



IBPSA
International Building Performance Simulation Association



« BUILDING SIMULATION 2013 » CHAMBERY / FRANCE 25-28 AOÛT

MANIFESTATION ORGANISÉE LE 27 AOÛT 2013 PAR ICO*
DANS LE CADRE DU CONGRÈS IBPSA WORLD / AOÛT 2013
*UNE JOURNÉE DE VULGARISATION À DESTINATION
DES BUREAUX D'ÉTUDES AVEC OU SANS PRATIQUE STD



Accueil

Jean-Pascal ROCHE
(BET ADRET)
Président d'ICO



BUILDING SIMULATION 2013

PRESENTATION ICO

Objectif :

- Promouvoir les techniques du confort utilisant le vecteur eau
- Créer un lien entre tous les maillons de la filière afin de permettre et de susciter les échanges

Domaine :

- Chauffage, climatisation, eau chaude sanitaire, ventilation, éclairage et bâti
- Conception, mise en œuvre, gestion et maintenance



BUILDING SIMULATION 2013

Nos parrains et partenaires :



BUILDING SIMULATION 2013

L'association comprend :

- **Un collège Bureaux d'Etudes (56 membres)**
- **Un collège Industriels (37 membres)**
- **Un collège Installations et Services (10 membres)**

**Représentation nationale
Groupes en région**



BUILDING SIMULATION 2013

Réunions, conférences et échanges; les temps forts de 2013 :

- L'Assemblée Générale
- Les JTE
- Les JCE (Bordeaux, Lille, Marseille, Lyon le 15/10 et Nancy)
- Les Rencontres de l'Architecture Energétique (Marseille, Paris et Pau)
- La tournée Enerprix (Lyon, Nantes et Paris)
- Les trophées CFP/ICO de l'ingénierie performante
- La journée STD sur le congrès IBPSA (27/08 à Aix les bains)



BUILDING SIMULATION 2013

Site INTERNET: www.association-ico.fr

Et L'Extranet assurant par une base d'échange une communication en temps réel entre ses membres

Parution tous les deux mois du « journal de l'O »

Vie de l'association, Agenda interne et externe, Informations liées à l'actualité, tribune ouverte aux membres de l'association, etc.



BUILDING SIMULATION 2013



ENERPRIX OUTIL DE PRÉVISION
DU PRIX DES ÉNERGIES

<http://www.association-ico.net/enerprix/>

Outil permettant de définir des **scénarios d'évolution relative des prix des énergies** (électricité, gaz naturel et fioul) en fonction d'hypothèses structurantes.

A partir de données simples :

- prix du baril de Brent et de la tonne de CO₂ (année A et année A +10),
- commune, consommation, profils,
- tension de raccordement et puissance souscrite (électrique).

Résultats sous forme de graphes et tableaux Excel.

DONNÉES ENERGIES

ELECTRICITÉ

» Consommation : MWh

» Tension de raccordement : V_A ou kW

» Puissance souscrite : [Autre Valeur] 60 V_A ou kW

» Profil de consommation : Sélectionner un profil

FIoul DOMESTIQUE

» Consommation : MWh ou hl

GAZ NATUREL

» Consommation : MWh

» Profil de consommation : Sélectionner un profil

[ETAPÉ PRÉCEDENTE](#) [ETAPÉ SUIVANTE](#)

DONNÉES GÉNÉRALES

VOS HYPOTHÈSES

» Prix baril de Brent (\$/bbl) :
2012 : 109,3
2022 : 125

» Prix tonne de CO₂ (€/tonne) :
2012 : 7,61
2022 : 37

VOTRE PROJET

» Situation géographique :
Commune : Code INSEE :

» Energie(s) :
 Électricité
 Fioul Domestique
 Gaz Naturel

[ETAPÉ SUIVANTE](#)



ENERPRIX OUTIL DE PRÉVISION DU PRIX DES ÉNERGIES

Sélection géographique :
Commune : MARSEILLE - 13000
Département : 13

Données de Base **Vos Scénario** **Cela concerne votre facture**

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
ÉLECTRICITÉ	10449	10412	10378	10344	10312	10279	10246	10214	10182	10150	10119	10042
PROFIL DE CONSOMMATION	1020	1016	1012	1007	1004	1000	995	990	985	980	975	964
CO ₂	10449	10412	10378	10344	10312	10279	10246	10214	10182	10150	10119	10042
PROFIL DE CONSOMMATION (HORAIRE)	10449	10412	10378	10344	10312	10279	10246	10214	10182	10150	10119	10042
ÉLECTRICITÉ	10449	10412	10378	10344	10312	10279	10246	10214	10182	10150	10119	10042
PROFIL DE CONSOMMATION	10449	10412	10378	10344	10312	10279	10246	10214	10182	10150	10119	10042
CO ₂	10449	10412	10378	10344	10312	10279	10246	10214	10182	10150	10119	10042
PROFIL DE CONSOMMATION (HORAIRE)	10449	10412	10378	10344	10312	10279	10246	10214	10182	10150	10119	10042

BUILDING SIMULATION 2013





ENERPRIX OUTIL DE PRÉVISION
DU PRIX DES ÉNERGIES

<http://www.association-ico.net/enerprix/>

Pour en savoir plus

Guide explicatif en ligne :

http://www.association-ico.net/enerprix/guide_ico_enerprix.pdf

Exemple de cas concrets :

http://consells.xpalr.com/actualite_experts/outil-realiser-projections-prix-energie.htm



BUILDING SIMULATION 2013

LES PUBLICATIONS:

- **Production d'eau chaude sanitaire par énergie solaire**
- **Présentation des règles de l'art en matière d'installations CIC**
- **Le manuel de la modernisation des chaufferies**
- **Le manuel de l'Eau Chaude Sanitaire**
- **Rafraîchissement d'ambiance à faibles consommations énergétiques pour l'Agence internationale de l'Energie**
- **Audit de chaufferie**
- **Guide ADEME de Conception des installations collectives de production d'eau chaude sanitaire par l'énergie solaire**



BUILDING SIMULATION 2013

ICO FORMATION :

Organisme de formation depuis 1996, ICO peut s'appuyer sur des formateurs internes fidèles aux valeurs de référence : indépendance, professionnalisme et convivialité.

Formations proposées :

- **Les réseaux d'eau et risques sanitaires**
- **Les réseaux d'air et risques sanitaires**
- **Conception des installations solaires thermiques**
- **Audit énergétique bâtiment**
- **Amélioration Énergétique des Bâtiments Existants (AEBE)**
- **RT 2012**



BUILDING SIMULATION 2013

FORMATION RT 2012 :

- 3 modules reprenant un thème particulier de la nouvelle réglementation thermique :
 - L'environnement juridique, technique et sociologique de la RT 2012
 - Utilisation du logiciel RT2012 (Perrenoud ou BBS Slama)
 - La méthode de calcul THBCE 2012
- Action Collective Nationale du Fafiec
- Formation Agrée Effinergie
- Plusieurs sessions programmées en 2013 dont
 - Marseille les 8 et 15, 16 et 17 octobre
 - Toulouse les 12 et 19, 20 et 21 novembre
 - Paris les 10 et 17, 18 et 19 décembre

BUILDING SIMULATION 2013





IBPSA

International Building Performance Simulation Association



Table ronde bureaux d'études pratiquant la simulation



IBPSA – ICO – INES



- **9h – 10h** : « From Mickey mouse to building simulation » par Donald Greenberg
- **10h30 – 11h30** Table ronde BE pratiquant PLANAIR, ADRET, ETAMINE, ITF
 - Vision globale
 - Passer du couteau Suisse du bureau d'étude qu'est le tableur à l'outil dynamique au sens large
 - Nécessité de compétence interne pour les approches physiques permettant d'exploiter la simulation
- **11h30 – 12h** Fiabilité de la simulation Bruno Peuportier : *La méthode et le dynamique (récursivité, base temps, ...)*
- **12h – 12h 30** Monter un projet de simulation Laurent MORA IBPSA

- **Pause repas**

- **14h – 14h30** Introduction des activités INES, Technolac, Formation
- **14h 30 – 15 h 30** Par l'exemple, la nécessité du calcul dynamique pour les projets performants
 - Projet Cognin de réseau de chaleur solaire : Cédric Paulus & Bruno Georges
 - Le centre administratif du CHU de Poitier, Bruno Georges
 - Prairie au Duc, Ile de Nantes. îlot mixte résidentiel tertiaire de 24 000 m², Bruno Georges
- **15 h30 – 16h** Intégration multi-physiques par simulation Adrien Jezequel
 - Dans les notions de « multi-physique » et/ou transversalité
 - Dans l'évaluation des impacts qualité d'air, éclairage, transferts aérauliques, ...
- **16h - 16h30** « Passer à l'acte » avec fiabilité Bruno Georges
 - La formation,
 - Monter un projet de simulation *Insister sur « quelle est la question ?»*



Participants de la table ronde

- **PLANAIR** : M. SICURELLA

- **ADRET**: MM. ROCHE et MARAVAL

- **ETAMINE**: M. RABALLAND

- **ITF**: MM. JEZEQUEL & GEORGES



Objectifs de cette table ronde

Les bureaux d'études de la salle ne sont pas encore des « usagers courants » de la simulations dynamique.

L'objectif de cette table ronde est de leur donner des avis d'experts, des ressentis, des arguments pour ce mode de fonctionnement et d'approche de la conception des bâtiments et des systèmes.

- *Vision globale*
- *Passer du « couteau Suisse » qu'est le tableur à l'outil dynamique au sens large*
- *Nécessité de compétence interne pour des approches physiques adaptées*

“ideas debate” objective

The present engineering companies are not yet “current users” of dynamics simulations.

The objective of this roundtable is, to deliver to them, experts opinions, felt, arguments for this operating process and of the buildings and systems design.

- *Global view*
- *To pass from the “multi-fonction pocket knife” which is the spreadsheet with the dynamic design*
- *Need for interns competence for adapted physical approaches*



Le tout en 5 questions et en une heure,

Merci d'essayer d'être concis !!!

The whole in 5 questions and one hour,

Thanks for trying to be concise !!!



Un premier tour de table

Depuis quand l'usage de la simulation dans
votre entreprise, et à l'initial pourquoi ?

First approach, ...

Since when the use of simulation
in your company, and to initial why?



Une seconde interrogation

En 2013, pour quels usages,
le calcul « statique » comme le tableur,
garde-t-il encore sa pertinence?

One second interrogation

In 2013, for which uses,
“static” calculation like the spreadsheet,
still keeps its relevance?

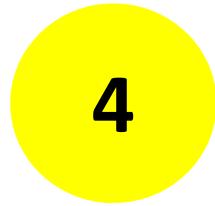
3

Développement

Existe-t-il des difficultés à déployer un « raisonnement calcul dynamique » dans une entreprise ?

Development

Do there exist difficulties
of deploying a “reasoning dynamic calculation”
in a private company?



En deux minutes pour chacun d'entre vous,

Merci d'évoquer « un danger »
de la simulation dynamique

In two minutes for each one among you,

Thank you to evoke “a danger”
of dynamic simulation

5



De manière synthétique,

Votre avis sur la meilleure manière
« pour commencer »
à utiliser l'outil dynamique

In a synthetic way,

Your opinion on the best manner “to start”
to use the dynamic tool

En conclusion,

En un mot, l'atout principal de cette approche ?

In conclusion,

In one word, what is the principal asset
of this approach?



**Un grand merci
à M. SICURELLA, MM. ROCHE et
MARAVAL, M. RABALLAND, M. JEZEQUEL
pour leur participation à cette table ronde**

Journée IBPSA - ICO - INES

La simulation dynamique, un outil pour l'ingénierie de terrain pour demain

Modélisation : de la théorie à la pratique

Bruno PEUPORTIER
Mines ParisTech – CES



IBPSA – ICO – INES



IBPSA
International Building Performance Simulation Association

- **9h – 10h** : « From Mickey mouse to building simulation » par Donald Greenberg
- **10h30 – 11h30** Table ronde BE pratiquant PLANAIR, ADRET, ETAMINE, ITF
 - Vision globale
 - Passer du couteau Suisse du bureau d'étude qu'est le tableur à l'outil dynamique au sens large
 - Nécessité de compétence interne pour les approches physiques permettant d'exploiter la simulation
- **11h30 – 12h** Fiabilité de la simulation Bruno Peuportier : *La méthode et le dynamique (récursivité, base temps, ...)*
- **12h – 12h 30** Monter un projet de simulation Laurent MORA IBPSA
- **Pause repas**
- **14h – 14h30** Introduction des activités INES, Technolac, Formation
- **14h 30 – 15 h 30** Par l'exemple, la nécessité du calcul dynamique pour les projets performants
 - Projet Cognin dé réseau de chaleur solaire : *Cédric Paulus & Bruno Georges*
 - Le centre administratif du CHU de Poitiers, *Bruno Georges*
 - Prairie au Duc, île de Nantes: îlot mixte résidentiel tertiaire de 24 000 m², *Bruno Georges*
- **15 h30 – 16h** Intégration multi-physiques par simulation Adrien Jezequel
 - Dans les notions de « multi-physique » et/ou transversalité
 - Dans l'évaluation des impacts qualité d'air, éclairage, transferts aérauliques, ...
- **16h - 16h30** « Passer à l'acte » avec fiabilité Bruno Georges
 - La formation,
 - Monter un projet de simulation *Insister sur « quelle est la question ? »*

Elaboration de concepts à l'aide des outils

▶ Programme du maître d'ouvrage

- Localisation, taille et usage(s) du bâtiments, performances

▶ Contexte local

- Règlement d'urbanisme, climat, masques...

▶ Parti architectural

- Forme, grandes orientations techniques

▶ Comparaison de variantes, optimisation

- Enveloppe, équipements

▶ Elaboration d'un concept spécifique au projet

- Chaque bâtiment est en général unique
- Concept générique, par exemple maison individuelle

Nécessité de bien connaître les outils et leurs limites

Théorie de la conception C-K (Armand Hatchuel)

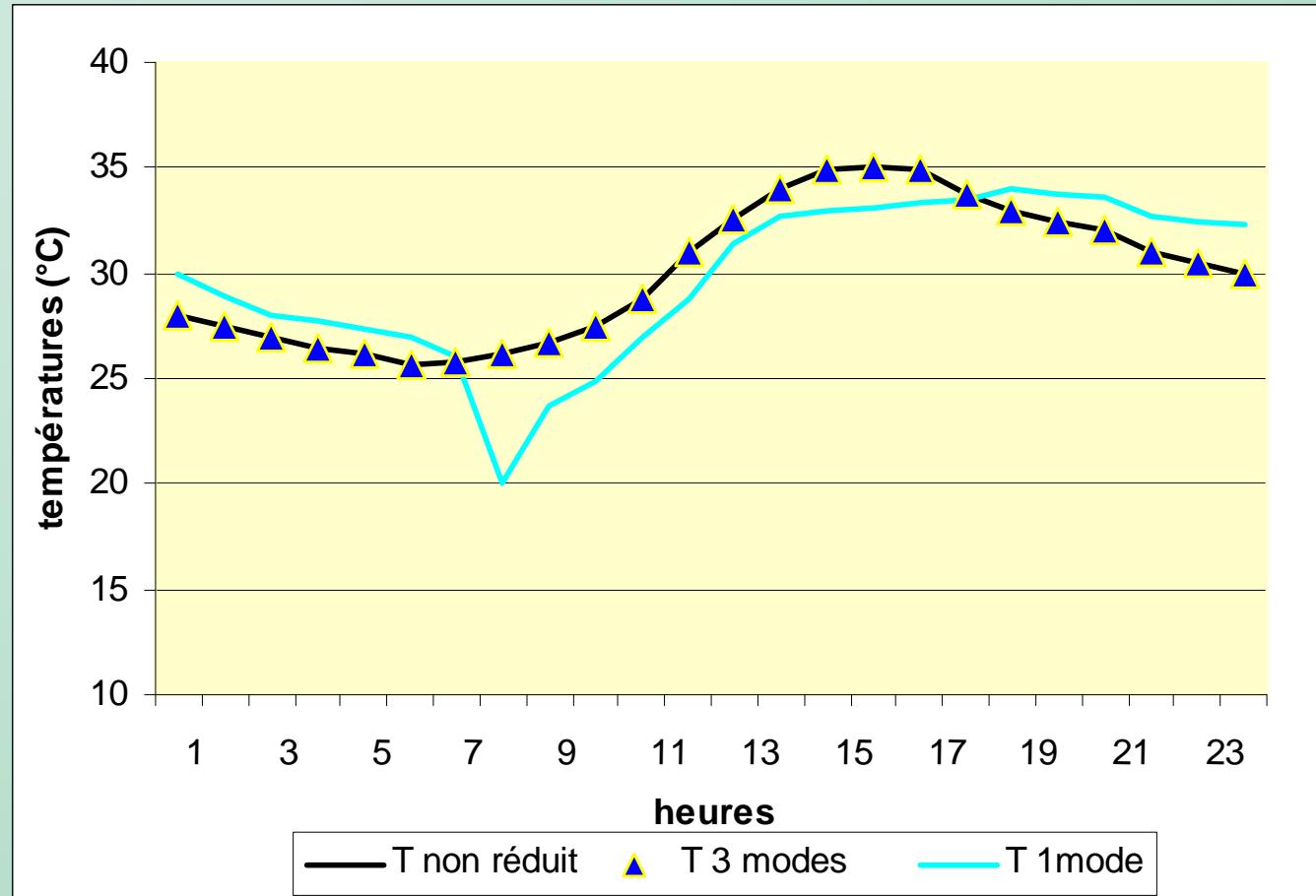
Connaissances K	Concepts C
Déperditions (G, Ubat)	Bâtiment isolé
Apports solaires (B, Bbio)	Bâtiment solaire
Equipements (C, Cep)	Bâtiment basse consommation
Simulation (thermique, aéraulique, éclairage)	Bâtiment bioclimatique (confort)
Analyse de cycle de vie	Bâtiment à faible impact
ACV des quartiers	Eco-quartier

► Interaction théorie/pratique -> processus d'innovation

Exemple de modélisation répondant à des objectifs

- ▶ **Aide à la conception bioclimatique : réduction des besoins de chauffage et de climatisation, prise en compte des apports solaires, amélioration du niveau de confort**
- ▶ **analyse en dynamique (captage, stockage et distribution de l'énergie) -> simulation**
- ▶ **simplicité d'utilisation, description d'un projet et comparaison de variantes, limiter les erreurs de saisie**
- ▶ **réduction de modèle et temps calcul**
- ▶ **structuration en objets, ajout de nouveaux composants (PV, solaire thermique, éclairage...)**

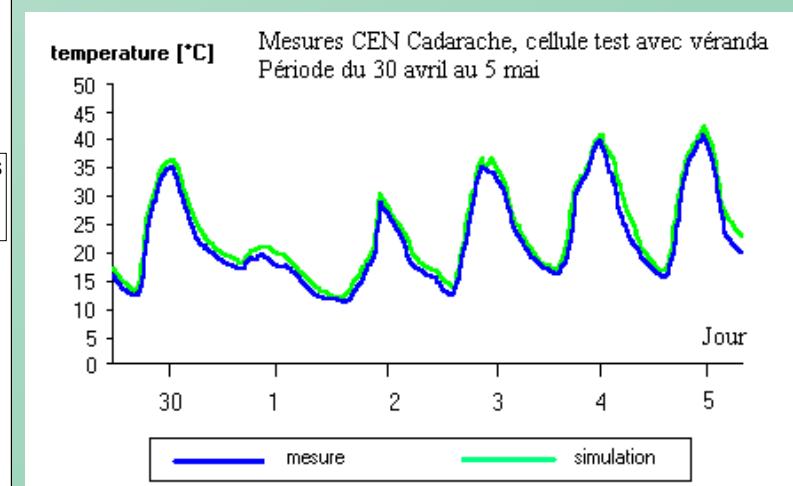
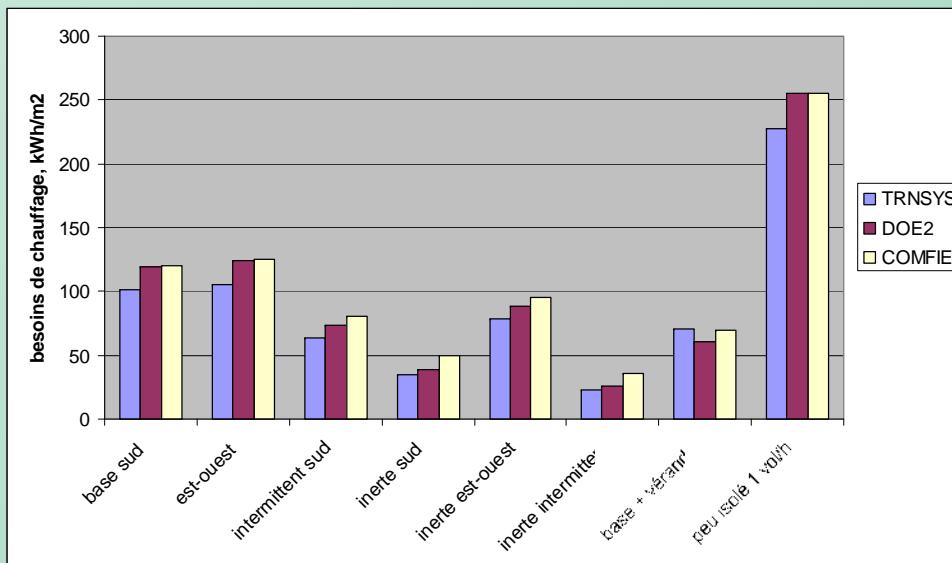
Influence de la réduction modale



Il faut au moins 3 constantes de temps, parfois davantage

Eléments de validation

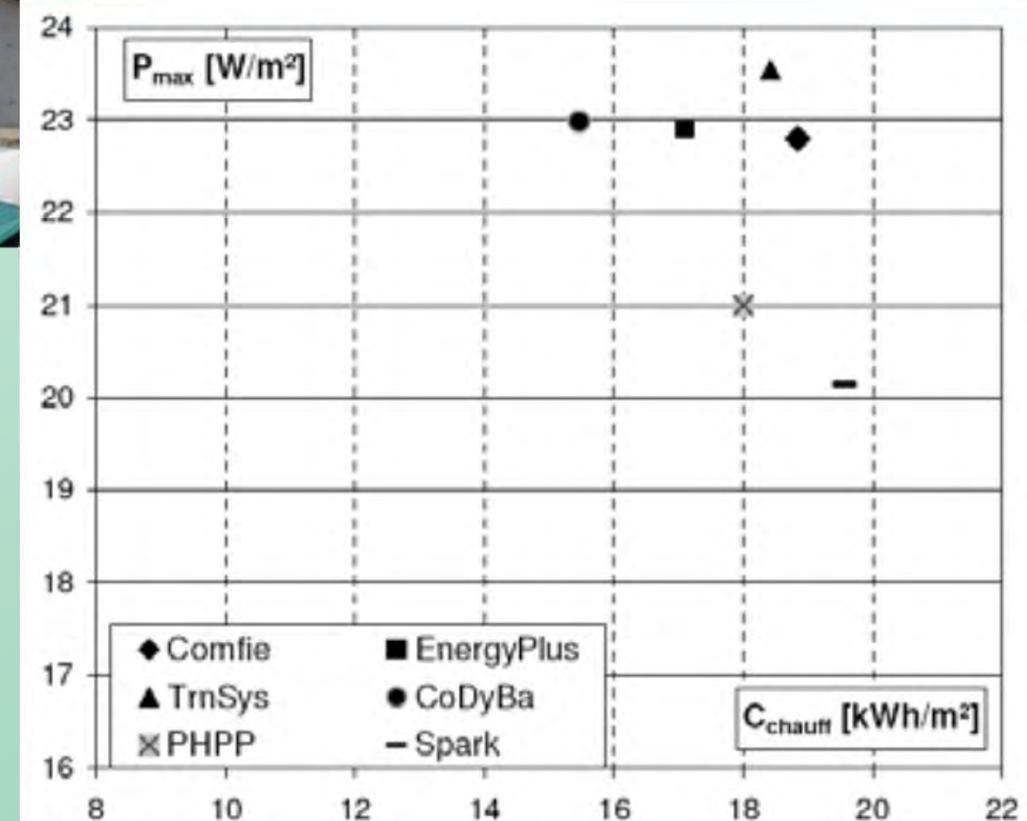
- ▶ Inter-comparaisons de logiciels, BesTest : 35 cas, comparaison à EnergyPlus, TRNSYS etc., banc d'essais AICVF
- ▶ Comparaison à des mesures : cellule PASSYS du CEA avec véranda, cellule EMPA



Comparaison dans le cas de maisons passives

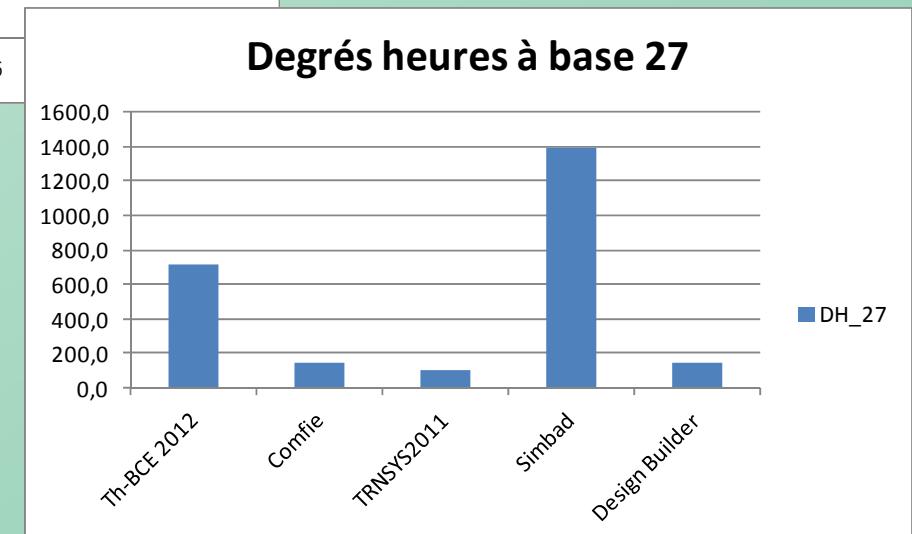
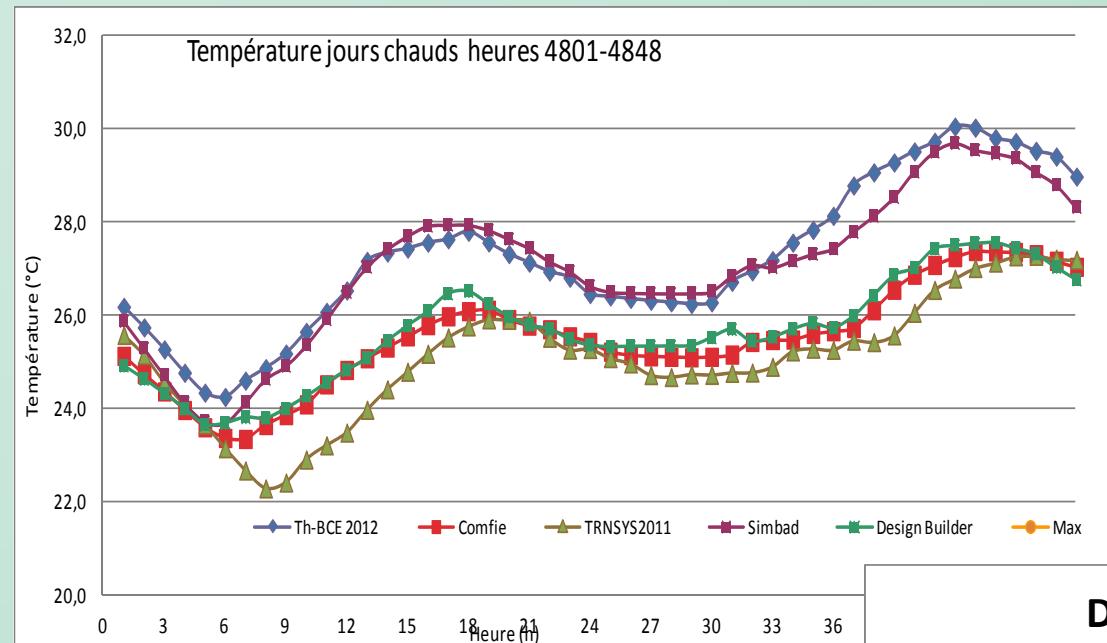


Plate forme INCAS,
INES (Chambéry)
maisons passives



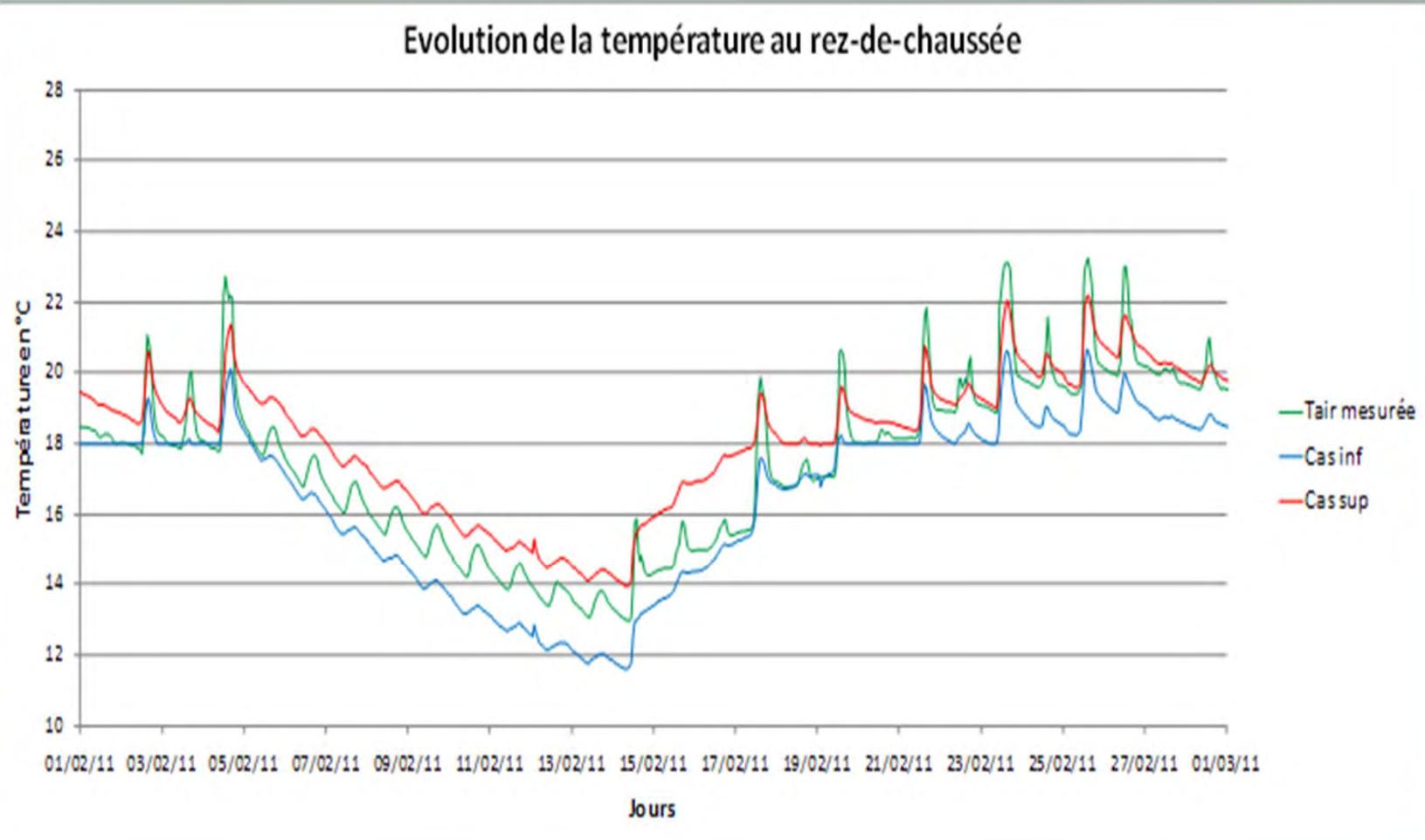
Comparaison sur les besoins de chauffage
et les puissances maximales, A. Brun et al.

Température opérative en été (rez-de-chaussée)



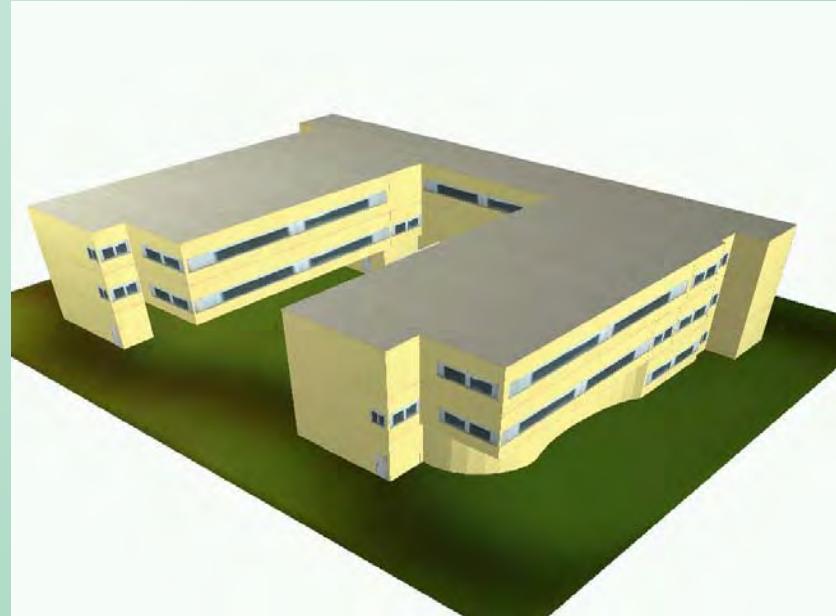
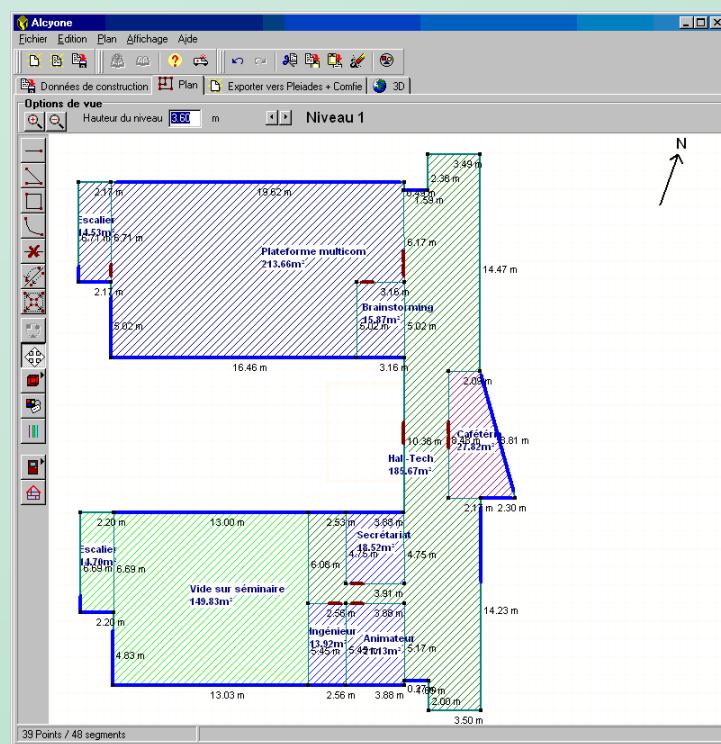
Combie et Energy+ (Design Builder) sont très proches

Comparaison aux mesures



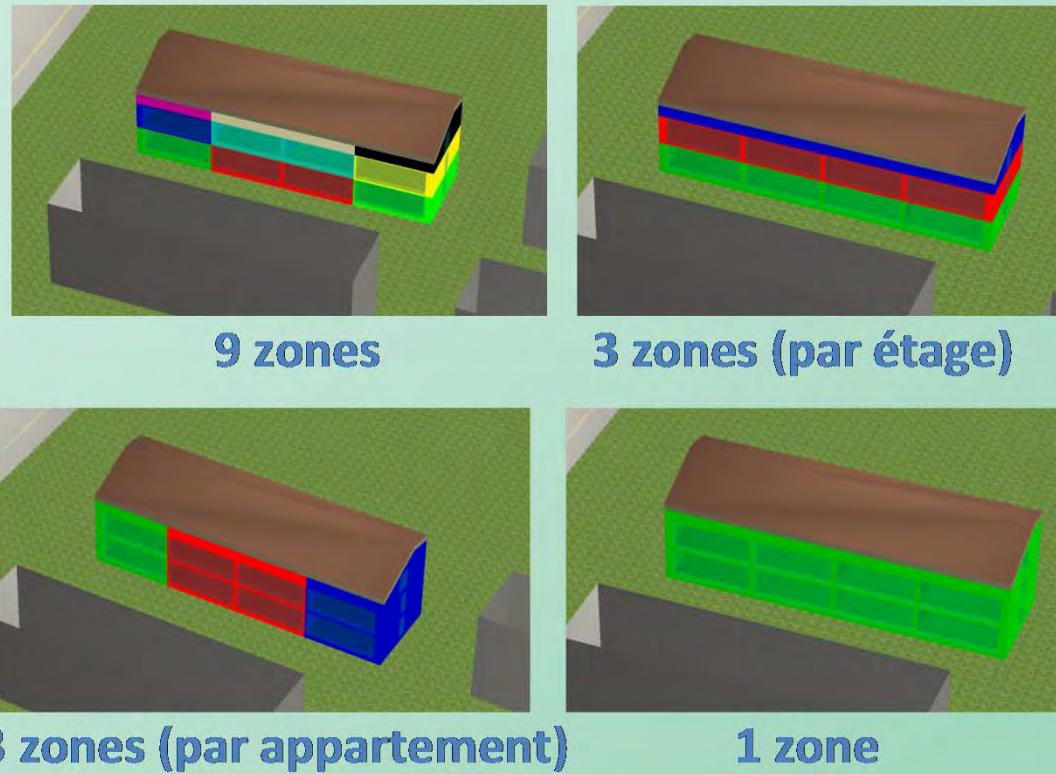
Incertitudes sur de nombreux paramètres
Problème lors des pics de température, idem Energy+

Interface utilisateurs, exemple : ALCYONE



Quelques journées de travail pour un projet
Intérêt : comparaison de variantes
Travail dès l'esquisse
Conception bioclimatique : ratio vitré par façade

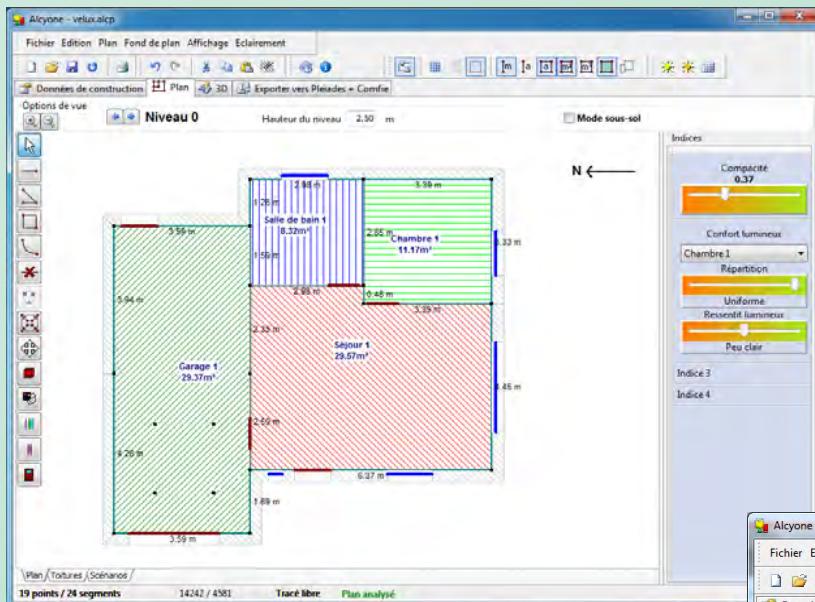
Choix de l'utilisateur, ex. nombre de zones



Résultats des simulations

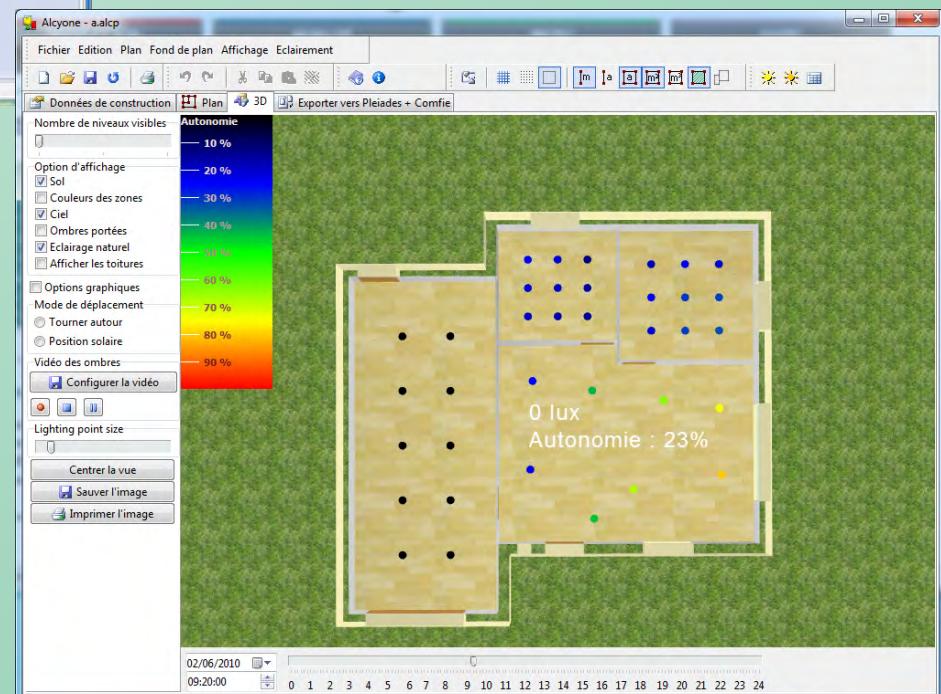
	1 zone	3 zones (par étage)	3 zones (par appart)	9 zones
Besoins de chauffage kWh/m ² /an	17	19	17	19

Chaînage à un calcul d'éclairage (Paclight puis Radiance)

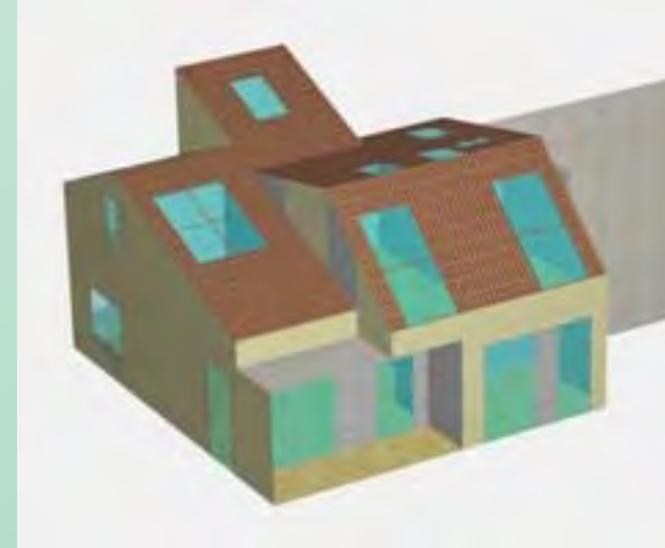


- ▶ **Mailleur automatique**
- ▶ **Entrées radiance**
- ▶ **Choix des paramètres
(nombre de rebonds...)**

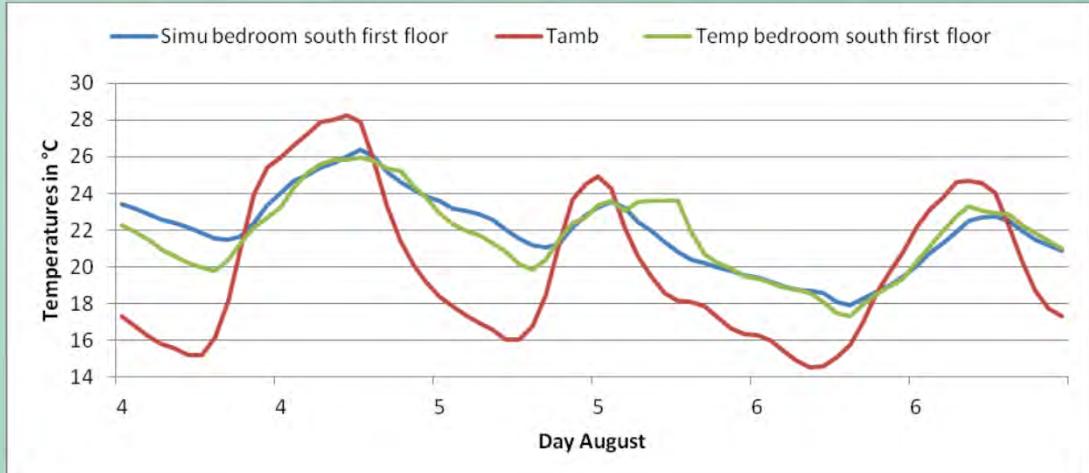
**Sorties radiance ->
Besoins éclairage
artificiel
-> apports internes**



Simulation aéraulique, modèle similaire à CONTAM



**Mesures sur une maison
à Verrières (VELUX)
Comparaison des débits
et des températures
calculés et mesurés**

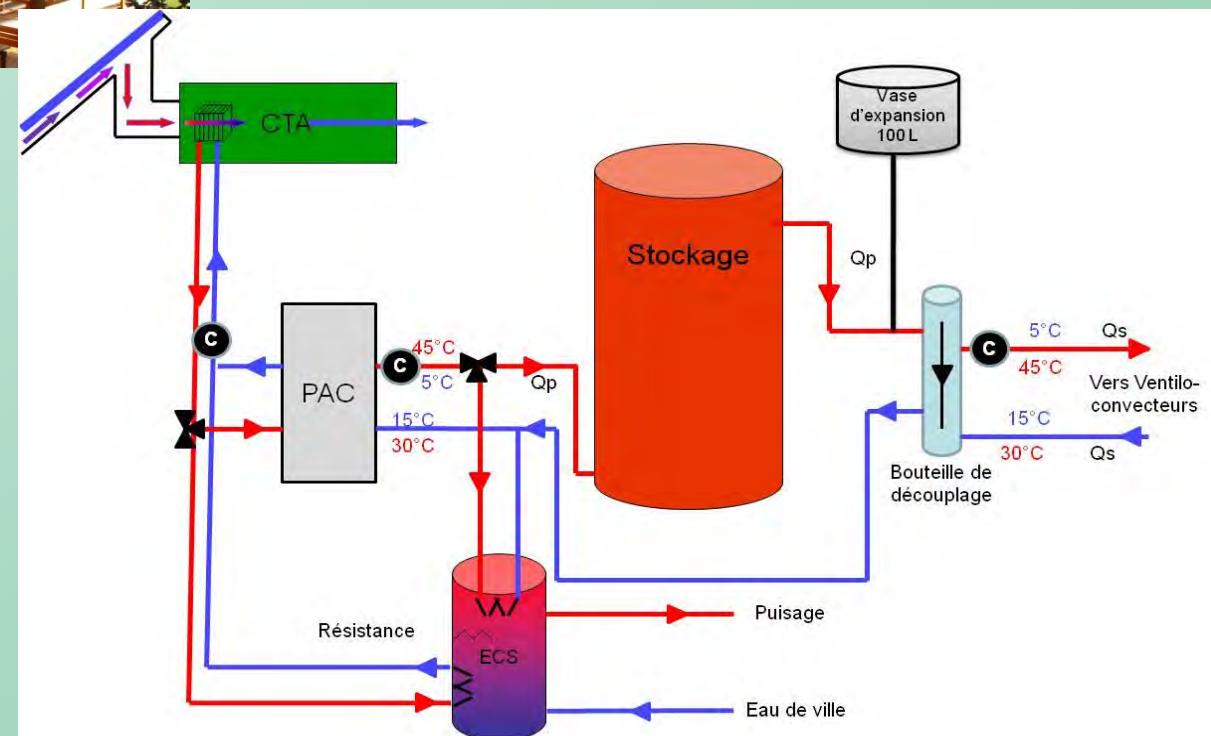


Bâtiments à énergie positive



Maison ZEN 2 à Chambéry
70 m² de modules PV
PAC 6 kW

**Étude couplage
PAC + PV via
un stockage
Régulation**



Echangeurs air / sol (« puits canadiens »)

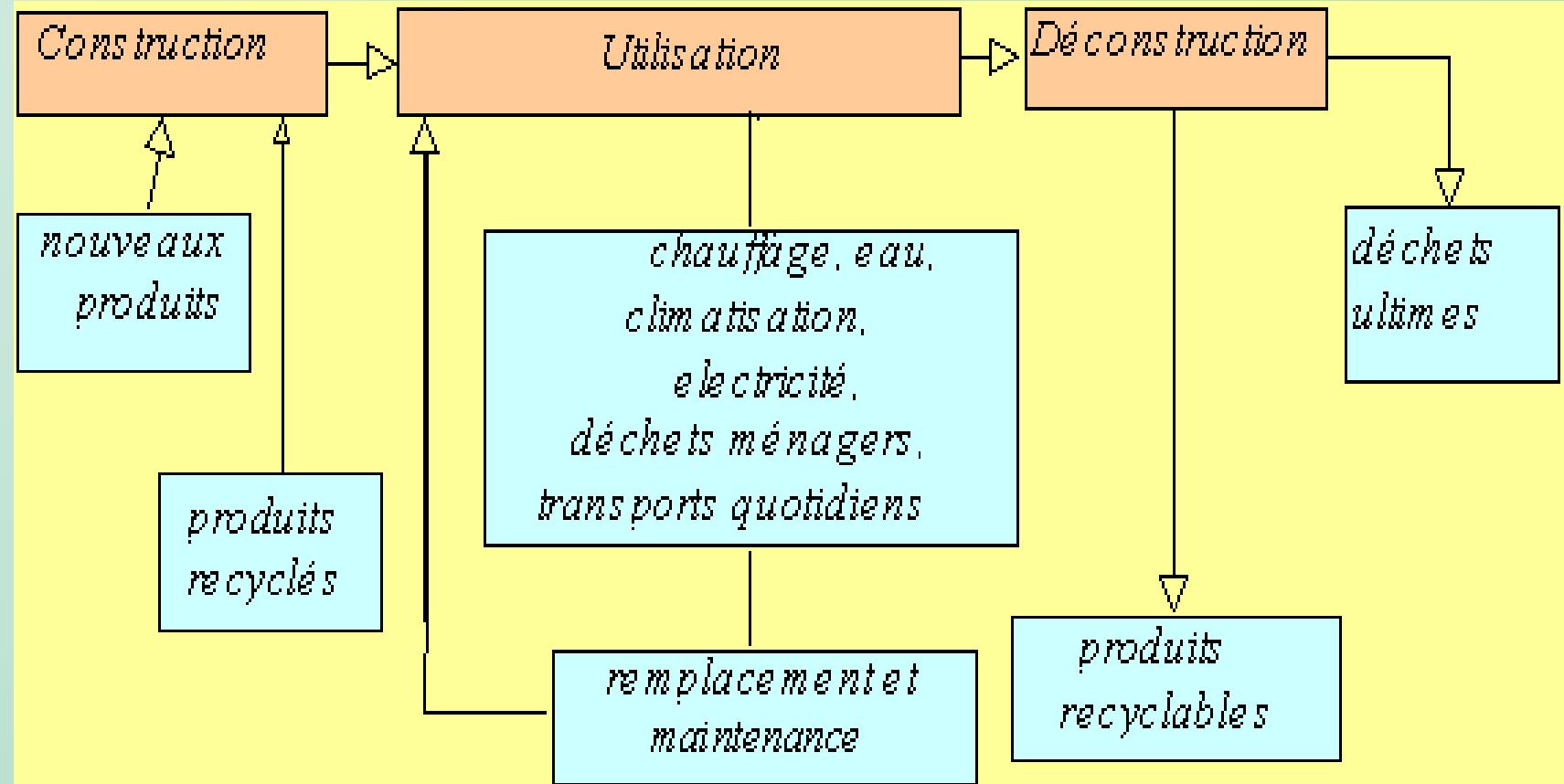


**8 tubes de 40 m de long
à 1,6 m de profondeur
0,9 (hiver) à 1,5 (été) vol/h
150 -> 30 degrés jours
d'inconfort (base 24°C)**

**Maison de retraite à
Presles (95), 2004
Salle de 240 m²**



Simulation du cycle de vie, exemple : EQUER



Simulation par pas de temps d'un an

Extension de l'ACV à l'échelle du quartier

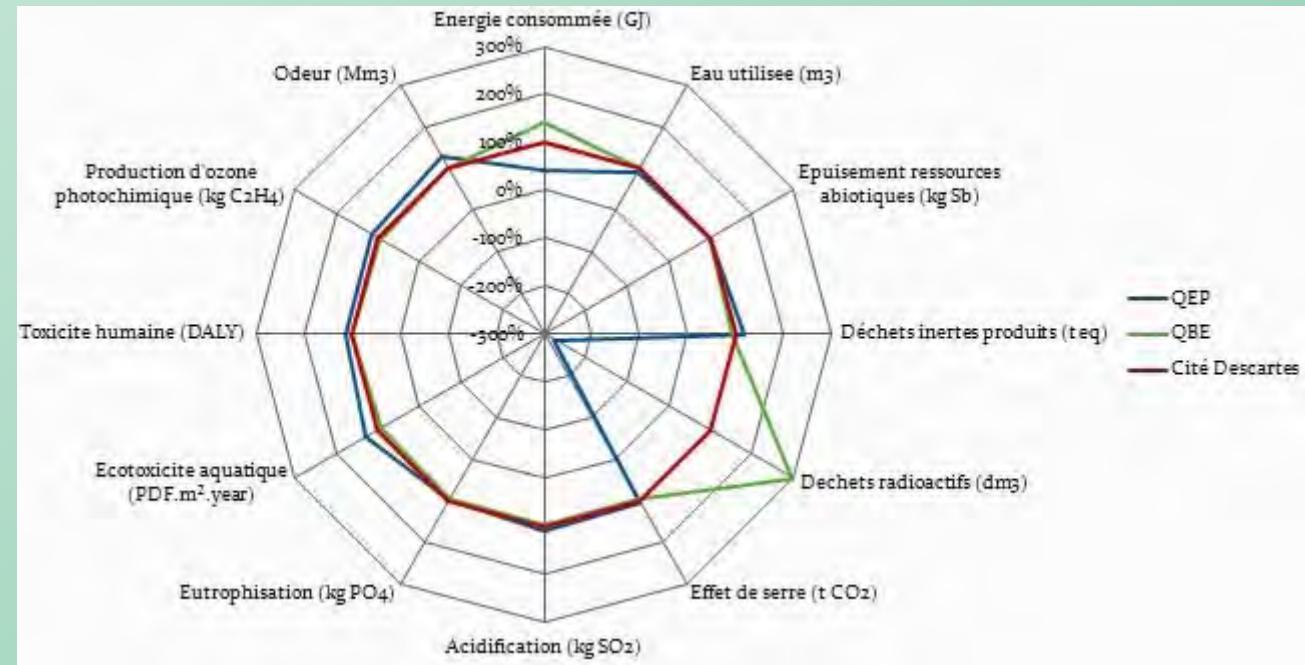
► Énergie >0



Basse énergie



Cité Descartes

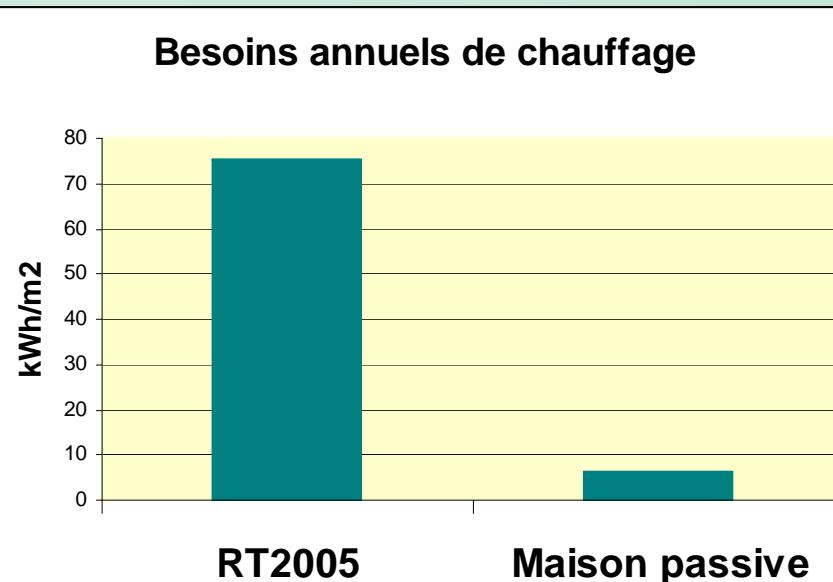


Exemple d'application : Formerie (Oise)



2 maisons passives, Oise, 2 x 135 m²
Entreprise Les Airelles
En Act Architecture

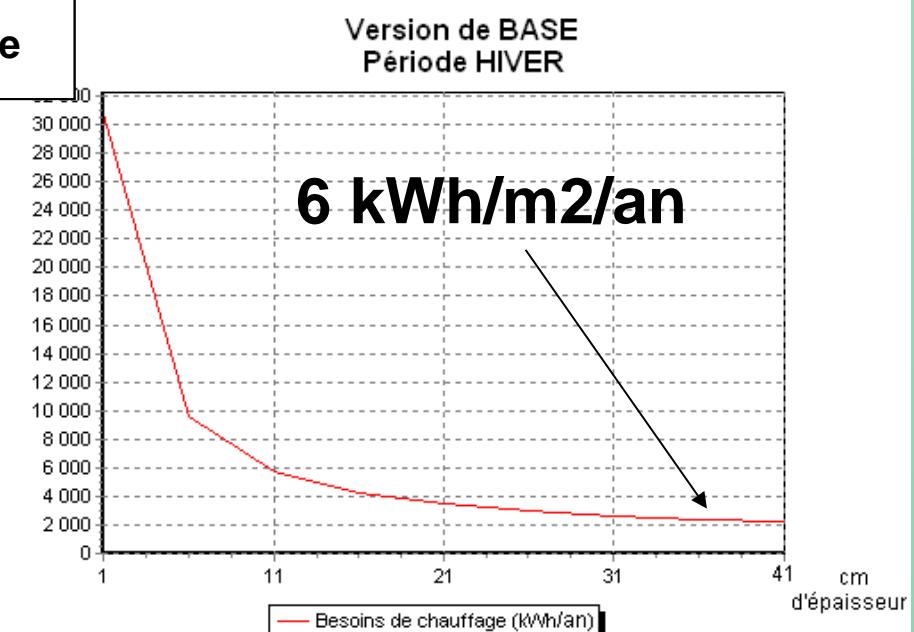
Résultats des simulations, hiver



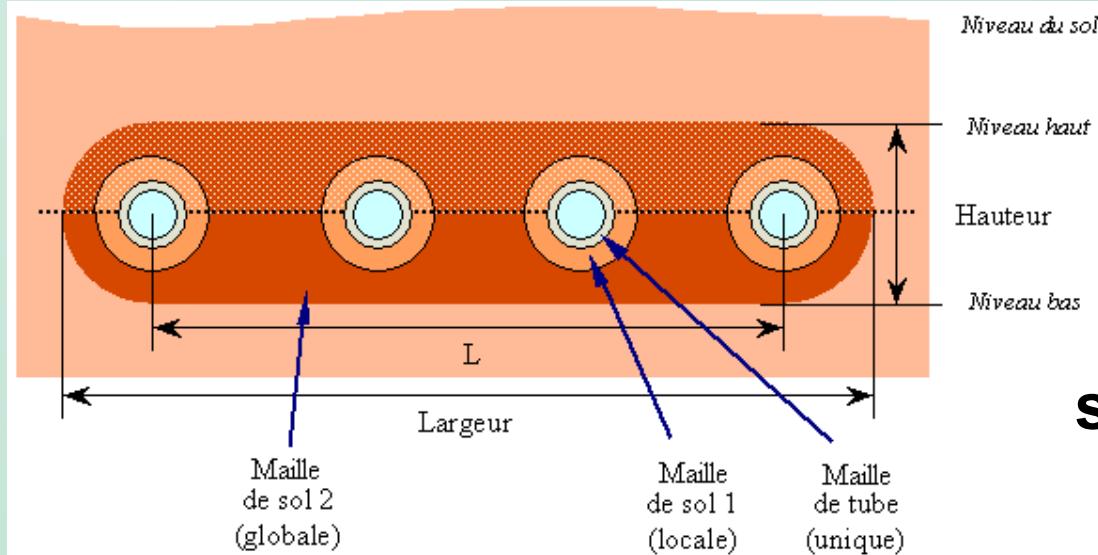
Variation des besoins de chauffage en fonction de l'épaisseur d'isolation

Comparaison à la référence RT2005 avec la même géométrie

Chauffage à 19°C



Résultats des simulations, été (canicule 2003)

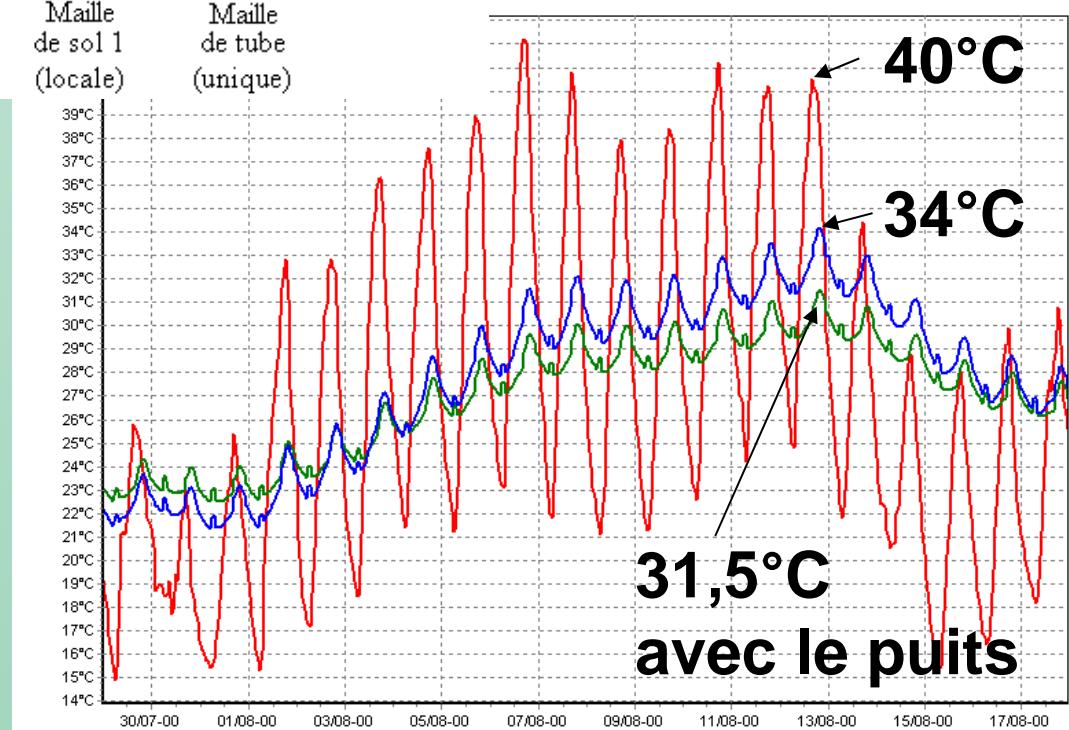


Températures en période caniculaire, degrés-jours >27°C divisés par 2 avec le puits canadien

**Climatisation :
2,5 kWh/m²**

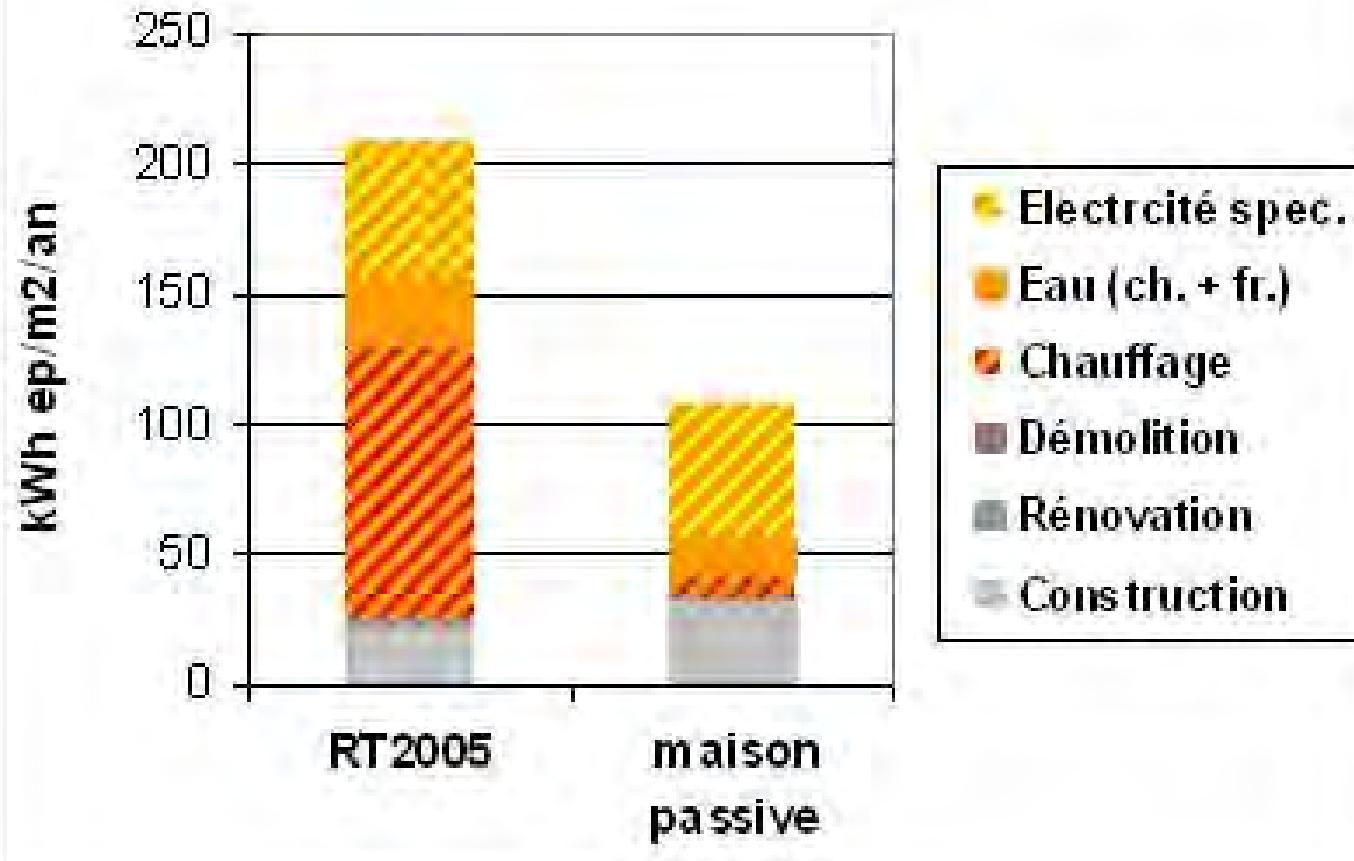
Modélisation du puits canadien

sans climatisation :



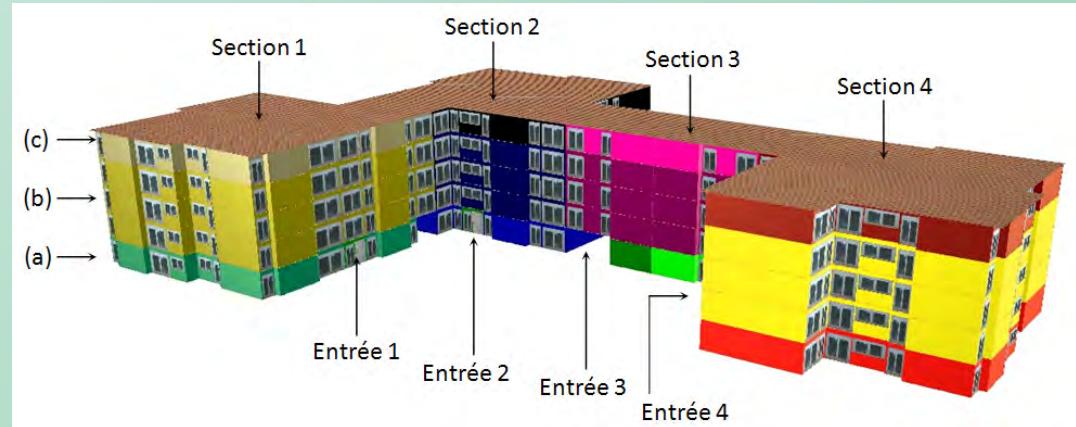
Contribution de l'énergie « grise » au bilan global

Contribution de l'énergie grise au
bilan global (logiciel EQUER)



Exemple en réhabilitation (projet FBE CIBLE)

- ▶ Parc OSICA, Barre « Les Cinéastes », Epinay sous Sénart (91) et tour « La Renardière », Roissy en Brie (77)



Consommations (kWh/m ² _{SHAB})				
	Factures (après pondération)		Calculs (après correction aux DJU 2008)	
	2007	2008	RT	Comfie
Barre (typologie 4)	110	115	196	132
Tour (typologie 1)	100	105	129	87

**Comparaison
avant
calibrage**

Principaux manques de connaissances

- ▶ Aéraulique : conditions aux limites
- Débit = $f(\Delta P)$, P au niveau des façades ?
- ▶ Transferts de masse (humidité et polluants) : temps de calcul
- ▶ Éclairage : aspects comportementaux
- ▶ Incertitudes : temps de calcul
- ▶ Aide à la conception : méthodes inverses

Cahier des charges pour améliorer les outils

► Améliorer la fiabilité

- Statique -> dynamique, Mono -> multi-zones, Thermique -> multi-physique

► Évaluer les incertitudes

► Améliorer la convivialité

- Temps de calcul (réduction de modèle), Interface utilisateurs

► Étendre les fonctionnalités

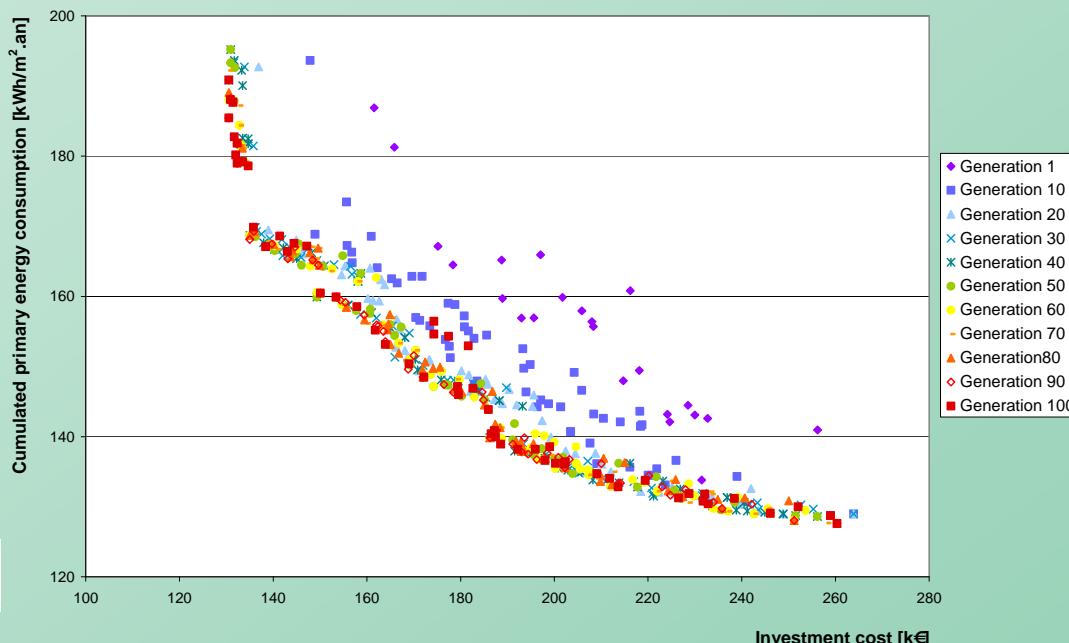
- indicateurs (santé, biodiversité), nouvelles technologies, échelle (quartier, ville), optimisation (conception ou gestion)

► Chaînage entre différents outils

- Ex. COMFIE -> TRNSYS

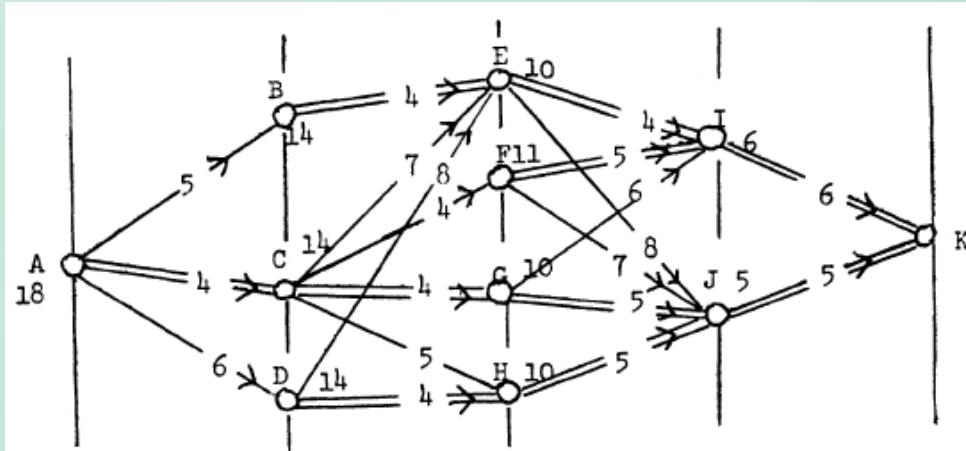
Optimisation, algorithmes génétiques

- ▶ Réhabilitation d'un parc de bâtiments
- ▶ 2 Chromosomes : 1 mesures (gènes = isolation, vitrage, ventilation, équipement), 2 phases (5ans, 10 ans...)
- ▶ Population de départ, calcul performances (chauffage, coût, DH inconfort), croisements -> nouvelle population, sélection des meilleurs individus -> 100 générations, front de Pareto



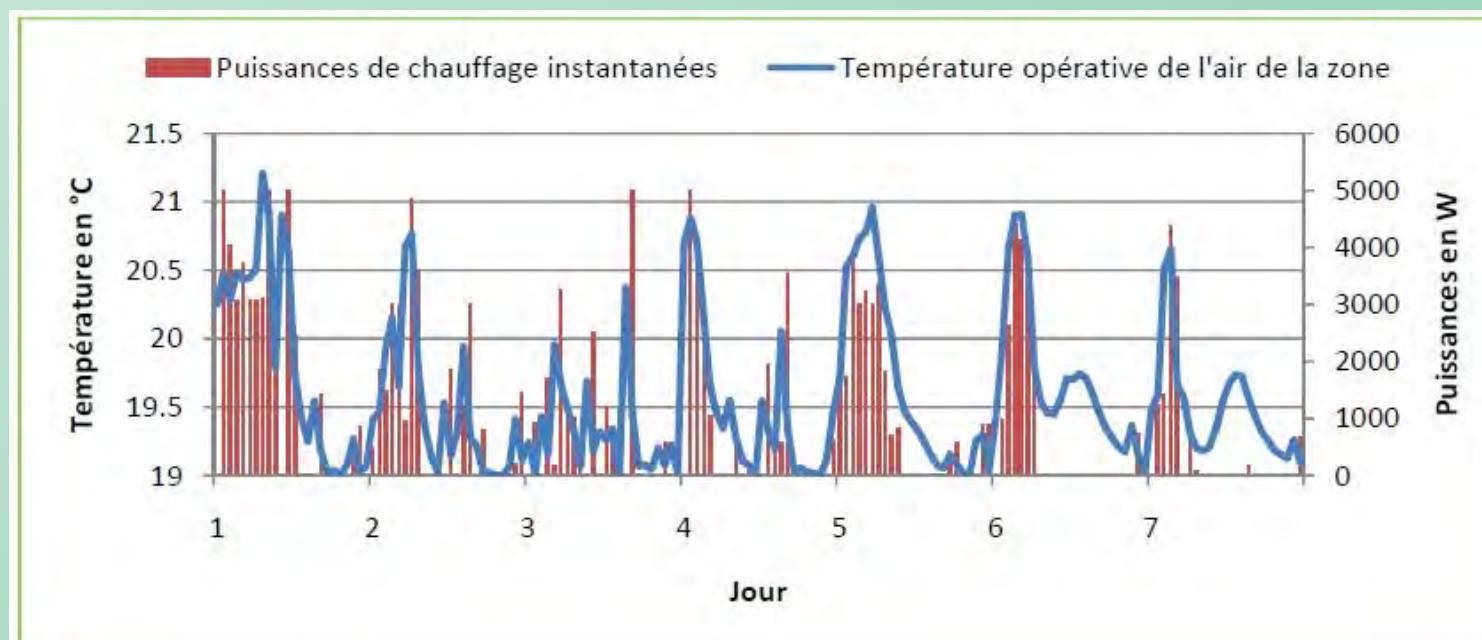
Actions sur les pointeurs de la structure objets puis lancement de chaque simulation

Régulation par programmation dynamique

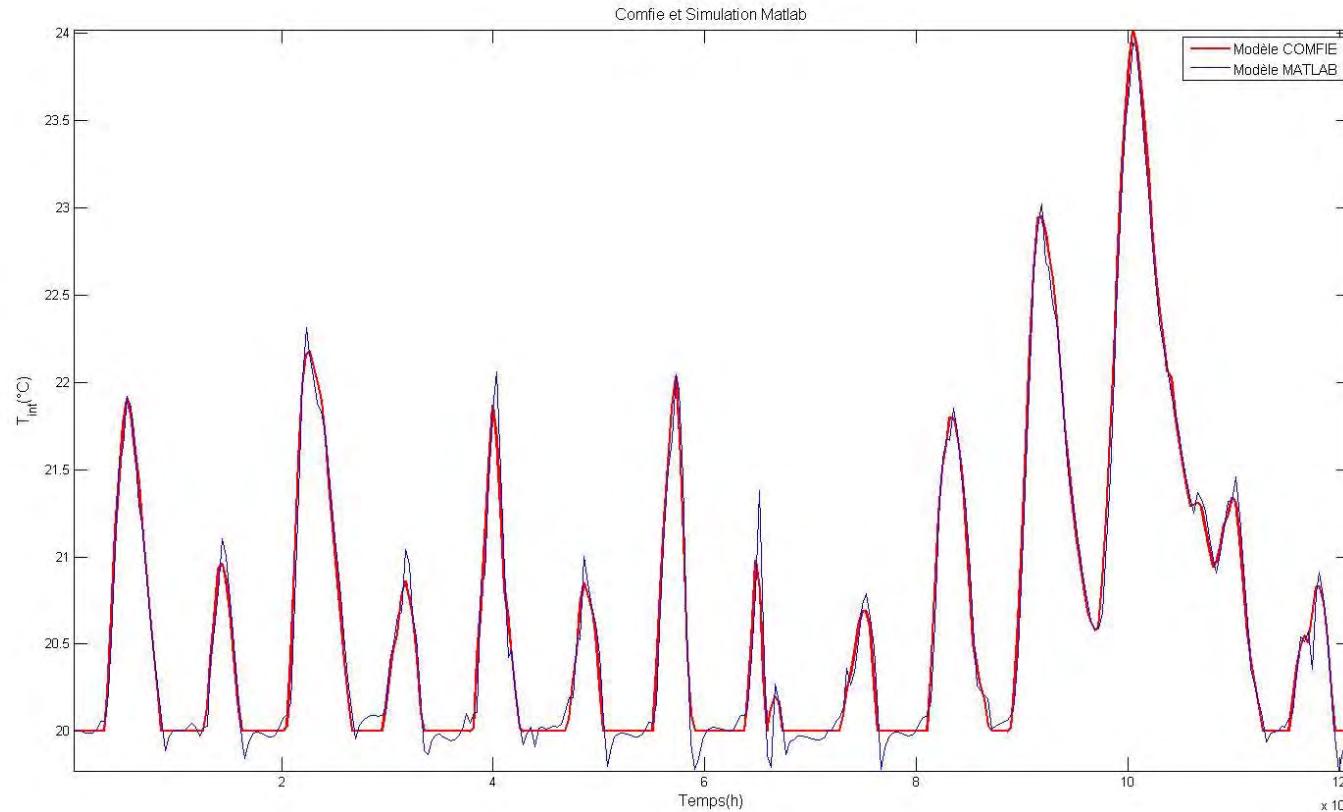


Équation de Bellman

Exemple : effacement des pointes



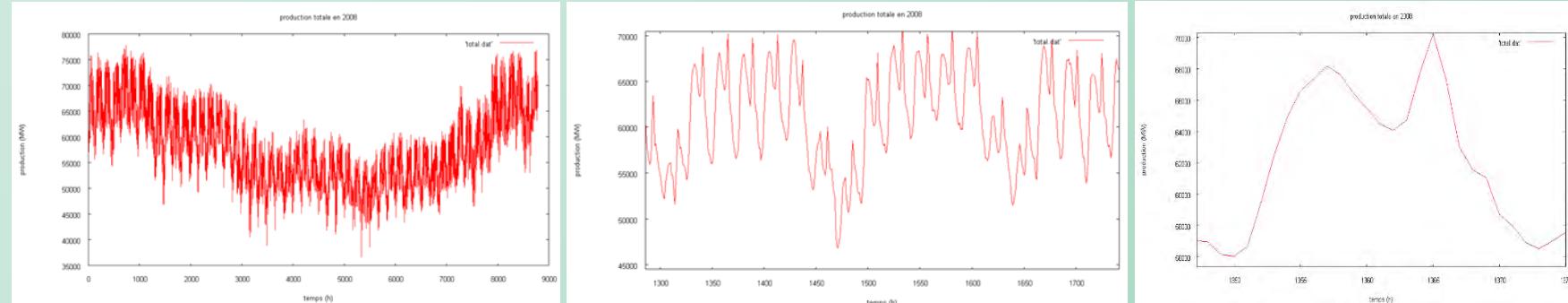
Identification de modèles, diagnostic



**Comparaison modèle identifié par Matlab
et profil initial**

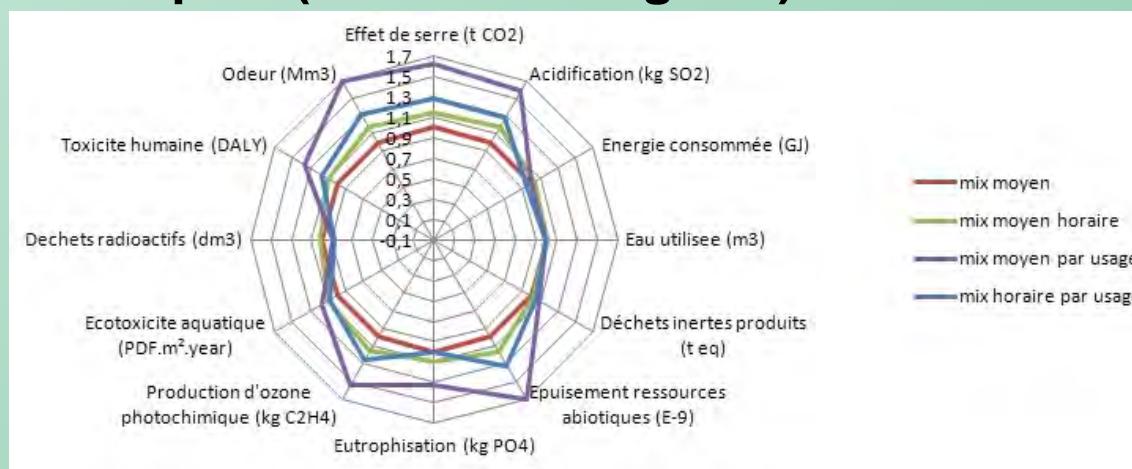
ACV dynamique, modélisation du mix électrique

Données RTE -> modèle de mix selon θ , jour, heure



Imports, hypothèses sur la production

Allocation des impacts par usage : base -> ecs, variation saisonnière -> chauffage et climatisation, variation hebdomadaire -> usages professionnels (bureautique...), variation journalière -> usages domestiques (électro-ménager...)



Conclusions

- ▶ **Outils opérationnels, adaptés aux pratiques professionnelles (BET, Architectes...)**
- ▶ **Ex. COMFIE 2500 licences actives, formations**
- ▶ **Chaînage avec l'analyse de cycle de vie (évaluation des impacts environnementaux), logiciel EQUER**
- ▶ **Limites (espaces stratifiés, équipements) et perspectives d'amélioration, en cours d'intégration : solaire thermique, PACs, aéraulique**

Perspectives

- ▶ Projets ANR Fiabilité et Précision
- ▶ Garantie de performance (études de sensibilité et propagation d'incertitudes)
- ▶ Modélisation des occupants et influence sur la conception des bâtiments
- ▶ ACV des équipements
- ▶ Réduction des pointes sur un parc de bâtiments
- ▶ Liens avec les transports (ENPC) et la biodiversité (Agro)

Continuer le processus d'innovation

Connaissances K	Concepts C
Analyse de cycle de vie	Bâtiment à faible impact
ACV des quartiers	Eco-quartier
ACV dynamique	Production et consommation d'électricité au moment adéquat (smart city)
ACV conséquentielle	Interactions avec les autres secteurs
?	?

▶ Dialogue recherche/terrain -> créativité

Merci de votre attention



Fiabilité des outils de STD

Laurent Mora – I2M

Journée ICO – BS2013

27/08/2013

IBPSA – ICO – INES



IBPSA

International Building Performance Simulation Association



- **9h – 10h** : « From Mickey mouse to building simulation » par Donald Greenberg
- **10h30 – 11h30** Table ronde BE pratiquant PLANAIR, ADRET, ETAMINE, ITF
 - Vision globale
 - Passer du couteau Suisse du bureau d'étude qu'est le tableur à l'outil dynamique au sens large
 - Nécessité de compétence interne pour les approches physiques permettant d'exploiter la simulation
- **11h30 – 12h** Fiabilité de la simulation Bruno Peuportier : La méthode et le dynamique (récurivité, base temps, ...)
- **12h – 12h 30** Monter un projet de simulation Laurent MORA IBPSA

- **Pause repas**
- **14h – 14h30** Introduction des activités INES, Technolac, Formation
- **14h 30 – 15 h 30** Par l'exemple, la nécessité du calcul dynamique pour les projets performants
 - Projet Cognin de réseau de chaleur solaire : Cédric Paulus & Bruno Georges
 - Le centre administratif du CHU de Poitier, Bruno Georges
 - Prairie au Duc, île de Nantes. îlot mixte résidentiel tertiaire de 24 000 m², Bruno Georges
- **15 h30 – 16h** Intégration multi-physiques par simulation Adrien Jezequel
 - Dans les notions de « multi-physique » et/ou transversalité
 - Dans l'évaluation des impacts qualité d'air, éclairage, transferts aérauliques, ...
- **16h - 16h30** « Passer à l'acte » avec fiabilité Bruno Georges
 - La formation,
 - Monter un projet de simulation Insister sur « quelle est la question ?»

Fiche projet

■ **Fiabilité des modèles et de la simulation des performances énergétiques des bâtiments**

■ **10 Partenaires : I2M, CEA INES, Armines, G2ELAB, G-SCOP, EDF R&D, CSTB, LOCIE, PIMENT, CETHIL**

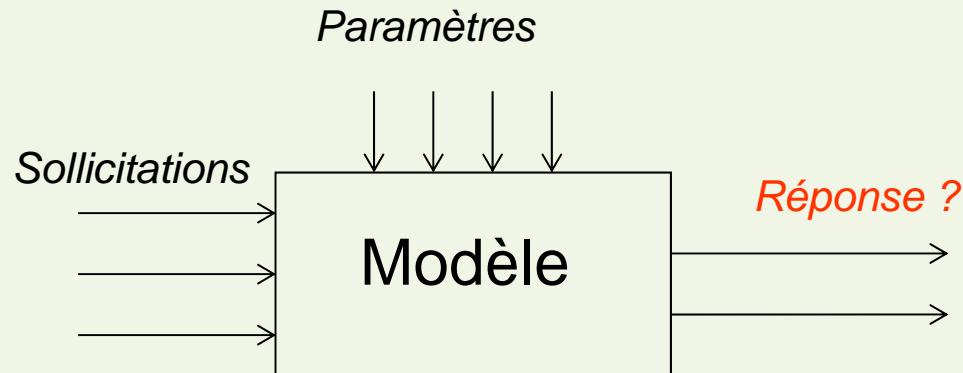
- Date de début du projet : 01/01/2011
- Durée : 4 ans



Contexte

- **Usage intensif de la simulation dynamique pour l'aide à la conception ou la rénovation énergétique des bâtiments à très basse consommation**
- **Comment qualifier la justesse et la fidélité des résultats ?**
- **2 questions abordées dans le projet :**
 - Les modèles représentent-ils de manière fidèle le comportement de bâtiments à basse consommation ?
 - Comment quantifier les incertitudes sur les résultats de simulation ?
- **Une question à ne pas négliger : l'utilité d'un modèle ?**

Caractériser la fiabilité, c'est avant tout...



- Valider les modèles au moyen de plateformes expérimentales
- Rendre compte des incertitudes liées aux entrées (paramètres/sollicitations) sur les prévisions

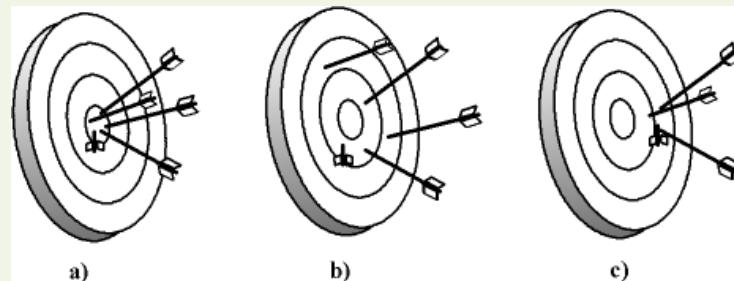
Les objectifs du projet

- **Identifier, classer et évaluer des sources de biais et d'incertitude dans les simulations**
 - Revisiter les hypothèses de modélisation communément admises dans le contexte de bâtiments à faibles consommations (cas tests numériques, expérimentation), caractérisation des incertitudes sur les données d'entrée
- **Quantifier les incertitudes sur la réponse simulée**
 - Explorer des méthodes de propagation d'incertitude et d'analyse de sensibilité
- **Valider les modèles au moyen de plateformes expérimentales**
 - Développer une méthodologie de comparaison entre prévisions et mesures
- **Valoriser et disséminer les résultats**
 - Rendre les méthodes développées dans le projet accessibles à des bureaux d'études

1. Identification, classement et évaluation des sources de biais et d'incertitude dans les simulations

■ Objectifs :

- Sources de biais (hypothèses de modélisations)
 - Présentation structurée des sources de biais dans les modèles
 - Les caractériser et les évaluer au moyens de cas tests numériques
- Incertitudes aléatoires et subjectives
 - Incertitudes sur les mesures (dispositifs expérimentaux)
 - Incertitudes sur les données de simulation

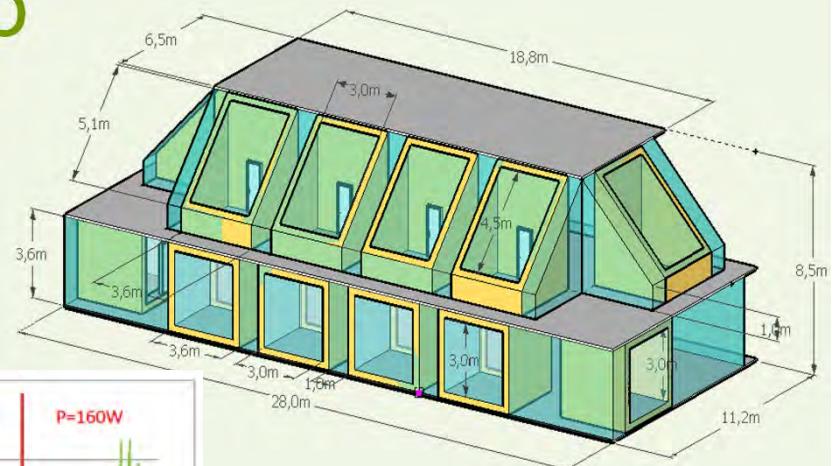


1. Les hypothèses revisitées

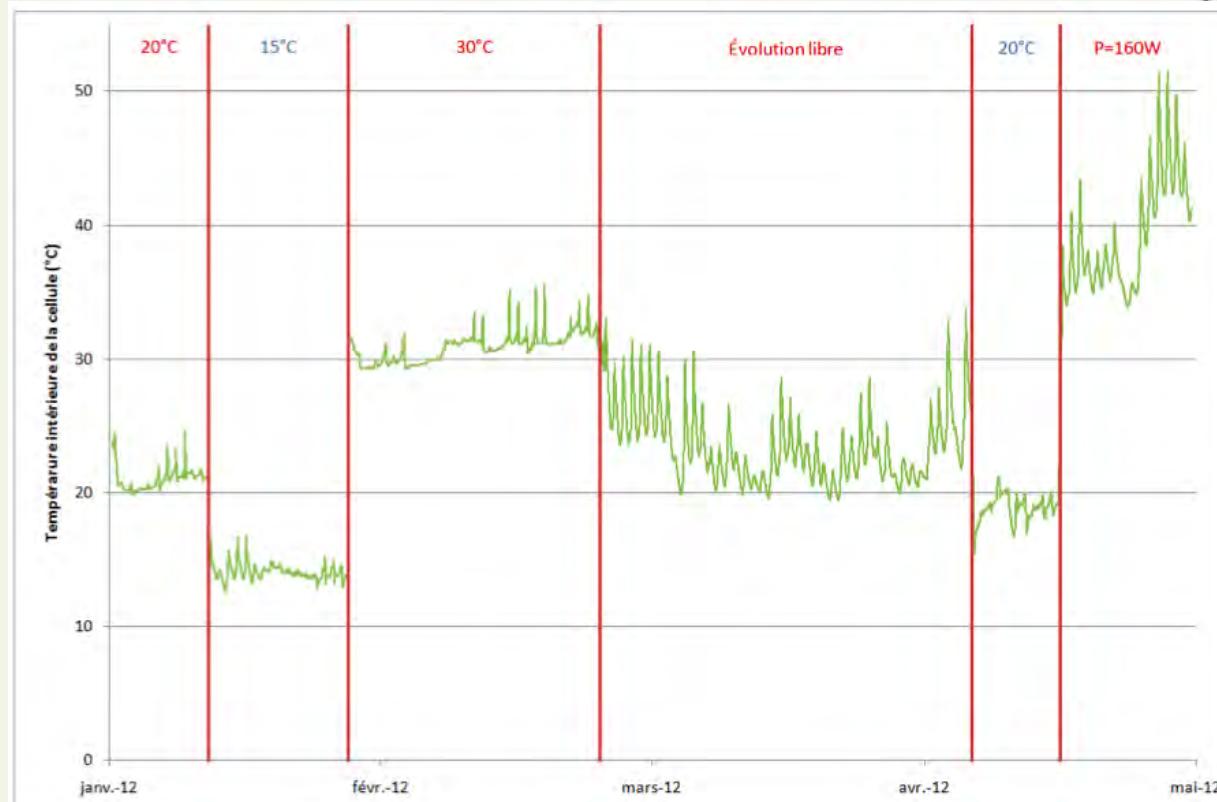
- Effets 2D/3D des transferts de chaleur
- Découpage en Zones thermiques
- Les échanges convectifs et radiatifs
- La présence d'humidité
- Dynamique des systèmes
- Fichier météo, impact du pas de temps
- ...

Exemple d'étude sur l'impact du pas de temps des données météo

- Cas étudié cellule Ouest de la plateforme BESTLAB (EDF)



Bestlab, EDF

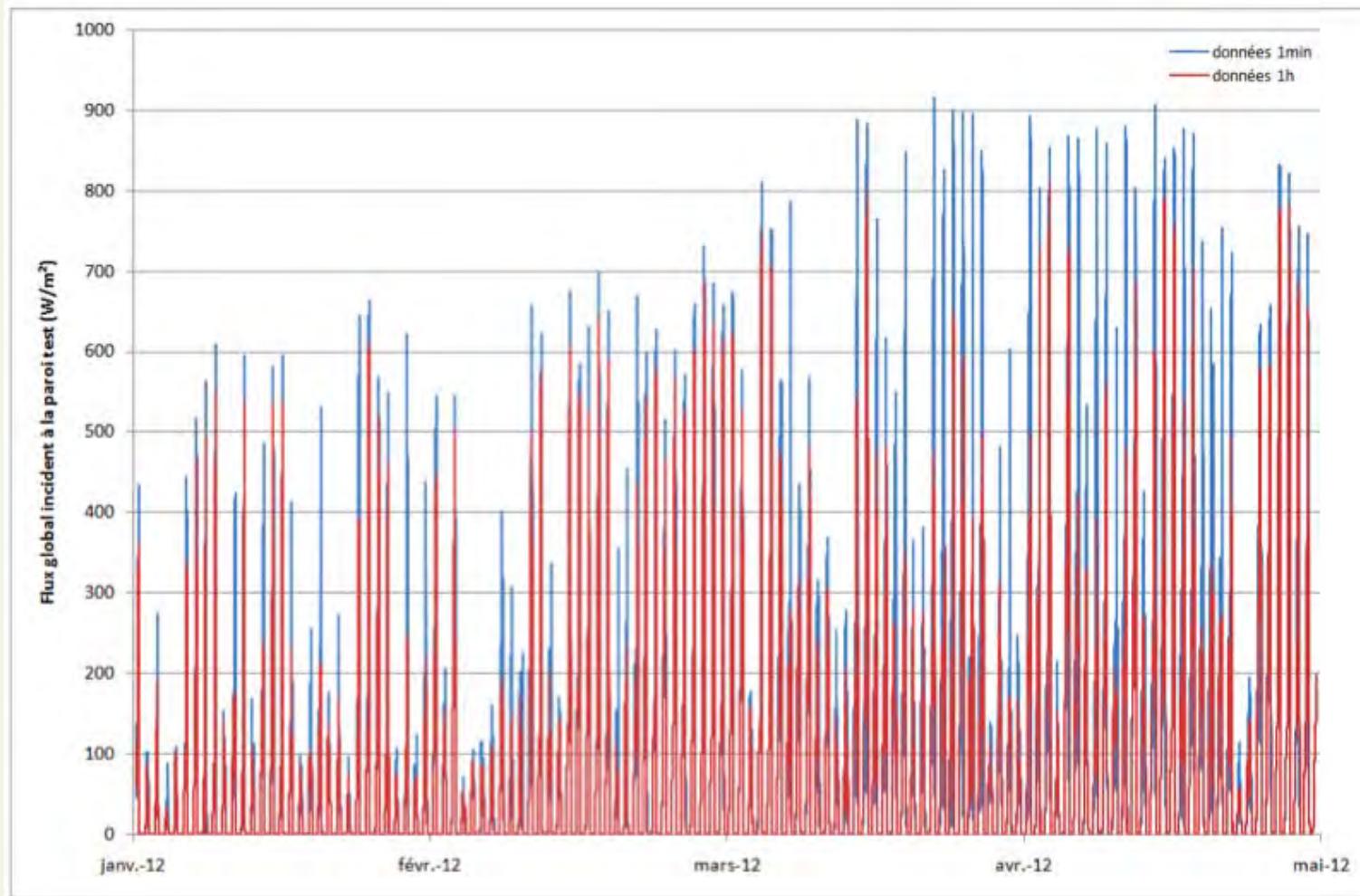


Séquence étudiée
(5 mois)

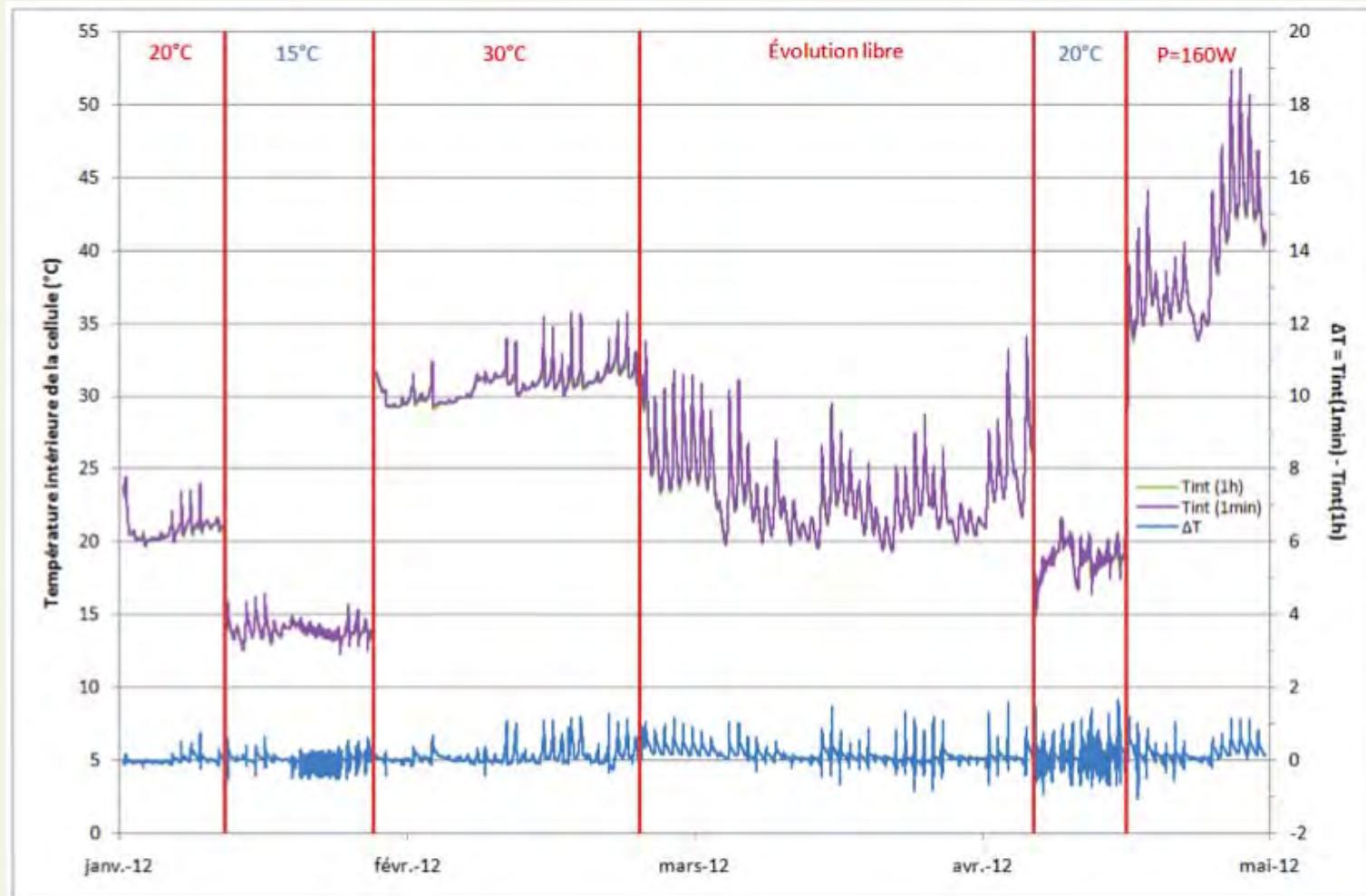
Démarche

- Les données utilisées pour réaliser les simulations (météo et conditions aux limites), sont restituées avec plusieurs pas de temps : 1 min, 10 min et 1 h. L'acquisition se faisant toutes les minutes.
- Habituellement, pas d'1 h nécessitant moins de temps de calcul.
- Comparaison des résultats de simulation à partir des données 1 min et des données 1 h pour voir les écarts existants.
- On s'intéresse particulièrement au flux solaire car son intensité peut varier rapidement dans le temps et a un grand impact sur la température intérieure.

Les données : flux global incident à la paroi

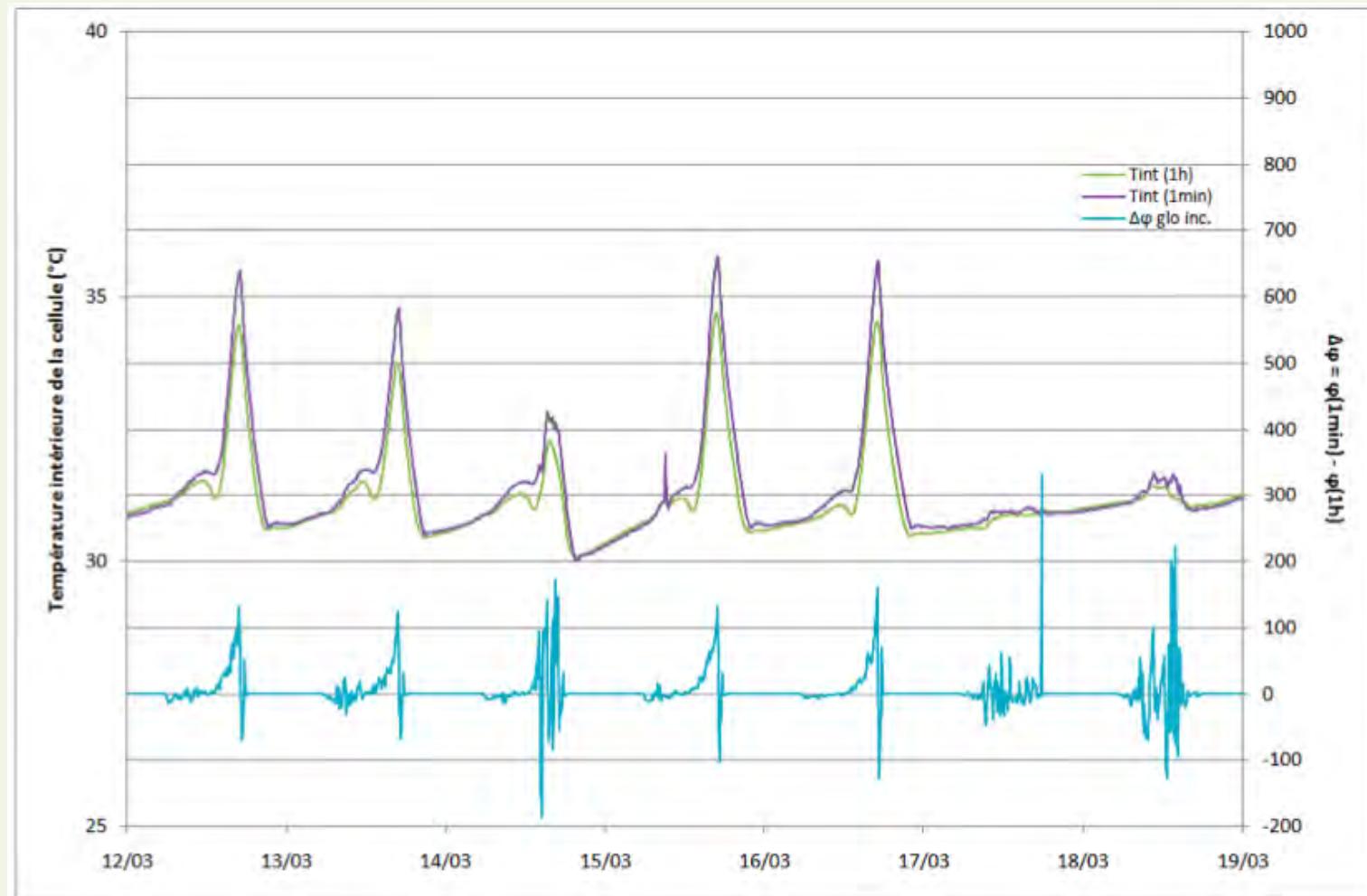


Prévisions de température sur la séquence



ΔT moyen de $0,12^{\circ}\text{ C}$

Zoom sur une semaine



$\Delta T > 1^{\circ}\text{ C}$ en évolution libre

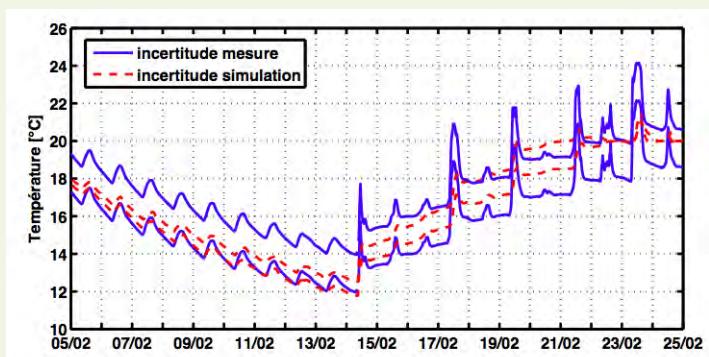
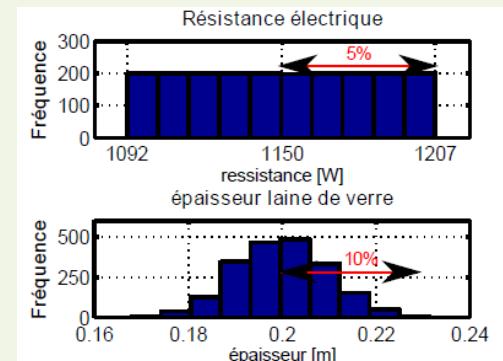
2. Incertitude sur la réponse simulée

■ Objectifs :

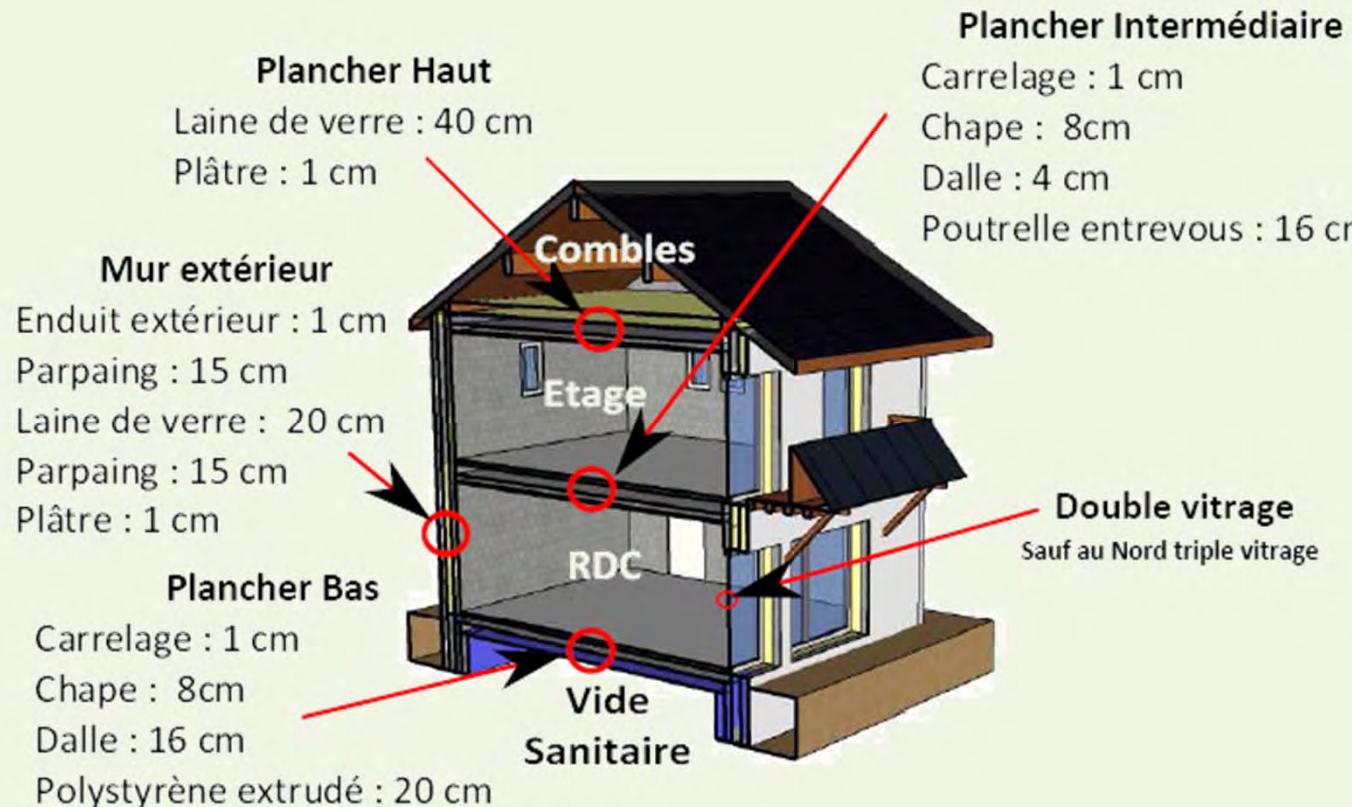
- Quantifier les incertitudes sur les résultats de simulation
- Identifier les paramètres/sollicitations les plus influents sur les résultats
- Caractériser le potentiel des méthodes en fonction de la nature du modèle, des incertitudes, etc.

■ Méthodes :

- Approche ensembliste : analyse par intervalles
- Approches probabilistes
- Optimisation multicritères
- ...



Présentation du cas test étudié



Scénario: Une famille de 4 personnes ayant des appareils économies en énergie

Identification des paramètres incertains

■ 140 paramètres :

- La conductivité, l'épaisseur, la chaleur spécifique et la masse volumique des matériaux opaques
- L'absorptivité et l'émissivité pour les enduits intérieurs et extérieurs
- Les caractéristiques du vitrage pour les matériaux translucides
- Les caractéristiques des volets
- La résistance thermique de la porte d'entrée
- L'albédo
- Le débit de ventilation sa répartition entre les 2 zones (RDC et étage)
- Le débit d'infiltration
- Les coefficients de convection

Calcul des incertitudes et des indices de sensibilité globale

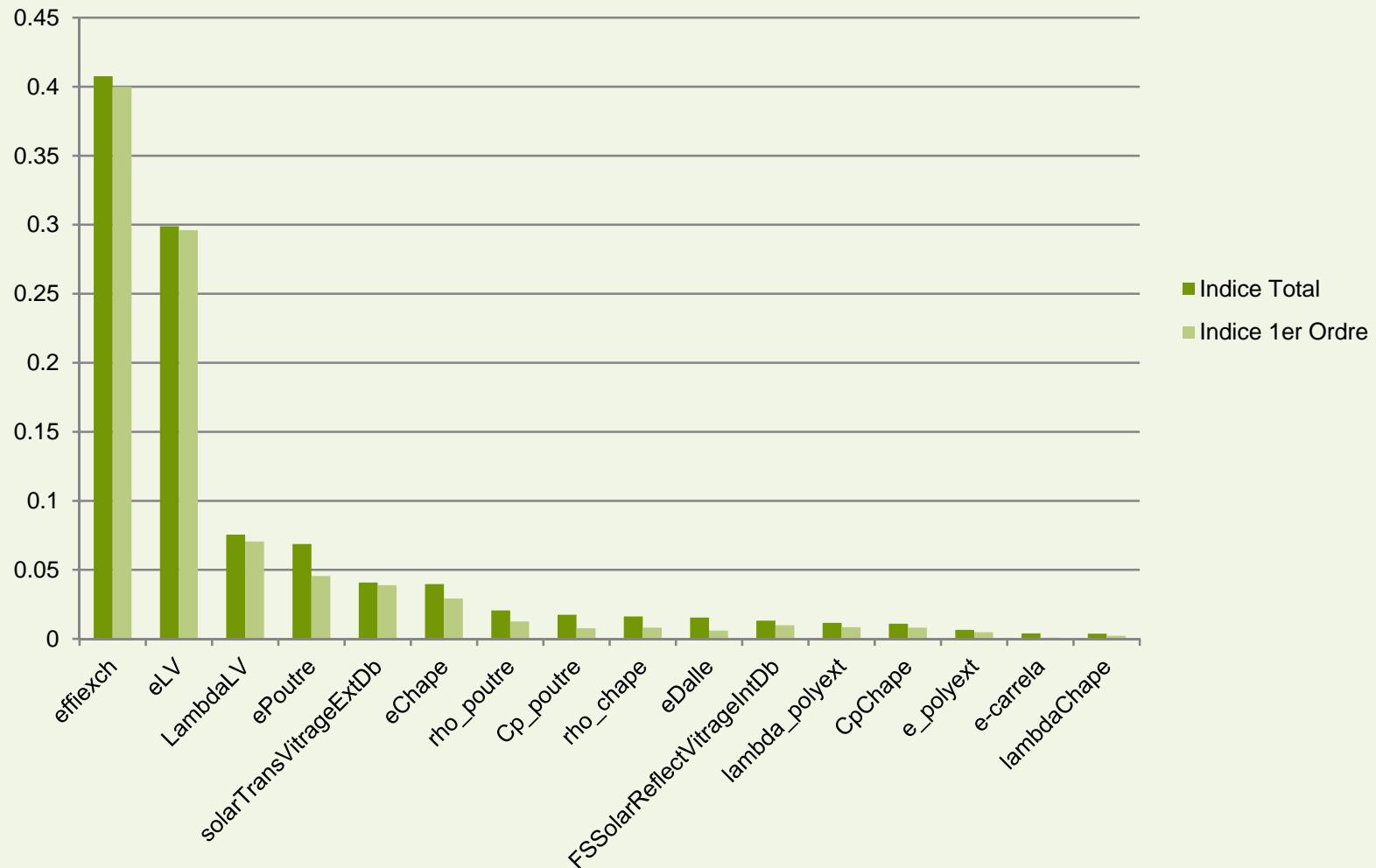
- Construction d'un méta-modèle à base de polynômes de chaos (OpenTURNS)



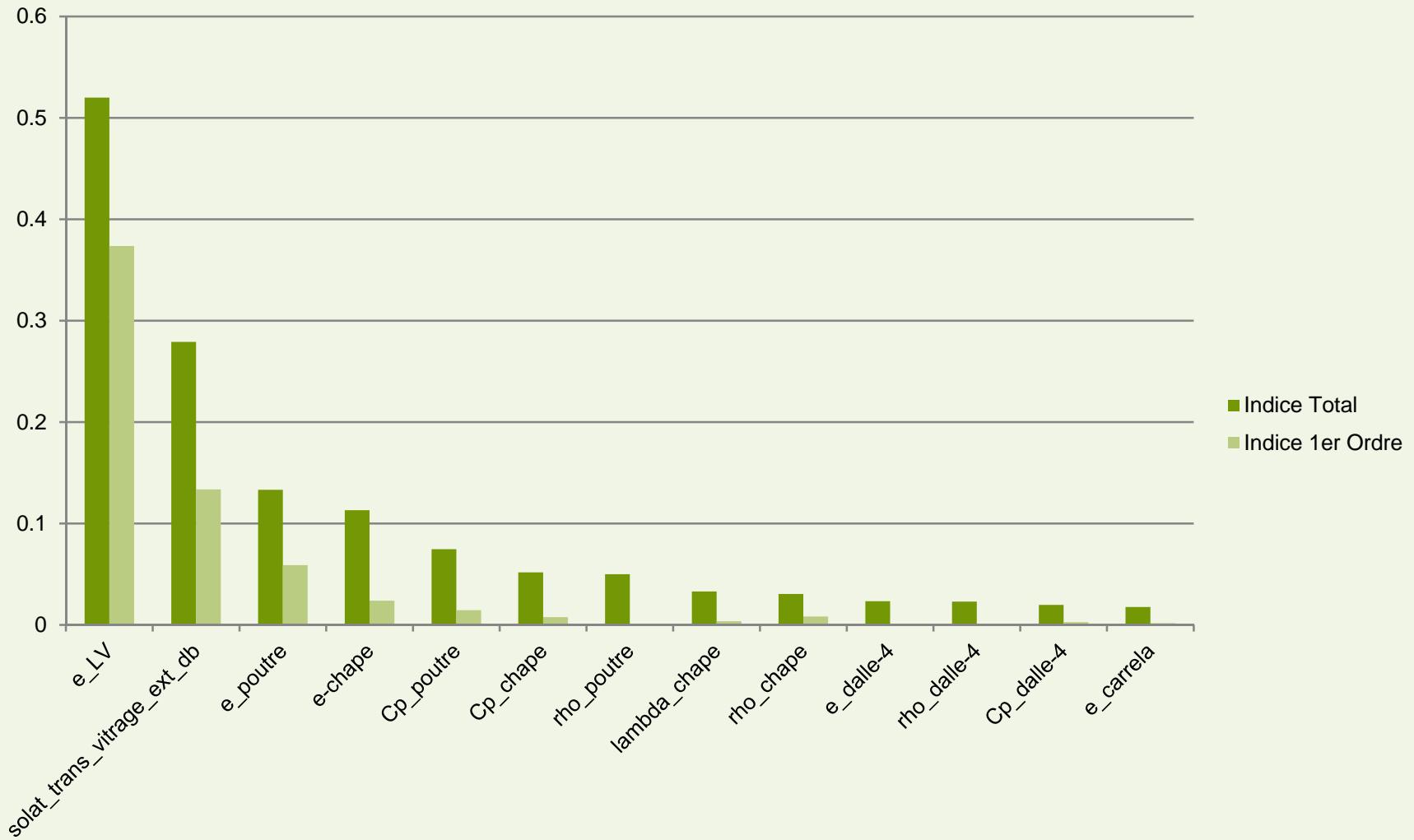
- Besoins en chauffage :
 - $10 \pm 20\% [\text{KWh}/(\text{m}^2.\text{an})]$
- Inconfort d'été (nb h > 27° C)
 - $90 \pm 15\% [\text{h}]$



Indices de sensibilité – Besoins en chauffage



Indices de sensibilité – Inconfort d'été



Travail en cours

- **Caractériser le potentiel des méthodes de propagation au regard de la nature :**
 - Des modèles (complexité, taille, disponibilité, ...)
 - Des incertitudes
- **Rendre ces méthodes accessibles aux bureaux d'études**

3. Validation expérimentale de modèles

- **Conception et réalisation des expériences**

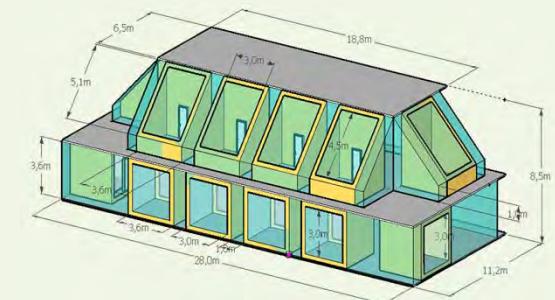
- Qualification des mesures au moyen du modèle

- **Analyse de la validité des modèles**

- **Cohérence entre mesures et simulations**

- Quantification des incertitudes
 - Analyse des écarts

- **Diagnostic des modèles**



Bestlab, EDF

INCAS, CEA



Cohérence prévisions / mesures

- Qualification des données expérimentales réalisées
- De nouvelles séries de mesures en cours et en préparation (évolution libre estivale)
- Comparaisons prévisions/mesures : un exemple sur BESTLAB

Cellule BESTLAB

Echelon de puissance sur la cellule RDC S2 de BESTLab

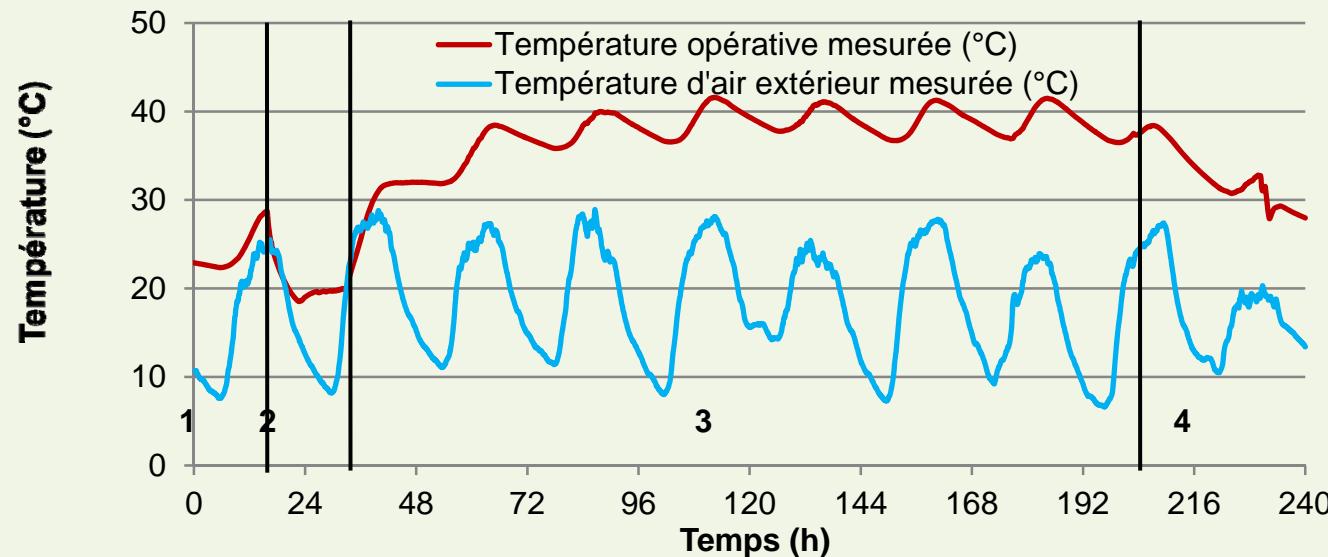
- Cellule vitrée
- Orientation : Sud
- Dimensions de la cellule :
 - ✓ Profondeur : 2,98 m
 - ✓ Largeur : 2,89 m
 - ✓ Hauteur : 2,84 m
- Zone de garde tout autour de la cellule



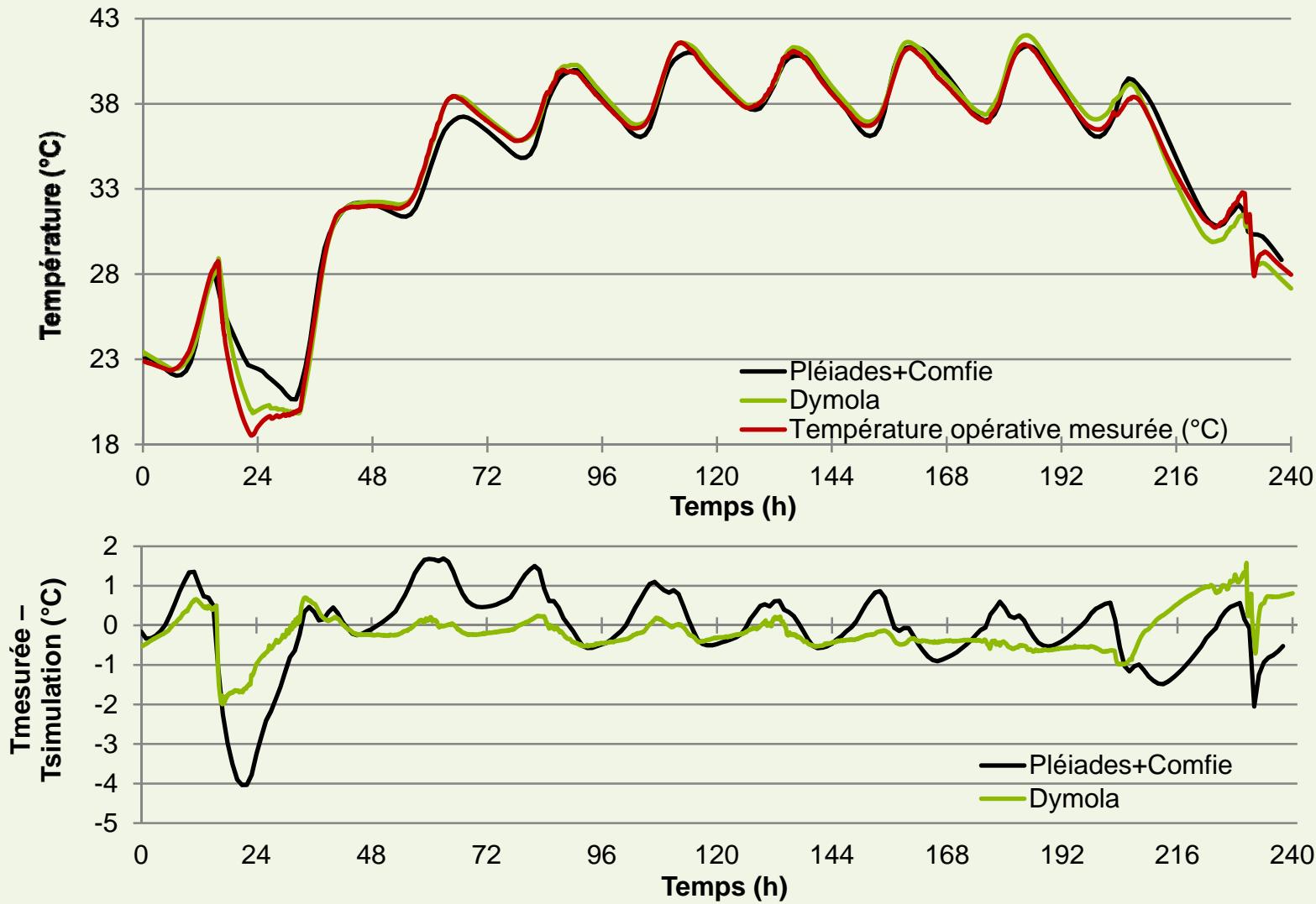
Les conditions d'expérience

Echelon de puissance sur la cellule RDC S2 de BESTLab

1. Evolution libre sur 17h avec une puissance de ventilation de 27 W
2. Consigne de refroidissement à 20° C sur 17h avec $P_{vent} = 27$ W
3. Echelon de puissance sur 7 jours : $P = P_{vent} + P_{chauffage} = 171$ W
4. Evolution libre avec $P_{vent} = 27$ W



Comparaison Mesures/Simulations



Prudence...

- **Incertitudes associées aux résultats significatives**
- **Simulation d'un objet très simplifié**
 - Un usage idéalisé et pré-défini
 - Pas d'interaction de l'occupant avec son environnement
 - Les systèmes mal connus
 - ...
- **La responsabilité du modélisateur**
 - Transformation des données
 - Hypothèses : zonage, choix des modèles
- **Des sollicitations inconnues à long terme**

Merci pour votre attention et bon appétit !

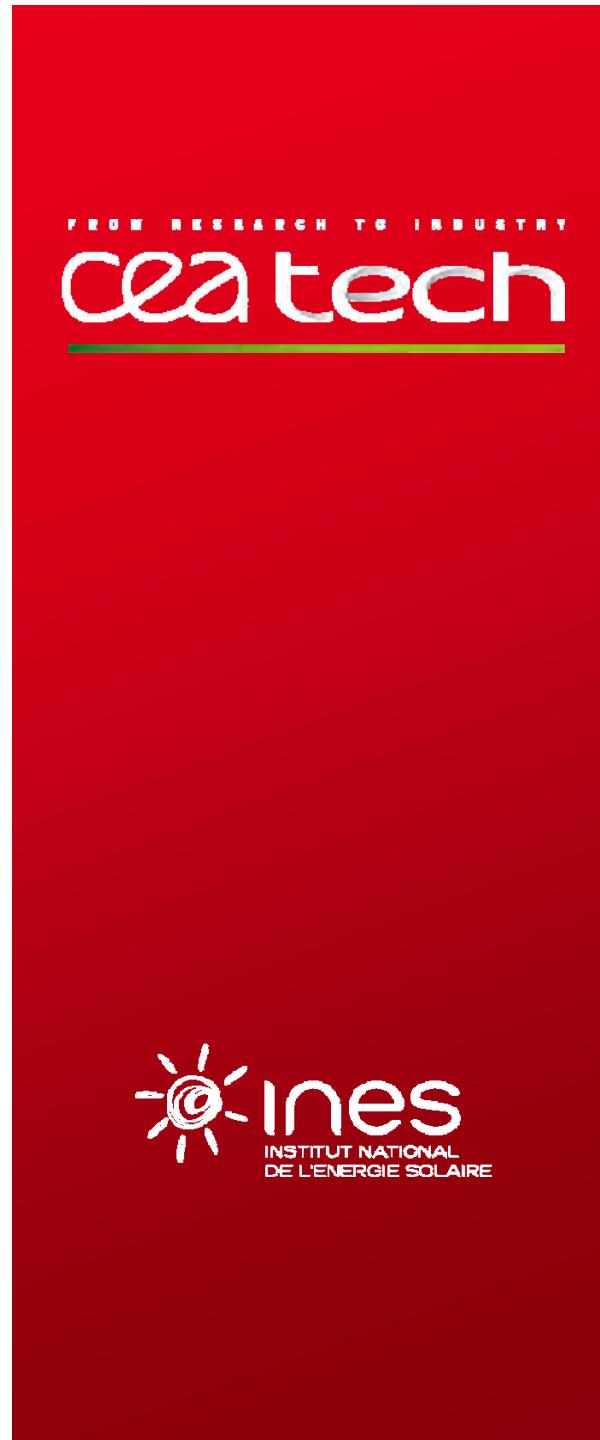
■ Contact

Laurent Mora

laurent.mora@u-bordeaux1.fr

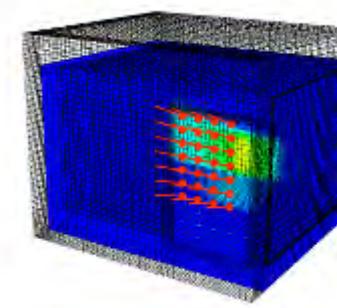
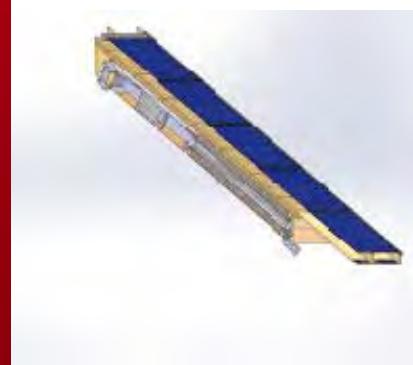
<http://i2m.u-bordeaux.fr>





Institut National de l'Energie Solaire

27/08/2013 | Olivier Fléchon - Marie Popowska - Christian Schaeffer



IBPSA – ICO – INES



IBPSA
International Building Performance Simulation Association

- **9h – 10h** : « From Mickey mouse to building simulation » par Donald Greenberg
- **10h30 – 11h30** Table ronde BE pratiquant PLANAIR, ADRET, ETAMINE, ITF
 - Vision globale
 - Passer du couteau Suisse du bureau d'étude qu'est le tableur à l'outil dynamique au sens large
 - Nécessité de compétence interne pour les approches physiques permettant d'exploiter la simulation
- **11h30 – 12h** Fiabilité de la simulation Bruno Peuportier : La méthode et le dynamique (récurivité, base temps, ...)
- **12h – 12h 30** Monter un projet de simulation Laurent MORA IBPSA
- **Pause repas**

■ **14h – 14h30** Introduction des activités INES, Technolac, Formation

- **14h 30 – 15 h 30** Par l'exemple, la nécessité du calcul dynamique pour les projets performants
 - Projet Cognin de réseau de chaleur solaire : Cédric Paulus & Bruno Georges
 - Le centre administratif du CHU de Poitiers, Bruno Georges
 - Prairie au Duc, île de Nantes. îlot mixte résidentiel tertiaire de 24 000 m², Bruno Georges
- **15 h30 – 16h** Intégration multi-physiques par simulation Adrien Jezequel
 - Dans les notions de « multi-physique » et/ou transversalité
 - Dans l'évaluation des impacts qualité d'air, éclairage, transferts aérauliques, ...
- **16h - 16h30** « Passer à l'acte » avec fiabilité Bruno Georges
 - La formation,
 - Monter un projet de simulation Insister sur « quelle est la question ?»

Qu'est L'INES ?

**Quels travaux y fait-on sur
le thème du Bâtiment ?**



> Qu'est L'INES ?

Quels travaux y fait-on sur
le thème du Bâtiment ?





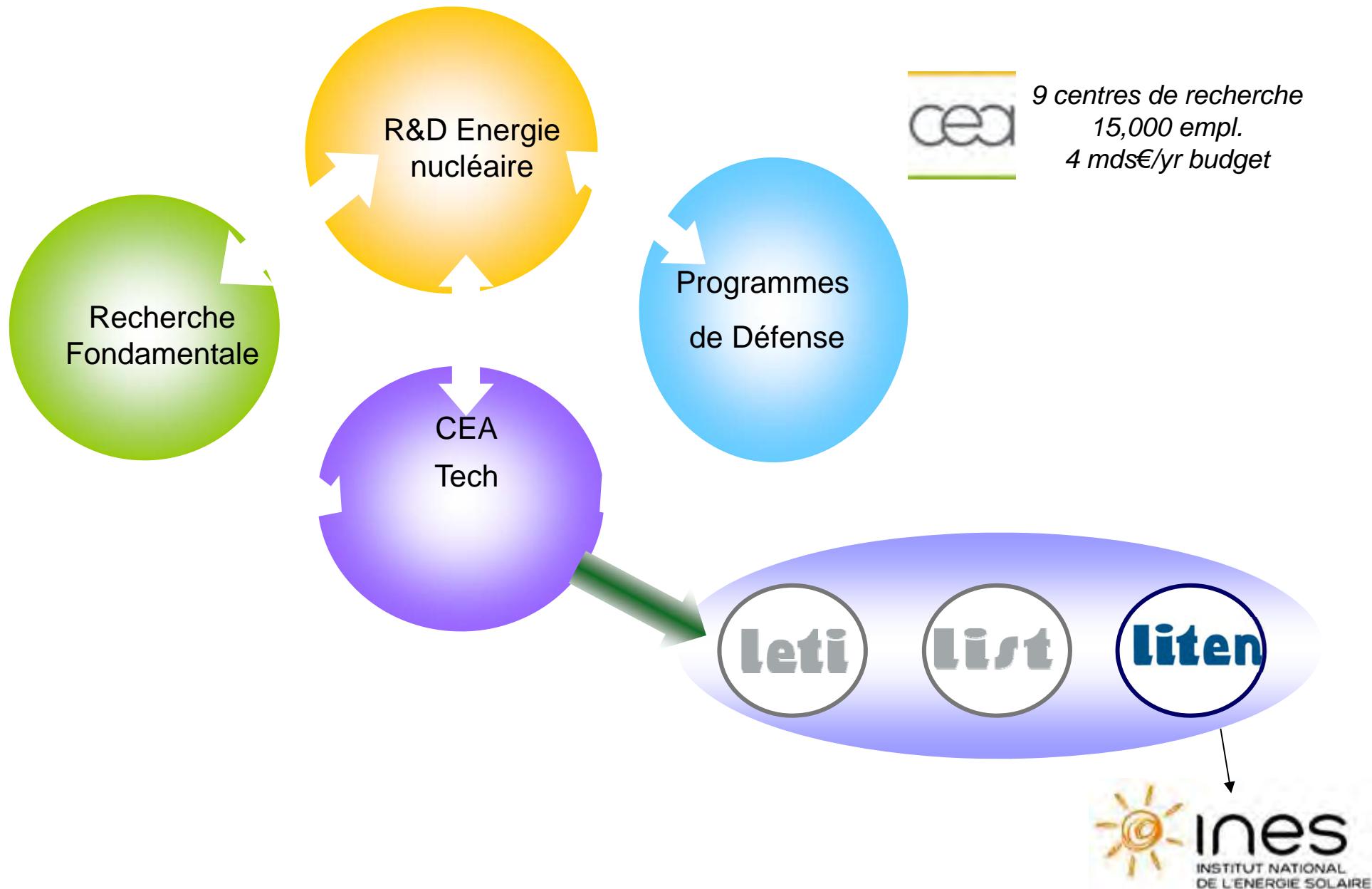
● Centre d'intégration technologique :

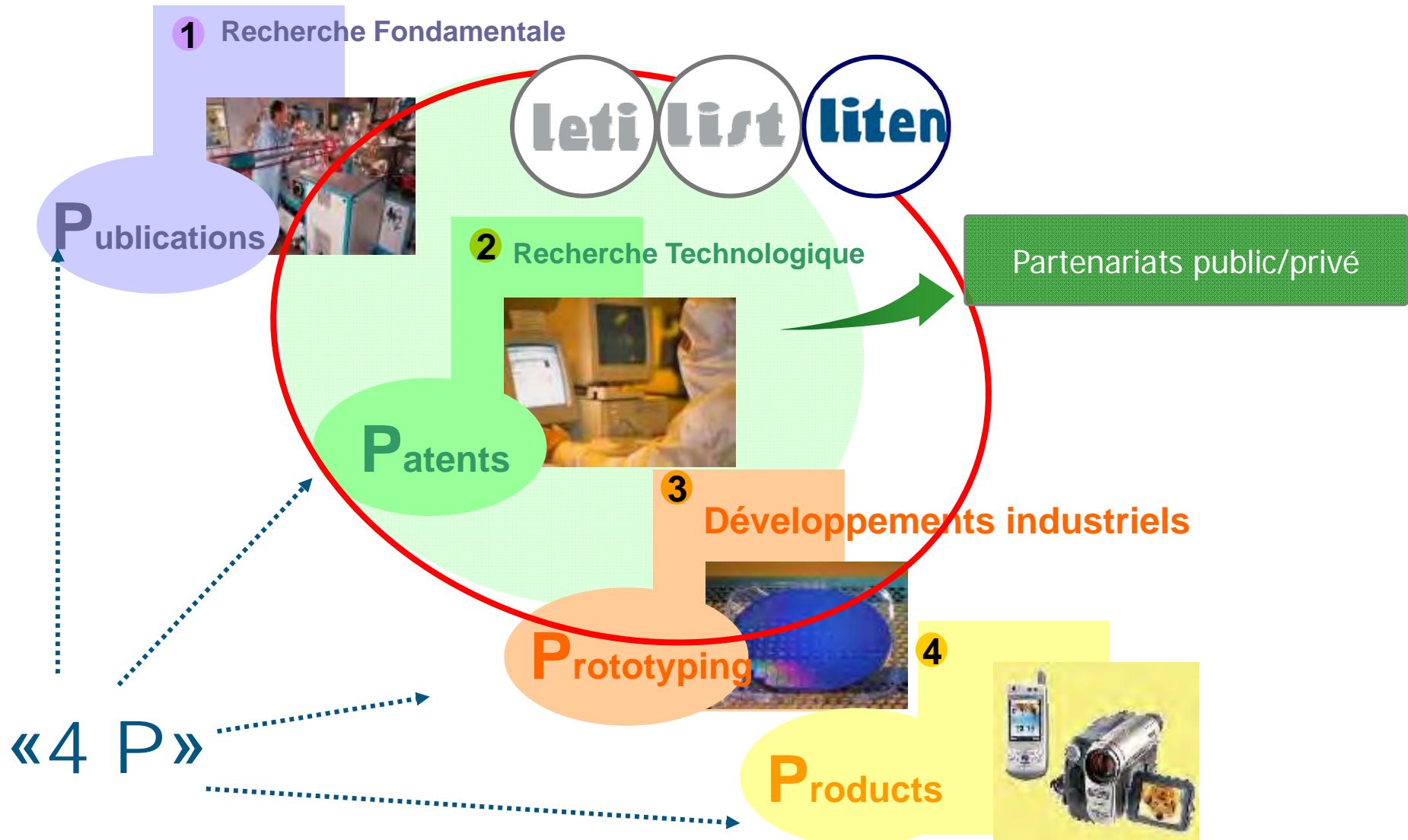
1 - Solaire photovoltaïque et CPV

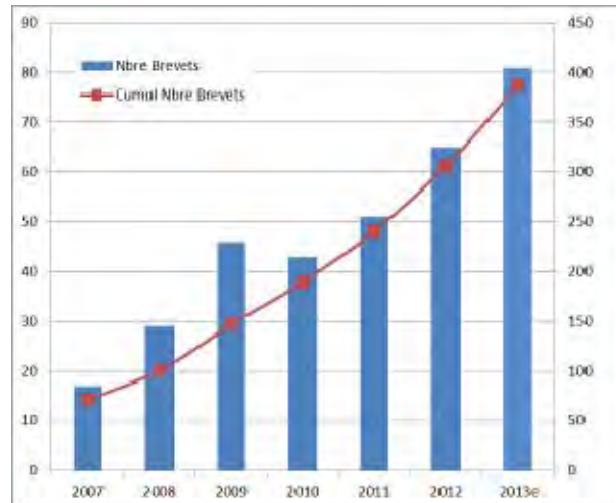
2 - Solaire thermique et CSP

3 - Stockage de l'énergie solaire

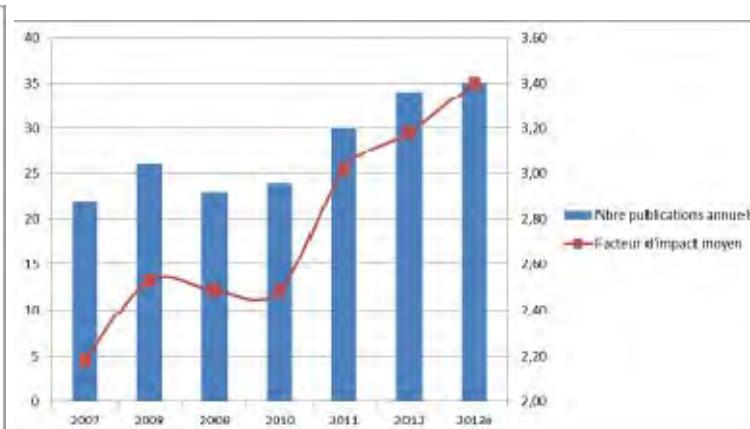
4 - Solaire passif et BBC



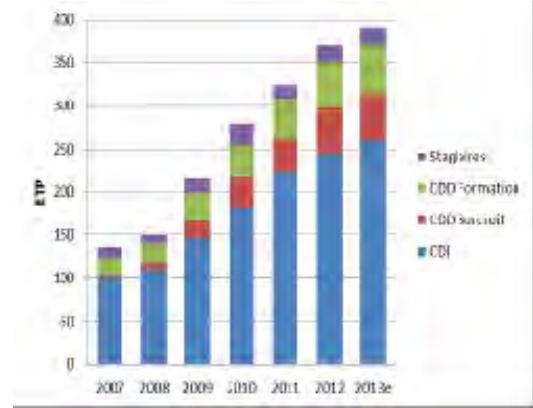




Brevets



Publications scientifiques



Effectifs





Silicium



Cellules solaires



Modules PV



Solaire thermique
Bâtiments Haute Eff Energ.
Smart grids
Systèmes PV



Qu'est L'INES ?

> **Quels travaux y fait-on
sur le thème du Bâtiment ?**

PV

Intégration PV (façade,
toiture)

Stockage électrique stat.

Solaire Thermique

CESI, CESCAI, SSC,

Stockage Th intersaisonnier

Froid solaire

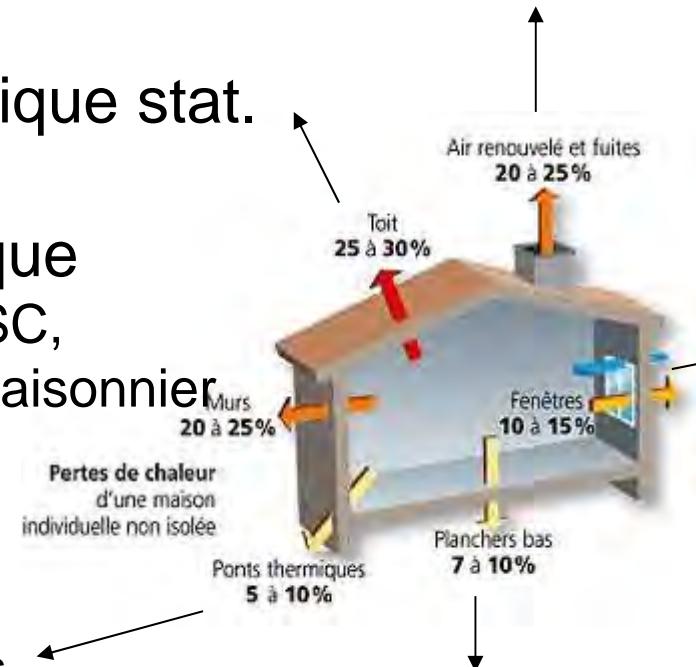
Isolants

Transferts thermiques

Transferts hydriques

ACV

Ventilation – QEI/QAI
Etanchéité à l'air



Structures
Inertie thermique

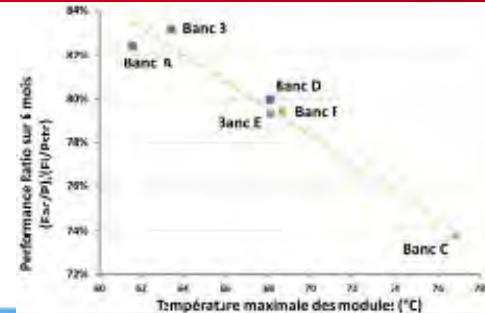
Surfaces vitrées
Couplage PV, Th, confort visuel, **apports passifs**
Volets Roulants
Stratégie contrôle,
autonomie, intégration



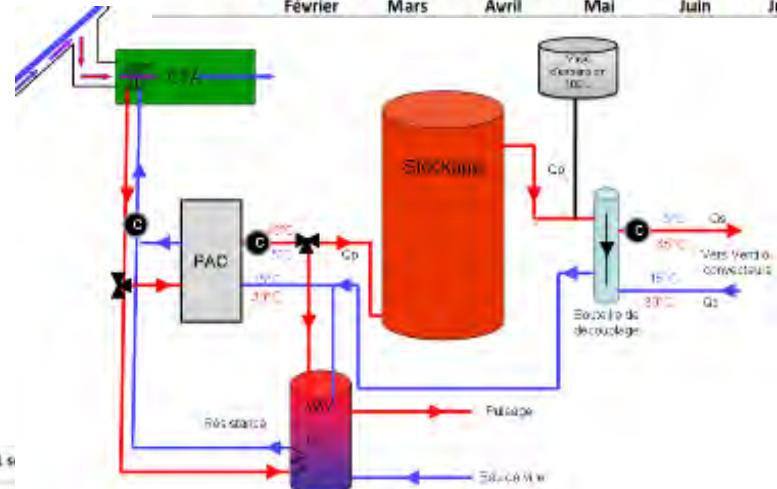
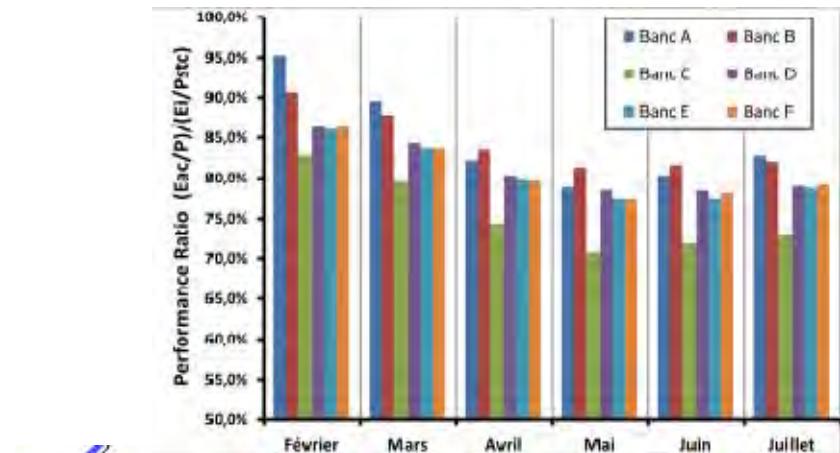
Bancs d'intégration solaire



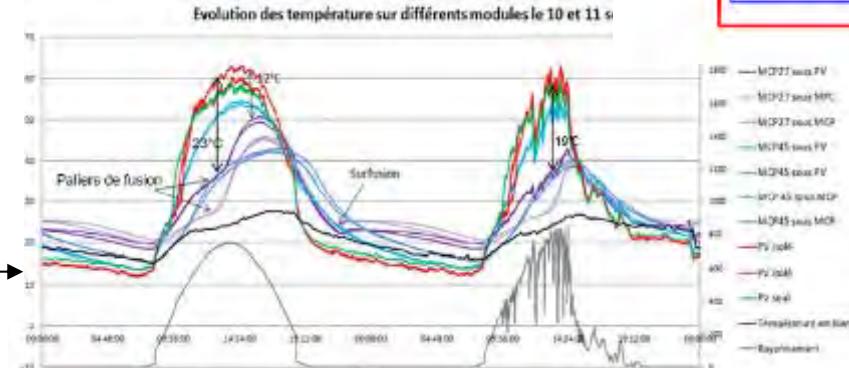
Stratégie d'intégration toiture



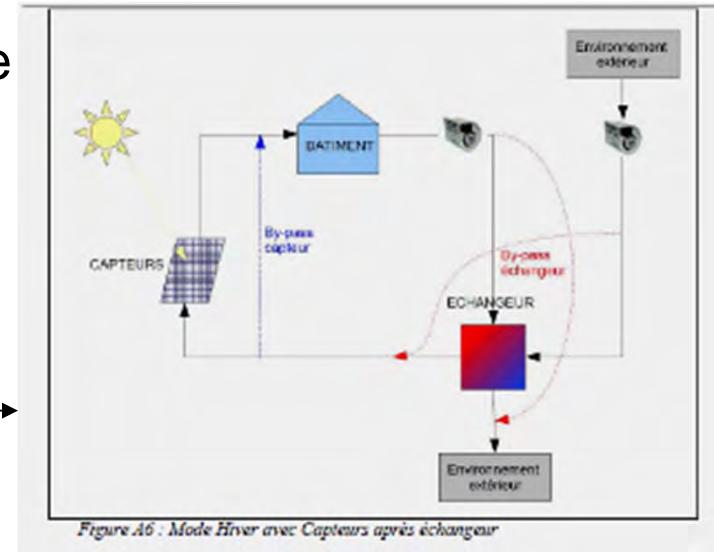
Association toiture **PV/PAC** (préchauffage eau)



Association **PV/MCP**



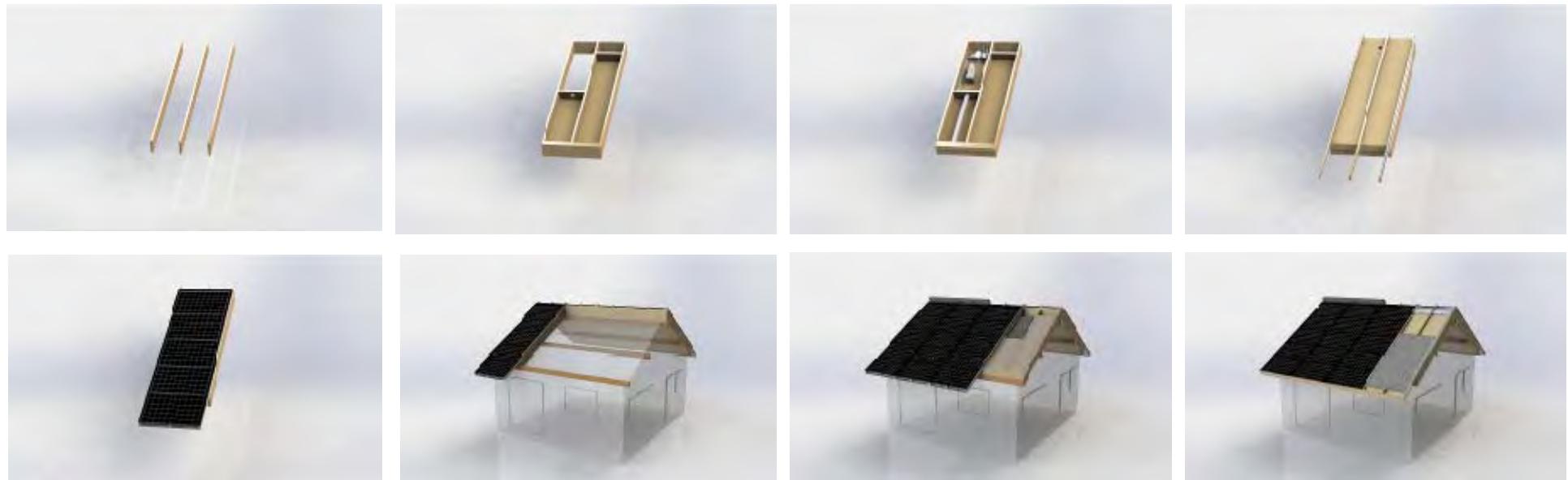
Association toiture
PV/
Ventilation
(préchauffage air)



Tuiles solaires

Association
PV/
Séchage

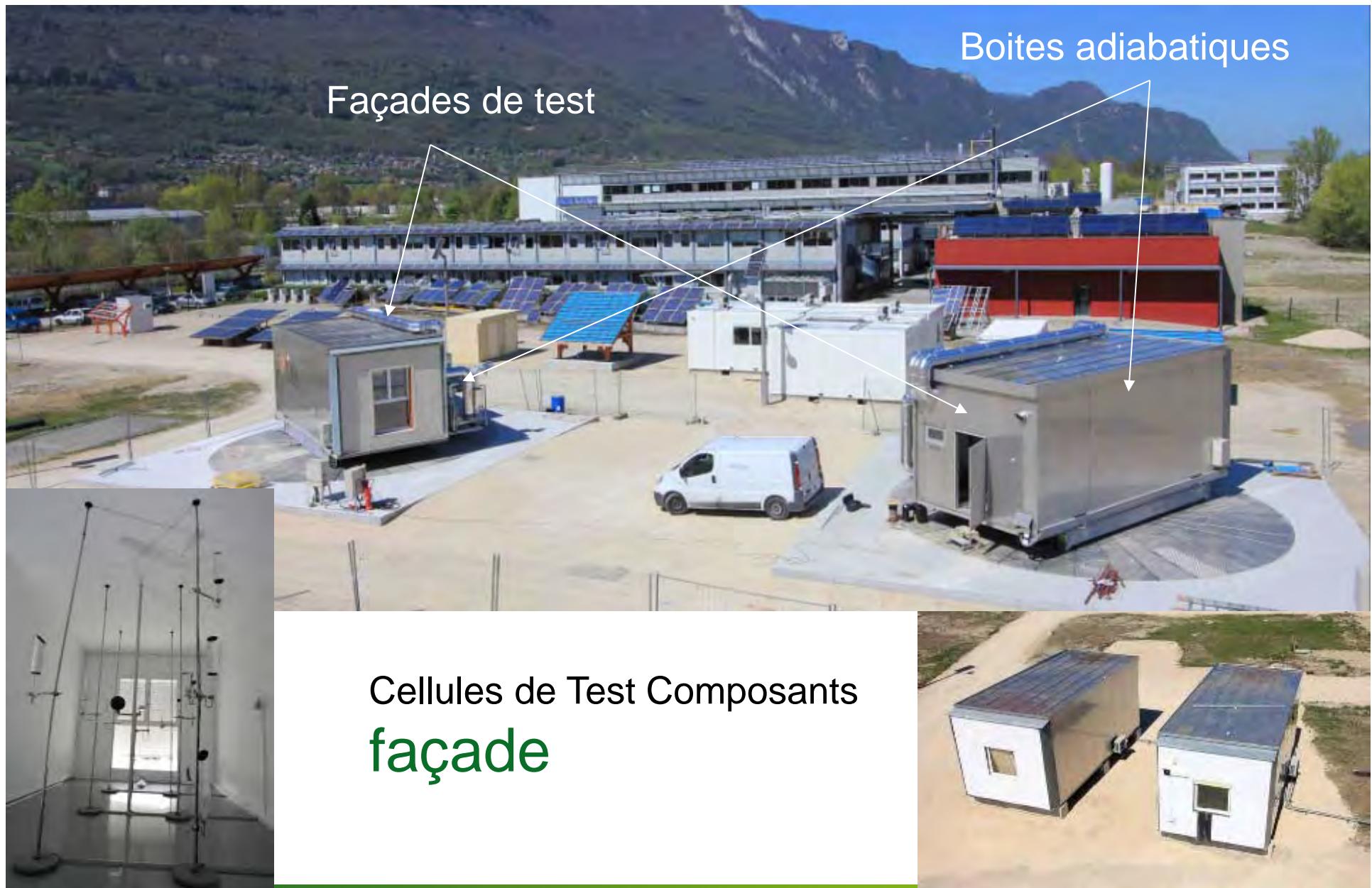




Conception d'une toiture active intégrée :

- Couverture/étanchéité
- Isolation
- Préchauffage air neuf
- Ventilation
- Production Eau Chaude Sanitaire
- Production Electrique

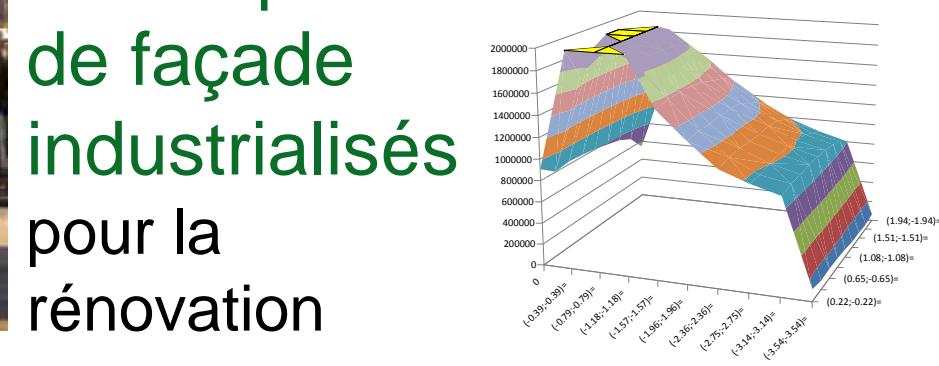




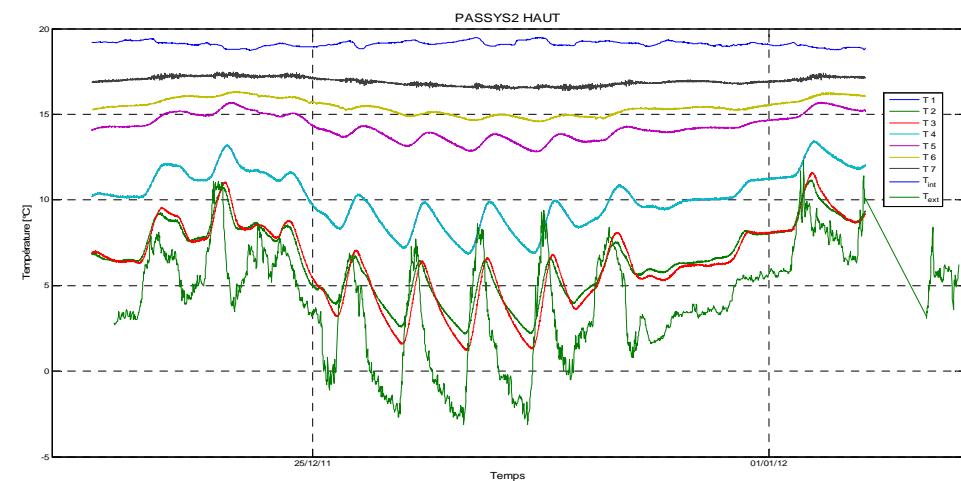


Façade épave

Développement
de composants
de façade
industrialisés
pour la
rénovation



Facade rénovée



Nouveaux matériaux



Intégration
verticale PV

Blocs béton + LV



Monomur Terre cuite
+ enduit isolant



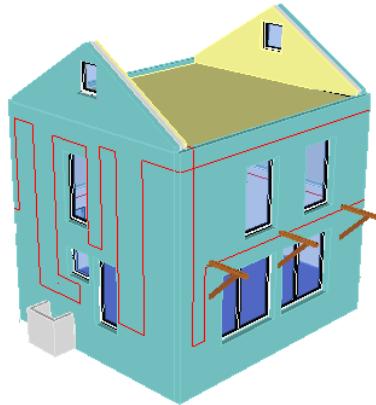
Objectifs

- Fournir une base de données expérimentales
- Valider des modèles ou les améliorer
- Développer des procédés constructifs et systèmes innovants
- Intégrer des technologies solaires

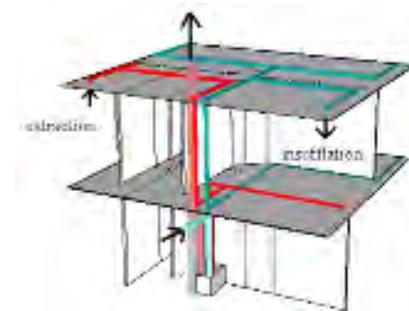
Caractéristiques communes aux maisons expérimentales

- La géométrie est simple, pour faciliter le développement des modèles
- Les réalisations sont à l'échelle 1 (80 m² habitables sur 2 niveaux)
- Le profil d'utilisation est simulé (chaleur, humidité, usages)
- Niveau Passiv'Haus

Moyens échelle 1 BEPOS



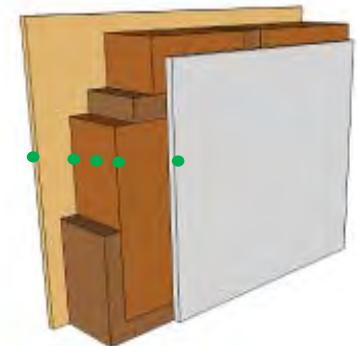
Mesure de température par fibre optique



VMC simple ou double flux selon projets. Ventilation Mécanique par Insufflation.
Moyen expérimental de préchauffage d'air neuf sous-toiture



Intégration des réseaux à la fabrication sur la maison Ossature Bois

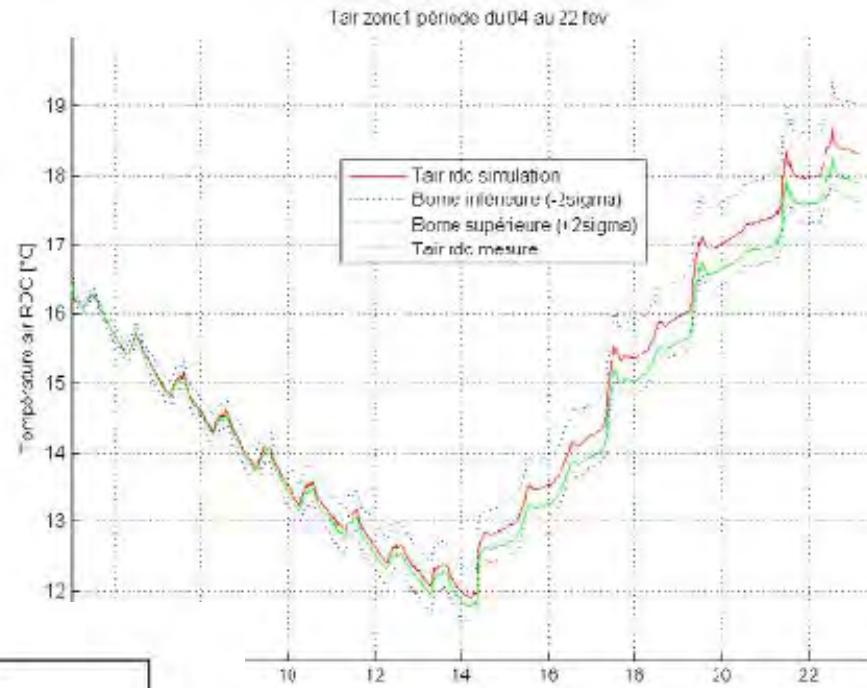
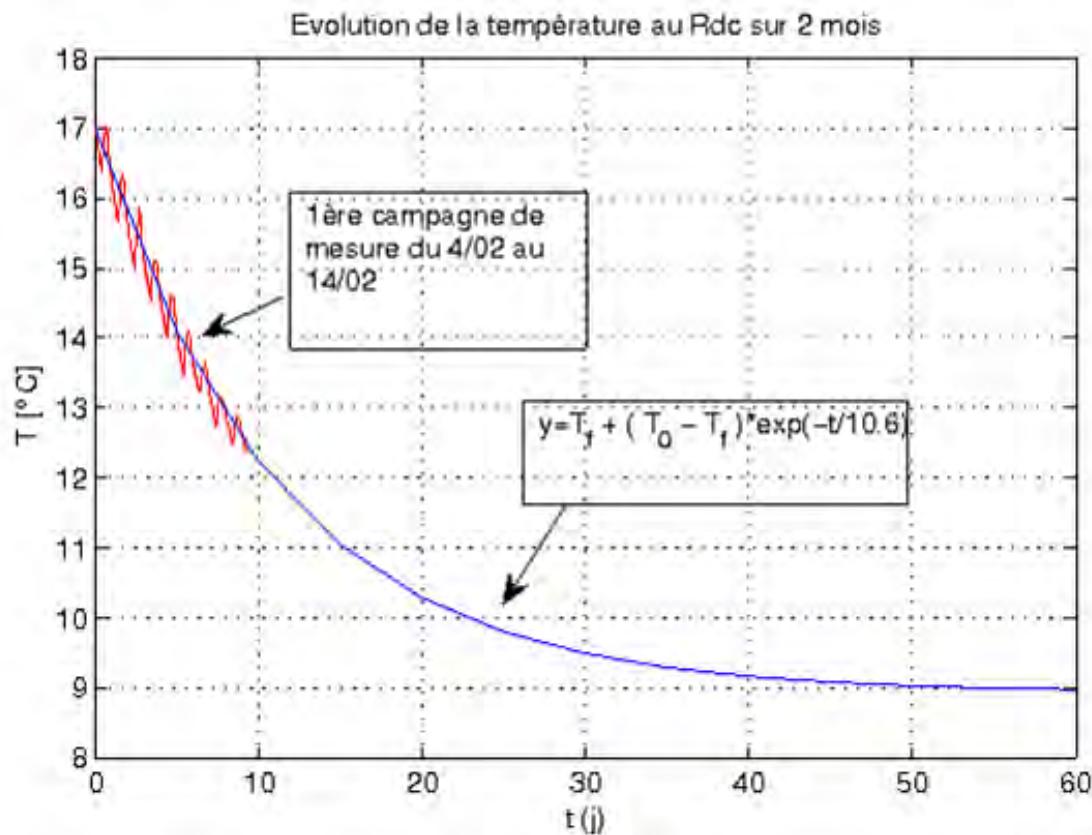


Suivi du comportement hygrothermique



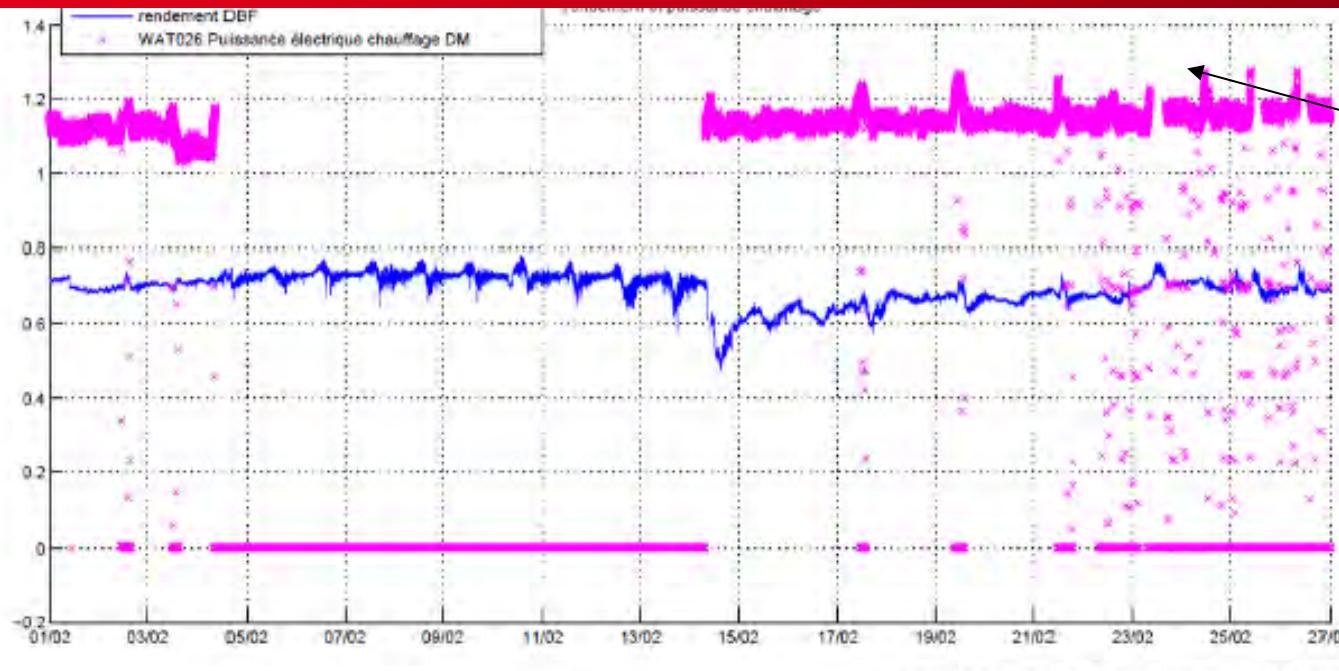
Résultats

Comparaison mesures/simulation
> Calage de modèles



Comparaison mesure/simulation
 Analyse de la
constante de temps
 de la maison I-BB

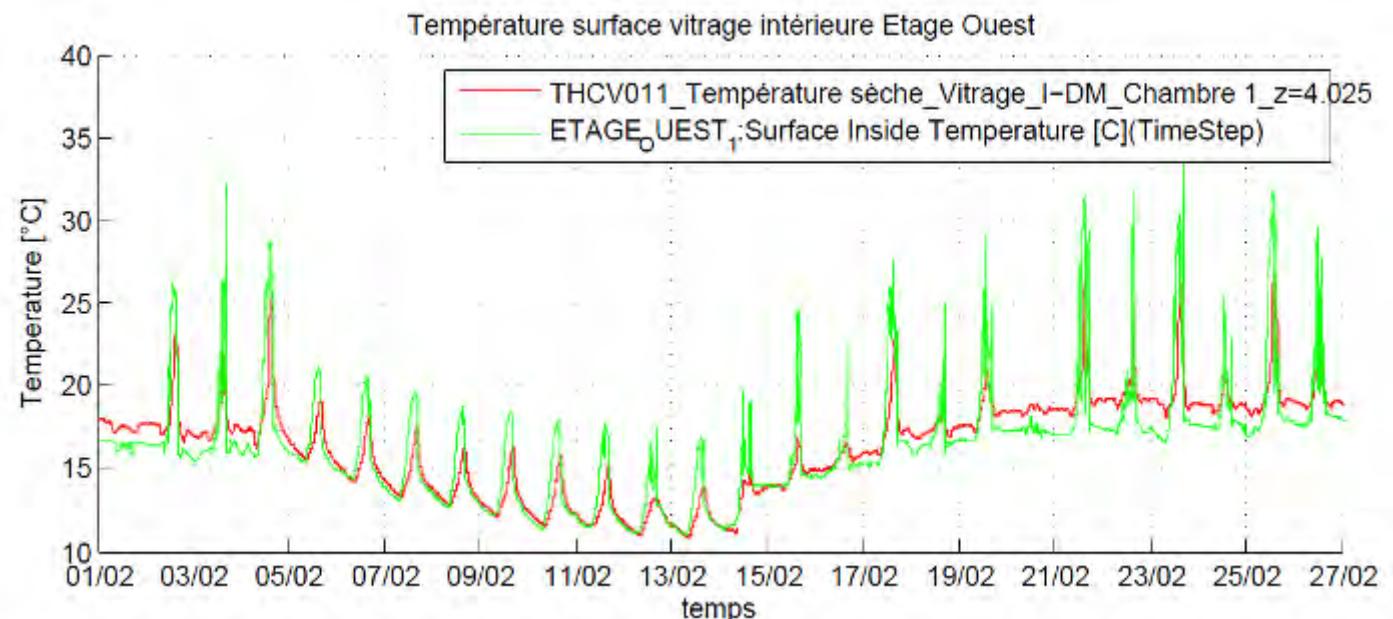
Résultats



Puissance appoint électrique

Qualification efficacité Double-Flux

Comparaison
mesures/simulation
sur températures vitrage

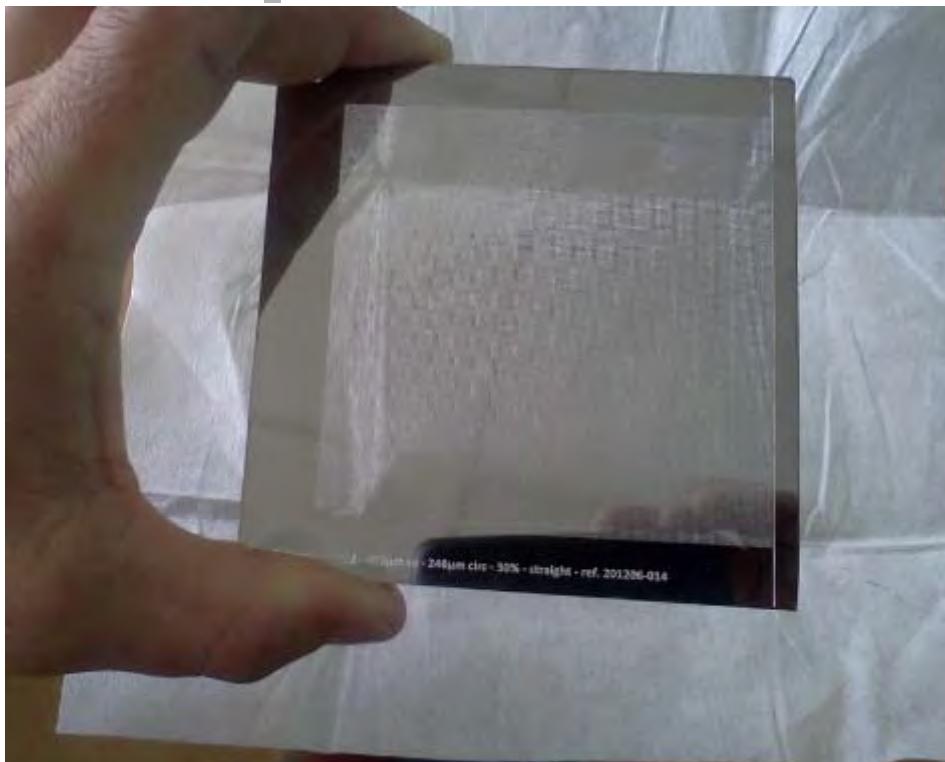


Développement de composants

Volet Roulant Autonome



Vitrage PV



Ventilation mécanique
par insufflation



Résultats

Prototype GOSPELS - Vue d'un site

www.iprojects.fr/gospels/index.php?oType=2Site&action=viewData&siteRef=1&pageRef=level2energies

Débuter avec Firefox Galerie de composant... Hotmail Sites suggérés Prototype GOSPELS - ...

Search the web (Babylon)

G D S P E L S

ARRA ADEME

RhôneAlpes Région Rhône-Alpes Agent de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

Sites pilotes [Liste des sites]

cea COSTIC CETE de Lyon

Les Grandes Terres [Accueil Site]

INES INSTITUT NATIONAL DE L'ENERGIE SOLAIRE ECO-DETAILLER

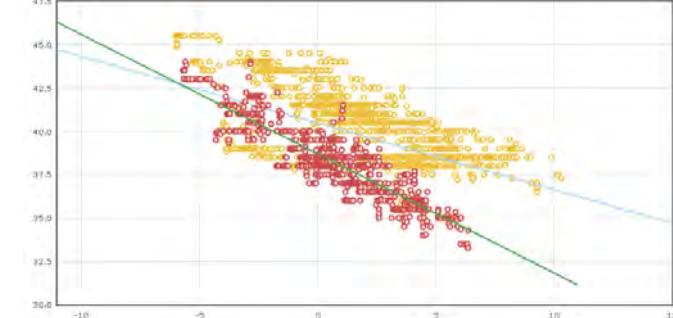
[Mot de passe] [Accueil] [Déconnexion]

Les Grandes Terres - Energie primaire

Consommations par postes ramenées en énergie primaire - T2



Courbes de chauffe du Bâtiment B



Choix de la période à afficher
(Selection multiple possible pour certains indicateurs)

01/2013 ▲
12/2012 ▾
11/2012 ▾
10/2012 ▾

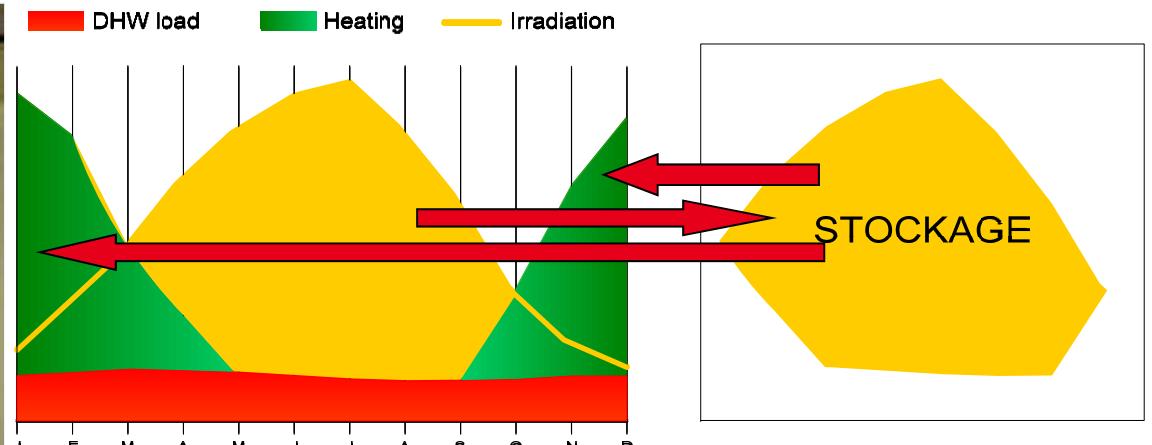
Valider

Les Jardins d'Eden - Indicateurs de niveau 2

Indicateur	Seuil max	Valeur max rencontrée	Description
Bât63-Et1 - Inconfort niveau 2 (Températures)	3 h	0.17 h	Durée quotidienne la plus élevée pendant laquelle les seuils de température de confort n'ont pas été respectés, sur la période d'observation
Bât41-Et4 - Inconfort niveau 2 (Températures)	3 h	14 h	Durée quotidienne la plus élevée pendant laquelle les seuils de température de confort n'ont pas été respectés, sur la période d'observation
Bât41-Et2 - Inconfort niveau 2 (Températures)	3 h	0 h	Durée quotidienne la plus élevée pendant laquelle les seuils de température de confort n'ont pas été respectés, sur la période d'observation
Bât109-Et3 - Inconfort niveau 2 (Températures)	3 h	0.17 h	Durée quotidienne la plus élevée pendant laquelle les seuils de température de confort n'ont pas été respectés, sur la période d'observation
Fonctionnement adéquat du bouclage solaire	Seuil min	Yield min rencontrée	Indicateur basé sur l'algorithme élaboré à partir des T° retour bouclage, T° ballon solaire, débits bouclage total et vers solaire

Outils « experts »

Outils de synthèse



Développement de
2 réacteurs pilote

Principaux résultats

- Densité énergétique élevée : > 200 kWh/m³ selon les sels utilisés
- Cyclage : pas de dégradation des performances

Objectif de démonstration :

- 100% couverture solaire besoin de chauffage
- 80% couverture solaire ECS



Enjeu :

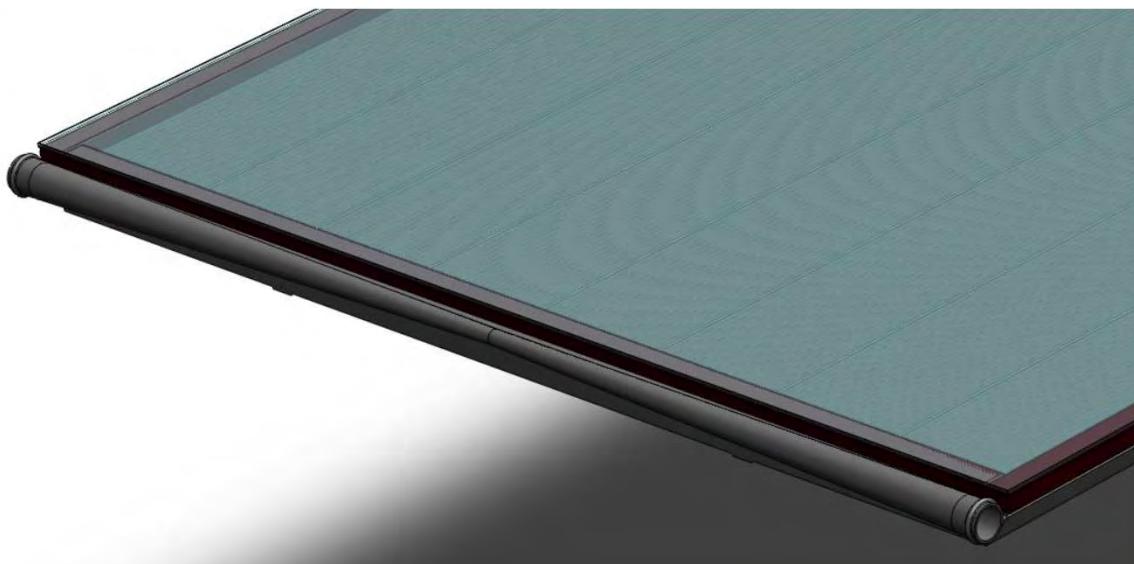
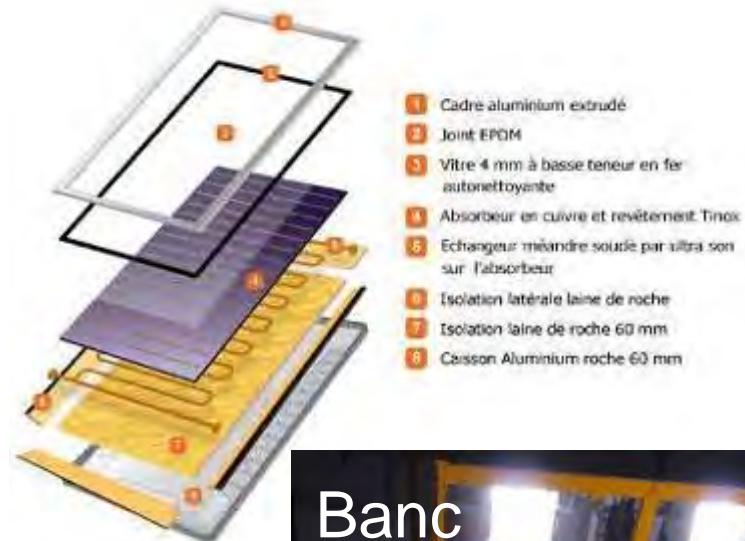
- Baisse des coûts de production
- Ajout de fonctionnalité

Une activité de R&D

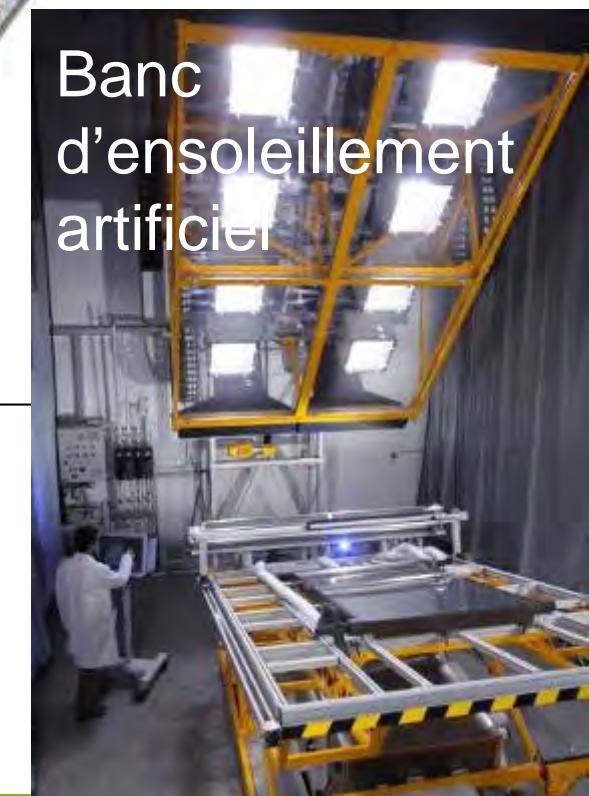
- Intégration des matériaux polymères
- Optimisation des performances

Développement d'un absorbeur en matériau polymère

Design de capteurs solaires 100% polymères



Banc
d'ensoleillement
artificiel

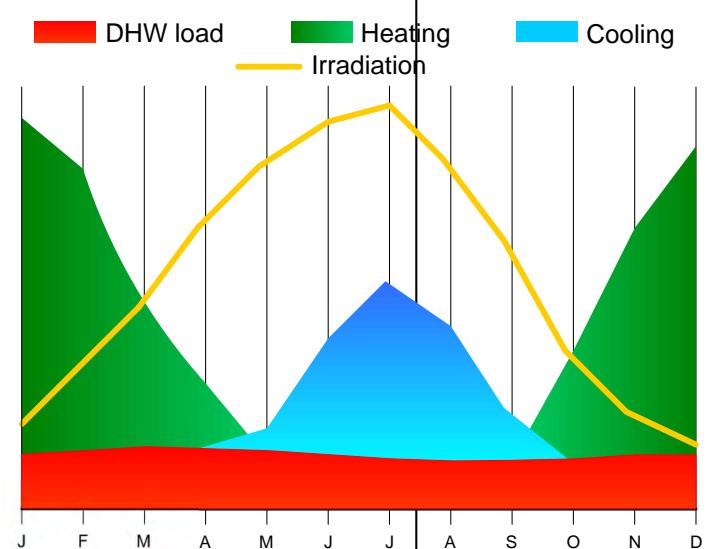
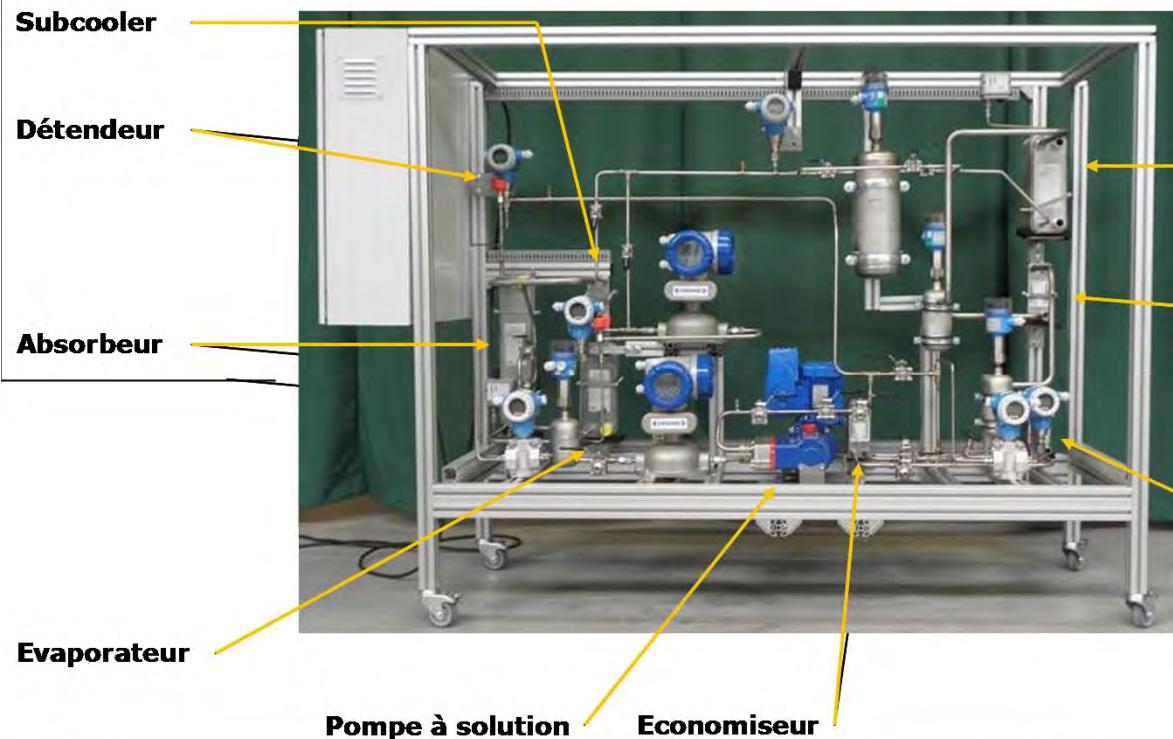


Produire du froid avec du chaud

- A partir de rejet thermique
- A partir de source d'énergie thermique renouvelable :
- solaire, biomasse

Enjeux :

- Baisse des coûts
- Augmentation des performances





Le tout est plus que la somme des parties

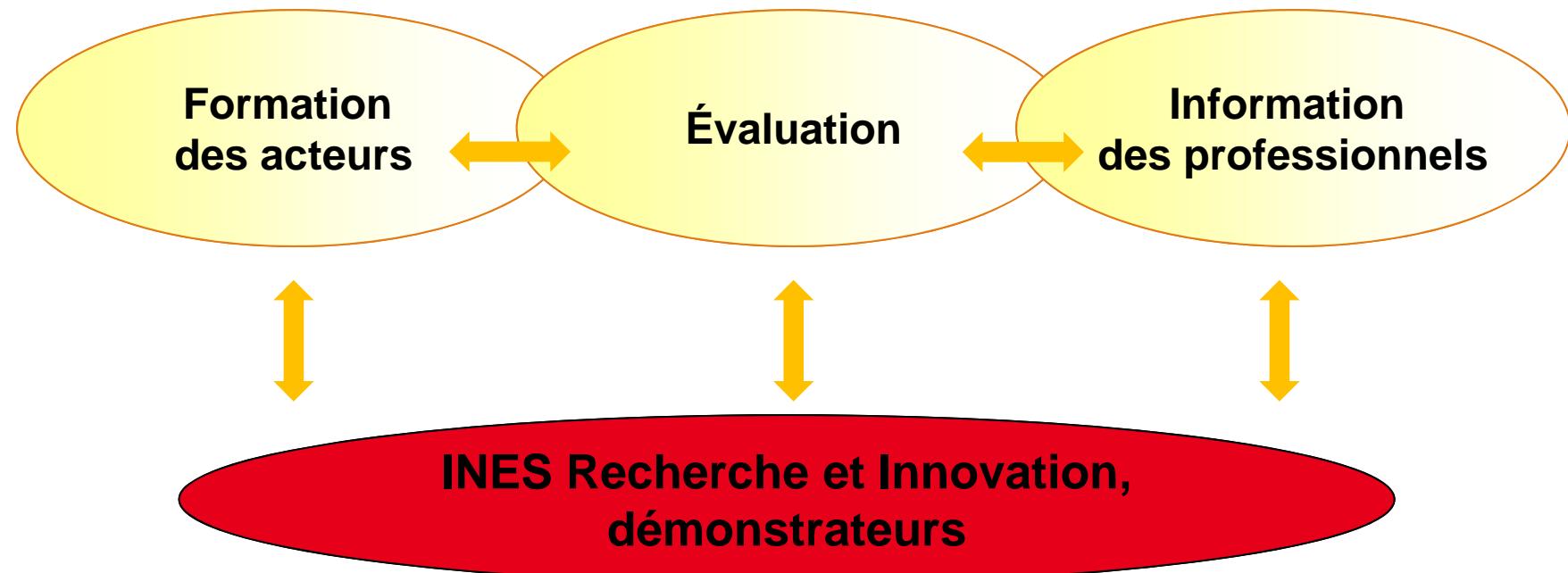
Savoie Technolac : la synergie des énergies

- 9000 personnes
- 5800 étudiants
- 230 entreprises et start up innovantes
- 60 créateurs d'entreprises accompagnées dans la Base d'Incubation
- Projet d'extension: 250 000 m² de surface plancher sur 40 ha
- Culture de partage, de coopération et de l'entreprenariat





► Département
► Formation & Évaluation



***Une contribution au développement des métiers de la croissance verte
dans le bâtiment et l'énergie solaire***



Pôle Formation

L'offre de formation INES

Portefeuille de formations modulaires qualifiantes et diplômantes dans les domaines solaire TH, PV et PEB

Ouverture à l'international (programmes européens, plan pour la Méditerranée)

Liaison étroite entre formation continue / formation initiale (partenariat Université de Savoie)

Réseau de partenaires, formateurs et des infrastructures techniques uniques en France

Appui des acteurs industriels majeurs : une vingtaine d'industriels présents sur les plateformes techniques

Présence sur l'ensemble de la filière amont et aval (du décideur à l'opérationnel de terrain)

Formation initiale

350 étudiants accueillis dans le cadre d'un parcours diplômant de l'Université de Savoie. (DUT, licence pro, master, ingénieur)

Formation continue

Intra et inter

10 000 stagiaires Maître d'ouvrage / Concepteurs / Maître d'œuvre (depuis 2004)

Plus de 4 500 personnes formées sur les thématiques opérationnelles (depuis 2005)

Formation à distance

Projets européens : @ learning

- Energy Path : 150 lycées
- Flexy Energy : PV - 2IE – Burkina (**36 modules**)
- Evenef : Life long learning – Leonardo da Vinci

Pool de formateurs intégrés ingénieurs et techniciens

Des intervenants extérieurs alliant expertise et pratique
avec une approche multidisciplinaire

Réseau d'une trentaine de professionnels référents
apportant savoir faire et expertise terrain



Plateforme technique de 1200 m² avec :
20 kWc pour les Tps pédagogiques
12 Onduleurs en connexion instrumentés
50 m² de capteurs solaires
6 CESI, 2 CESC, 6 SSC en fonctionnement
6 toitures pédagogiques de 20m²



Démonstrateur : Armadillo Box
TP étanchéité à l'air et exploitation monitoring





Pôle Évaluation

2 missions :

- Programmes d'instrumentation et de suivi de mesure de la performance
- Expertise et animation

Dans les domaines :

- Solaire thermique (CESI, CESC et SSC)
- Photovoltaïque
- Energétique du bâtiment.

Bénéficiaires et partenaires

- ADEME
- Collectivités territoriales (Départements, Régions, Europe,....)
- Industriels (Solisart, Viessmann,.....)
- Fournisseurs d'énergie (GdF,)

**Pôle
Evaluation**

Programme d'Instrumentation et de suivi

Chauffe eau solaire :

Une opération emblématique inscrite dans la
durée (depuis 2007)

- Mesure in situ de la production solaire utile des installations solaires d'eau chaude individuelle et collective
- Présentation publique de la comparaison mesure/calcul théorique de chaque installation sur le site web
- 400 installations de 2 à 200 m² suivies en régions Rhône-Alpes et Languedoc-Roussillon
- Soutien de structures publiques



Programme d'Instrumentation et de suivi

Performance énergétique du bâtiment:

Suivi in situ des performances de 12 maisons basse consommation (BBC) sur la région Rhône Alpes

Définition du cahier des charges de monitoring, suivi et analyse

Partenariat MIQRO / IERA

Soutien de structures publiques



Contribution à la réalisation d'un prototype de logiciel de suivi de bâtiment pour les bailleurs sociaux de la région Rhône Alpes

Pilote du projet : INES CEA

**Partenaires : CETE de Lyon, COSTIC, ARRA HLM,
Financeurs ARRA HLM, Ademe, Région Rhône Alpes**







IBPSA
International Building Performance Simulation Association



Démonstration par l'exemple

sur la nécessité du calcul dynamique pour les projets
performants

Philippe Papillon, Cédric Paulus et Bruno Georges : Projet Cognin
Trois projets Passiv Haus et/ou Zéro énergie Bruno Georges



IBPSA – ICO – INES



- **9h – 10h** : « From Mickey mouse to building simulation » par Donald Greenberg
- **10h30 – 11h30** Table ronde BE pratiquant PLANAIR, ADRET, ETAMINE, ITF
 - Vision globale
 - Passer du couteau Suisse du bureau d'étude qu'est le tableur à l'outil dynamique au sens large
 - Nécessité de compétence interne pour les approches physiques permettant d'exploiter la simulation
- **11h30 – 12h** Fiabilité de la simulation Bruno Peuportier : *La méthode et le dynamique (récursivité, base temps, ...)*
- **12h – 12h 30** Monter un projet de simulation Laurent MORA IBPSA
- **Pause repas**
- **14h – 14h30** Introduction des activités INES, Technolac, Formation
- **14h 30 – 15 h 30** Par l'exemple, la nécessité du calcul dynamique pour les projets performants
 - Projet Cognin de réseau de chaleur solaire : Cédric Paulus & Bruno Georges
 - Le centre administratif du CHU de Poitier, Bruno Georges
 - Prairie au Duc, Ile de Nantes. îlot mixte résidentiel tertiaire de 24 000 m², Bruno Georges
- **15 h30 – 16h** Intégration multi-physiques par simulation Adrien Jezequel
 - Dans les notions de « multi-physique » et/ou transversalité
 - Dans l'évaluation des impacts qualité d'air, éclairage, transferts aérauliques, ...
- **16h - 16h30** « Passer à l'acte » avec fiabilité Bruno Georges
 - La formation,
 - Monter un projet de simulation Insister sur « quelle est la question ?»

EXEMPLE 1 : Réseau de chaleur basse température avec solaire et stockage inter-saisonnier

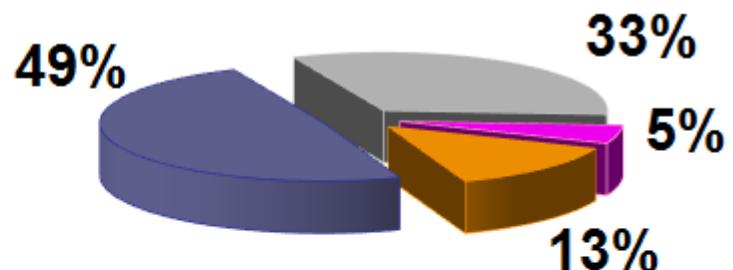
*Cédric Paulus (CEA INES)
et Bruno Georges (ITF)*



Aménageur éco quartier **Ville de Cognin (73)**, exploitant réseau de chaleur **SCDC**
Ingénierie Fluides et environnementale : **ITF**

Le réseau de chaleur chambérien

- ▶ Une ambition historique et politique pour un réseau de chaleur (1949)
- ▶ 5ème réseau de chaleur de France
 - ▶ 200 MW en puissance installée (productions vapeur & eau surchauffée)
 - ▶ 58 km de réseau
 - ▶ 220 GigaWh/an sur 430 postes de livraison
- ▶ Concessionnaire Sté Chambérienne de Distribution de Chaleur
- ▶ Répartition des consommations



- Habitats collectifs public et privé
- Bâtiments publics et tertiaires
- ECS
- Vapeur process industriel



*Une co-production énergétique
réseau de chaleur basse pression et solaire thermique,
un projet issu de COMPETENCES en PARTAGE*

- SCDC / ITF : Etudes techniques intégrant les expertises SCDC et COFELY Direction Technique Innovation, les approches prospectives et compétences terrain ITF.
- Collaboration SCDC & ITF avec INES dans le cadre du programme de recherche SDH

Avec l'impulsion des Villes de Chambéry et Cognin



La ZAC du Coteau



L'éco-quartier Villeneuve à COGNIN : 1200 logements



Phase 1 : ZAC du Coteau
Programme : 501 logements + scolaires
1^{er} bâtiment livrés = 2014



Phase 2 :
Programme : 383 logements + commerces
1^{er} bâtiment livrés = 2020



Phase 3
Programme : 340 logements
1^{er} bâtiment livrés = 2025



ZAC du Coteau: Phase 1 en cours



- 501 logements : 42 000 m²

- Equipements scolaires

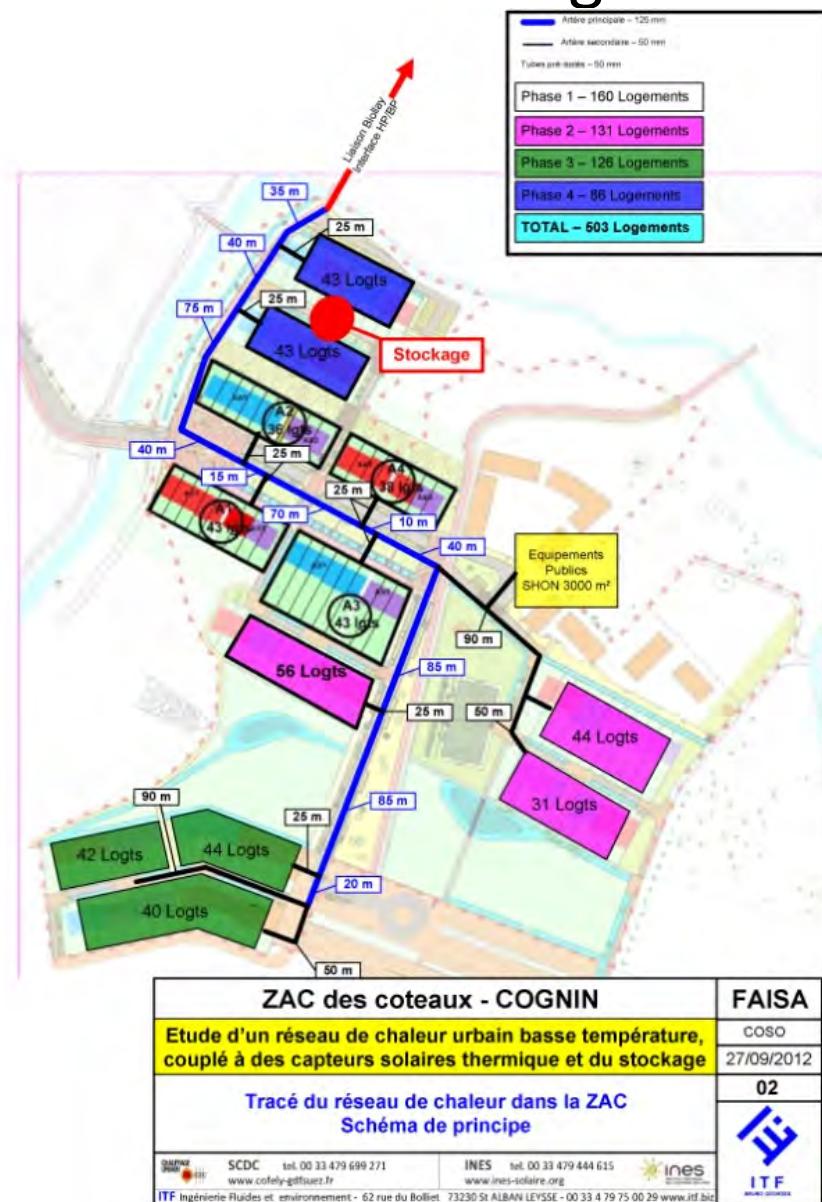
 - Halte garderie : 600 m²

 - Ecole maternelle : 900 m²

 - Ecole Primaire : 1 300 m²

 - Cantine : 200 m²

L'alimentation énergie de la Zac du Coteau



SCDC développe son réseau eau surchauffée par îlots homogènes basse pression.

La Collectivité choisit fin 2011 d'alimenter la Zac du Coteau avec le réseau de chaleur.

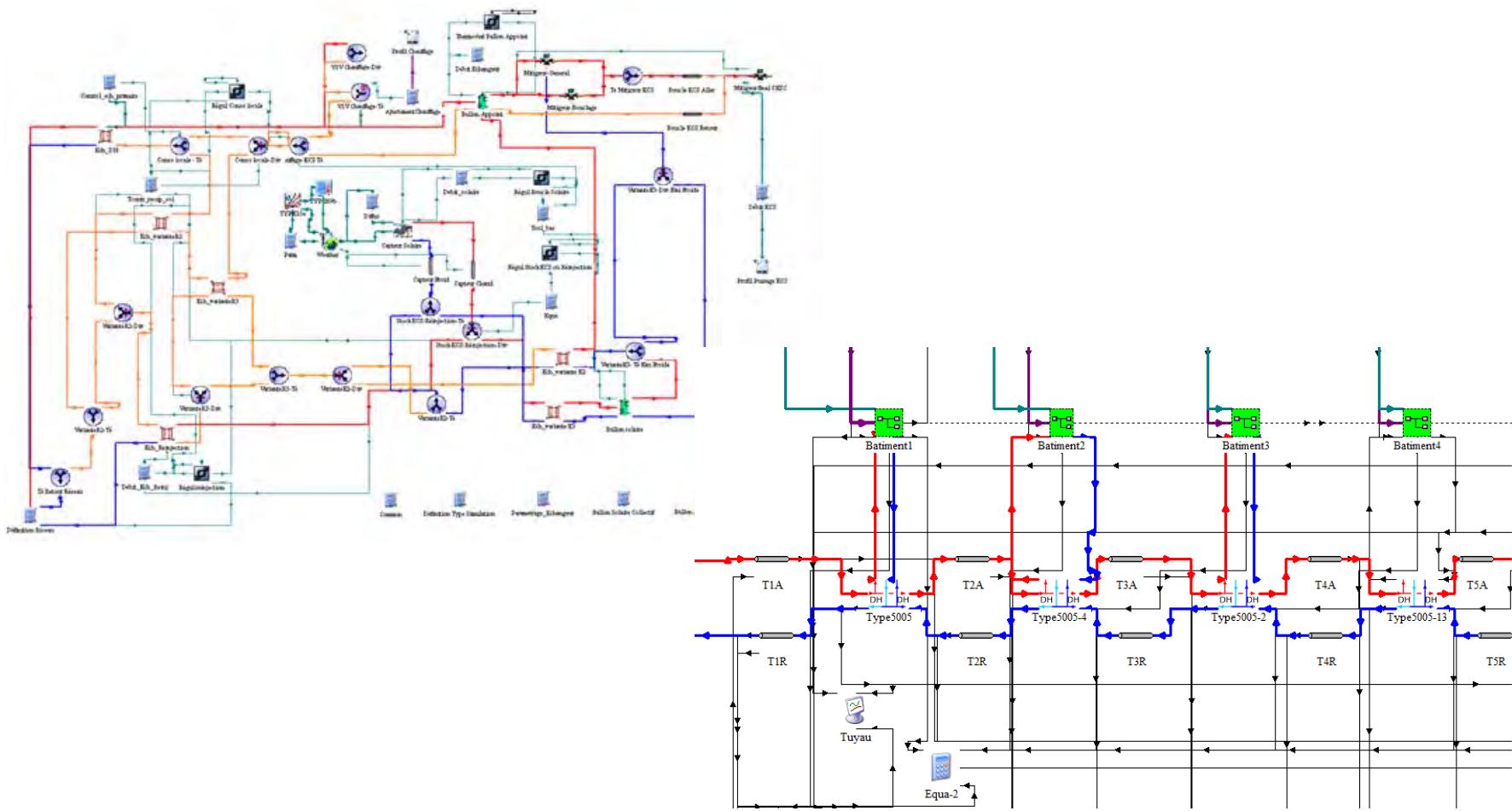
Le contexte d'une distribution basse pression ouvre la voie d'une co-production énergétique réseau de chaleur et solaire thermique.





Du solaire thermique injecté sur le réseau de chaleur du quartier

Modélisation besoins et systèmes



Modélisation du réseau de chaleur

Les systèmes étudiés

L'analyse des possibilités à permis d'identifier les schémas suivants

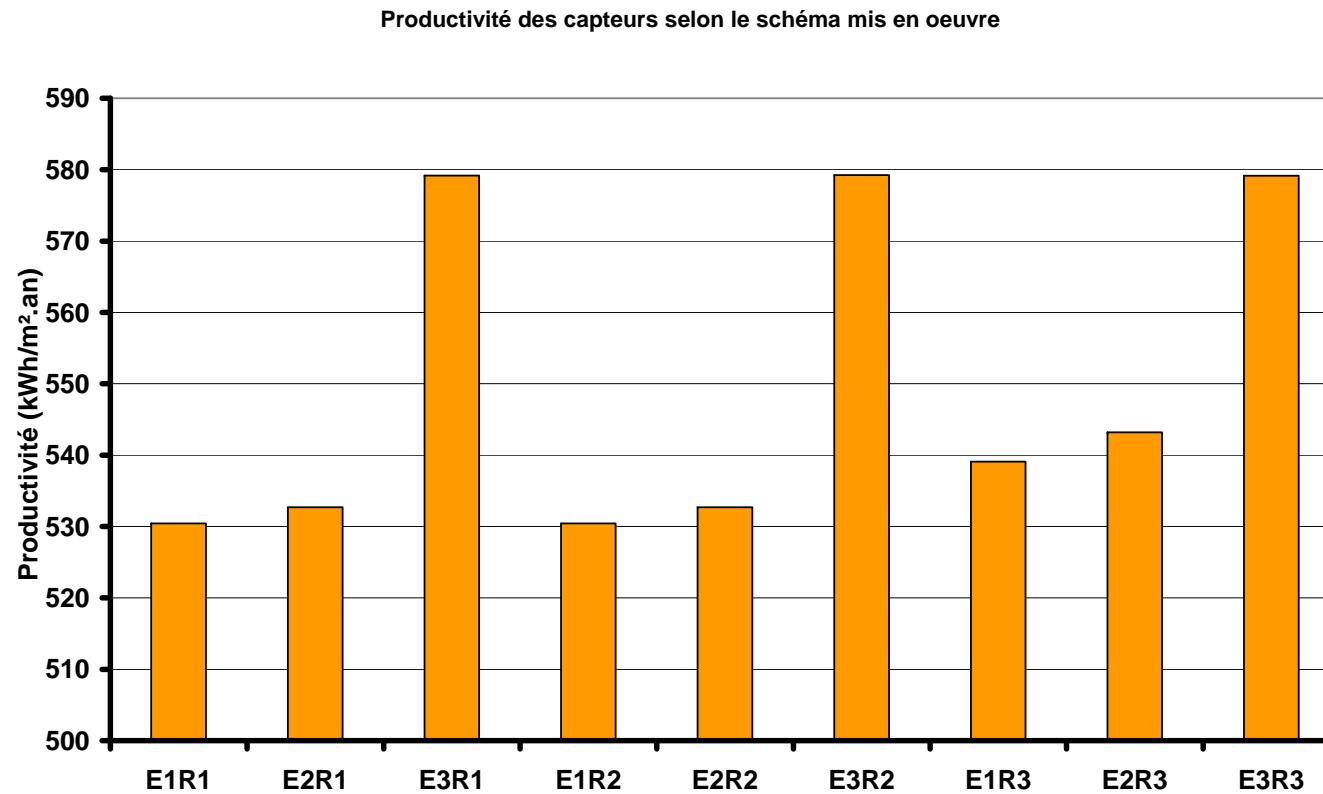
	SANS préchauffage local ECS	AVEC préchauffage local ECS instantané	AVEC préchauffage local ECS + stock
Injection réseau SANS conso locale	E1R1	E2R1	E3R1
Injection réseau + conso locale en cascade sur réseau	E1R2	E2R2	E3R2
Injection réseau + conso locale en cascade sur solaire	E1R3	E2R3	E3R3

Du fait du manque de possibilité foncière du site, les capteurs solaires sont répartis sur les différents projets



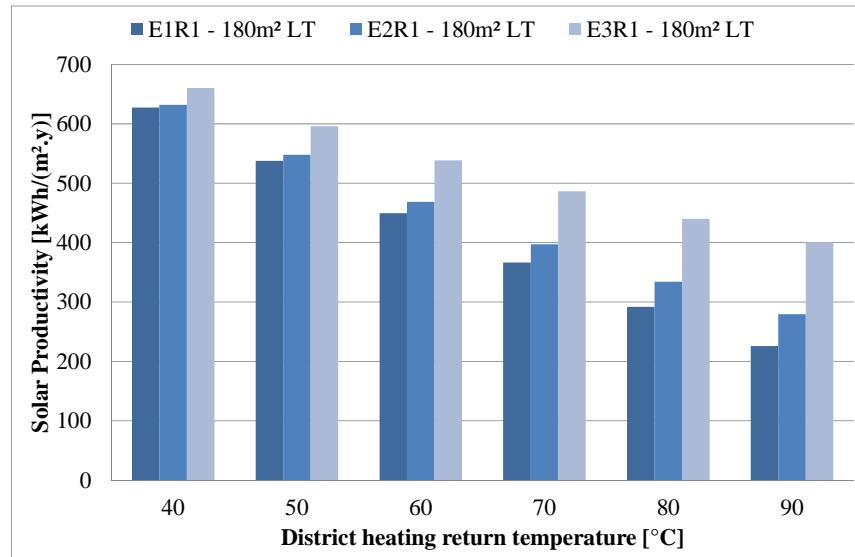
Principaux résultats : productivité solaire

- Pour une température de retour réseau constante de 50°C



Principaux résultats : productivité solaire

- Evolution de la productivité en fonction de la température de retour du réseau

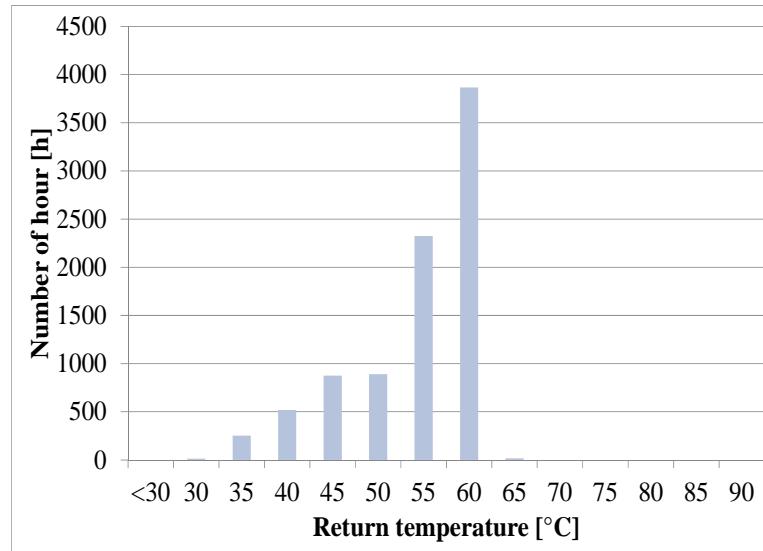


- La température de retour du réseau a une influence :
 - sur les performances solaires
 - de façon différente en fonction des configurations



Principaux résultats : productivité solaire

- Température de retour du réseau au cours de l'année



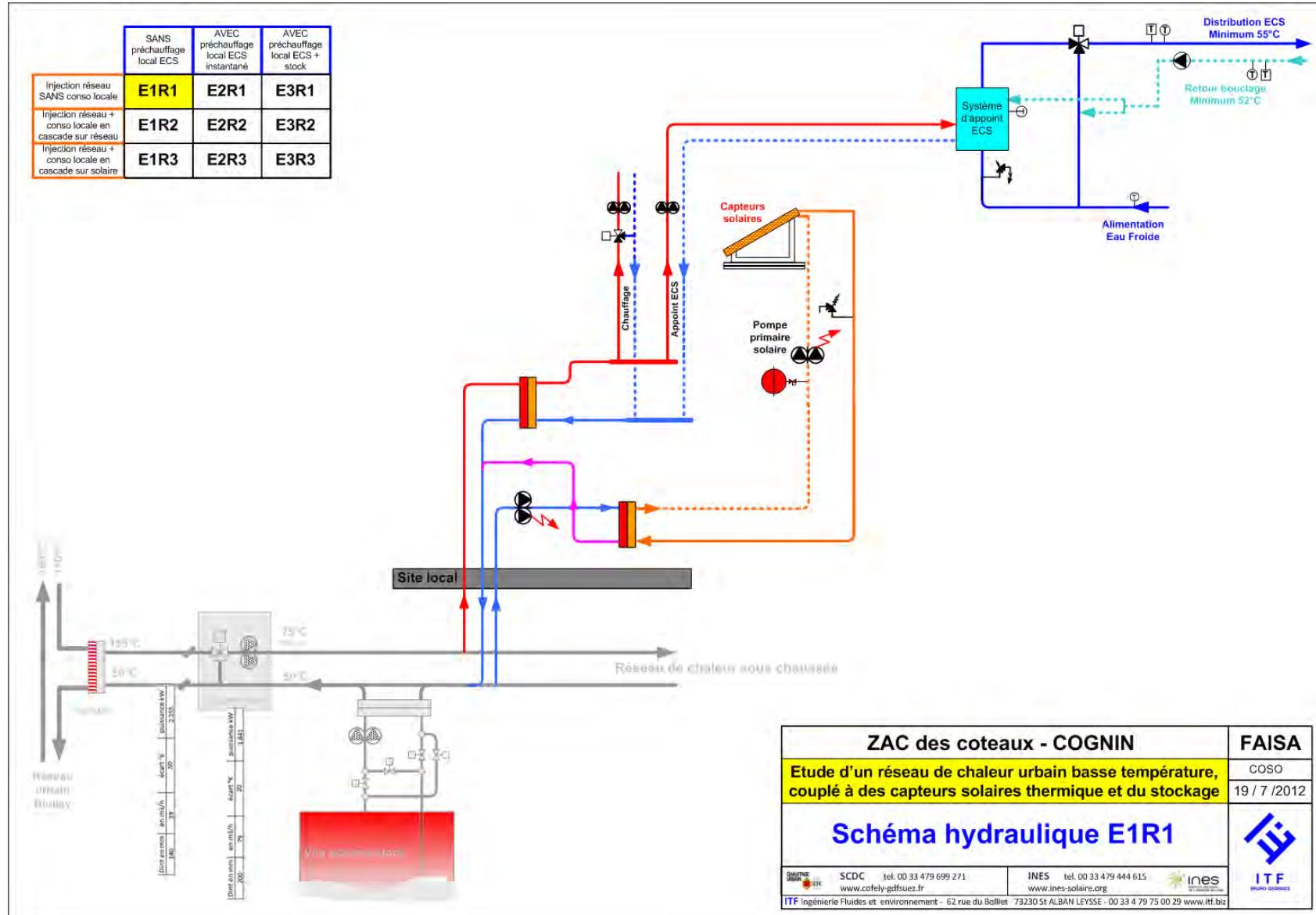
- En conclusion :
 - La température de retour réseau est fortement variable
 - Si le solaire est réinjecté sur le retour du réseau la température varie d'autant plus fortement et chaque sous-station va influencer la suivante



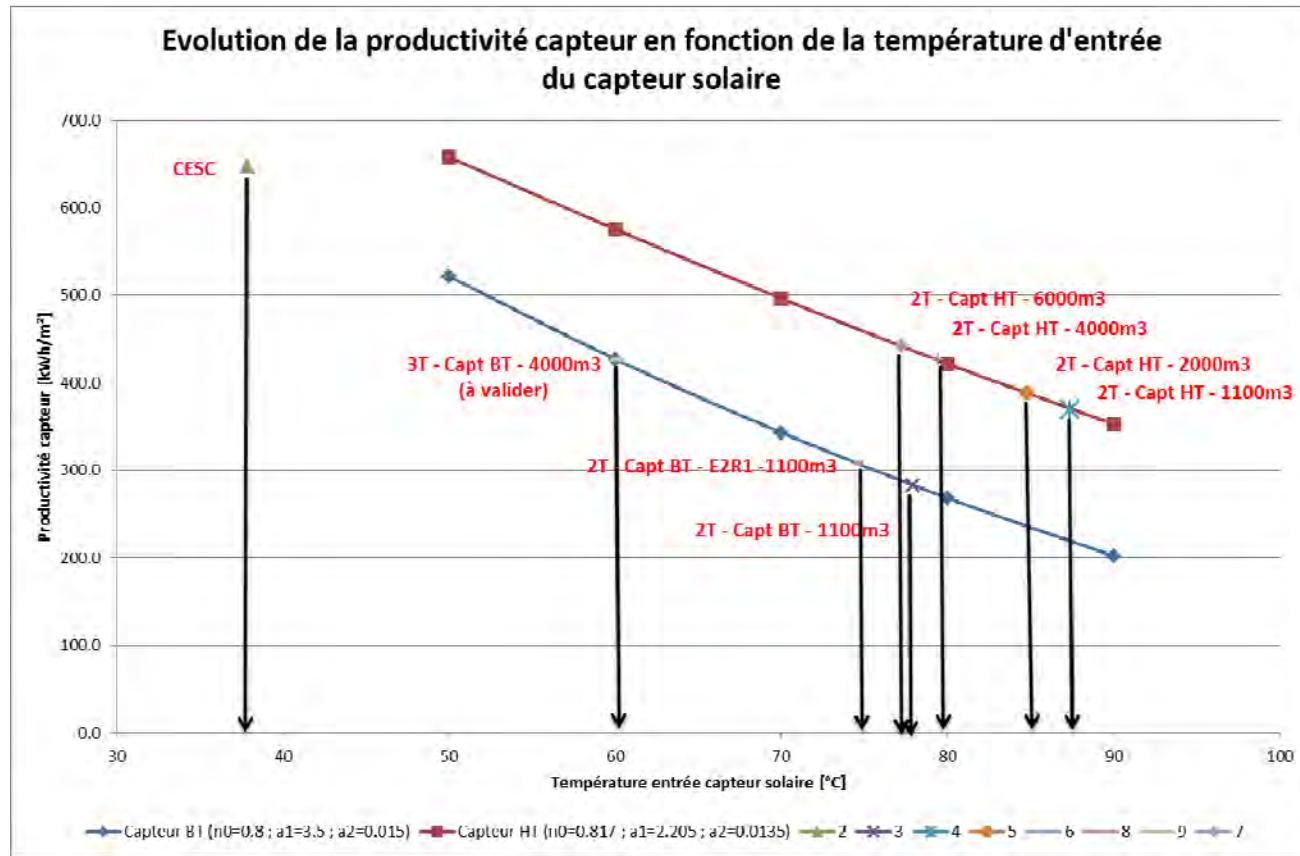
La simulation en dynamique du système à l'échelle du réseau de chaleur est nécessaire



16



Productivité capteur pour les différentes simulations

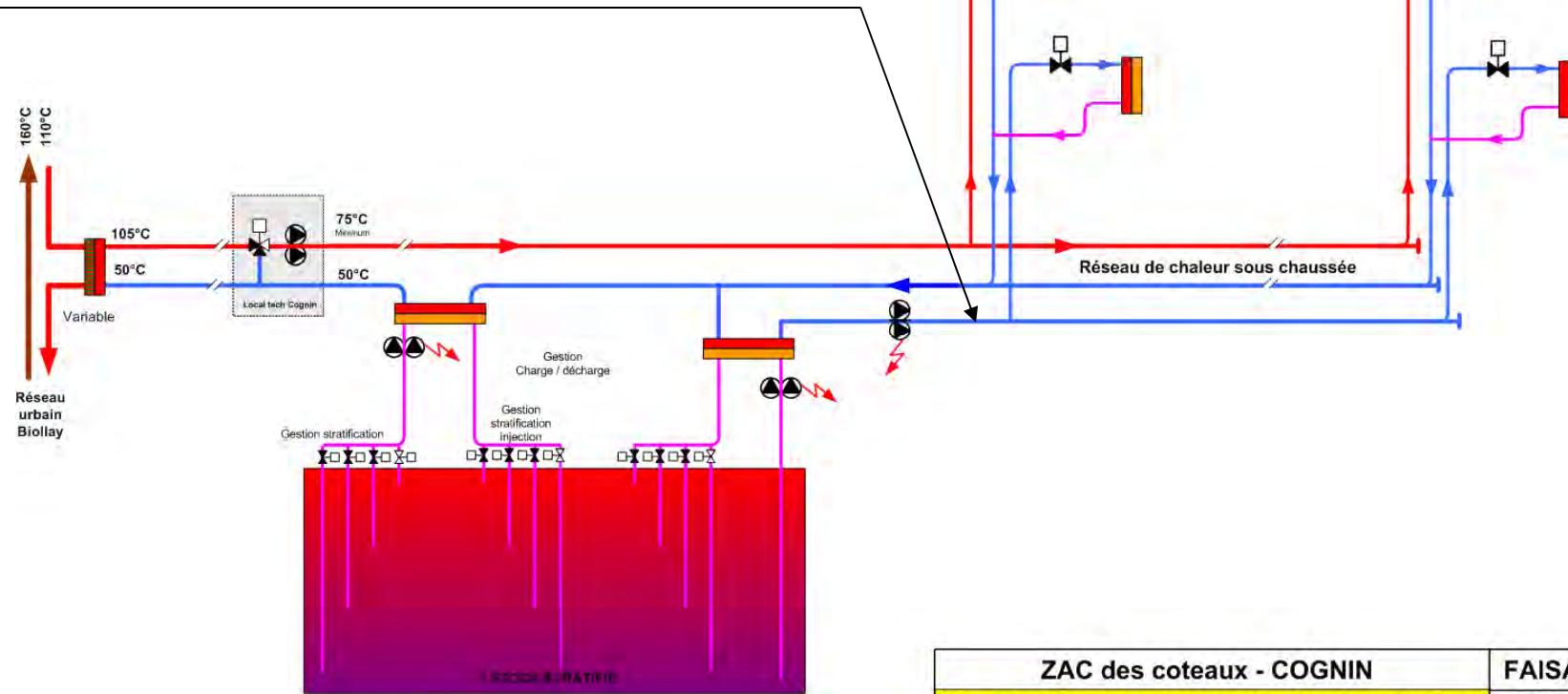


Les études de sensibilité montrent la pertinence
de capteurs solaire **haute température (HT)**
(double parois vitrée et isolation renforcée)



Un troisième tube pour améliorer le rendement des capteurs solaires

(amélioration rendement capteurs par l'eau la plus froide du système)



- V1 ouverture en fonction besoin SS
- V2 ouverture pour maintenir un écart constant pour la récup.
- V3 ouverture selon débit pompe réseau nécessaire à valorisation récup.

ZAC des coteaux - COGNIN	FAISA
Etude d'un réseau de chaleur urbain basse température, couplé à des capteurs solaires thermique et du stockage	COSO 19 / 7 / 2012
Schéma Réseau 3 tubes	
 SCDC tel. 00 33 479 699 271 www.cofely-gotsuz.fr	
 INES tel. 00 33 479 444 615 www.ines-solaire.org	
ITF Ingénierie Fluides et environnement - 62 rue du Boillet - 73230 St ALBAN LEYSSE - 00 33 4 79 75 00 29 www.itf.biz	

Pourquoi un 3^{ème} tube ?



- Methodologie :
 - Comparaison à un cas de référence

$$f_{sav} = \frac{Q_{aux,solar}}{Q_{aux,ref}} [\%]$$

- Cas de référence
 - Réseau de chaleur sans système solaire
 - Besoins des 12 sous-stations

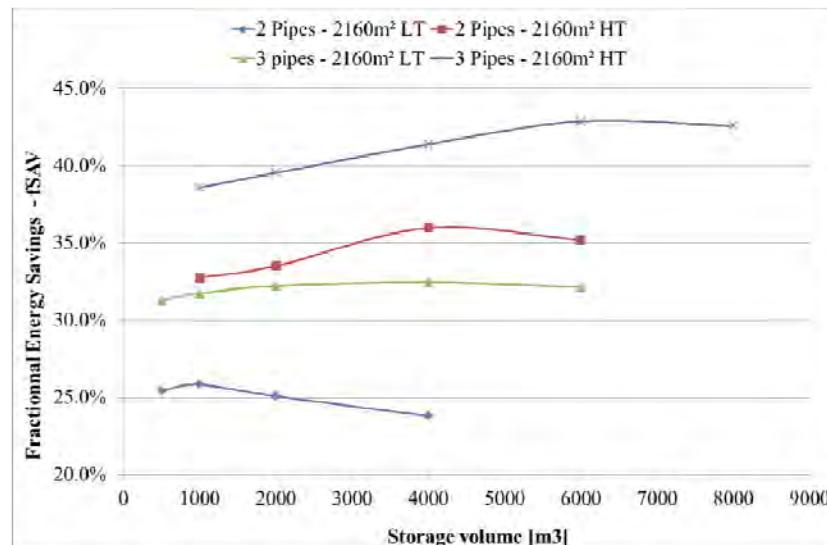
Energie	$Q_{\text{chauffage}}$ [MWh]	Q_{ECS} [MWh]
Total	1034.8	910.3

- Consommations détaillées du réseau de chaleur

Energie	$Q_{\text{aux,ref}}$ [MWh]	$Q_{\text{sous-station}}$ [MWh]	$Q_{\text{pertes RC}}$ [MWh]
Total	2168.2	1945.1	223.7

2 tubes vs 3 tubes

- Comparaison de f_{SAV} entre un réseau de chaleur 2 et 3 tubes avec des capteurs basse et haute température

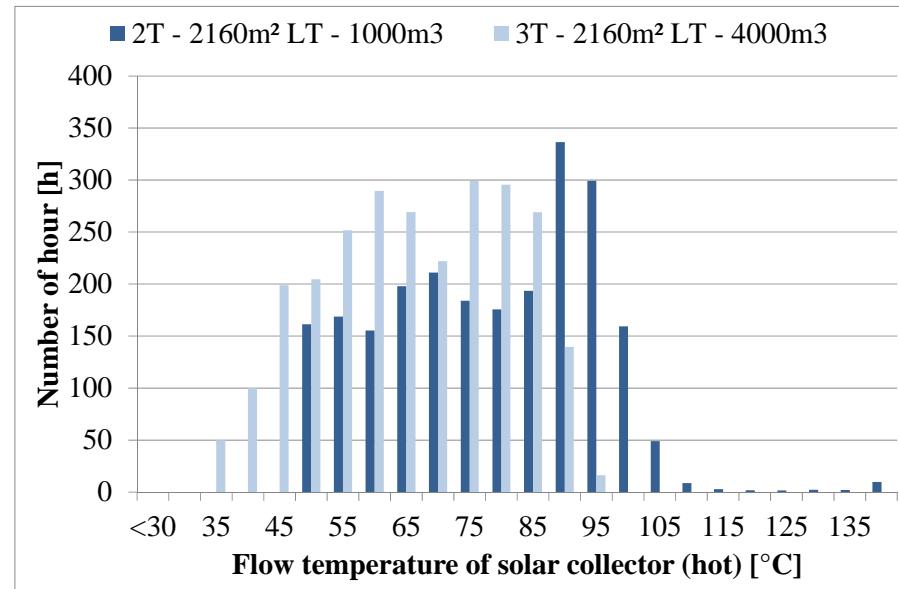


- Il y a un ratio optimum entre la surface capteur et le volume de stockage (dépend de la courbe de charge et de la ressource : simulation dynamique nécessaire à l'échelle du réseau)
 - Des capteurs solaires HT améliorent les performances dans les deux cas
 - Le réseau 3 tubes améliore les performances par rapport à un réseau 2 tubes pour une même surface de capteur solaire et volume de stockage

Pourquoi un réseau solaire 3 tubes est plus performant ?



- Le 3^{ème} tube permet de réduire la température de fonctionnement des capteurs solaires
 - Les sous-stations n'ont pas d'influence l'une sur l'autre
 - Les débits dans le réseau de chaleur et le circuit solaire général sont indépendants



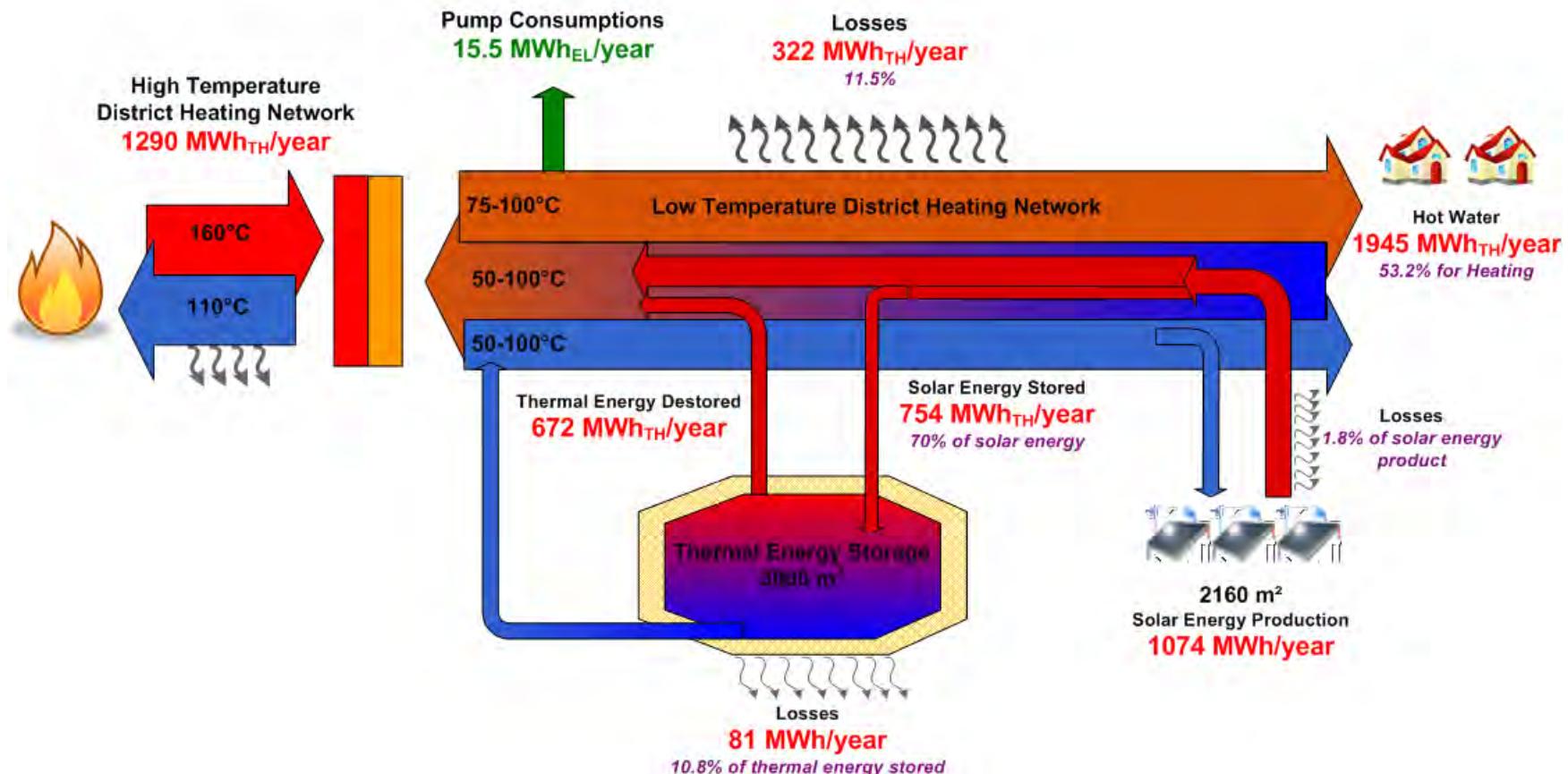
Un stockage optimisé à 3000 m³

- Les études de sensibilité réalisées en dynamique, montrent un optimum entre 3000 et 6000 m³
- La technologie constructive n'est pas arrêtée (acier ou béton)
- L'implantation sur le site est délicate au regard du volume à intégrer dans le paysage
- Ci-contre un exemple de structure béton préfabriquée présentée par SOLITES à Malmö, lors du congrès SDH



solites

COGNIN - Heating Demand 25 kWh/m² – Thermal Solar Collector = 2160 m² – Thermal Energy Storage = 3000 m³ – 3 Pipes



Synthèse



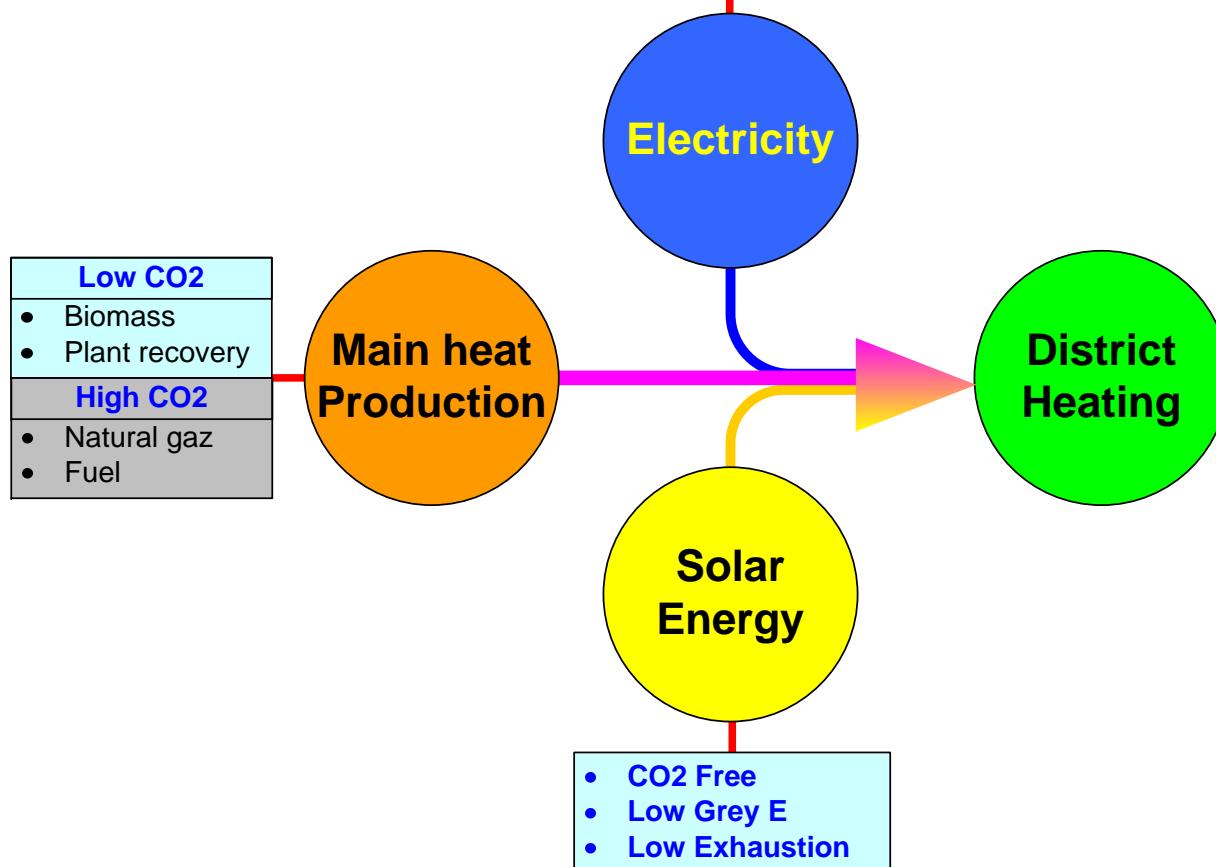
Comparaison		Stock identique		Stock optimisé
	fSAV	Energie économisée	fSAV	Energie économisée
Réseau 2T vs 3T	~+6%	~130 MWh/an	~+7%	~150 MWh/an
Capteur HT vs BT pour réseau 2T	~+7%	~150 MWh/an	~+10%	~220 MWh/an
Capteur HT vs BT pour réseau 3T	~+7%	~150 MWh/an	~+11%	~240 MWh/an
Reseau 3T capteur HT vs Reseau 2T capteur BT	~+13%	~280 MWh/an	~+17%	~370 MWh/an

f_{SAV} : Valeur de l'énergie non soutirée au réseau urbain donnée en valeur absolue

**La performance solaire du projet retenu
est de fournir 40% des consommations globales**
 (besoins chauffage et ECS, perte stockage solaire, pertes réseaux)

Approcher la « bonne » performance

Low CO ₂	High CO ₂
<ul style="list-style-type: none"> Nuclear (*) Hydraulic Wind 	<ul style="list-style-type: none"> Natural gaz Fuel Coal



(*) Nuclear energy

The people safety and the nuclear waste treatment, remains a real environmental problem

La notion de bonne performance doit aussi intégrer

Émissions de CO₂ and Energie grise

Seule une approche dynamique permet d'évaluer en même temps tous ces critères et de réaliser les arbitrages de décision

Par le détail et la richesse des éléments fournis,
la simulation dynamique permet aux décideurs
de réaliser les arbitrages les plus pertinents,
sans marge de sécurité surévaluée.

Elle permet aussi de s'aventurer
hors des sentiers battus,
là où les ratios usuels n'existent pas

Co-production énergétique réseau de chaleur & solaire thermique par rapprochement des niveaux d'intensité énergétique

Transposition potentielle des concepts
pour la desserte énergétique d'éco-quartiers

Usage du stockage solaire de grosse capacité
pour gérer les appels de puissance au réseau principal,

Lissage des appels de puissance

Accroissement des usages EnR

« Décarbonage » de la production

en cours d'étude

Le projet est candidat à l'appel à projets

Nouvelles Technologies Emergentes (NTE)
pour la spécificité Production énergétique

Fonds Chaleur
pour la spécificité Extension Réseau

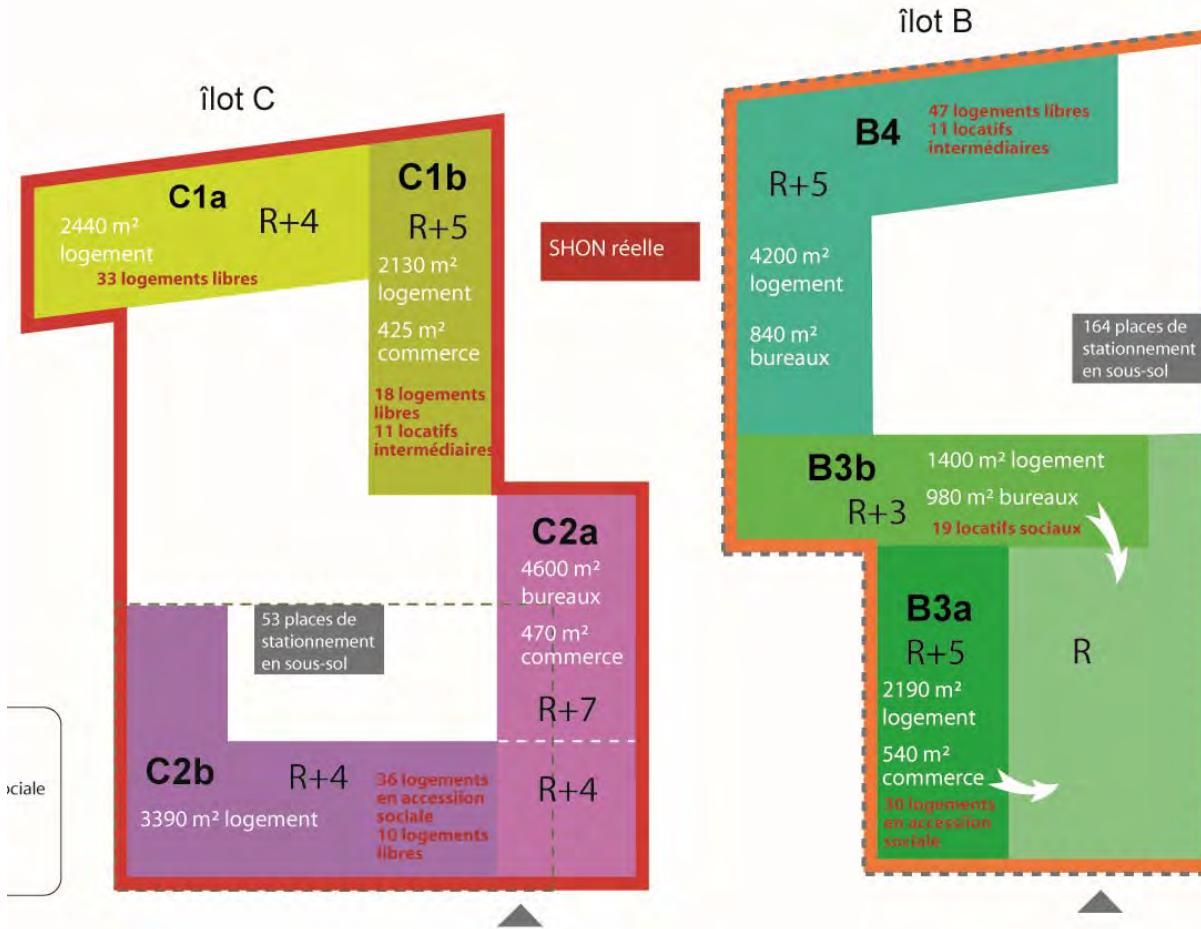
**EXAMPLE 2 : Prairie au
Duc, Ile de Nantes. îlot
mixte résidentiel tertiaire
de 24 000 m²**

Bruno Georges

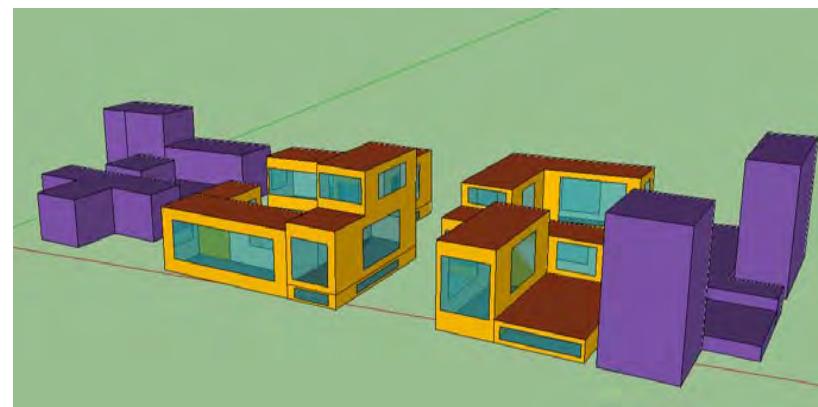


Architectes **BLOC Nantes & Exploration architecture Paris**
Ingénierie Fluides et environnementale : **ITF**

Faisabilité des urbanistes



Des études faites à l'échelle urbaine



Une réponse des promoteurs
qui va au-delà du cahier des charges de
l'aménageur SAMOA

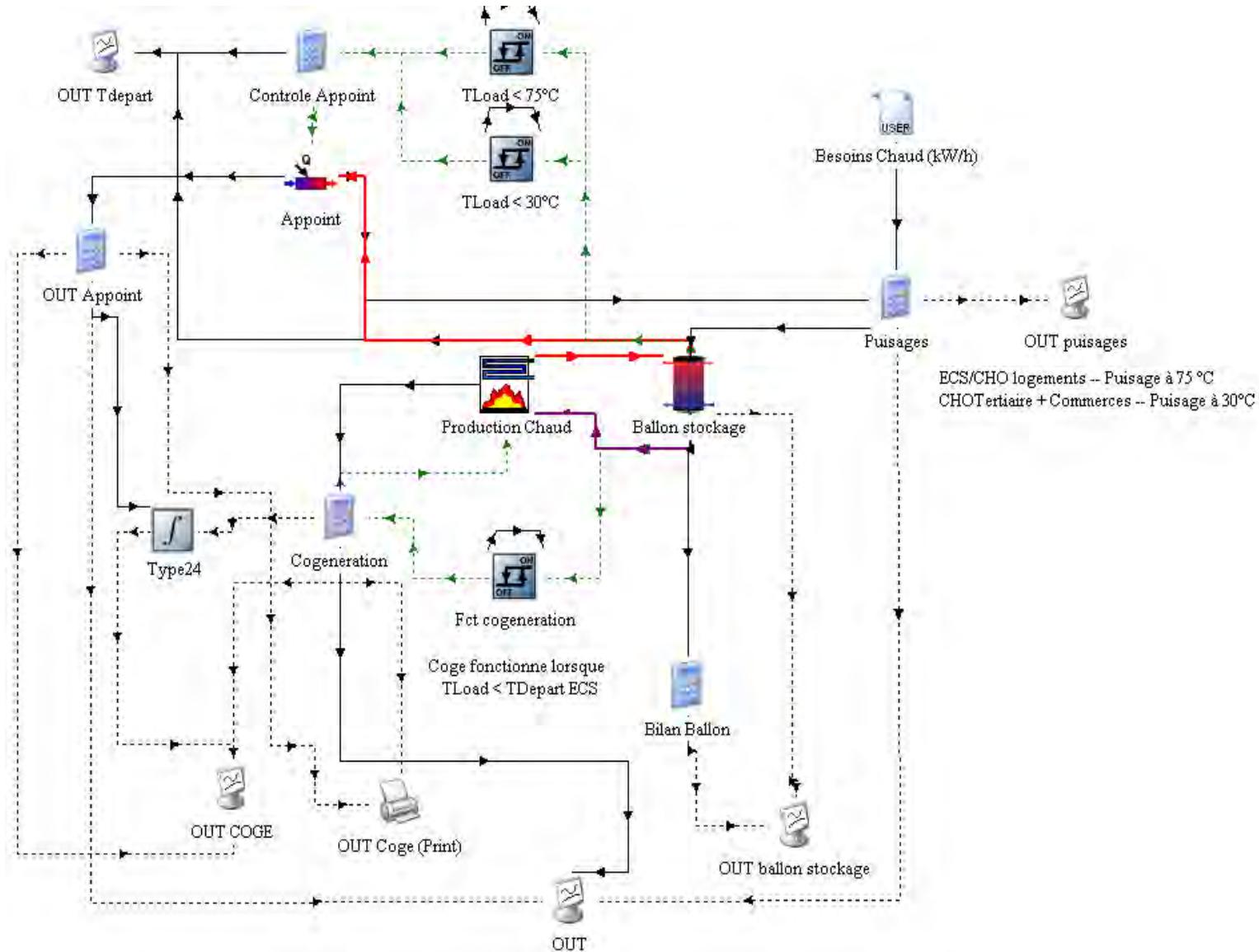
Un engagement niveau Passiv Haus



Une compensation locale des besoins RT en base

Une stratégie pour tendre vers ZERO ENERGIE

Des approches faites à l'échelle urbaine



Performance énergétique et environnementale

Réduire les besoins

Engager une sémantique « low Tech »

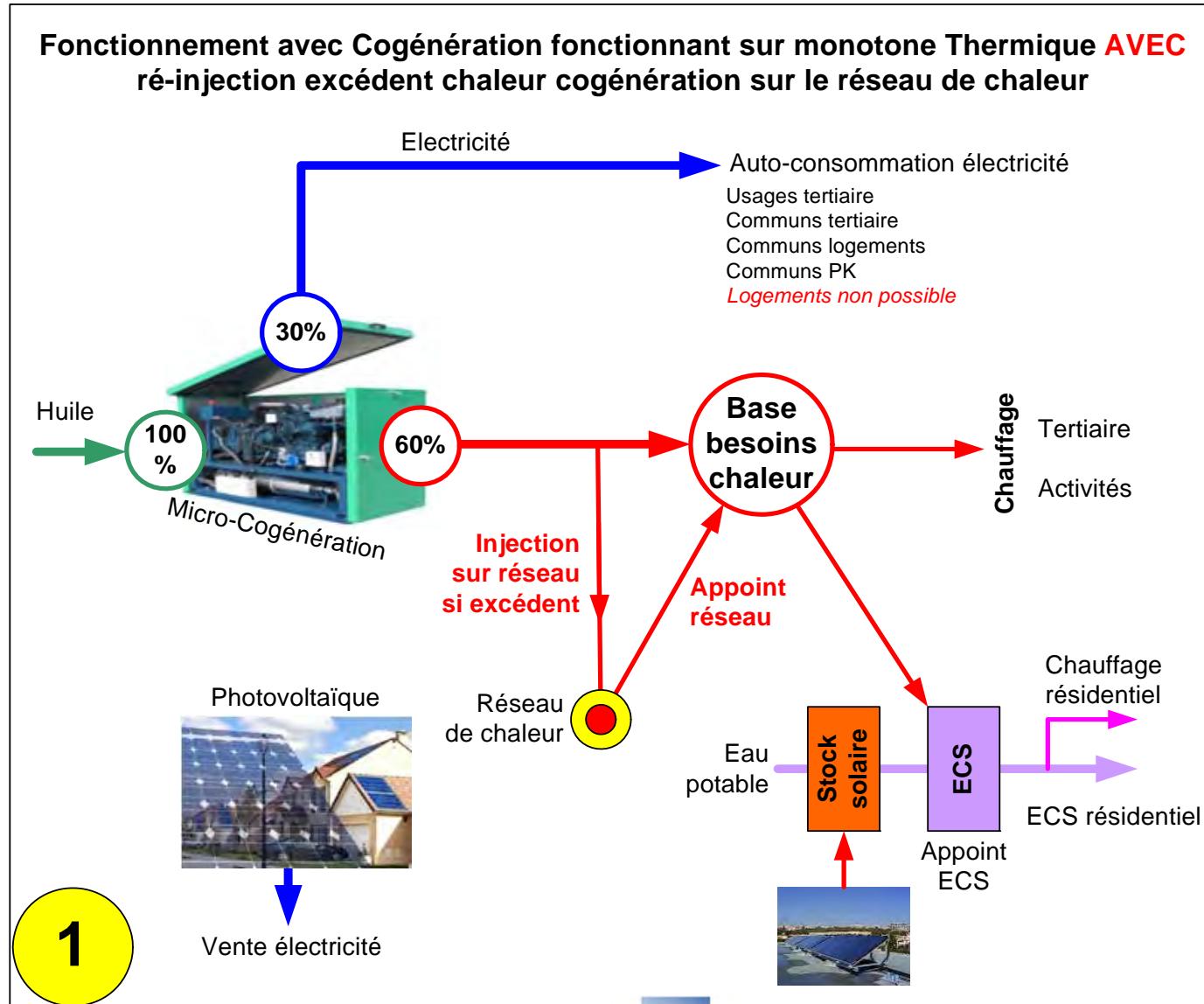
Un peu de technique, ...

Production mutualisée de chaleur et de froid

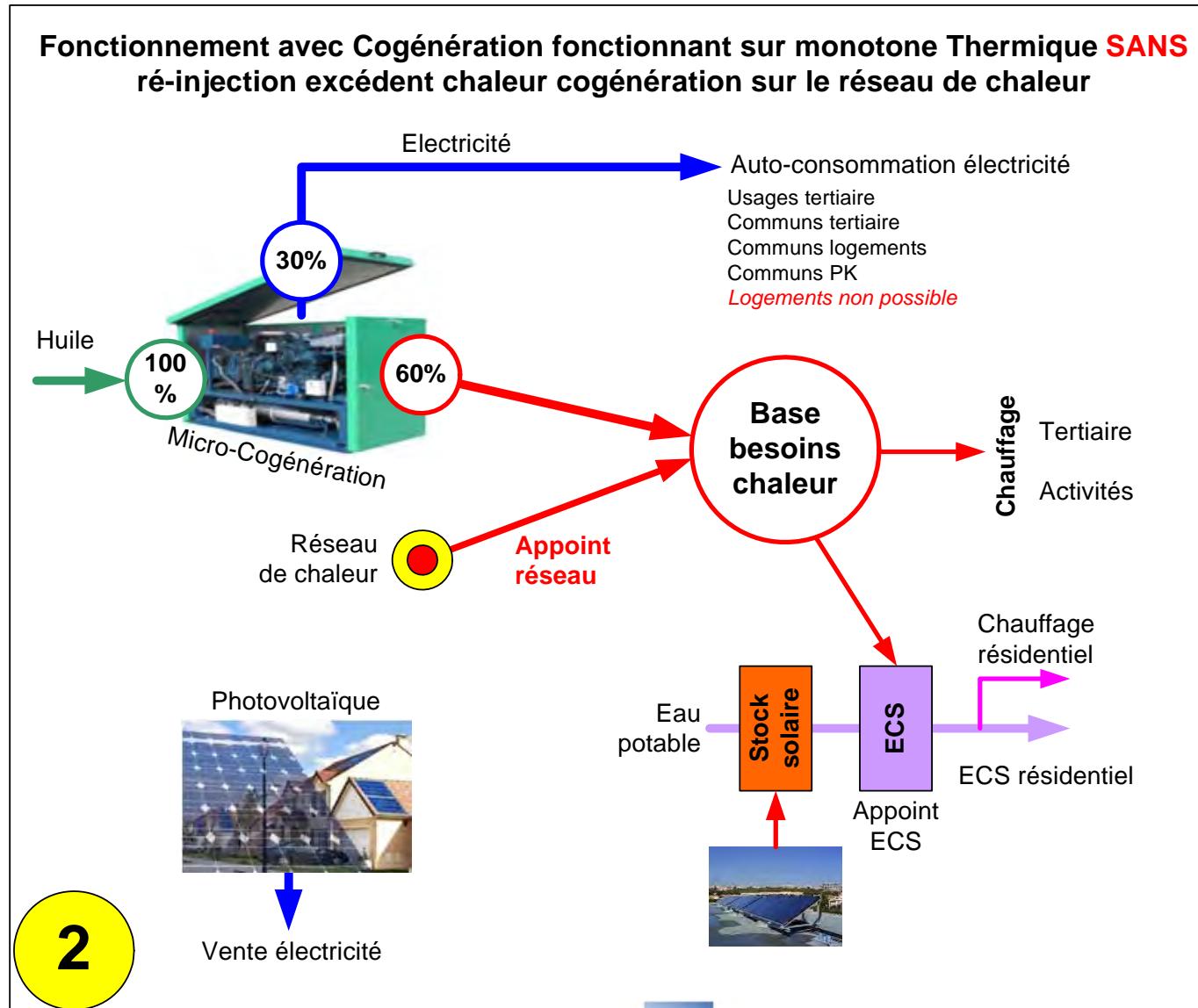


- **Une production par un « mix énergétique » complexe et évolutif**
 - Limiter le plus possible les émissions de gaz à effet de serre
 - Fournir de l'électricité pour tendre vers « zéro énergie »
 - Présenter un coût d'exploitation le moins possible impacté par l'évolution du coût des hydrocarbures.
- **Les premières investigations et simulations basées sur**
 - Micro-cogénération fonctionnant à l'huile végétale, avec possibilité en Huile Alimentaire Usagée
 - Appoint chaleur par réseau de chaleur
 - Production ECS résidentiel centralisée
 - Production électricité par panneaux photovoltaïques

Production mutualisée de chaleur et de froid

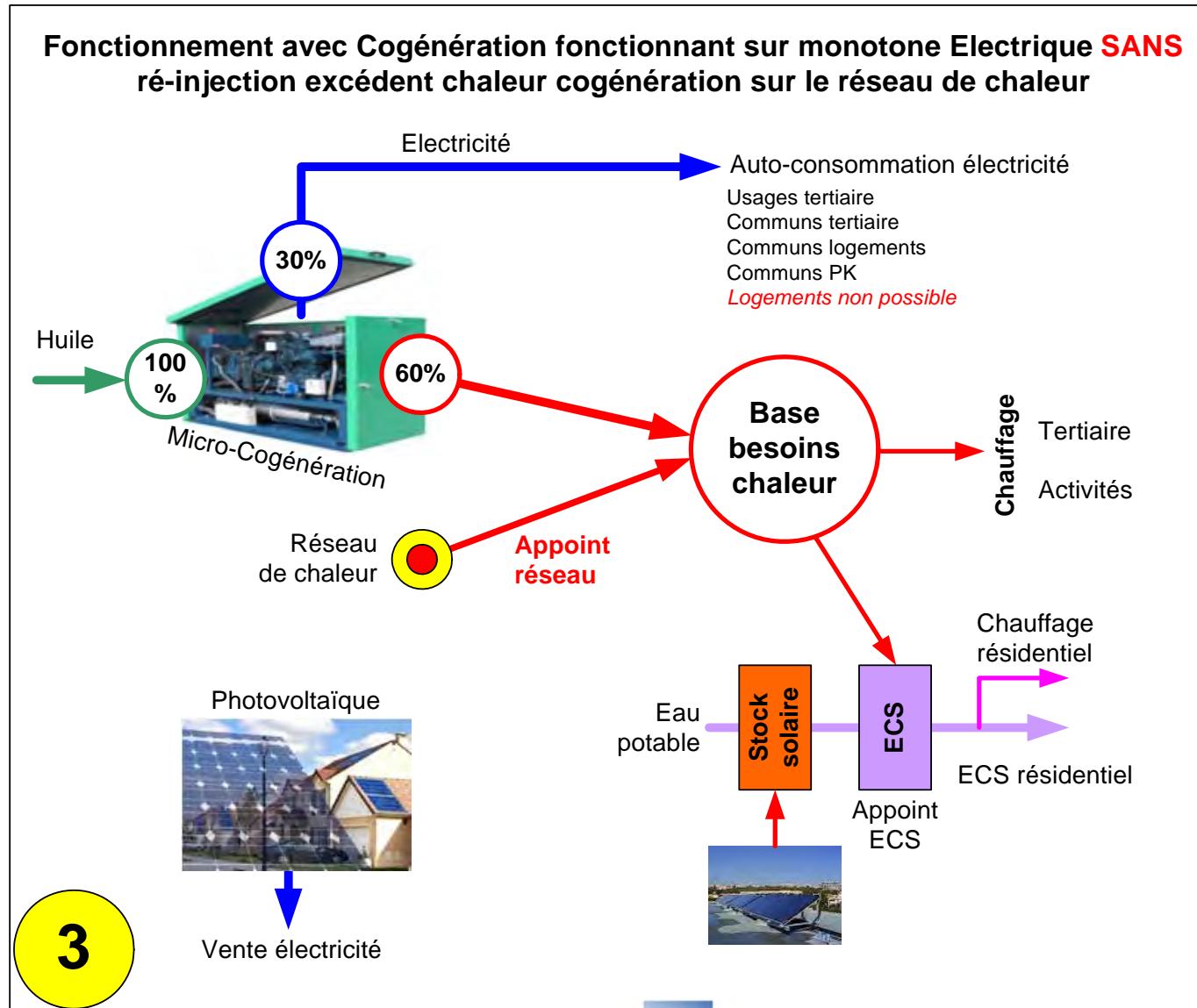


Production mutualisée de chaleur et de froid

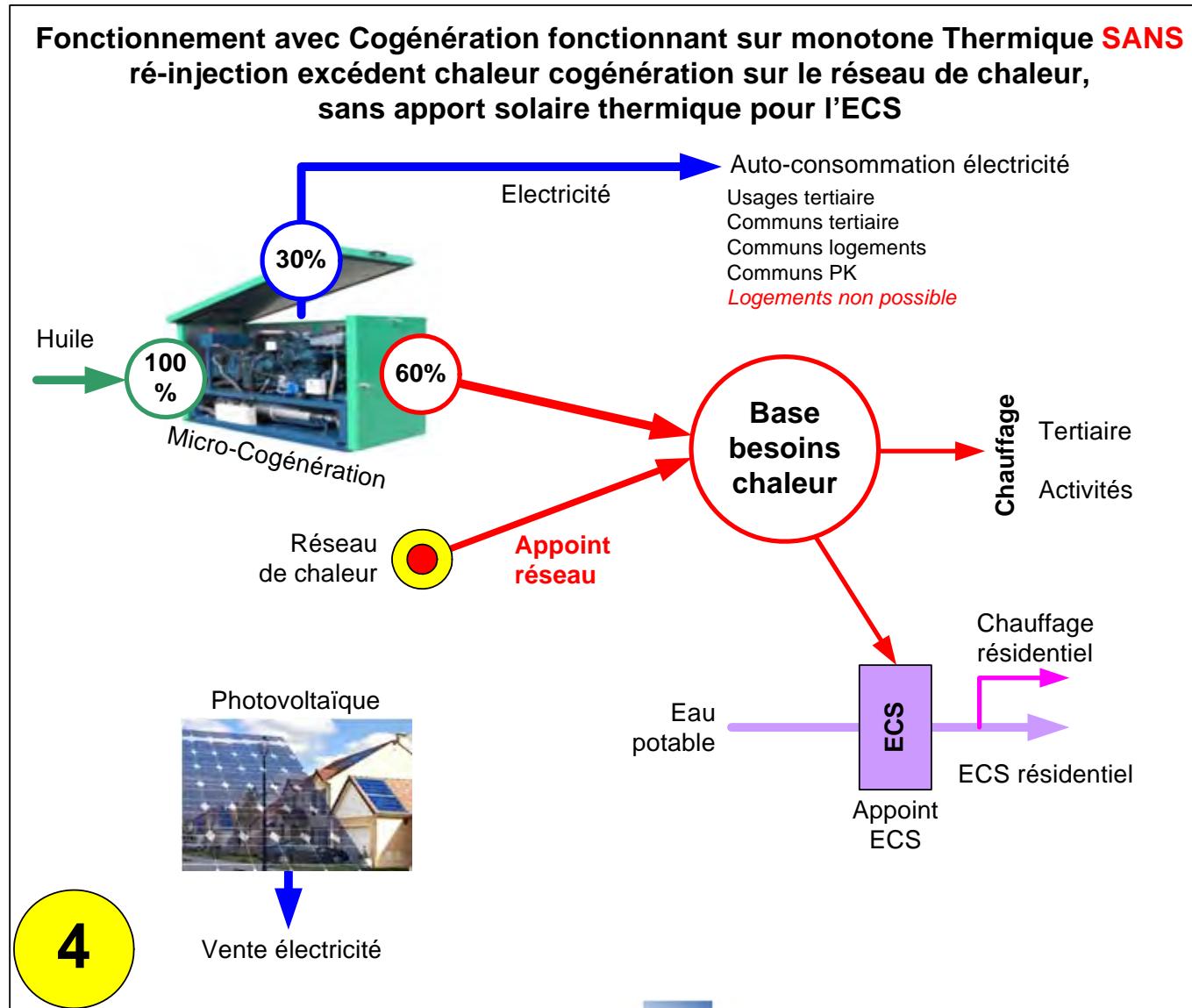




Production mutualisée de chaleur et de froid



Production mutualisée de chaleur et de froid



4



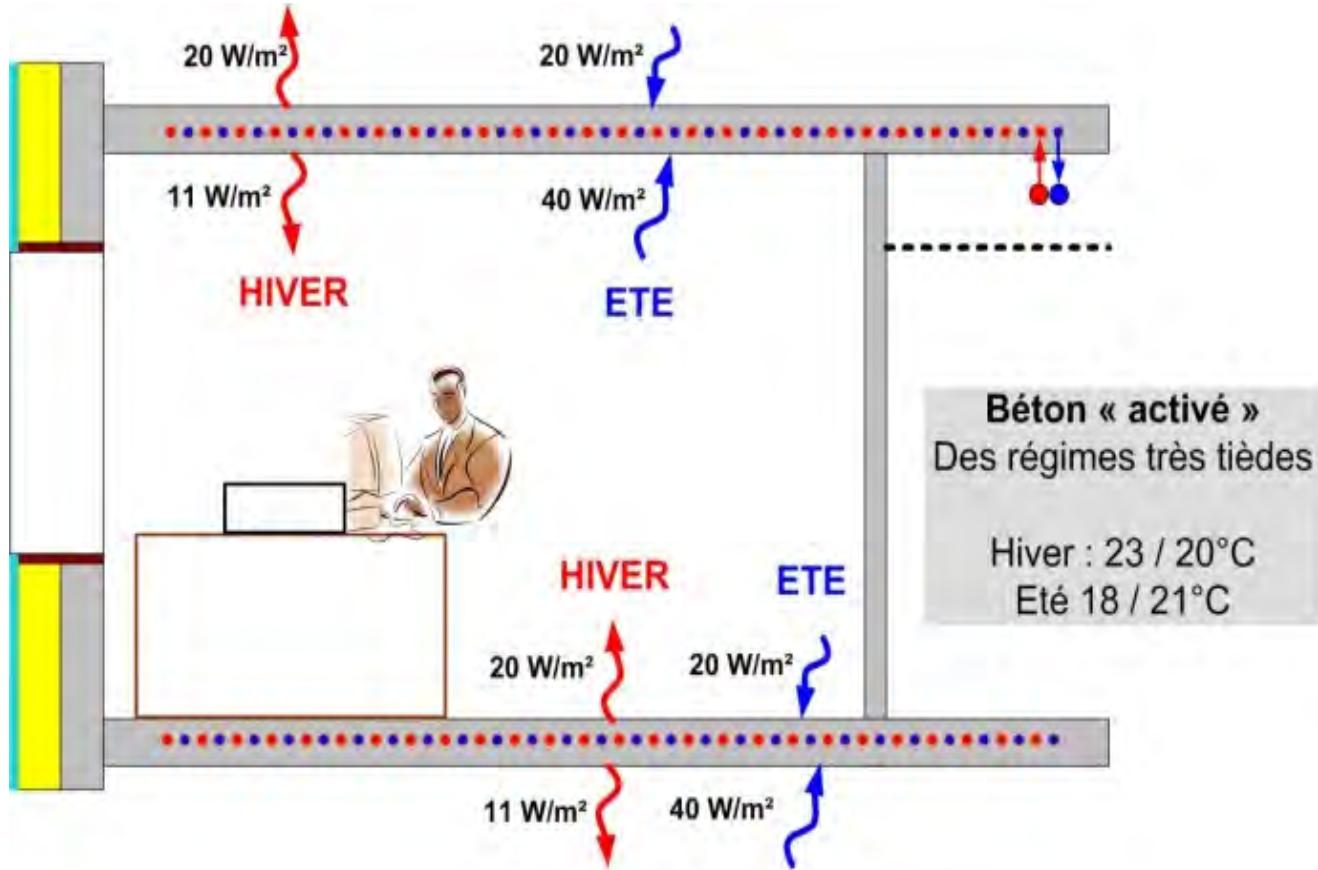
Points de conception Tertiaire



Distribution d'énergie dans le tertiaire

- Distribution de chaleur et de « froid » par « dalles actives », des dalles agissant comme un Plancher / Plafond, Chauffant & Rafraîchissant Très Basse Température
- Une émission de chaud et de froid se faisant vers le haut et vers le bas.
- De très bas niveaux de température eau à **23°C** l'hiver, à **18°C** l'été
- Pas de faux plafonds

Distribution d'énergie dans le tertiaire



Ventilation

Double flux
avec 80% de récupération énergétique

Éclairage Naturel

- **Un OBJECTIF FORT** : Limiter les consommations électriques de l'éclairage artificiel qui représentent 25% du global énergie primaire en bureaux.
- La nécessité d'un large et généreux accès à l'éclairage naturel

**En corollaire, un éclairage artificiel
très performant asservi
aux usages et à l'éclairage naturel**



Points de conception Résidentiel

Gains solaires passif

Une nécessité de fort gains solaires passif
pour atteindre un niveau Passiv Haus
avec des surcoûts raisonnables

Ventilation

Double flux
avec 80% de récupération énergétique



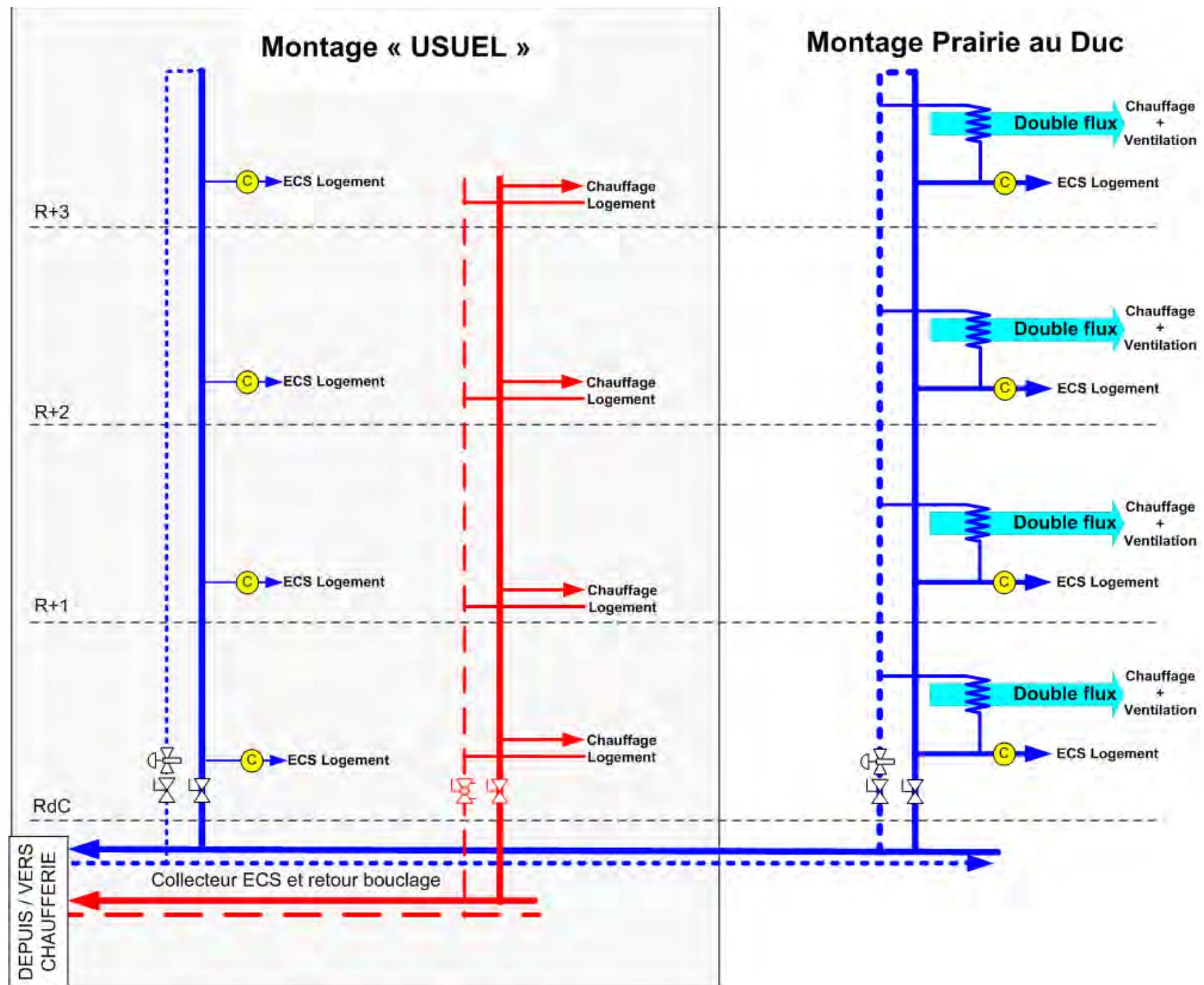
Distribution du chauffage dans les logements

Du fait de la faible puissance requise par logement
(entre 0.8 et 1.5 kW),

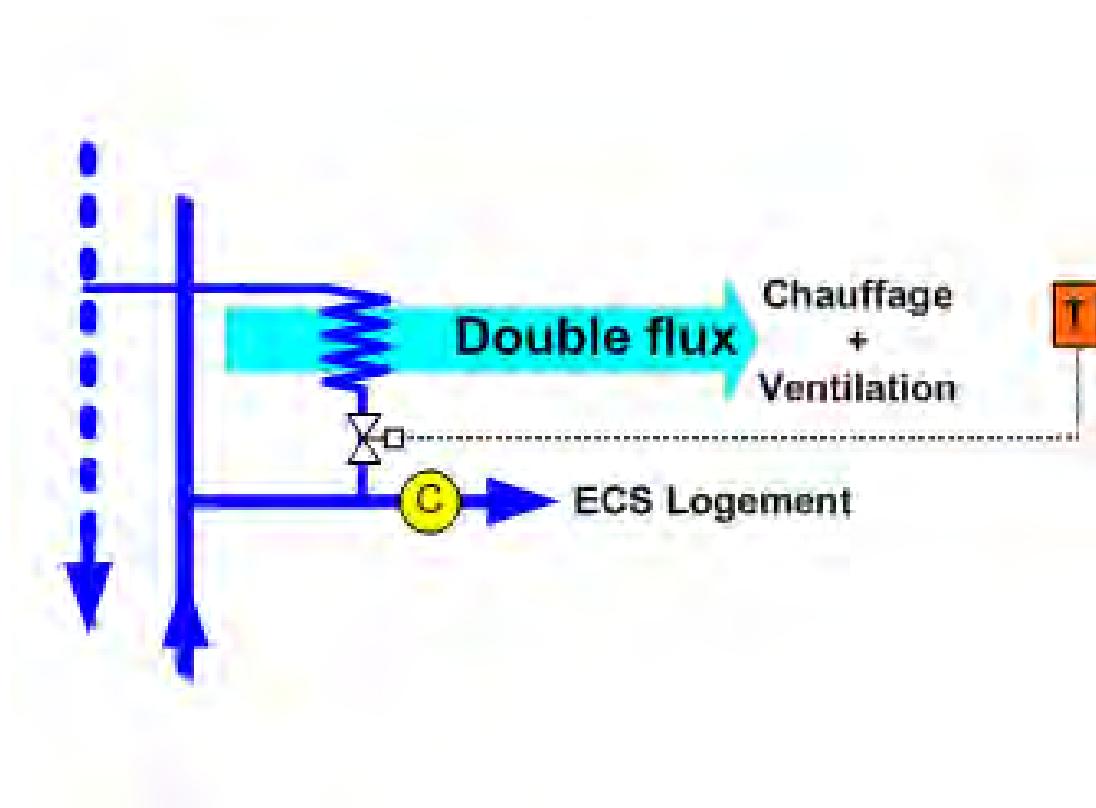
le chauffage est distribué **par air**.
avec un thermostat de régulation par logement.

+ un radiateur sèche serviette par salle de bains

Pas de comptage de chaleur par logement



L'économie du réseau de distribution chauffage

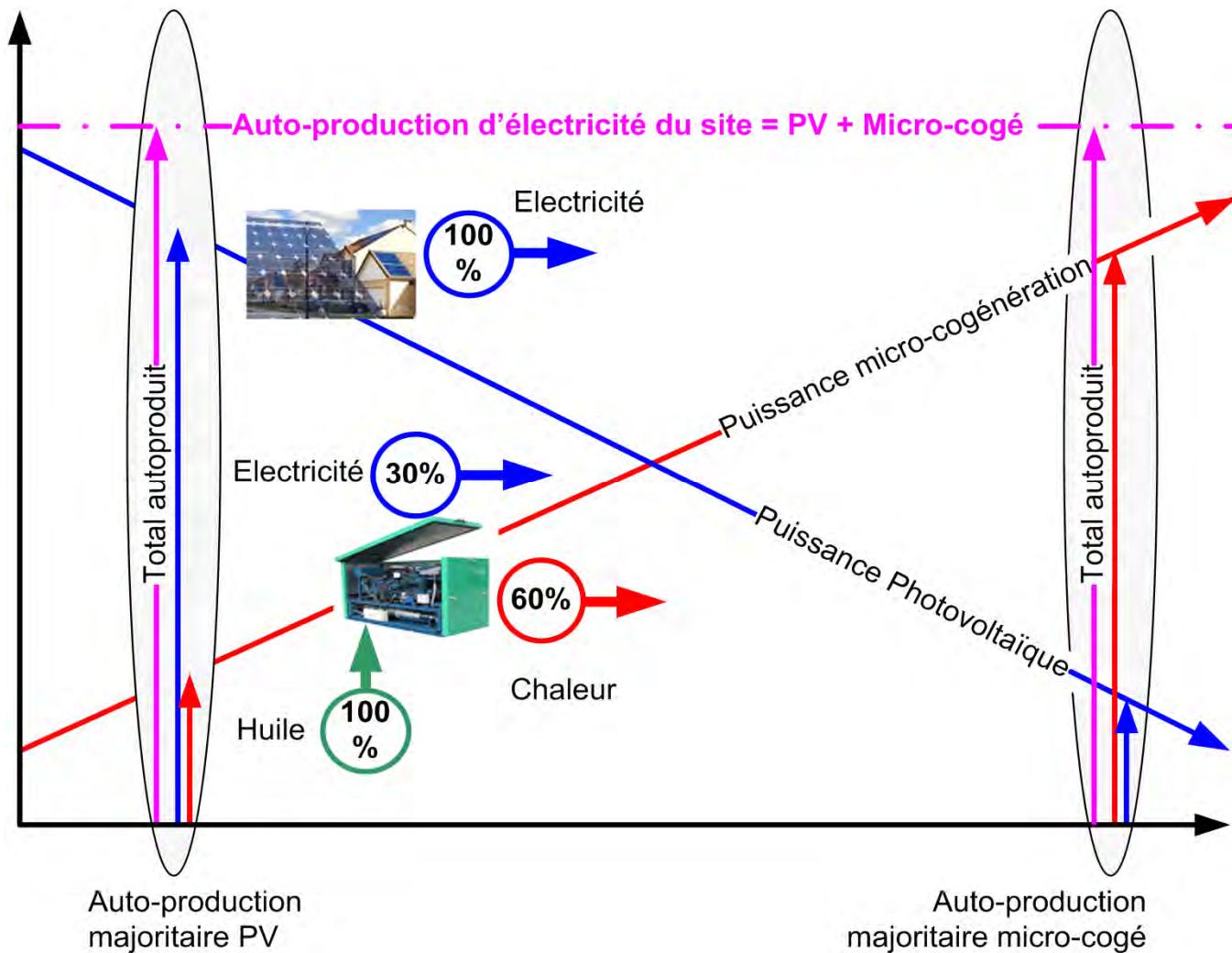


Eau Chaude Sanitaire



- Une distribution ECS par colonne logement : Une « presque nécessité » et une forte bonification énergétique et économique **d'une seule colonne par logement**, ...
- Possibilité de capteurs solaires thermiques

Vers Zéro Energie



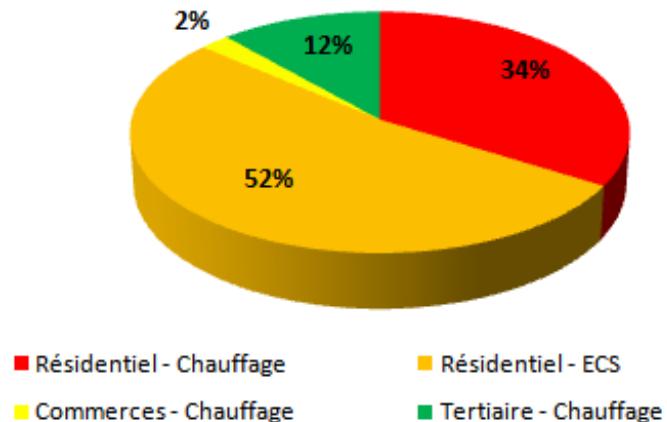
Le champ des possibles
évalué lors du concours par les STD,

en préfiguration de la phase esquisse

***Un réel problème d'investissement,
la nécessité absolue d'être efficace !***



Demande de chaleur et de froid



OBJECTIFS DE L'APPROCHE DYNAMIQUE

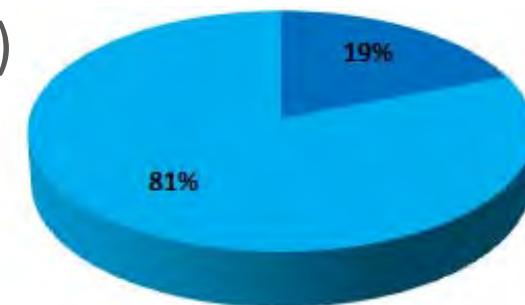
Évaluer les profils d'appel de puissance (+ / -)

Comprendre les puissances maxi nécessaires

Dimensionner la compensation PV

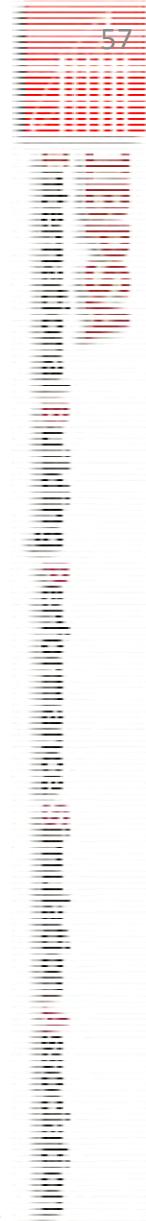
Faire les premiers bilans économiques

Rendre crédible les concepts développés

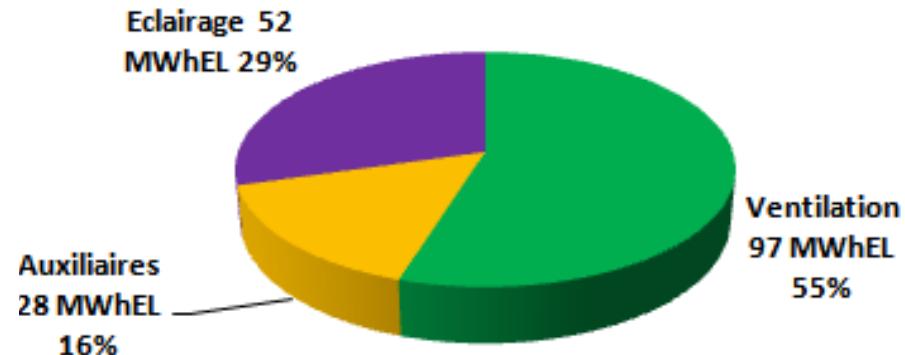


■ Commerce - Froid ■ Tertiaire - Froid

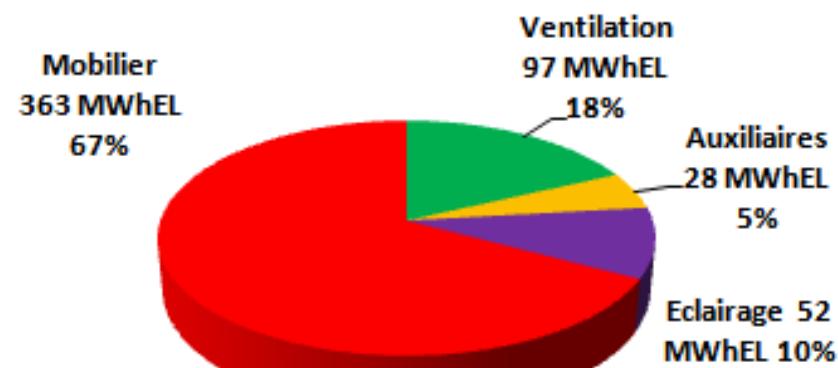
Consommations électriques



Partie Résidentielle : Consommations Electriques
Usages RT



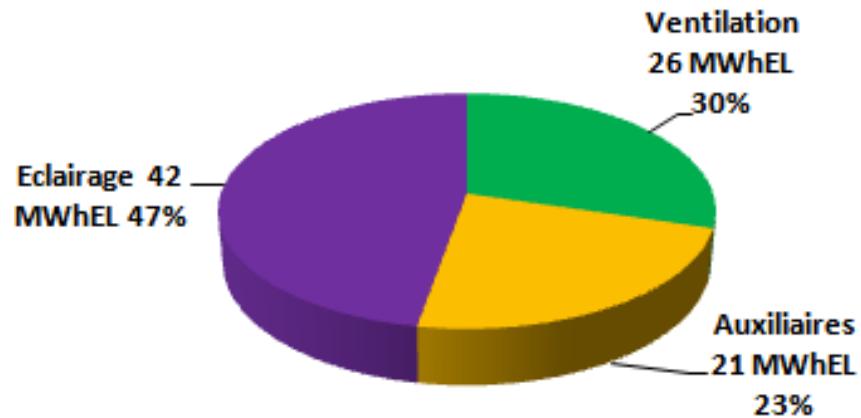
Partie Résidentielle : Consommations Electriques
Tous Usages



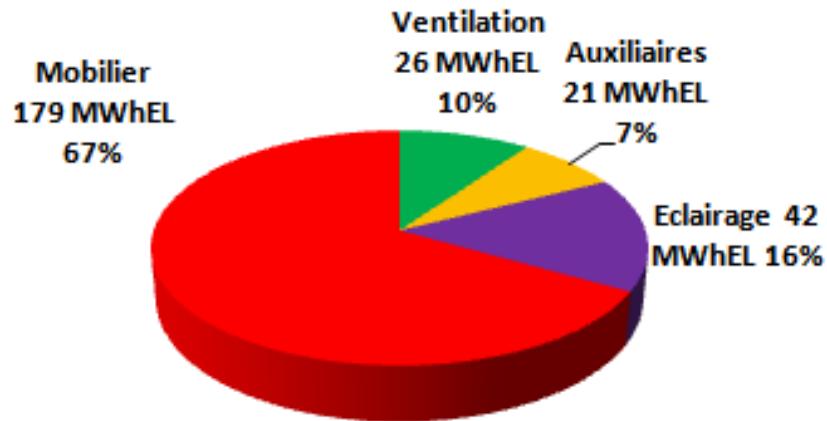


Consommations électriques

Partie Tertiaire : Consommations Electriques Usages
RT



Partie Tertiaire : Consommations Electriques
Tous Usages



Fonctionnement cogénération sur charge thermique SANS Production Solaire Thermique SANS réinjection réseau Des premiers résultats

Puissances Thermique Installée [kW]	Modules de cogé	Gestion Production chaleur							PHOTOVOLTAÏQUE		Eolien		
		Cogénération						Appoint		Centrale production		Centrale production	
		Production thermique globale [MWh _{TH} /an]	Conso Huile [m ³ /an]	Production Electricité [MWh _{EL} /an]	Auto-conso. Électricité par les Usages RT 2012	Auto-conso. Electricité par Tous les Usages	Auto-conso. Tous Usages sauf privatifs logements	Energie consommée pour appoint [MWh _{TH}]	PMAX [kW]	Surface PV pour compenser le Bilan Energétique RT2012 [m ²]	Surface PV pour compenser TOUS les usages [m ²]	Nombre d'éoliennes pour compenser le Bilan Energétique RT2012	Nombre d'éoliennes pour compenser TOUS les usages
98	1 x 98 kW	644	138	493	54%	95%	en cours	241	484	990	3 800	-	33
100	2 x 50 kW	764	148	459	59%	98%	en cours	235	482	1 450	3 800	-	43
144	2 x 72 kW	1 031	215	716	40%	89%	en cours	137	428	-	3 800	-	4
195	1 x 195 kW	917	190	705	38%	79%	en cours	72	386	-	3 630	-	-
224	1 x 224 kW	965	205	776	36%	73%	en cours	46	357	-	3 180	-	-
								Réseau chaleur ou chaudière gaz					



Sans réinjection sur le réseau, les consommations d'énergie réglementaires sont compensées par la production électrique :

- d'une cogénération de 1x98 kW_{TH} qui fonctionne sur la demande en chaud
- d'une production électrique d'origine photovoltaïque de 156 kW (1300 m²)

Consommations Conventionnelles [MWhEP/an]	Fonctionnement de la cogénération sur charge thermique SANS Réinjection Réseau	
	Consommations	Répartition
Consommation Cogénération (1x98 kW _{TH})	389	29%
Consommation Appoint	216	16%
Consommations Rafraîchissement	4	0%
Consommations Electricité (Usages RT)	736	55%
Consommations Electricité (Tous usages)	0	0%
CONSOMMATIONS TOTALES	1 345	100%
Production Electrique Cogénération	870	65%
Production Electrique Photovoltaïque	475	35%
PRODUCTION ENERGETIQUE TOTALE	1 345	100%
Bilan Global (Consommations - Productions)	0	-

IBPSA – ICO – INES

Manifestation intégrée à IBPSA World Aout 2013 (2^{ième} journée)



IBPSA
International Building Performance Simulation Association

Approche « multi-physiques » de la conception par simulation dynamique

Adrien JEZEQUEL - ITF

IBPSA – ICO – INES



- **9h – 10h** : « From Mickey mouse to building simulation » par Donald Greenberg
- **10h30 – 11h30** Table ronde BE pratiquant PLANAIR, ADRET, ETAMINE, ITF
 - Vision globale
 - Passer du couteau Suisse du bureau d'étude qu'est le tableur à l'outil dynamique au sens large
 - Nécessité de compétence interne pour les approches physiques permettant d'exploiter la simulation
- **11h30 – 12h** Fiabilité de la simulation Bruno Peuportier : *La méthode et le dynamique (récursivité, base temps, ...)*
- **12h – 12h 30** Monter un projet de simulation Laurent MORA IBPSA

- **Pause repas**

- **14h – 14h30** Introduction des activités INES, Technolac, Formation
- **14h 30 – 15 h 30** Par l'exemple, la nécessité du calcul dynamique pour les projets performants
 - Projet Cognin de réseau de chaleur solaire : Cédric Paulus & Bruno Georges
 - Le centre administratif du CHU de Poitier, Bruno Georges
 - Prairie au Duc, Ile de Nantes. îlot mixte résidentiel tertiaire de 24 000 m², Bruno Georges
- **15 h30 – 16h** Intégration multi-physiques par simulation Adrien Jezequel
 - Dans les notions de « multi-physique » et/ou transversalité
 - Dans l'évaluation des impacts qualité d'air, éclairage, transferts aérauliques, ...
- **16h - 16h30** « Passer à l'acte » avec fiabilité Bruno Georges
 - La formation,
 - Monter un projet de simulation Insister sur « quelle est la question ?»

Etat des lieux

Simulations Thermiques Dynamiques (STD)

- Intégrées dans les **Programmes et Cahiers des charges**
- Reprises dans les **Référentiels et les Certifications**

Une réelle nécessité pour les BET
de développer des compétences
et d'intégrer ces nouveaux outils
de conception et de décision

Les demandes courantes
portent sur 2 sujets **distincts**

Etudes de confort thermique

Etudes « énergétiques »

Etudes de confort

Permet un engagement sur le niveau de confort thermique dans l'ensemble du bâtiment sous sollicitations **contraignantes**.

Seules les zones les plus défavorables sont étudiées : La granulométrie du domaine d'étude est réduite

Exemple : Evaluation du nombre d'heures où la température dépasse 28°C

Etudes énergétiques

Permet un engagement du BE sur la **performance thermique** de l'enveloppe

- Optimisation des consommations de chauffage et/ou de rafraîchissement dans des **conditions moyennes d'utilisation**
- Le bâtiment est étudié dans sa globalité

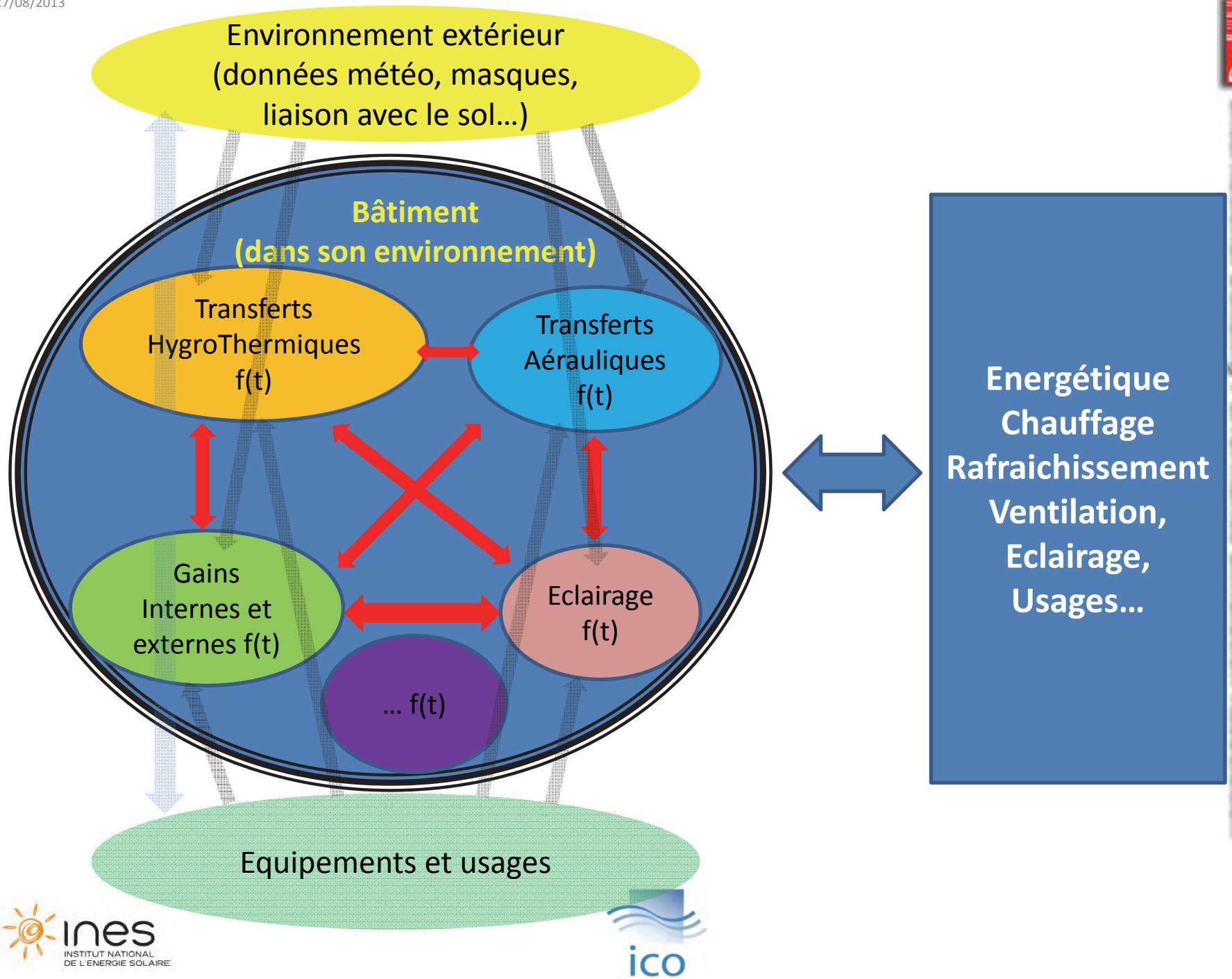
La réalité est bien plus complexe

Dans les projets performants,
la part de la thermique
devient minoritaire dans le bilan énergétique

D'autres postes énergétiques rentrent en compte et doivent être intégrés,

Notamment, tout ce qui concerne les **usages**, qui ne sont pas pris en compte dans les calculs réglementaires et sont de fait « **hors culture** »

Une étude dynamique
doit être par nature « multi physiques »



Evaluation de l'éclairage



IBPSA
International Building Performance Simulation Association

Des enjeux énergétiques : 10% des consommations totales annuelles d'électricité en France

Tertiaire : de 15 à 25% des consommations tous usages (en EP)

Résidentiel

- 14% de la consommation électrique globale d'un ménage
- 3% de la consommation énergétique globale (chauffage-ECS inclus)

Sources ADEME Et AFE

Des enjeux ergonomiques : confort visuel, risques d'éblouissement

Evaluation de l'éclairage

- **Eclairage Naturel**

- Se réalise par l'optimisation des façades et des locaux, surfaces vitrées, disposition, géométrie,
- Etude statique par FLJ (Facteur de Lumière du Jour)

- **Eclairage artificiel**

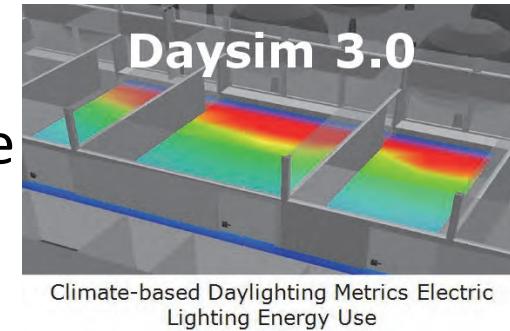
- Rentre dans l'optimisation des consommations
 - Choix des sources Lumineuses et des Luminaires
 - Disposition des éléments
 - Commande et asservissement de l'éclairage

Simulation dynamique de l'éclairage



IBPSA
International Building Performance Simulation Association

- **Modèle simple**
 - Puissance Eclairage en W/m² sur horloge



- **Modèle détaillé**
 - Evaluation de l'éclairage naturel disponible
 - Prise en compte du comportement des occupants
 - Régulation de l'éclairage artificiel nécessaire

Evaluation de l'impact de l'éclairage



IBPSA
International Building Performance Simulation Association

Les difficultés

- > Des temps de mise en œuvre élargis
- > Des temps de calculs plus longs
- > Des incertitudes supplémentaires
- > Quelques modèles physiques intégrés aux logiciels

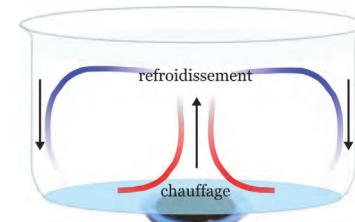
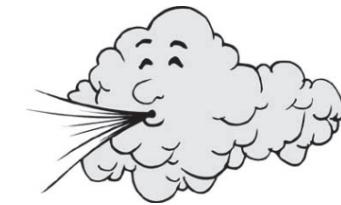
**Pas encore d'outil de référence
« vraiment opérationnel et global »**

Simulation dynamique aéraulique

Prise en compte des transferts d'air générés par des phénomènes moteurs

- **Vent :**
 - Jusqu'à quelques centaines de Pa

- **Tirages thermiques :**
 - Seulement quelques Pa



Des approches complexes
à intégrer de manière plus ou moins détaillée
selon les besoins de l'étude



IBPSA
International Building Performance Simulation Association

Simulation dynamique aéraulique

Modèles simples, « avec des limites »

Renouvellement d'air à débit constant [vol/h]
et/ou sur horloge avec températures et humidité
libres ou contrôlées

Evaluation des transferts aérauliques

Des Modèles Détaillés

Couplages thermo aérauliques (ex Comis/Trnsys)

Moteurs aérauliques intégrés aux moteurs thermiques (ESP-R, Designbuilder, IESVE, TAS...)

Evaluation des transferts aérauliques

Les incertitudes,

Liées aux données de vent à proximité du bâtiment (intensité et direction aléatoires)

A la détermination des coefficients de pression sur les façades

Et à une connaissance encore limitée des phénomènes à l'échelle urbaine

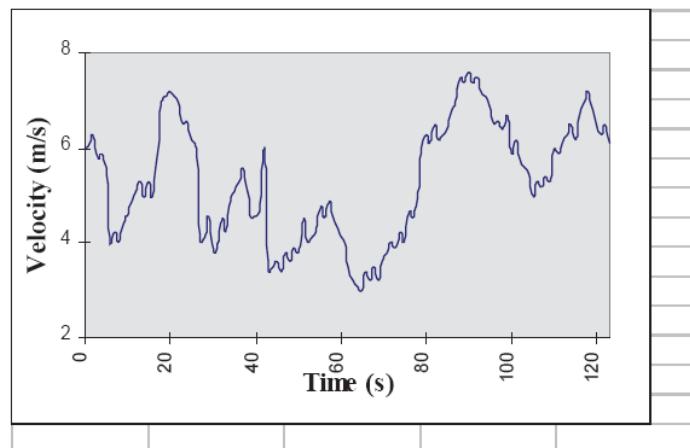


Figure 1-4: Relevé de vitesse horizontale instantanée



IBPSA
International Building Performance Simulation Association

Evaluation des transferts aérauliques

- Permet une évaluation plus fine des pertes/apports par ventilation et infiltration
- Peut être judicieux pour des études de confort thermique estival
 - Zones spécifiques avec ventilation naturelle
- Tâche souvent lourde et gourmande en temps de mise en œuvre et de calculs
- Ajout d'**incertitudes** aux modèles



IBPSA

International Building Performance Simulation Association

En conclusions

Les STD optimisent la performance **THERMIQUE** d'un bâtiment

Pourtant, les quantités d'énergie
pour chauffer ou rafraîchir les locaux
ne sont plus prépondérantes
dans le bilan énergétique global d'un projet

Exemple d'une construction passive en exploitation

- Consommations globales < 120 kWh_{EP}/m²_{SRE}
- Consommations en chauffage entre 10 et 20 kWh_{EP}/m²_{SRE} *
- Moins de 20% du bilan énergétique global est consommé pour chauffer le bâtiment

Les autres postes représentent
plus de 80%
des consommations énergétiques globales (en EP)

Sans compter l'énergie nécessaire à la construction de
l'édifice...

* Les STD sont nécessaires pour parvenir à ce niveau de performance

Il faut vraiment avoir une **approche globale**
du bâtiment dans son environnement,

Avoir une vision **transversale** plus que verticale

Parler de **Simulation Dynamique**
et non de Simulation Thermique Dynamique
trop réductrices et incomplètes

Les logiciels actuels répondent principalement aux problématiques thermiques et énergétiques

Mais d'autres indicateurs doivent être intégrés pour plus de transversalité et de réalisme



IBPSA
International Building Performance Simulation Association

Des indicateurs plus environnementaux

- > Impacts CO₂
- > Energie grise : Analyse des cycles de vie
- > Cradle To Cradle (C2C) :
 - Economie circulaire
 - 100% recyclage et 0 pollution





IBPSA
International Building Performance Simulation Association

La dimension **Santé** devient également
un item de conception fondamental

- > Confort visuel
- > Qualité d'air
- > Acoustique
- > Exposition aux rayonnements Electromagnétiques

Les études de simulation doivent intégrer ces
dimensions



IBPSA

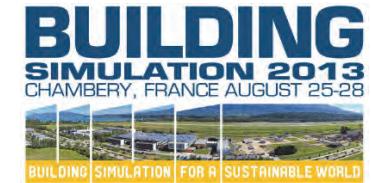
International Building Performance Simulation Association

Merci de votre attention



IBPSA

International Building Performance Simulation Association



« Passer à l'acte »

avec fiabilité



IBPSA – ICO – INES



- **9h – 10h** : « From Mickey mouse to building simulation » par Donald Greenberg
- **10h30 – 11h30** Table ronde BE pratiquant PLANAIR, ADRET, ETAMINE, ITF
 - Vision globale
 - Passer du couteau Suisse du bureau d'étude qu'est le tableur à l'outil dynamique au sens large
 - Nécessité de compétence interne pour les approches physiques permettant d'exploiter la simulation
- **11h30 – 12h** Fiabilité de la simulation Bruno Peuportier : *La méthode et le dynamique (récursivité, base temps, ...)*
- **12h – 12h 30** Monter un projet de simulation Laurent MORA IBPSA

- **Pause repas**

- **14h – 14h30** Introduction des activités INES, Technolac, Formation
- **14h 30 – 15 h 30** Par l'exemple, la nécessité du calcul dynamique pour les projets performants
 - Projet Cognin de réseau de chaleur solaire : Cédric Paulus & Bruno Georges
 - Le centre administratif du CHU de Poitier, Bruno Georges
 - Prairie au Duc, Ile de Nantes. Îlot mixte résidentiel tertiaire de 24 000 m², Bruno Georges
- **15 h30 – 16h** Intégration multi-physiques par simulation Adrien Jezequel
 - Dans les notions de « multi-physique » et/ou transversalité
 - Dans l'évaluation des impacts qualité d'air, éclairage, transferts aérauliques, ...
- **16h - 16h30** « Passer à l'acte » avec fiabilité Bruno Georges
 - La formation,
 - Monter un projet de simulation Insister sur « quelle est la question ?»



La formation

Simulation dynamique, une compétence « à part » ?

*Plutôt,
une sensibilité presque transversale à acquérir,
à mêler aux compétences « historiques » des BE*

*Mieux travailler,
grâce à une meilleure connaissance de la physique, des
physiques de son propre « cœur de métier »*



IBPSA
International Building Performance Simulation Association

Pour des projets engagés et performants,

*Par travail profond et collaboratif
au cœur de nos métiers
d'architecte, d'ingénieur, ...*

*Et non pas en « ajoutant »
capteurs solaires et plumes de canard, ...
à des projets conçus comme d'habitude*

En corollaire, la nécessité
de se former,
de monter en compétence, ...

(tout le monde ...)

Au regard des enjeux,
et des écarts à rattraper

L'optimisation ne suffit plus!

Un processus de « RUPTURE » ?



IBPSA

International Building Performance Simulation Association

Rupture

C'est

« Faire AUTREMENT »

L'échelle 2050, ...



IBPSA
International Building Performance Simulation Association

Imaginer des systèmes, de la technique, à l'échelle 2050, utopie, prétention, nécessité ?

Plutôt qu'une approche « technicienne »

essayons de comprendre comment y arriver,
quels moyens d'ouverture,
quelles pistes prendre,
un autre regard, ...

Et dès maintenant !



Le projet de simulation

Insister sur « quelle est la question ? »

○ Utiliser les outils de simulation?

- Pour reproduire le comportement d'un système plus ou moins complexe en l'ayant **virtuellement** construit
 - Pour donner des ordres de grandeurs *plus rapides et moins chers que des expériences*
 - Pour appuyer des choix techniques
 - Pour optimiser les dimensionnements
- Pour étudier le comportement du système dans des configurations particulières
- Permet d'optimiser rapidement la conception en intégrant des phénomènes complexes et transitoires,...

○ Comment procéder ?

Approche générale d'une étude numérique



IBPSA
International Building Performance Simulation Association

□ Etape 1 : Analyser

- Quelle est la question?
- Quelle est mon domaine d'étude?



□ Etape 2 : Comprendre

- Quelles sont les phénomènes physiques mis en jeu?

□ Etape 3 : Représenter/modéliser

- Quels modèles physiques, mathématiques, empiriques?
- Domaine de calcul, entrées, sorties, paramètres...



□ Etape 4 : Simuler

- Utilisation des outils de calcul pour obtenir des résultats

□ Etape 5 : Interpréter

- Cohérence des résultats, quelles conclusions?



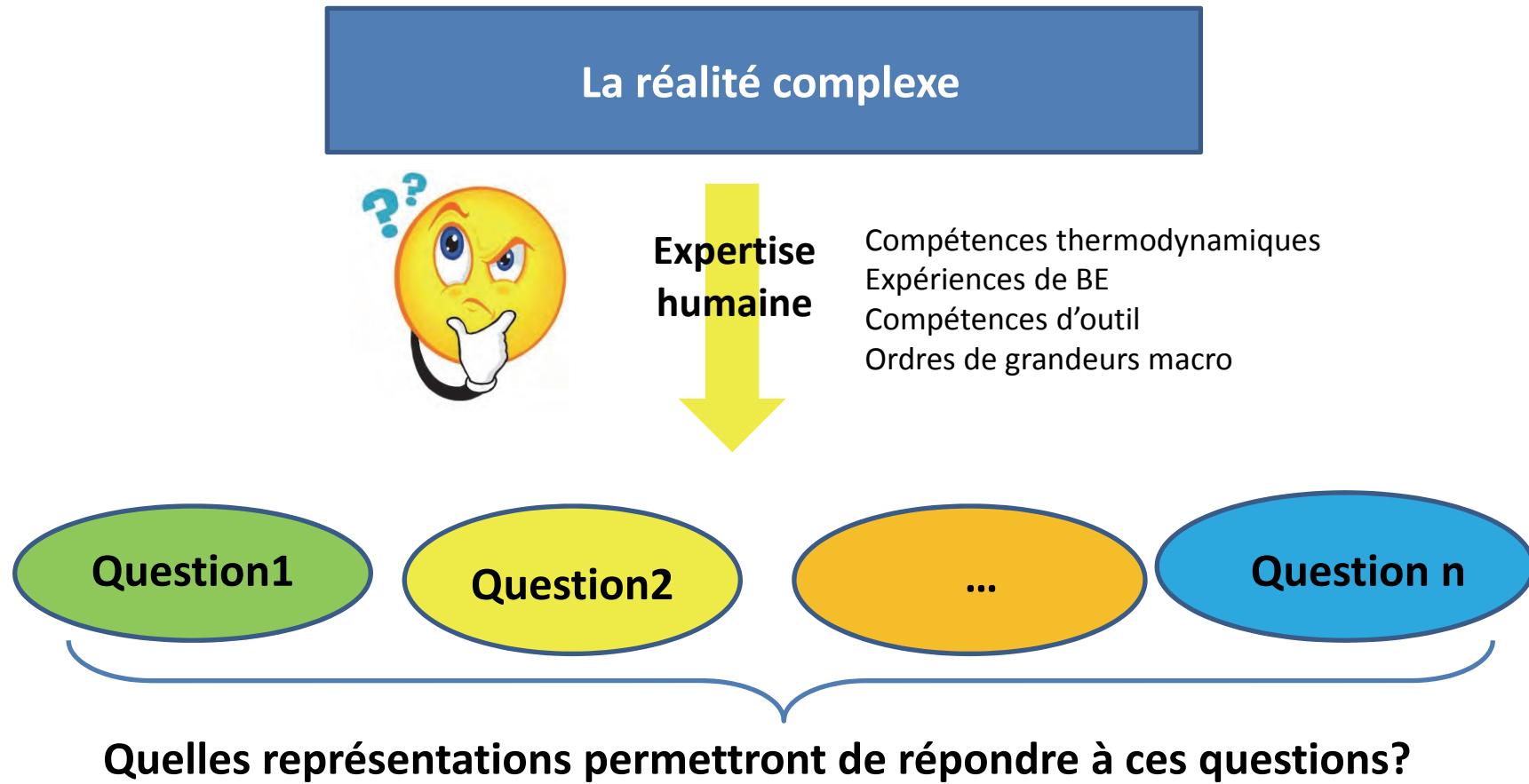
□ Etape 6 : Synthétiser

- Partager les résultats et faire de la simulation un outil de conception avec l'équipe interne ou externe

Analyser/comprendre : des étapes cruciales



IBPSA
International Building Performance Simulation Association



Pour analyser et comprendre un problème,
des pré requis théoriques sont nécessaires

Thermodynamique

La maîtrise de la thermo permet d'être « spécialiste en rien »

- **1^{er} principe**

- Périmètre d'observation = frontière = volume de contrôle
 - Aux frontières d'un **circuit ouvert**

$$\delta W + \delta Q = dE + dU$$

- δW = Travail échangé avec le milieu extérieur
- δQ = Energie dissipée sous forme de chaleur
- dE = Energie totale du système (cinétique + potentielle)
- dU = Energie interne
 - Autres formes d'énergie du système



IBPSA
International Building Performance Simulation Association

- **Thermodynamique** : Prévoit la quantité totale d'énergie qu'un système doit échanger avec l'extérieur pour passer d'un état d'équilibre à un autre

- **Thermique** : Décrit quantitativement (dans l'espace et dans le temps) l'évolution des grandeurs caractéristiques du système, en particulier la température, entre l'état d'équilibre initial et l'état d'équilibre final

Thermique

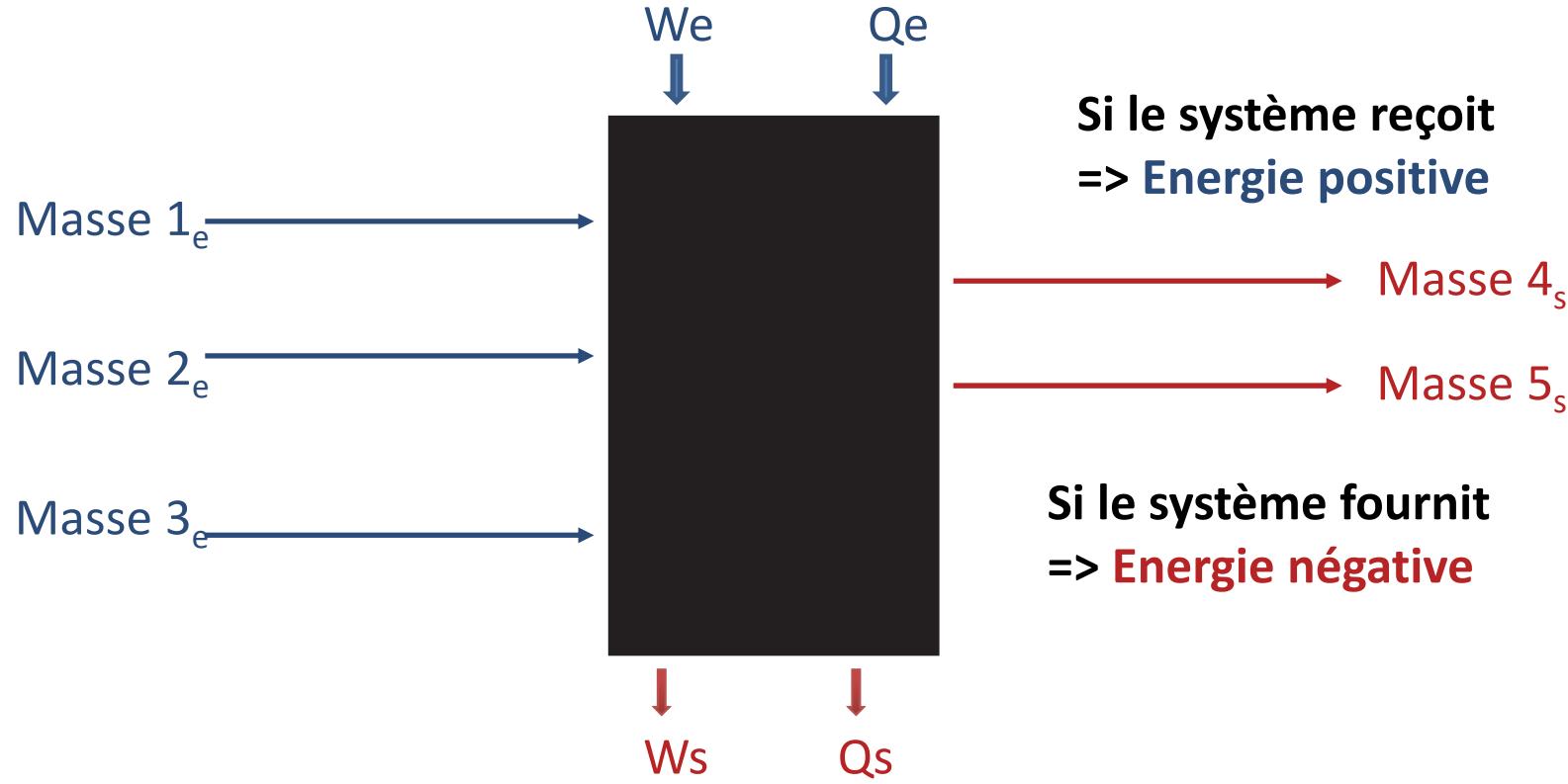
○ Les transferts d'énergie

- Déterminés à partir de l'évolution dans l'espace et dans le temps de la température
- Champ de température indépendant du temps
 - Régime permanent ou stationnaire
- Evolution du champ de température avec le temps
 - Régime variable ou transitoire

○ Flux de chaleur

- S'écoule sous l'influence d'un gradient de température
 - « Du plus chaud vers le plus froid »

Concept de la « Boite Noire »



$$\text{Somme}(E_{C_e} + U_e + W_e + Q_e) = \text{Somme}(E_{C_s} + U_s + W_s + Q_s)$$

Pré-requis Théoriques

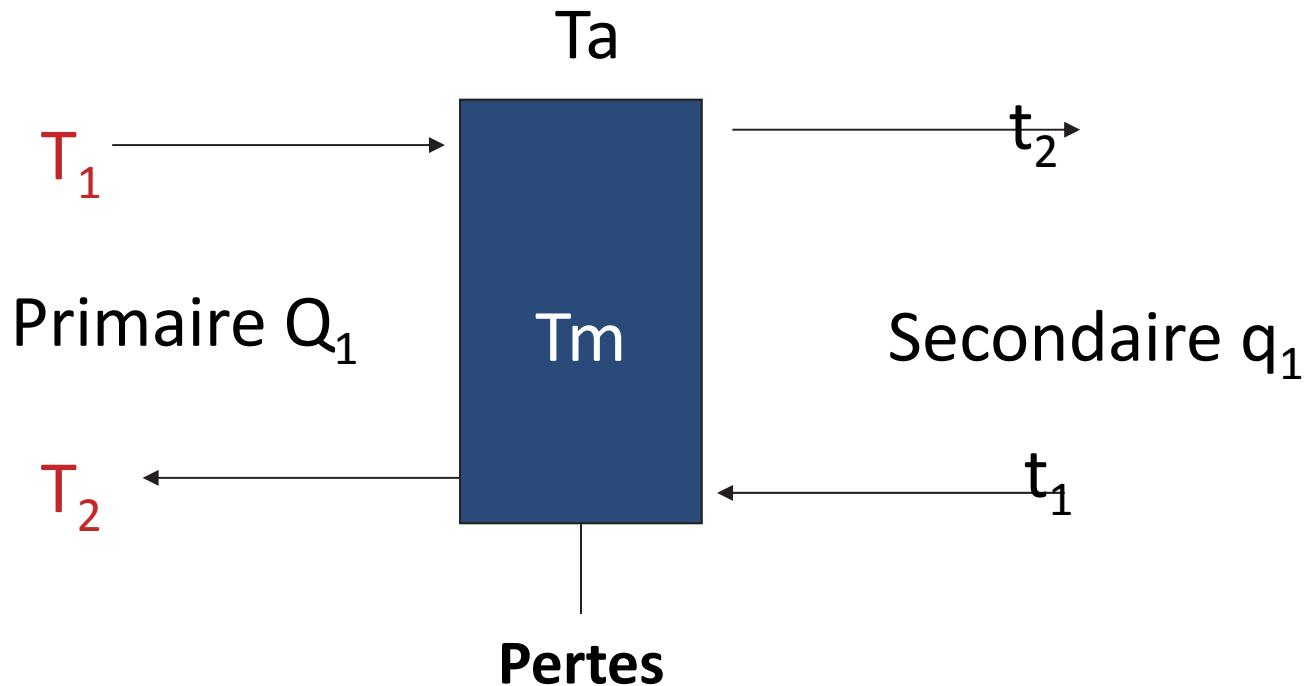
- Plusieurs définitions et notions du rendement

Toujours demander la définition du mot rendement

$$\eta = \frac{\text{QUOI?}}{\text{QUOI?}}$$

- Rendement nominal ou d'exploitation ?

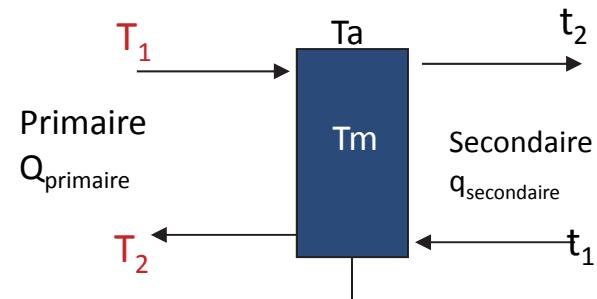
Exemple de l'échangeur





IBPSA
International Building Performance Simulation Association

$$\Phi_1 + \Phi_2 + \text{Pertes} = 0$$



$$\text{Efficacité} = (t_2 - t_1) / (T_1 - T_2)$$

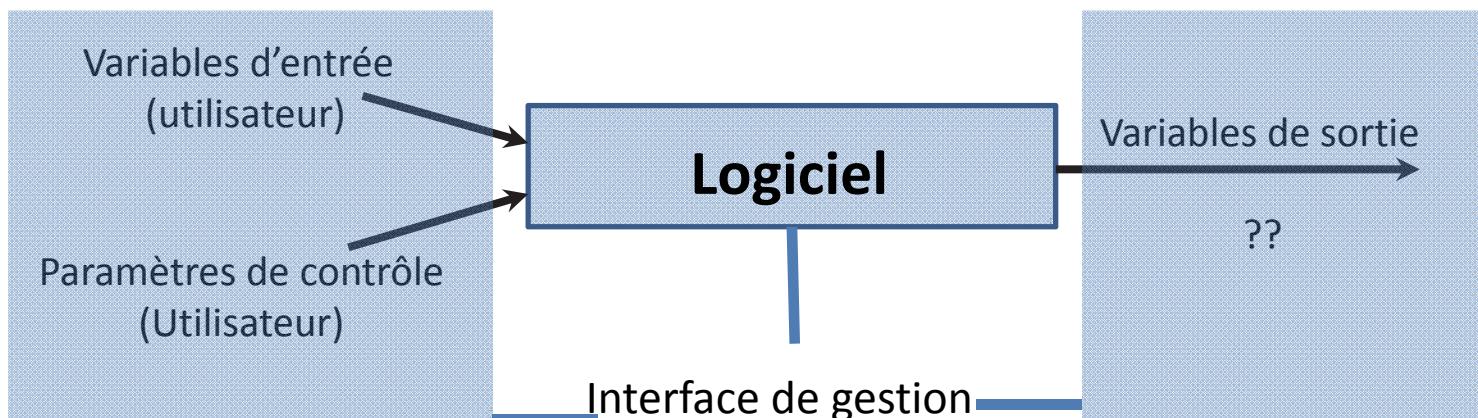
$$\eta = \text{Pertes} / P_n$$

L'approche logicielle : L'interface de gestion



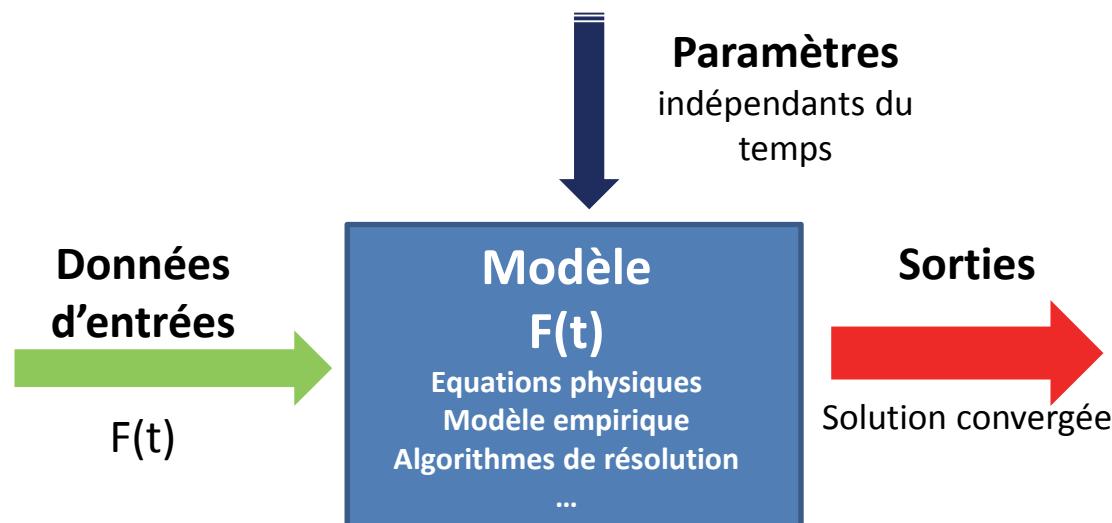
IBPSA
International Building Performance Simulation Association

- Dépend du niveau de développement du logiciel
- Permet à l'utilisateur de gérer
 - Le domaine de calcul
 - Les conditions initiales et les conditions limites
 - Les données d'entrée
 - les modèles utilisés
 - les paramètres des modèles
 - Les paramètres des simulations
 - Le choix des solveurs
 - Les sorties à étudier



Le modèle

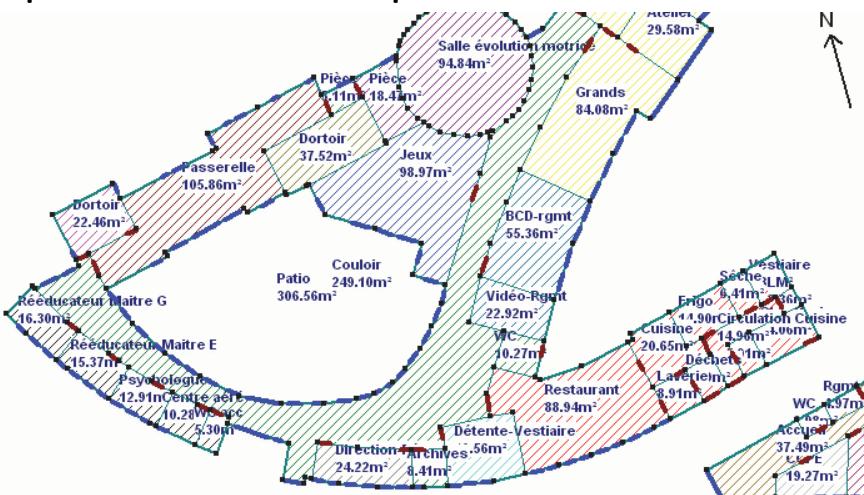
C'est un schéma qui, pour un champ de questions, est pris comme une représentation d'une classe de phénomènes, plus ou moins habilement dégagés de leur contexte par un observateur pour servir de support à l'investigation et/ou à la communication



Modélisation

Découpage en zones thermiques du bâtiment

- Le choix des zones dépend de ce que l'on cherche à étudier
 - Confort d'été : Zones thermiquement homogènes
 - Energétique : 1 seule zone peut suffire



- La majeure partie des logiciels fournissent aujourd'hui une vue 3D de la saisie : Attention, la représentation 3D est une aide à la saisie, ce n'est pas un gage de précision

Choix des données d'entrée adapté

- **Données météo** : Adaptées à l'étude que l'on réalise
- **Apports internes** : Occupation, Equipements, Eclairage, ...
- **Scénario de ventilation mécanique** : Simple flux, double flux, ...
- **Infiltration d'air parasite** : Fixe ou variable
- **Ventilation naturelle éventuelle**
- **Scénario de chauffage**

3

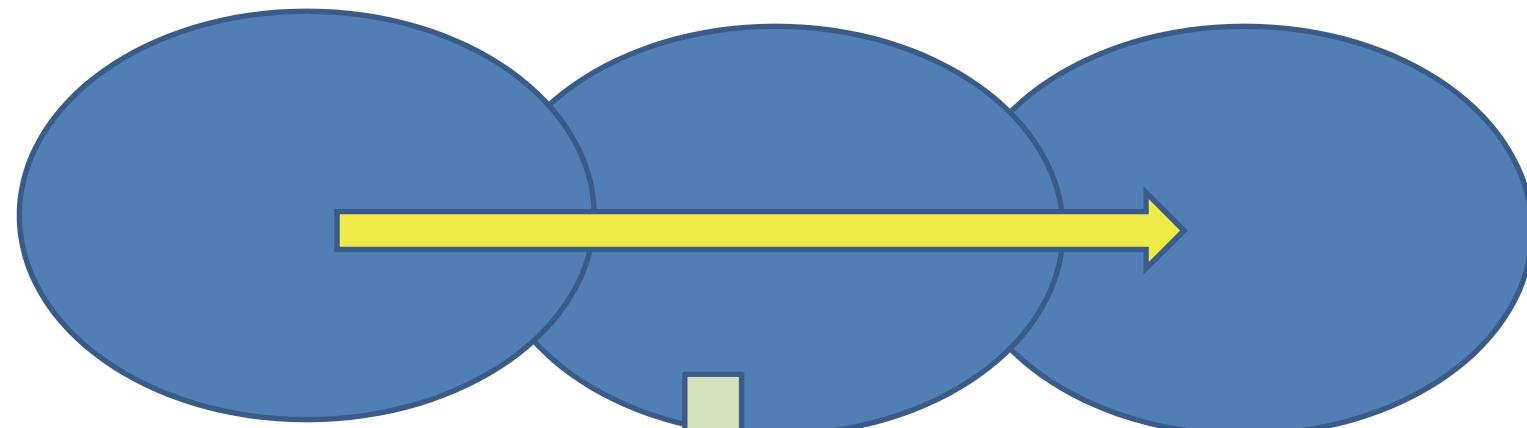
Les outils

Les logiciels

Interface de saisie Code de calcul Edition des résultats

=> Questionnaire
=> Graphique

=> Propriétaire ou Public => Propriétaire
=> Code ouvert ou fermé => Public



Transfert de données

=> Vers un format neutre (NBDM)
=> Vers un autre logiciel

Code de calcul

=> Interne
=> Interne et externe

Les logiciels

**Il n'existe pas de logiciel « franchement défaillant »
c'est bien la plupart du temps un problème d'utilisateurs**



IBPSA
International Building Performance Simulation Association

Erreurs fréquentes

- Ne pas connaître les limites du logiciel
- « Bidouiller » les données pour obtenir un résultat plus conforme à la RT
- Ne pas comprendre les concepts utilisés
- Faire trop compliqué et\ou trop détaillé
- Tenter une seule modélisation pour régler plusieurs problèmes



Passer à l'acte !

Passer à l'acte, ...



IBPSA
International Building Performance Simulation Association

- De bonnes bases physiques pour « encadrer »
 - Au moins une compétences interne sur ce sujet
 - Se maintenir en veille sur le plan théorique
 - GARDER SON BON SENS
- Une méthode de « petits pas »
 - Commencer avec une formation sur la Simulation et non sur un outil
 - Intégrer des outils simples type Pléiade Comfy ou équivalent
 - Et puis, plus tard, si affinité, utiliser du plus puissant et de fait plus complexe, Energy+, TRNSYS, ...

Passer à l'acte, ...



- Toujours se poser la question de ce que l'on recherche
 - Il ne s'agit pas de simuler ou reproduire la réalité mais de trouver une image de son problème à résoudre
 - **Exemple** : Essentiellement pertinent de « réduire » une PAC à une « matrice de COP » plutôt que de tenter de trouver un modèle pour cette PAC là !
- La plupart du temps il est plus rapide et surtout BIEN PLUS FIABLE de réaliser deux simulations :
 - Une pour le confort d'été, limitée à quelques zones que l'on détermine « au bon sens »
 - Une pour l'énergétique qui donne une vision globale et exhaustive du bâti et des systèmes

Passer à l'acte, ...

- Poser de manière TRES CLAIRE les données de base et les rendre « contractuelles » : à faire valider AVANT de réaliser le montage du modèle :
 - à l'interne par architecte et économiste
 - à l'externe par le Maître d'Ouvrage
- Ne pas abandonner le tableur pour autant :
 - Peut être très utile pour préparer les données
 - Est toujours bien plus rapide, plus pertinent et plus « sexy » pour la présentation des résultats

Passer à l'acte, ...

Prendre les dispositions suffisantes pour que la simulation dynamique devienne réellement **un outil de conception**

- **Légitimer** le réalisateur de la simulation auprès des autres concepteurs, internes et externes.
- **Planifier** son intervention pour qu'elle s'inscrive dans le processus de conception. L'acteur ne doit pas s'identifier comme un « *vérificateur que tout va bien et que le doigt mouillé une fois de plus ça marche* »
- Lui donner **délégation suffisante** pour que les résultats des simulations soient bien intégrés, contractuellement en conception et qu'il en assume la responsabilité.

Passer à l'acte, ...

- Mesurer et suivre la réalisation, la mise en service et la performance réelle
- Le suivi scrupuleux doit permettre
 - De « re-boucler » le modèle
 - De durcir les hypothèses
 - De valider les résultats
 - De conforter les méthodes
 - D'affiner les raisonnements
 - De donner à toute l'équipe une réelle expérience terrain
 - **Et souvent, de simplifier**



IBPSA

International Building Performance Simulation Association

On y va ?



IBPSA

International Building Performance Simulation Association

Merci

