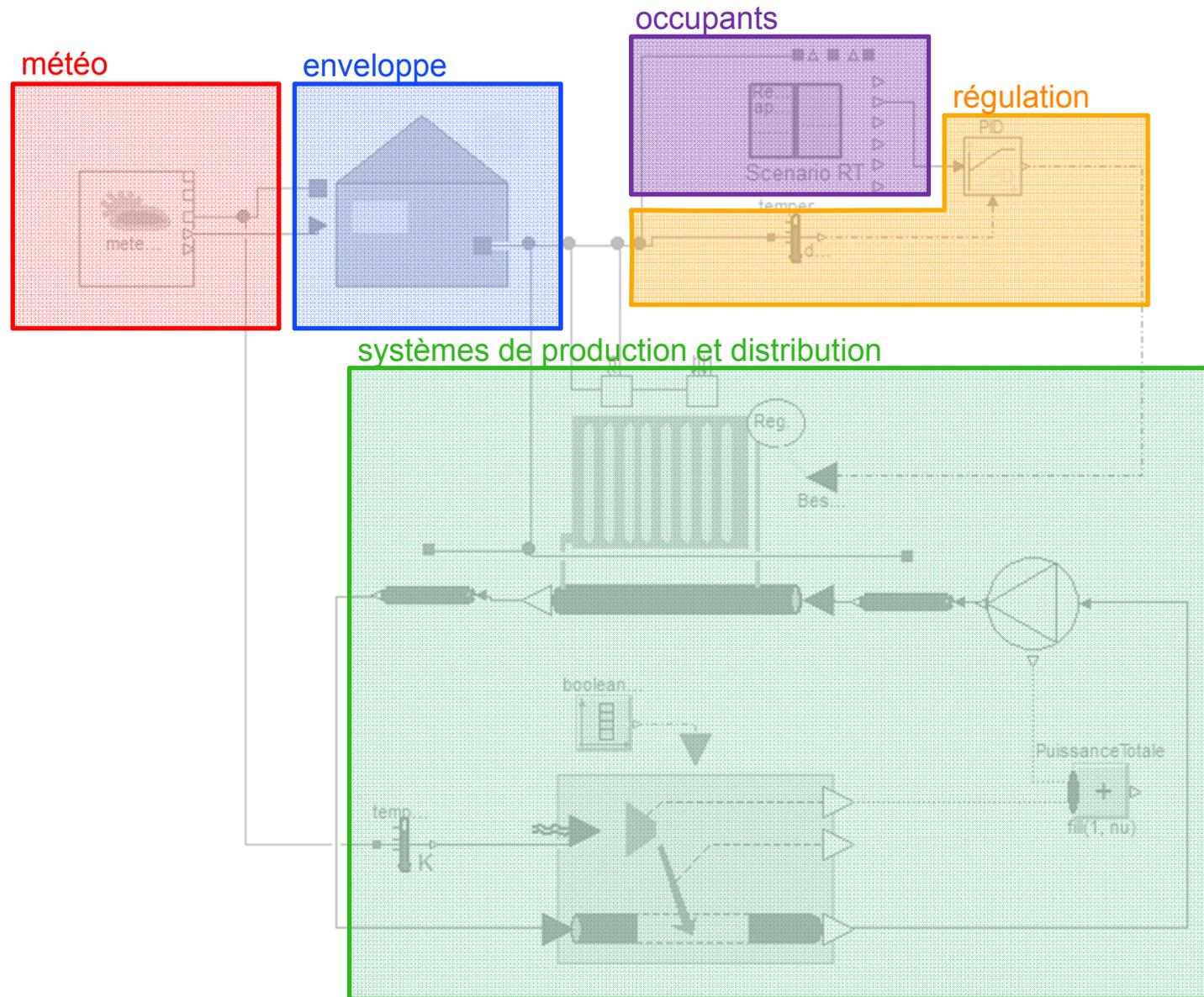
MODÉLISATION DE L'ENVELOPPE DES BÂTIMENTS



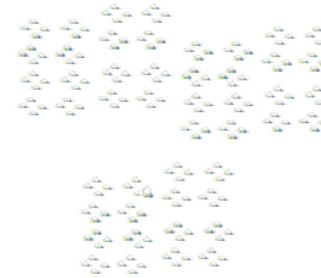
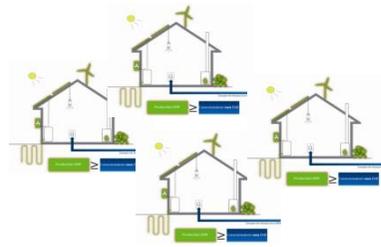
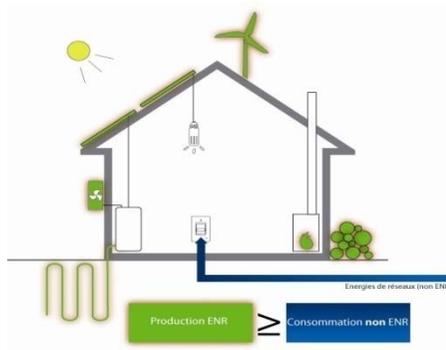
MODÉLISATION DU BÂTIMENT ENTIER



MODÉLISATION DU BÂTIMENT ENTIER



DU BÂTIMENT À LA VILLE, DE LA VILLE AU PARC



Simplifications
expertes

Simplification de la
physique

Réduction du
nombre d'équations

Grey box
modelling

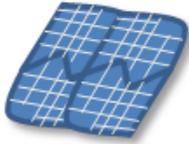
RiCj

Fonctions de
transfert

Model order
reduction

Meta-modelling

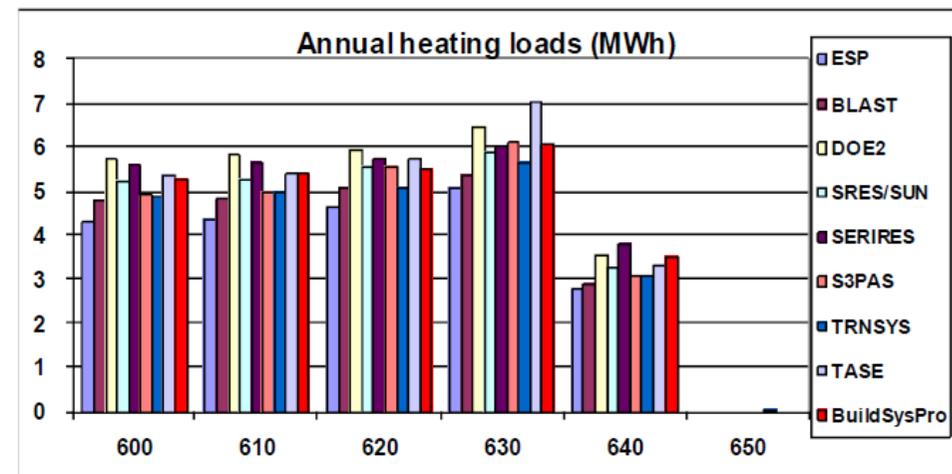
Agrégation,
typologies

	Pays	Région	Agglomération	Quartier		Bâtiment	Patrimoine
Echelle géographique							
Composants de base	Bâtiment ou secteur d'activité		Bâtiment ou secteur d'activité		Zone thermique		Bâtiments (d'un même secteur ou d'une CL)
Questions	Prévisions LT consommations bâtiments France pour la DOAAT		Aide au choix d'une politique énergétique locale	Aide au choix d'une solution technique (réseau vs solutions individuelles, pilotage intelligent)	Aide au choix d'une solution technique ou étude du potentiel de flexibilité d'un bâtiment		Définition d'une stratégie de rénovation d'un parc
	Scénarios prospectifs : estimation de la demande des bâtiments						
Type de modélisation	Modèle de parc (type bottom-up techno-explicite)			(+ couplage réseau)		Modèle Thermique Dynamique	Statistiques
Horizon temporel	50 ans	20 ans	20 ans	10 ans	1 an		10 ans
Outils	BDD CEREN, outils maison		MAESTRO (DCO)	PLANT SYS PRO / BUILD SYS PRO	BUILD SYS PRO		OEP
			OPEM (EIFER - EnerBAT)	ISEO	PAPTER		
			Be-Bop (EIFER)	OPTIZAC	Pleiades		FDD

VALIDATION

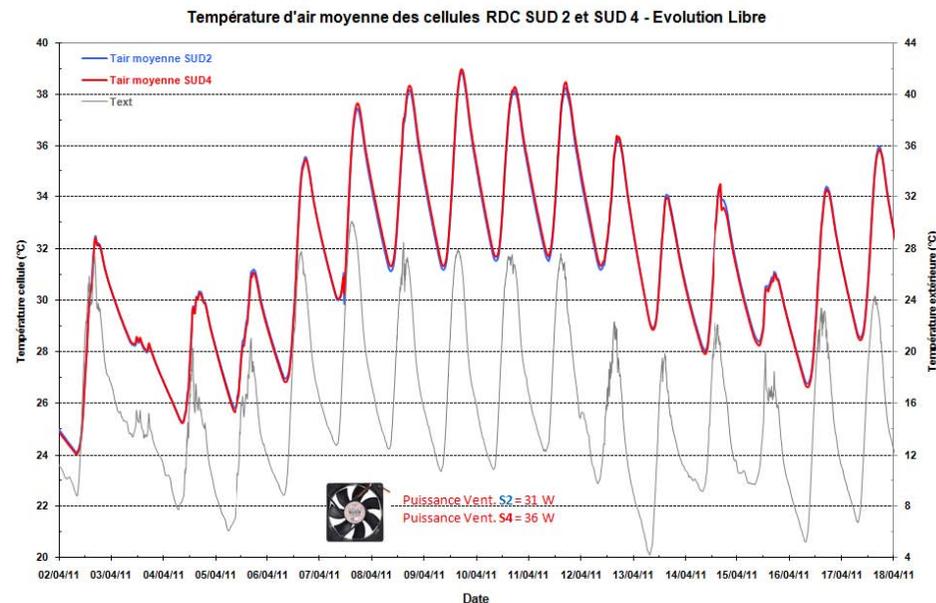
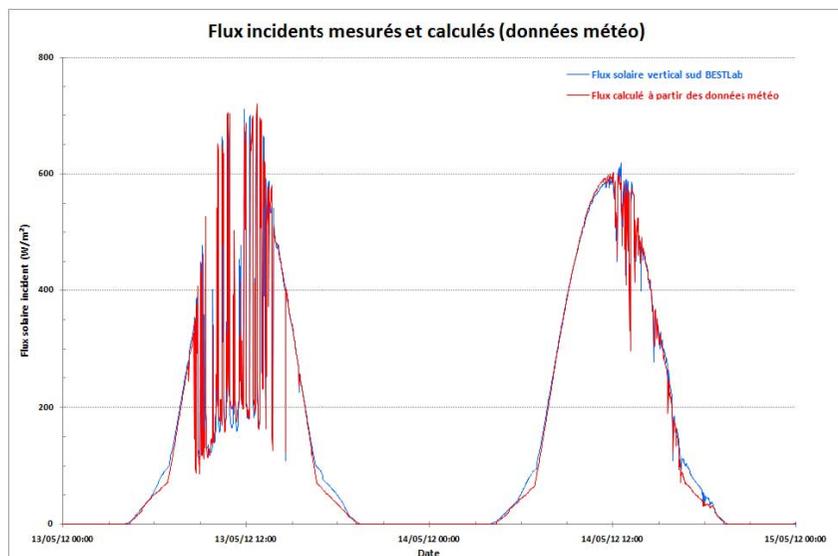
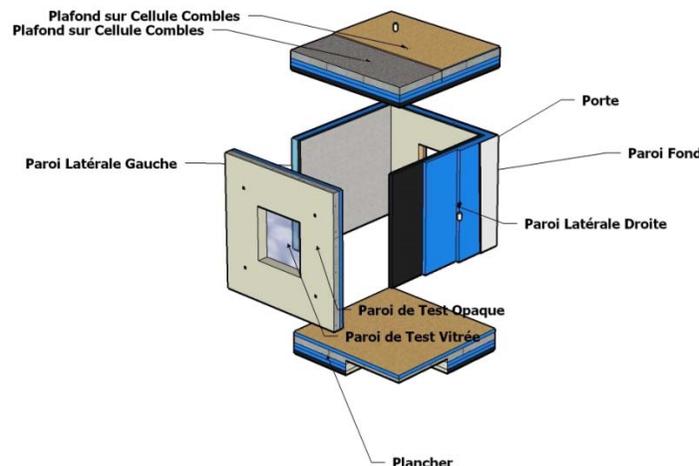
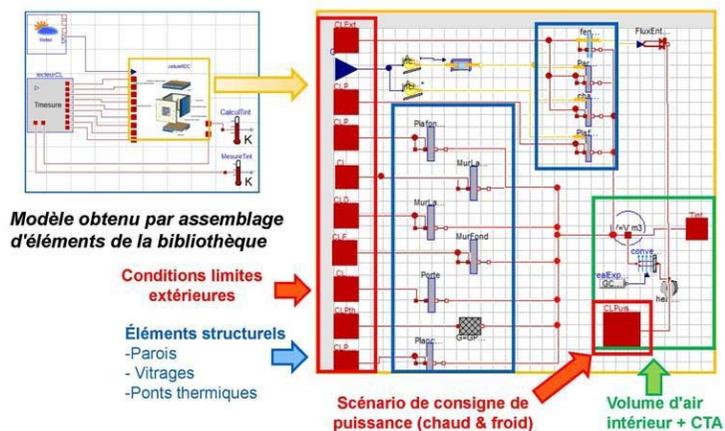
- Démarche classique : analytique, inter-comparaison, expérimentale
 - Portage de modèles Clim2000 validés sur le laboratoire ETNA
 - Validation à partir de données laboratoire BESTLab
 - Vérification : BESTEST

- (cf. publi G. Plessis, A. Kaemmerlen, A. Lindsay "BuildSysPro a Modelica library for modelling buildings and energy systems", Modelica Conference 2014)

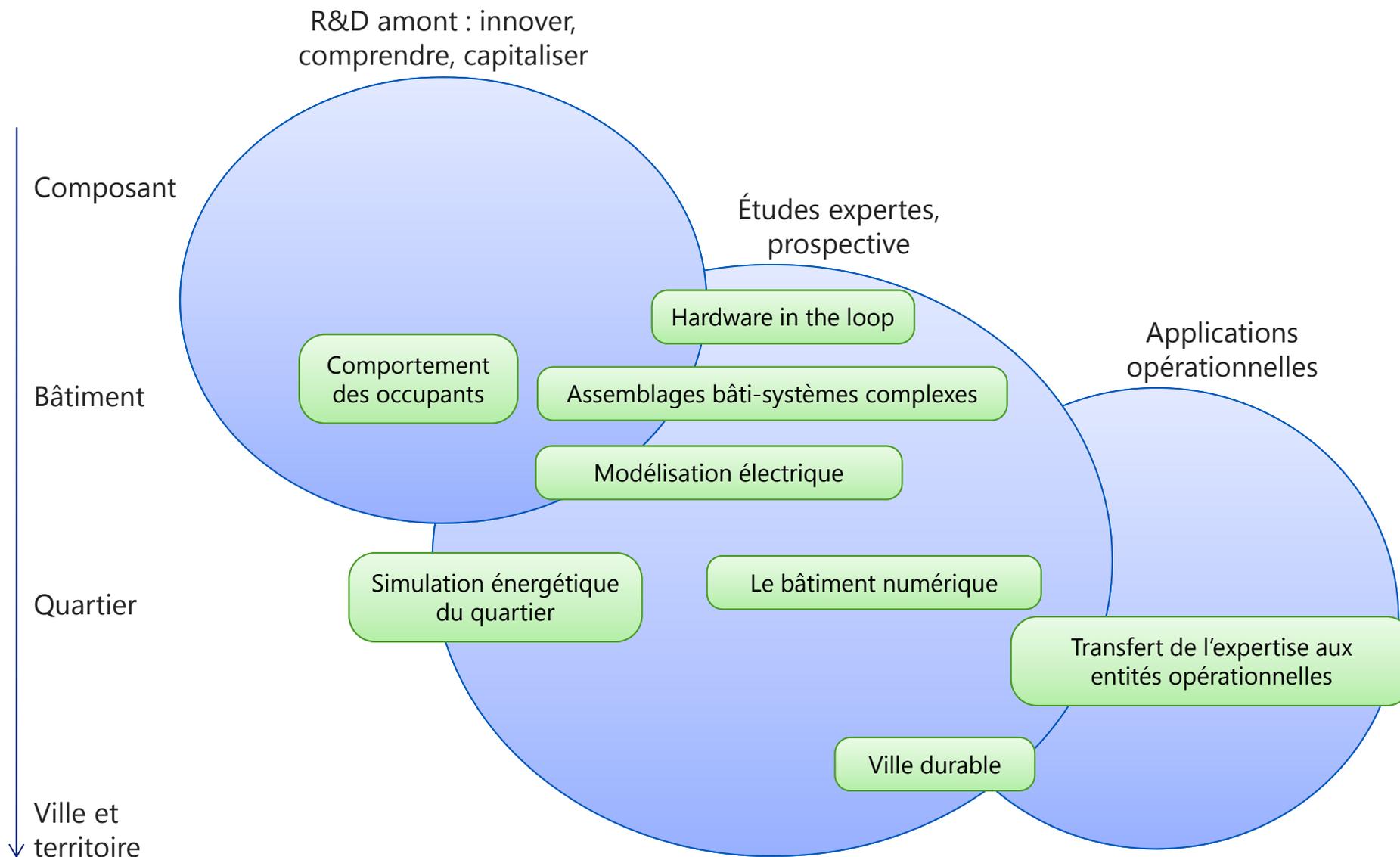


BESTEST heating loads for lightweight cases

CALIBRATION DE MODÈLE

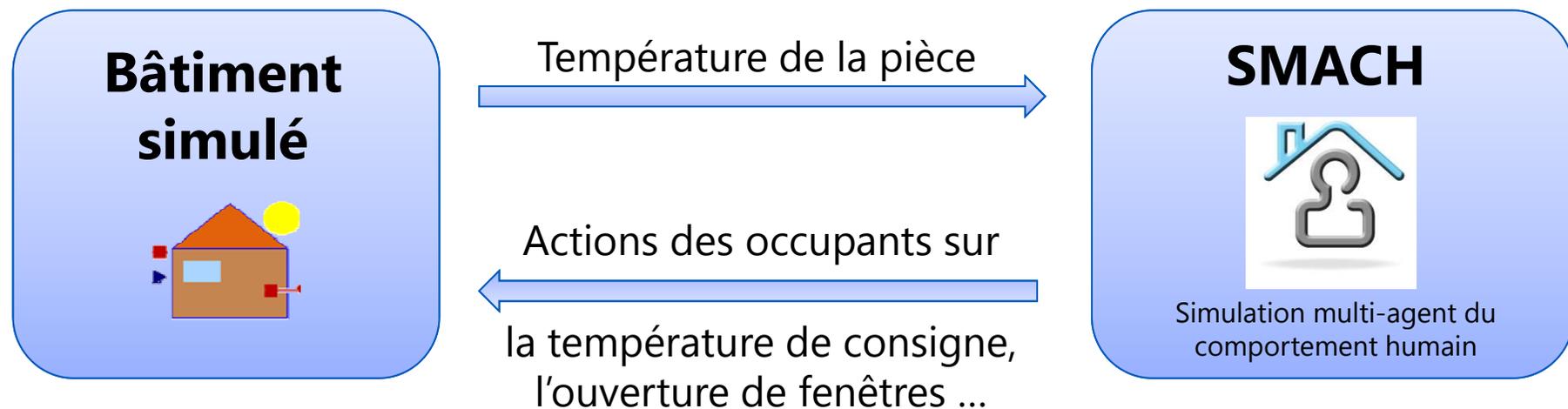


USE CASES SCIENTIFIQUES ET INDUSTRIELS



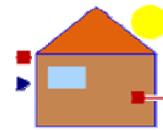
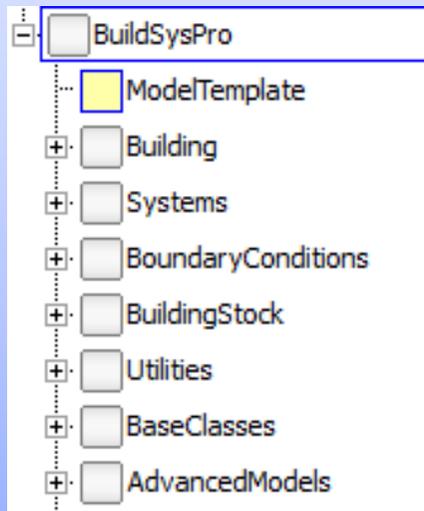
CO-SIMULATION BÂTIMENT / SMA OCCUPANTS

échange d'information pour la co-simulation entre la thermique des bâtiments et la simulation multi-agent du comportement humain

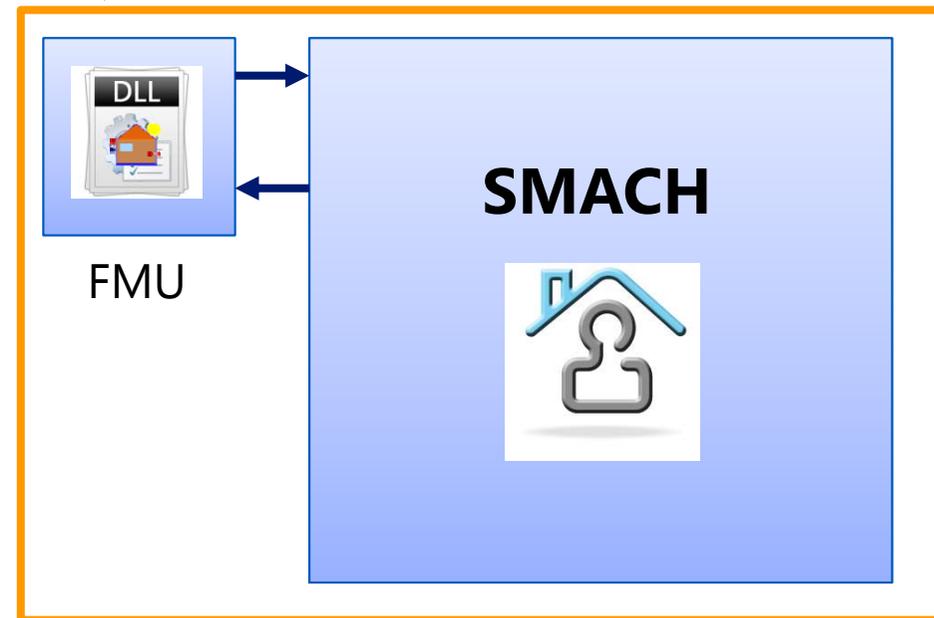
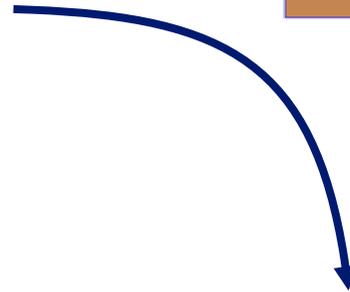


Modèles experts

Bibliothèque de modèles BuildSysPro



Export d'un modèle de bâtiment au format FMU (exécutable encapsulé)



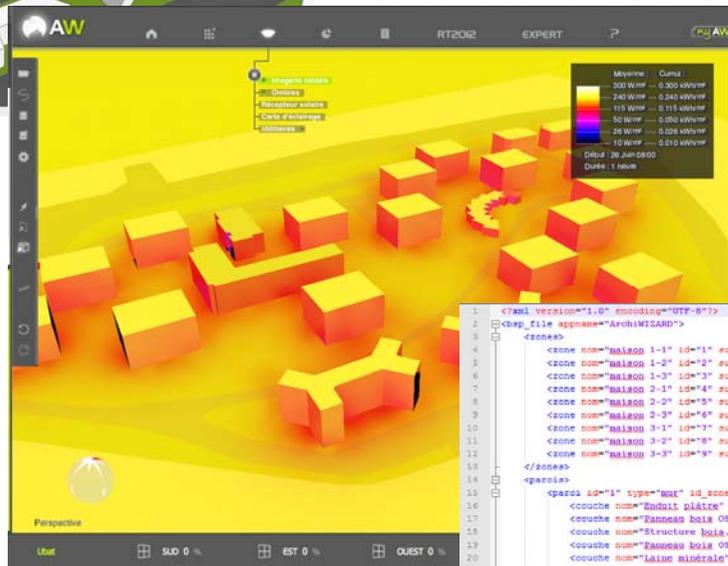
Simulation SUPERBAT

USE CASE QUARTIER : DU PLAN À LA SIMULATION

Tracé SketchUp à partir de plan



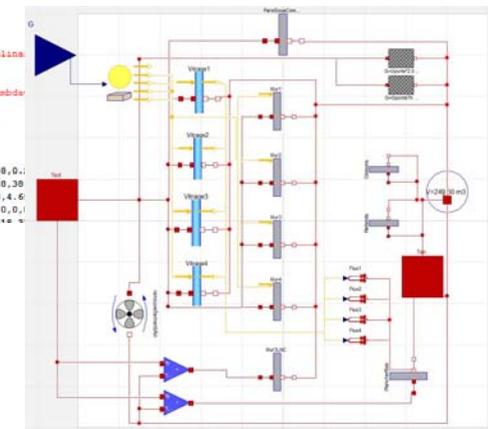
Identification du bâti
Calcul des flux solaires



Export des données
et stockage dans un
format pivot XML

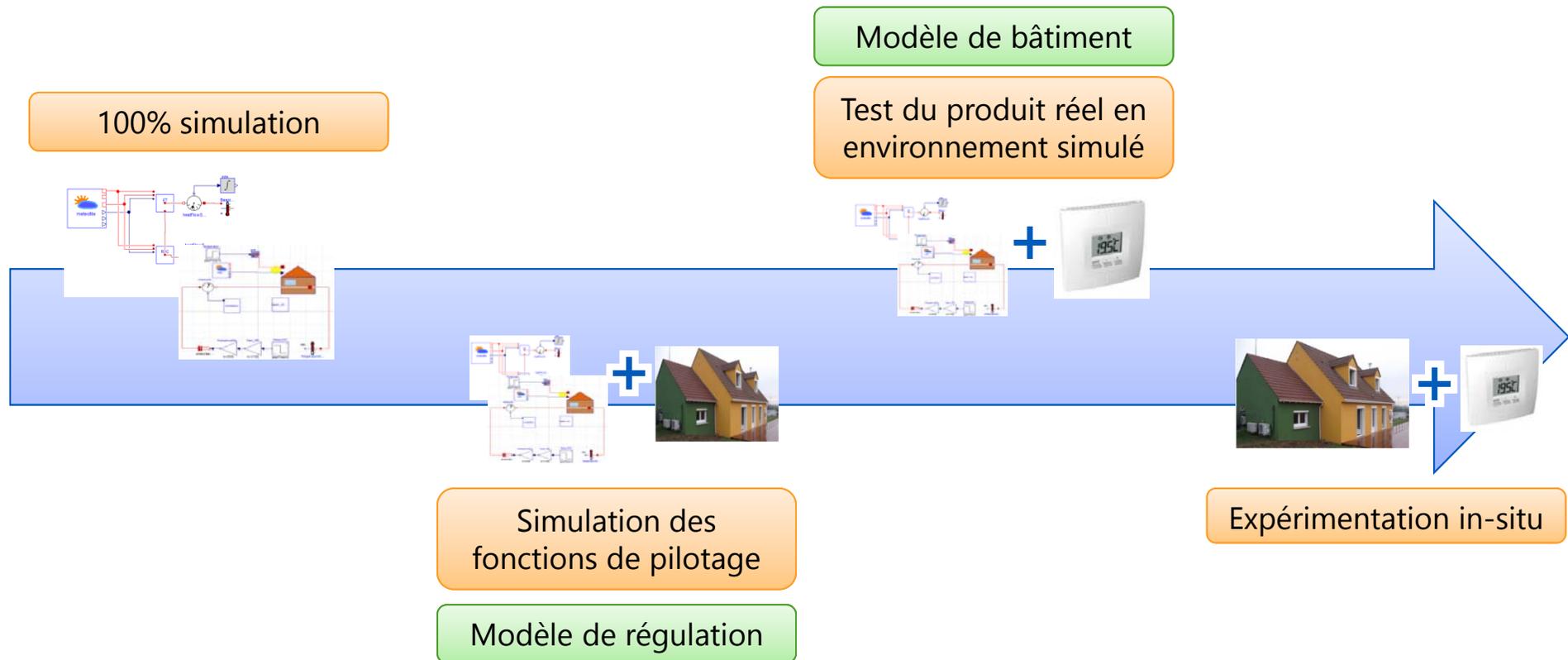


Création
automatique de
l'étude Modelica
(script Python)



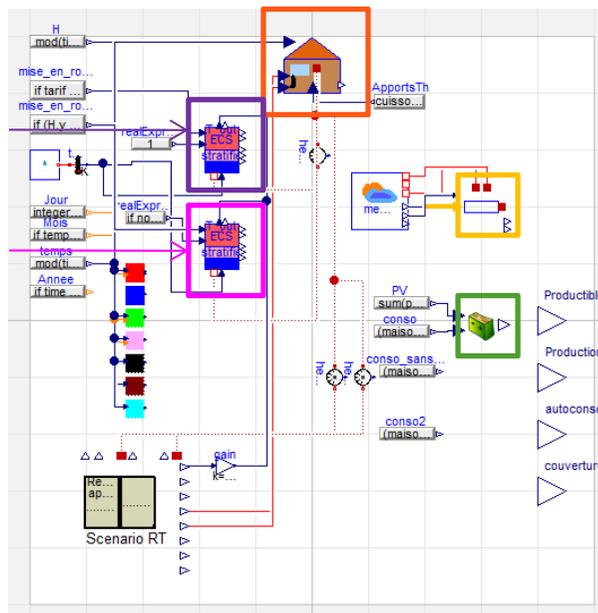
USE CASE : HARDWARE IN THE LOOP

« Accompagner le cycle de développement des produits »



USE CASE : TRANSFERT DE L'EXPERTISE AUX ENTITÉS OPÉRATIONNELLES

Création de logiciels basés sur la simulation 0D
(génération de bibliothèques ou d'exécutables)

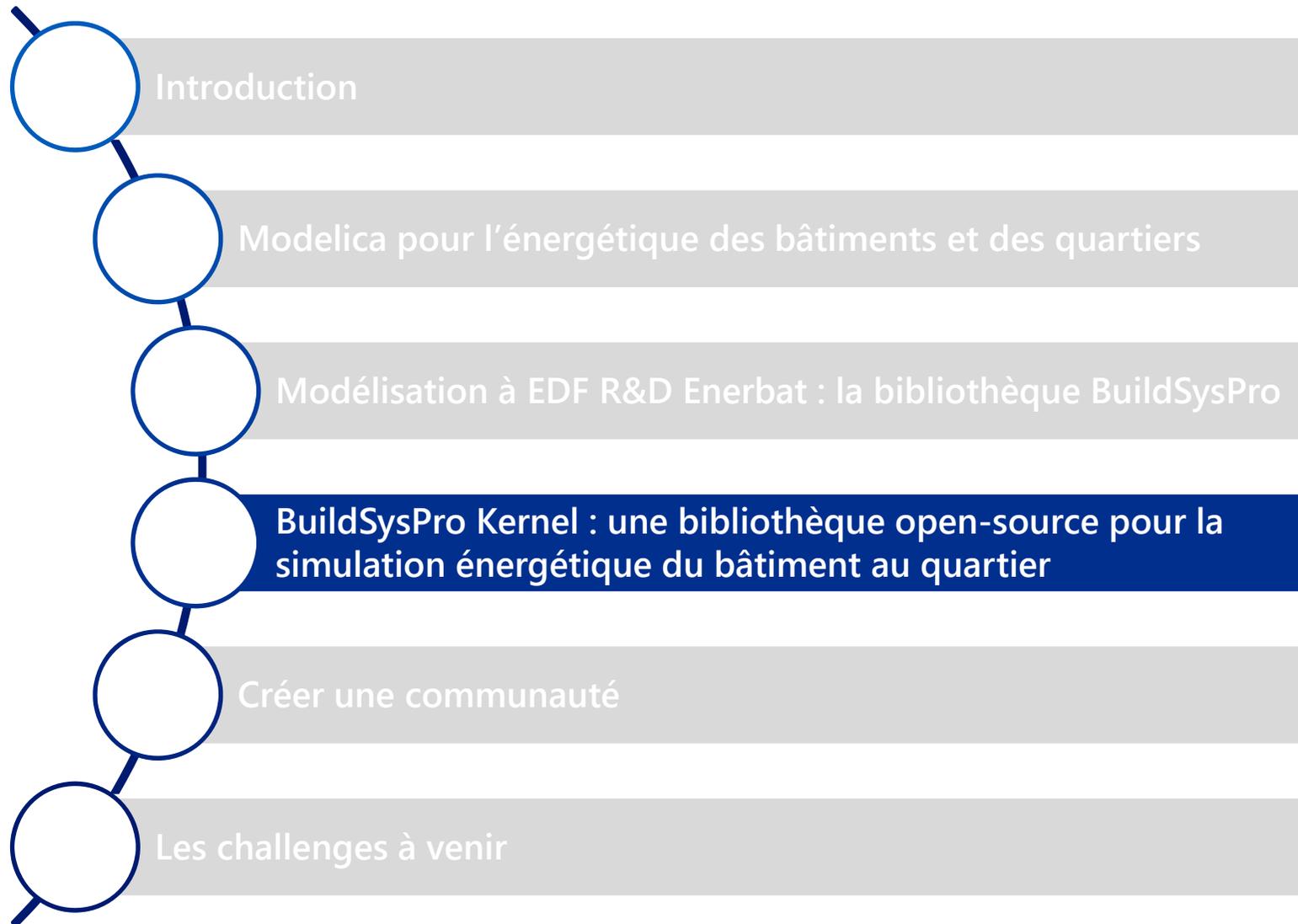


Modèle BuildSysPro

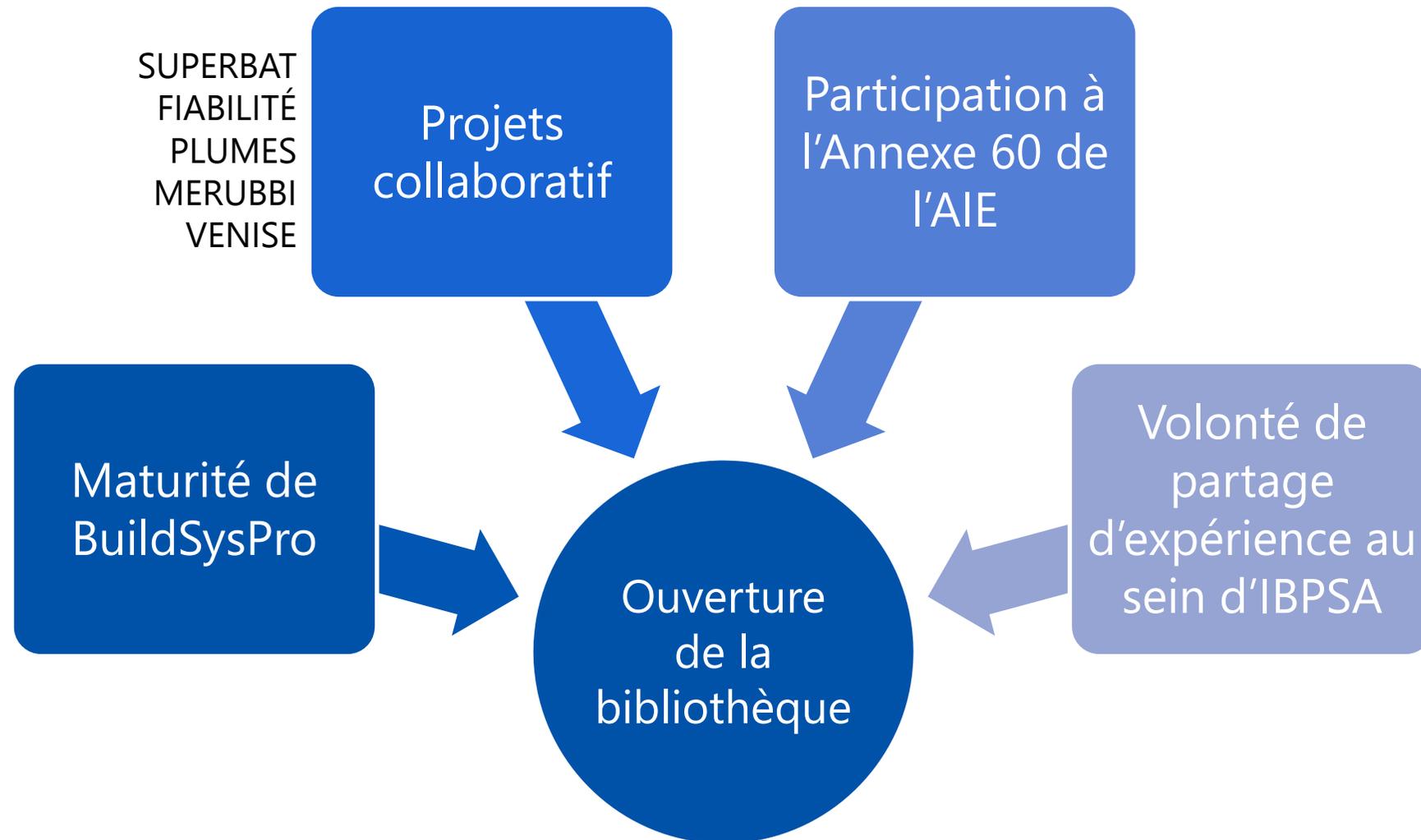
Génération
d'exécutable



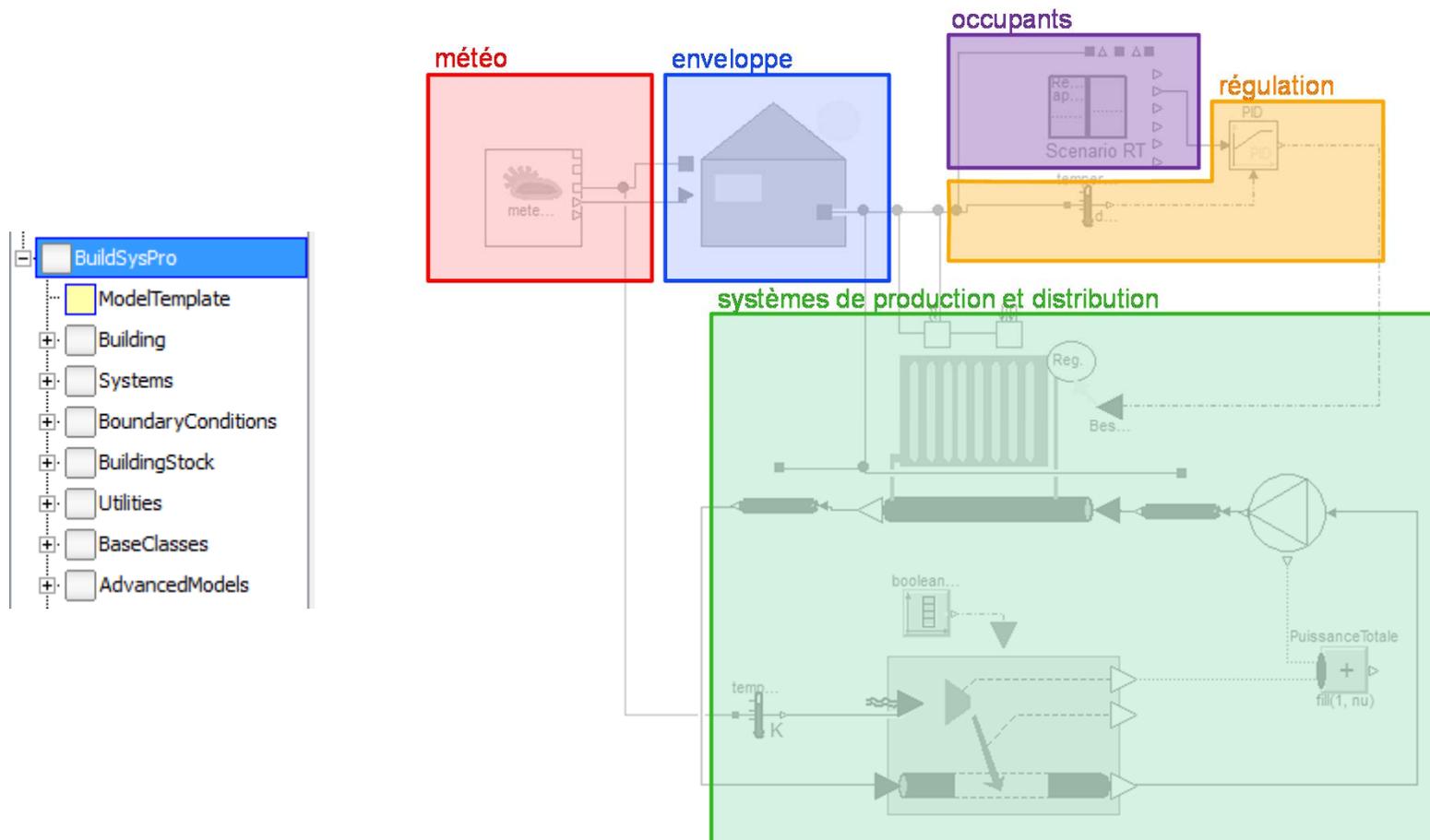
SOMMAIRE



LES ORIGINES

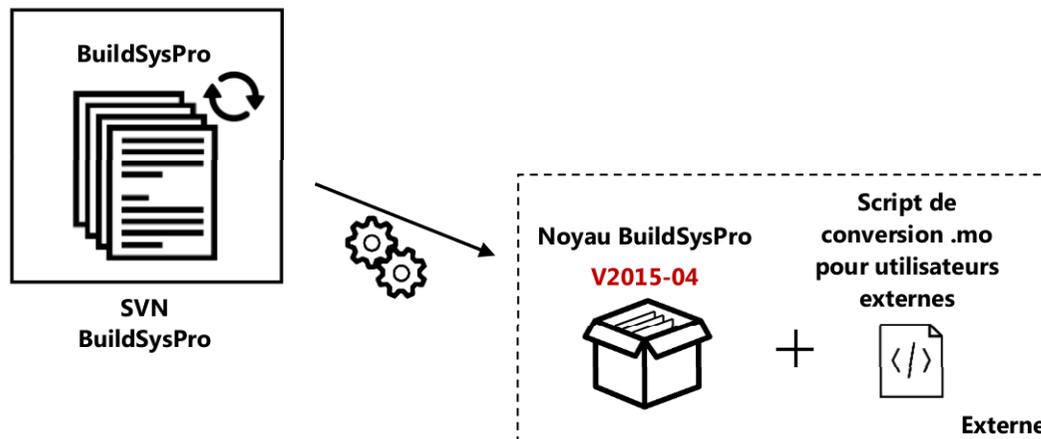


UNE BOÎTE À OUTIL POUR LA MODÉLISATION DE L'ENVELOPPE ET DES SYSTÈMES

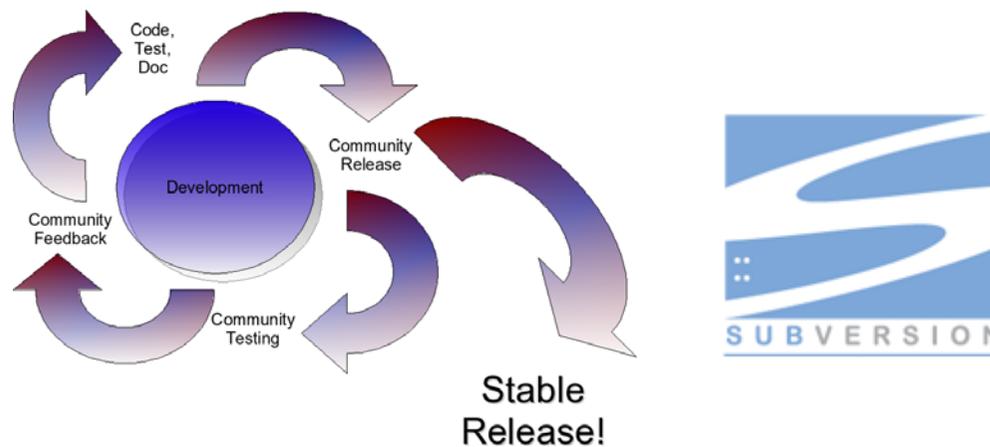


CONCEPTION

- Issue directement de BuildSysPro EDF



- Gérée comme un logiciel



- Licence open-source **Modelica License 2**

POSITIONNEMENT D'EDF SUR LES OUTILS MODELICA OPEN-SOURCE

Intérêt de Modelica
pour la simulation
multi-domaine

Favoriser la
collaboration

Partage avec les
autres bibliothèques
Modelica dans le
monde

Transparence des
modèles échangés

Fédérer une
communauté autour
d'une bibliothèque
made in France

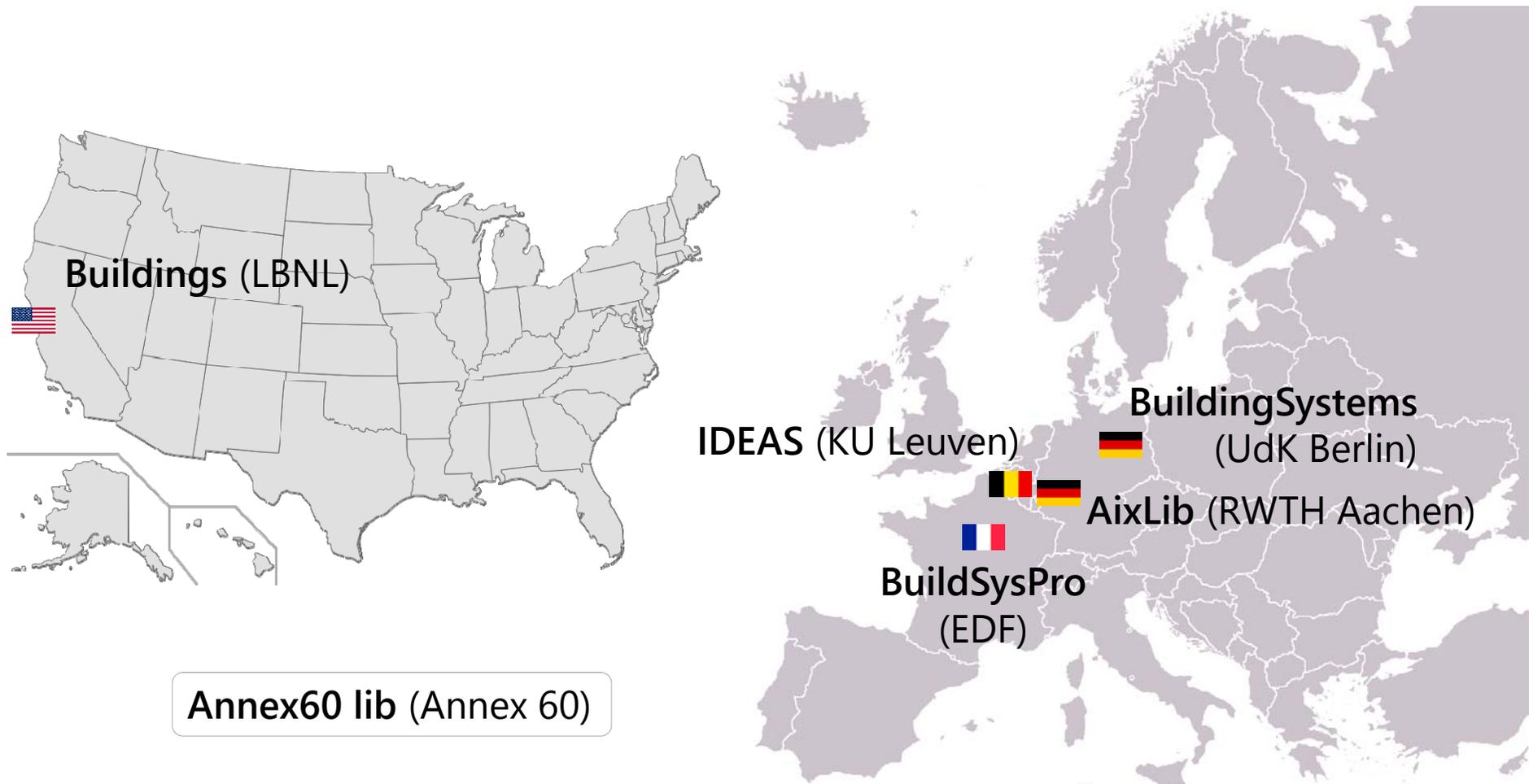
Avantages de l'open-
source

Favoriser
l'amélioration des
logiciels open-source
(OpenModelica)

Enjeu d'enseignement
et travaux de thèse

EXEMPLES À L'ÉTRANGER : BIBLIOTHÈQUES OPEN-SOURCE EXISTANTES

Bibliothèques Modelica open-source utilisées dans l'Annexe 60 de l'AIE



POURQUOI UTILISER BUILDSYSPRO ? LA PROPOSITION D'EDF

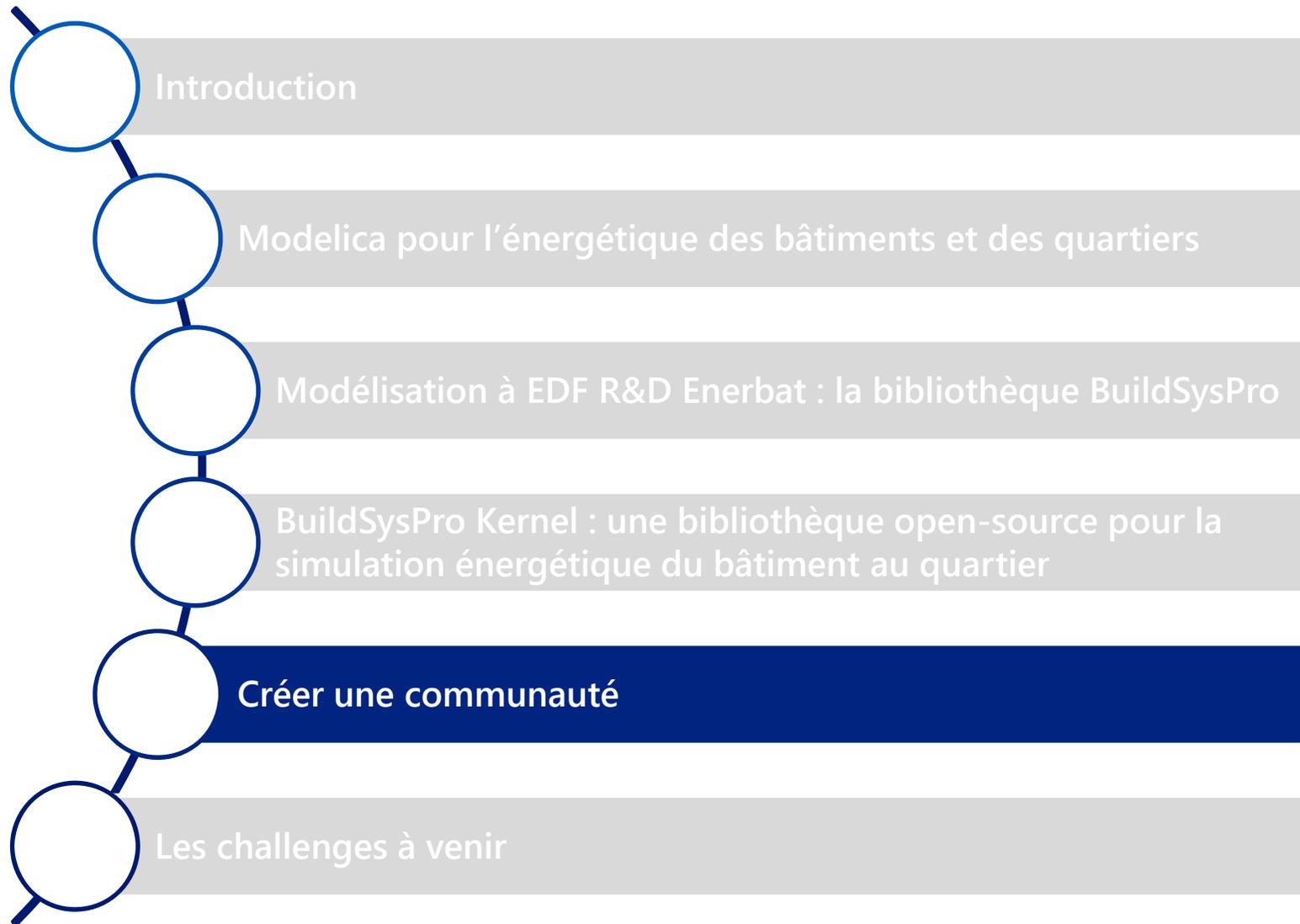
Échanges facilités par la proximité, l'équipe en place, les collaborations existantes et la langue

Une bibliothèque générale mais « orientée France »

Une conception « orientée utilisateur » pour faciliter la modélisation

Respect des standards : compatibilité avec les autres bibliothèques Modelica

SOMMAIRE



POURQUOI BUILDSYSPRO KERNEL OPEN-SOURCE ?

Partager

- Des modèles, des méthodes, des outils

Favoriser

- L'échange de modèles et d'expérience, les travaux sur la base d'outils communs

Faciliter

- L'utilisation de Modelica pour l'énergétique des bâtiments en France

Fédérer

- Les utilisateurs de Modelica pour l'énergétique des bâtiments en France

Capitaliser

- Des modèles et études validées

Reverser

- À la communauté les évolutions de BuildSysPro Kernel

CRÉER UNE COMMUNAUTÉ DE CONTRIBUTEURS

Animée par EDF R&D

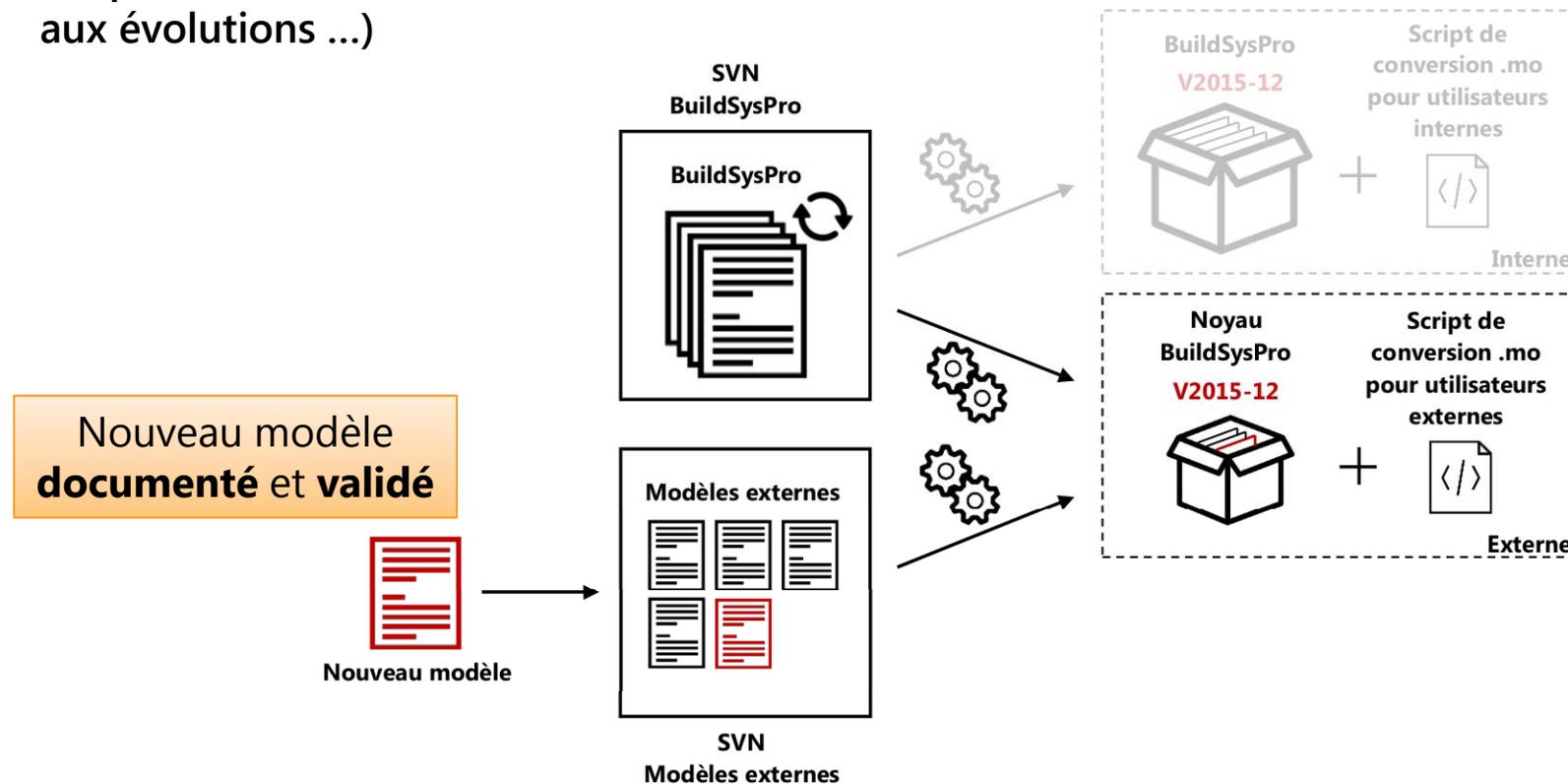
Lieux de rencontre et d'échange au sein de Clubs utilisateurs

Jouer le jeu de l'open-source :

- contribuer au développement, remonter des modèles et alerter sur les bugs
- remonter des exigences
- proposer de nouvelles idées

CONCRÈTEMENT : GESTION EDF DE BUILDSYSPRO

- Source gérée par EDF à l'image des codes open source existants
- Continuité (non-régression, adaptation des études existantes aux évolutions ...)



CONCRÈTEMENT : DES OUTILS MIS EN PLACE AU FUR ET À MESURE

- Site web
- Outil de bugtracking
- Mailing-list / forum
- Diffusion de tutoriels
- Workshops de découverte et de travaux communs

L'ÉQUIPE MODÉLISATION ENERBAT BUILDSYSPRO

Sila
Filfli



Benoit
Charrier



Hassan
Bouia



Gilles
Plessis



Denis
Covalet



Bénédicte
Wall-Ribot



Mathias
Bouquerel



Jean-Luc
Hubert



Mathieu Schumann



Maya Milliez



Thierry Duforestel



SOMMAIRE



CHALLENGES ET PERSPECTIVES

Faire fonctionner la communauté !

Préparer la rencontre Annexe 60

Combiner les métiers pour répondre à des enjeux et objectifs précis

Bâtiment : le challenge du BIM et de son exploitation pour la simulation

Challenges des données quartier/ville

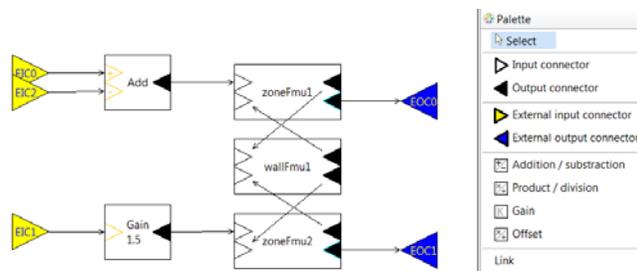
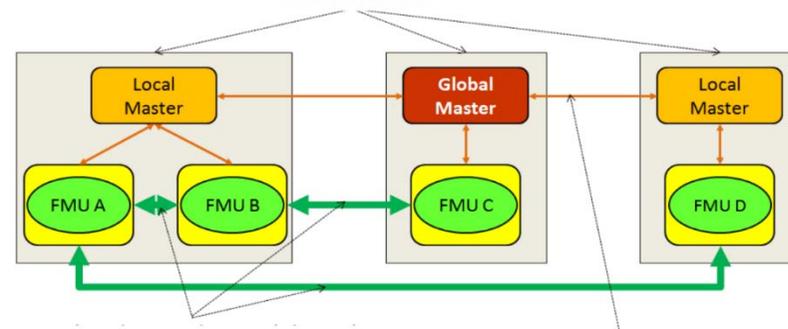
Démarche de validation à l'échelle quartier/ville

CHALLENGES ET PERSPECTIVES : LE DÉVELOPPEMENT DE LA CO-SIMULATION

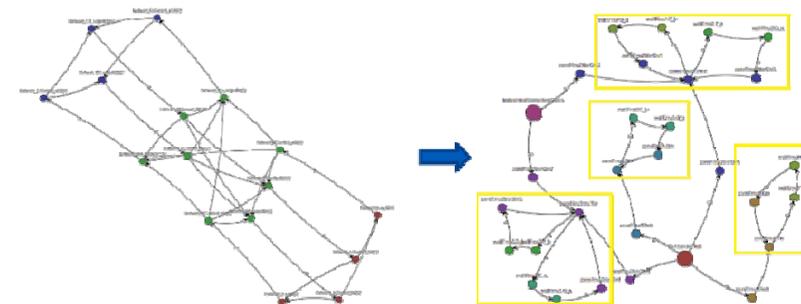
- Rôle du FMU dans la partage multi-métier
- Développement de plate-formes de co-simulation de FMU



Master of co-simulation



GUI



Automatic dependency graph for initialization

Merci de votre attention !

Nous constituons une mailing-list
BuildSysPro open-source. Intéressés ?
Contactez nous !

mathieu.schumann@edf.fr
benoit.charrier@edf.fr