

5^e Université de la Chaire éco-conception

DE L'ÉCO-CONCEPTION AUX SOLUTIONS

20 octobre 2016



L'optimisation au service de la performance des bâtiments et des quartiers

Contacts: **F. Wurtz**
Directeur de recherche au CNRS
frederic.wurtz@g2elab.grenoble-inp.fr

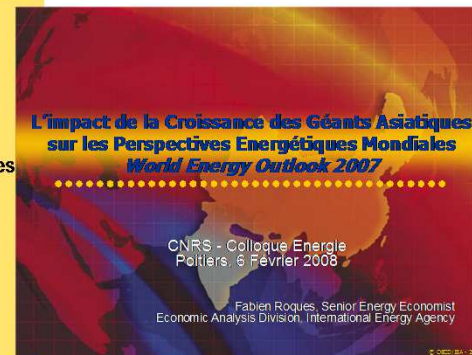
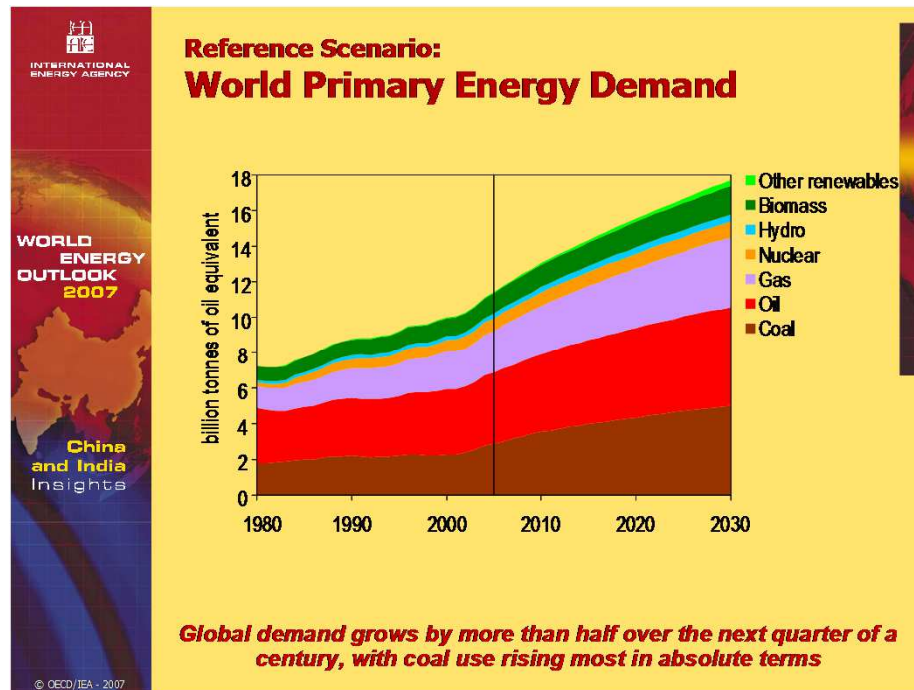


Plan

- **L'enjeu climatique et la contribution du « smart-building » comme pilier du « smart-grid »**
- **La révolution de l'optimisation**
- **Quels enjeux et objectifs pour l'optimisation et les bâtiments à l'échelle des quartiers**
- **Exemples d'applications et développements de l'optimisation des bâtiments à l'échelle des quartiers**
 - Gestion de la demande, et gestion anticipative
 - Des bâtiments au quartier, jusqu'au pays, ...
 - Concevoir des bâtiments optimisés pour l'intégration énergétique dans les quartiers dès les phases de conception
- **Les défis restant à relever**
 - Vers des optimisation de grande taille
 - Maîtriser le bon niveau de modélisation
 - Implication des acteurs (concepteur mais surtout « consomm'acteur »)

L'enjeu climatique et la contribution du smart-building comme pilier du smart-grid

La nécessité d'une transition énergétique pour le climat



<http://www.cop21.gouv.fr/>

Comment peut-on inverser la courbe et la tendance ?

➡ Une nécessité pour la transition énergétique

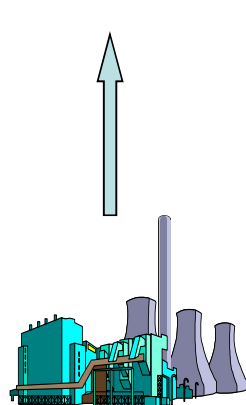
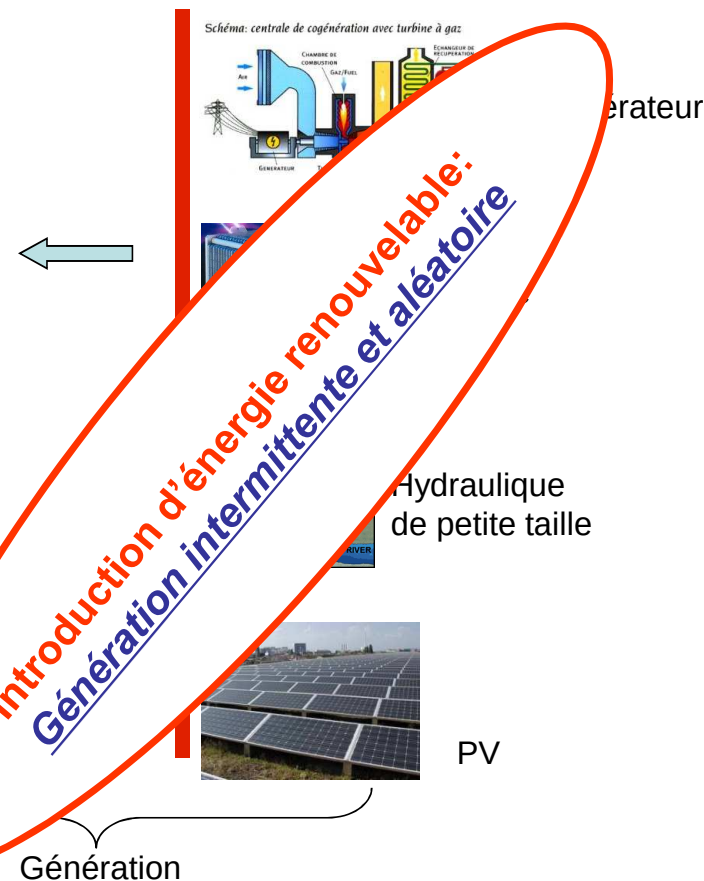
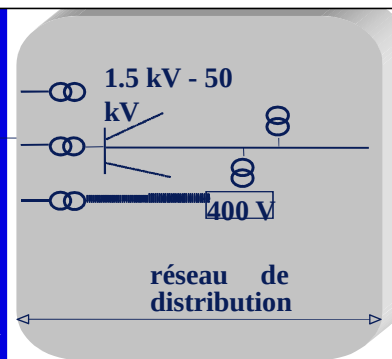
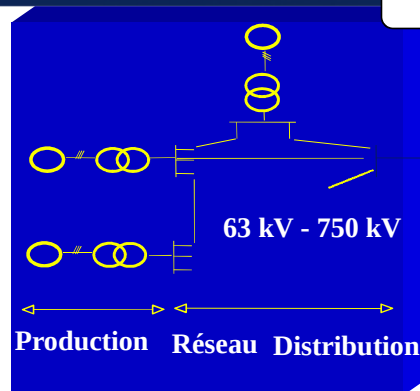
Le « smart-grid » comme une première solution

Nouveau schema

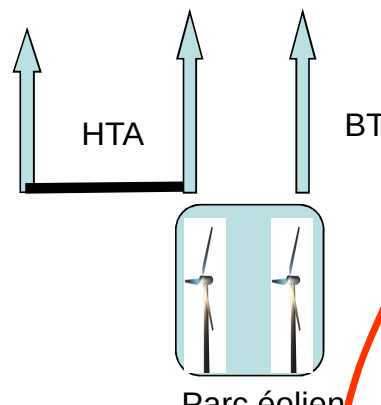
Des réseaux électriques en pleine Mutation

Vers les « smart-grids »
Révolution des 3D

- Décentralisation
- Dérégulation
- Digitalisation



Centrale classique
Entièrement pilotable



Parc éolien



PV

Hydraulique de petite taille

**Introduction d'énergie renouvelable:
Génération intermittente et aléatoire**

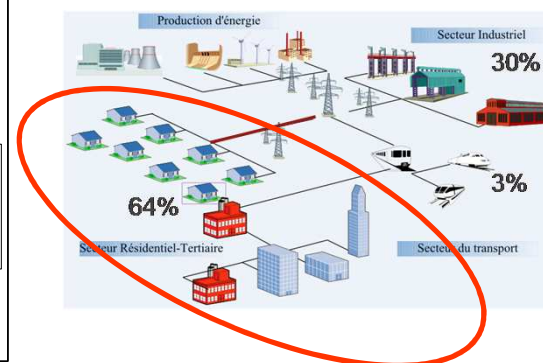
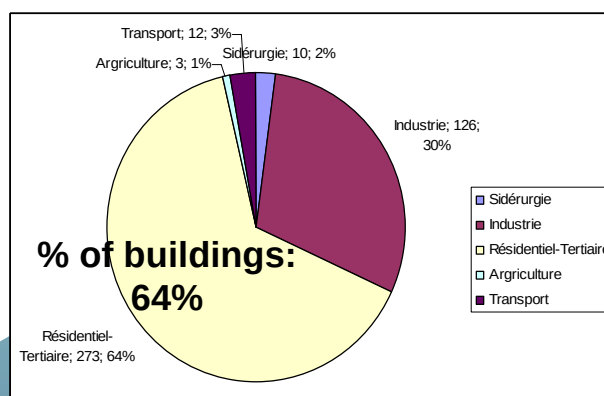
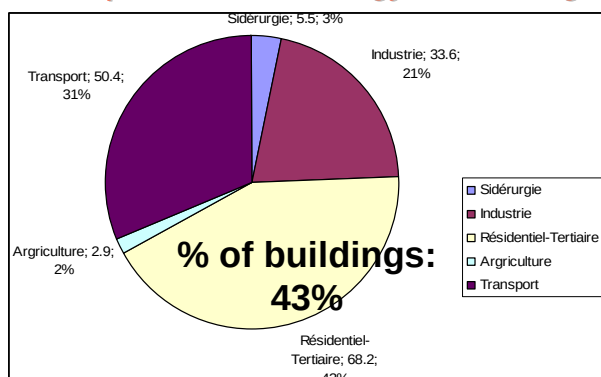
Distribution active de l'énergie

Le « smart-building » comme un allié incontournable du « smart-grid »

Les bâtiments: Un pilier du « smart-grid » ?

The importance of energy in buildings in France

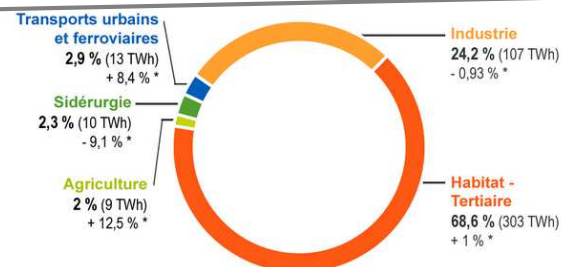
Source: <http://www.industrie.gouv.fr>



French final energy consumption 2005
(Mtep)

French electricity consumption 2005
(TWh)

**De 2005 à 2013: Les bâtiments:
La plus grosse consommation
dans le réseau avec une tendance
à l'augmentation**



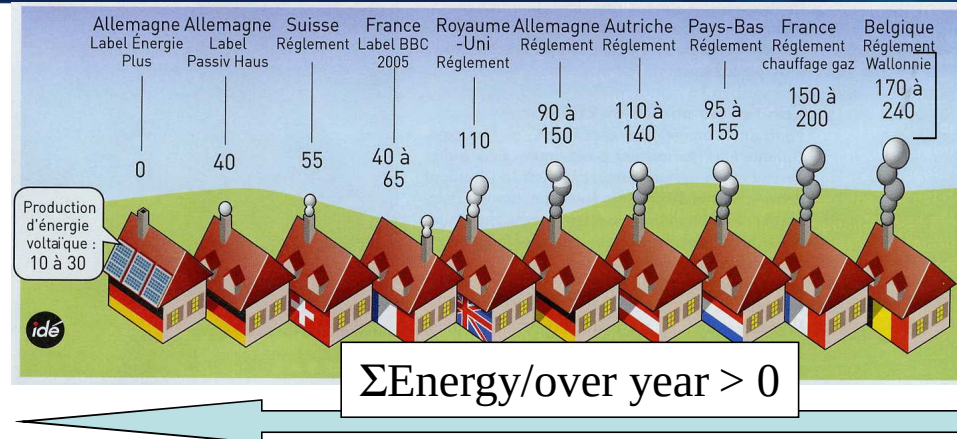
Répartition de la consommation finale d'électricité par secteur en France en 2013
* par rapport à 2012
(Chiffres clés de l'énergie, édition 2014, SOeS - chiffres de consommation 2013)

EDF, 2015. Electricité de France. La consommation d'électricité en chiffres :

<https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/l-energie-de-a-a-z/tout-sur-l-energie/le-developpement-durable/la-consommation-d-electricite-en-chiffres>

Les bâtiments peuvent être à énergie positive

Le concept de Bâtiment à énergie positive



Les bâtiments peuvent:

- collecter
- stocker
- gérer

des énergies renouvelables



Et produire plus d'énergie qu'ils n'en consomment

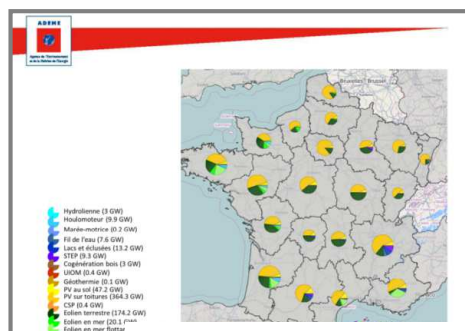
Les bâtiments peuvent devenir l'un des plus grand producteur d'énergie renouvelable du réseau

- Un rêve qui peut devenir une réalité !
- Argumenté dans un récent rapport de l'ADEME...



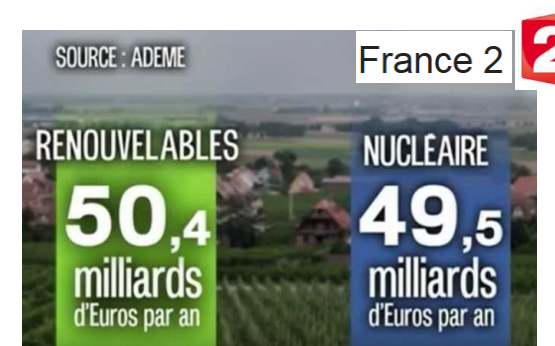
Vers un mix 100% électrique
En 2050 en France

Le potentiel en énergie renouvelable existe



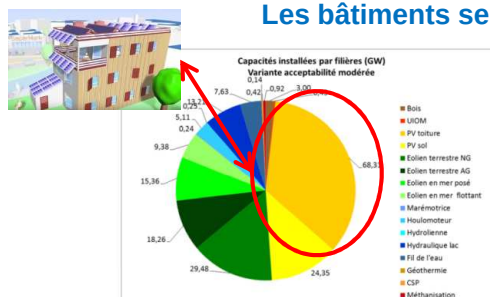
Besoin annuel: 422 TWh
Potentiel annuel: 1268 TWh

Le coût évalué est acceptable



See video: Reportage France 2 sur le rapport ADEME Un mix énergétique 100% renouvelable en France,
<https://www.youtube.com/watch?v=4lcYrG7ZqLQ>

Les bâtiments seront un des piliers



PV sur les bâtiments: pourrait être la plus grosse capacité 34% (68 GW/196 GW)

Délestage des bâtiments

va aider à gérer l'équilibre du réseau:

18 GW de « demand response »

Pic de demande France 102 GW

Capacité de « Demand response » des bâtiments

- Ballon eau chaude: 4 GW (4/102=4%)
- Chauffage/clim (75%): 14 GW (14/102=14%)
- Four/machine à laver: 0,695 GW (1%)

Au global 18/102=17%

La révolution de l'optimisation

21/10/2016

La révolution de l'optimisation

■ Après l'ère de la simulation, l'ère de l'optimisation

Hypothèses

Etat de l'art

1° Systèmes experts:

Savoirs:

Règles heuristiques de l'expert

Méthodes:

Moteurs d'inférence

La conception est une activité qui peut-être modélisée et simulée par ordinateur

Echec !?

- Fin des travaux
- Plus de dév.
d'environnement

2° Outils d'optimisation:

Savoirs:

Théories et modèles physiques

Méthodes:

Gradients, algorithmes génétiques, méthodes linéaires, ...

L'optimisation est une activité qui peut-être modélisée et simulée par ordinateur

- Recherche très active et prolifique sur les méthodes
- **Développement dans l'industrie**
= Révolution à venir

3° Outils de simulation:

Savoirs:

Théories et modèles physiques

Méthodes:

EF, Intégrales de Frontières, Runge-Kutta, ...

Les phénomènes physiques sont modélisables mathématiquement et simulables informatiquement

- Recherche très active et prolifique sur les outils/environnements
- Bien ancré dans l'industrie

Qu'est ce-que l'optimisation ?

Résoudre les problèmes de dimensionnement de structure en les reformulant comme des problèmes d'optimisation

Cahier des charges →	[	$\min_p \text{fob}(p)$	avec	p : vecteurs des paramètres de l'espace à explorer
		$g_i(p) \leq 0$		$\text{fob}(p)$: fonction objectif
		$g_i(p) = 0$		
		$p_{j\min} \leq p_j \leq p_{j\max}$		$g_i(p)$: fonctions dépendant des paramètres

Il existe des méthodes et des outils qui permettent de résoudre ce problème générique

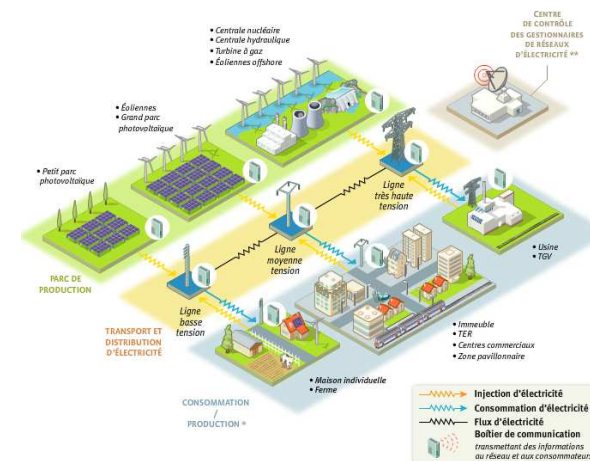
Méthodes: gradient, génétique, déterministe global, ...
Méthode d'ordre 0 et méthode d'ordre 1

Quels enjeux et objectifs pour l'optimisation et les bâtiments à l'échelle des quartiers

Les enjeux pour la transition énergétique à l'échelle des quartiers

- **L'intégration de la production décentralisée a besoin d'un fonctionnement bidirectionnel des réseaux traditionnellement conçus pour n'acheminer l'énergie que dans un sens.**
- **La gestion de l'équilibre en temps réel entre la consommation et la production, y compris la génération intermittente et aléatoire de d'énergie renouvelable (PV, éolienne) et l'intégration des nouveaux usages (Véhicule électrique, équipements modernes dans les bâtiments...).**
- **De ce fait, le bâtiment intelligent sera le pilier d'un futur réseau électrique intelligent offrant à l'échelle des quartiers et des réseaux des services**
 - de production, de stockage, de délestage voire d'effacement de certaines parties du réseau en cas de pic de consommation

Caractéristiques des réseaux électriques actuels	Caractéristiques des réseaux électriques intelligents
Analogique	Numérique
Unidirectionnel	Bidirectionnel
Production centralisée	Production décentralisée
Communicant sur une partie des réseaux	Communicant sur l'ensemble des réseaux
Gestion de l'équilibre du système électrique par l'offre/ production	Gestion de l'équilibre du système électrique par la demande/consommation
Consommateur	Consom'acteur



Marchal, D., 2015. Les enjeux de la Transition énergétique pour les smart grids. Présentation : <https://www.inria.fr/content/download/99541/1334708/version/2/file/PRESENTATION-DAVID-MARCHAL.pdf>

ADEME, 2015. Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie. • 14
Smart grids, le savoir-faire français : http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/smartgrids_savoir_faire_francais_.pdf

Scénario pour la transition énergétique des bâtiments aux quartiers

- un « smart-building » peut-être à énergie positive
- Que peut-on faire de l'énergie en excès

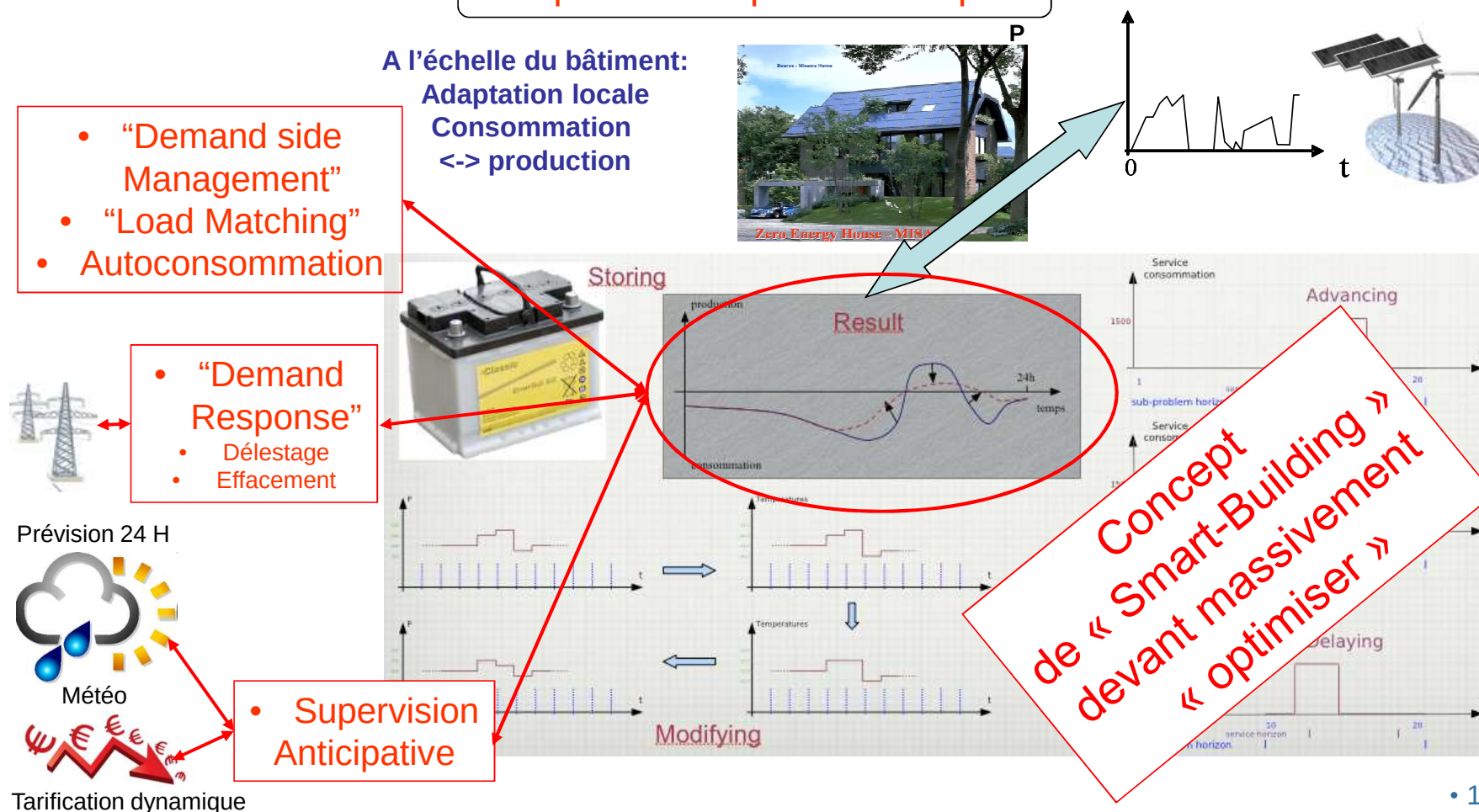
- Charger des véhicules électriques
V2H – « Vehicle to House » concept
- Envoyer l'électricité au réseau
 - Pour d'autres consommateurs
 - Pour du stockage massif à l'échelle du réseau national
 - De l'été à l'hiver en France – Intermittence saisonnière
 - Grâce au:
 - » Power to Gaz
 - » Stations de pompage-turbinage

Les bâtiments pourraient ainsi devenir les piliers du « smart-grid » du futur n'utilisant que de l'énergie renouvelable



Quels enjeux et problèmes scientifiques à l'échelle des bâtiments pour les quartiers

La problématique scientifique



Exemples d'applications et développements de l'optimisation des bâtiments à l'échelle des quartiers

- Gestion anticipative et gestion de la demande
- Des bâtiments au quartier, jusqu'au pays

"Smart Buildings" offrant Gestion de la demande, "Demand Response", Gestion anticipative, ...

Gestion de la demande, "Demand Response", Gestion anticipative, Load Matching, ...

L'approche utilisée: Optimisation

Formulation : Principalement **Mixed Linear Programming**

Objective function to minimize : $f^T x$

Under constraints :

$$Ax \leq b$$

$$A_{eq}x = b_{eq}$$

$$lb \leq x \leq ub$$

With :

x are the variables (continue, binary or integers)

A , A_{eq} are matrices;

f , b , b_{eq} are vectors

Mais aussi : MILP, MINLP, SQP and dynamic approaches

Résolu avec : Matlab

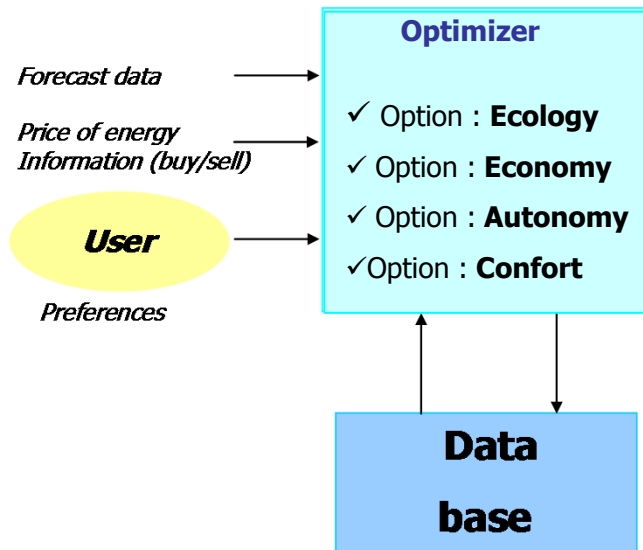
CPLEX (Ilog), GUROBI

"Optimal Household Energy Management and Economic Analysis: From Sizing To Operation Scheduling", T. T. HA PHAM, C. CLASTRES, F. WURTZ, S. BACHA, and E. ZAMAI, publié dans Advances and Applications in Mechanical Engineering and Technology, Vol. 1, n° 1, pp. 35-68
<https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00323581>

"Smart Buildings" offrant Gestion de la demande, "Demand Response", Gestion anticipative, ...

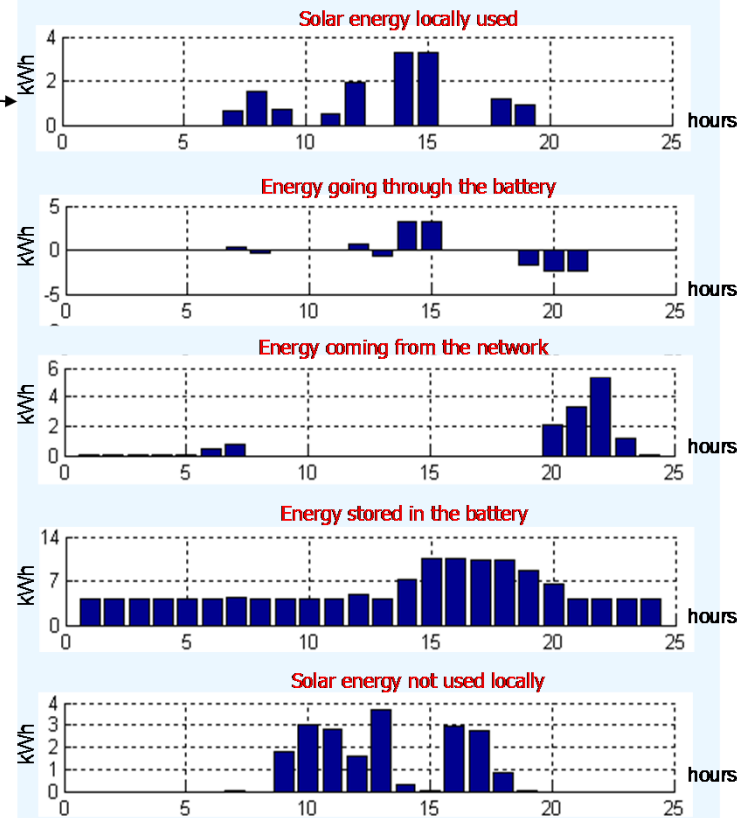
L'approche: Outils d'optimisation résultant

Some typical results



Option	Gain in cost	% of solar energy sold
OFecology	-0.25 €/day	56.251%
OFeconomy	-0.27 €/day	58.704 %

Option Economy



"Ancillary services and optimal household energy management with photovoltaic production"
C. CLASTRES, T.T. HA PHAM, F. WURTZ, S. BACHA, *Energy*, ISSN 0360-5442, DOI: 10.1016/j.energy.2009.08.025., volume 35 issue 1, Elsevier Publication, 2010, pp. 55-64, <https://hal.archives-ouvertes.fr/halshs-00323576v1>

"Smart Buildings" offrant Gestion de la demande, "Demand Response", Gestion anticipative, ...

Exemple de gestion de la demande

ELECON
ELECTRICITY CONSUMPTION ANALYSIS & ENERGY EFFICIENCY

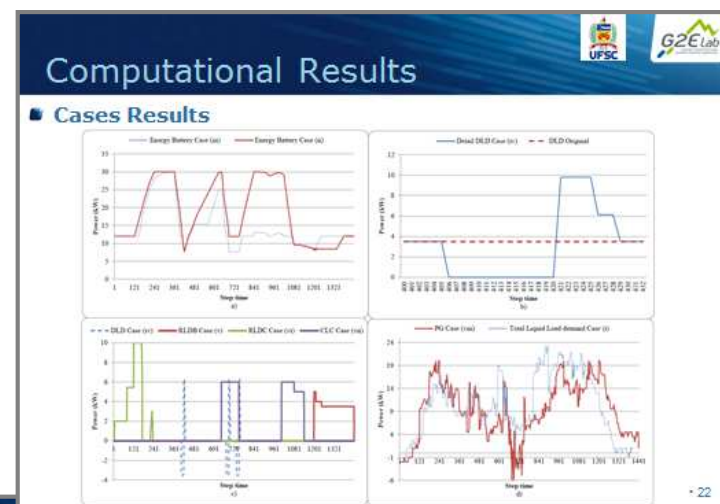
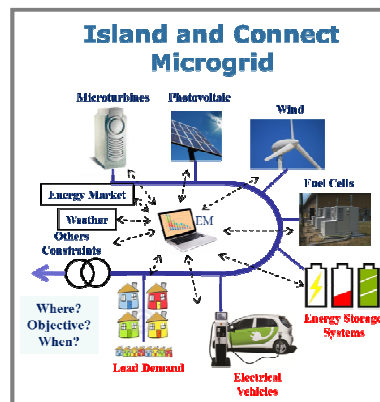
UFSC

G2E Lab

Load Demand, Batteries, and Electric Vehicles Modelling to the Energy Management of Microgrids

Daniel Tenfen*; Benoit Delinchant; Frédéric Wurtz; Erlon C. Finardi; Jaqueline Rolim; Rubiapiara C. Fernandes

Magdeburg, October 2014



Computational Results

Solver and Dimensionality

- Matlab 2011b + Gurobi 5.5
- 20,160 continuous variables
- 11,520 binary variables
- 27,547 constraints

Optimal Costs and Computational Time

	Classic Battery	Li-ion Battery	DLD	RLDB	RLDC	CLC	Cost Function (€)	Comput. Time (s)	Comp Case (i)
Case (i)*	N	N	N	N	N	N	54.09	0.00	
Case (ii)*	Y	N	N	N	N	N	48.68	59.06	-10.00%
Case (iii)*	N	Y	N	N	N	N	50.17	19.80	-7.25%
Case (iv)*	N	Y	Y	N	N	N	49.77	35.16	-7.99%
Case (v)*	N	Y	Y	Y	N	N	47.49	60.08	-12.20%
Case (vi)*	N	Y	Y	Y	Y	N	44.95	60.08	-16.89%
Case (vii)*	N	Y	Y	Y	Y	Y	44.10	60.06	-18.47%
Case (viii)*	N	N	Y	Y	Y	Y	48.21	24.41	-10.87%

* These cases do not consider the 10ms reserve due to the absence of battery

P.s. The results with 60s have the error less than 0.03% from the optimal solution

Battery Modelling

Li-ion Battery constraints

$$eb_{e,t+1} - eb_{e,t} + \left(\frac{pb_{d,e,t}}{\eta_e} - \eta_e^{ic} \cdot pb_{c,e,t} \right) \cdot \frac{H}{ND} - PB_e^i \cdot \frac{H}{ND} = 0$$

$$eb_{e,t} + \left(\frac{pb_{d,e,t}}{\eta_e} - \eta_e^{ic} \cdot pb_{c,e,t} \right) \cdot \frac{H}{ND} - PB_e^i \cdot \frac{H}{ND} + EB_e^i = 0$$

$$eb_{e,t} - \left(\frac{pb_{d,e,t}}{\eta_e} - \eta_e^{ic} \cdot pb_{c,e,t} \right) \cdot \frac{H}{ND} = PB_e^c \cdot \frac{H}{ND} + EB_e^c$$

$$-eb_{e,t} + \sum_{i=1}^N \frac{r_{b,e,t,i}}{\eta_e} \cdot \frac{H}{ND} \leq -EB_e^{min}, \quad eb_{e,t} \leq EB_e^{max}$$

$$0 \leq pb_{c,e,t} \leq CB_e, \quad 0 \leq pb_{d,e,t} \leq CB_e - eb_{e,t} \cdot \alpha_e$$

$$0 \leq pb_{d,e,t} \leq DB_e, \quad 0 \leq r_{b,e,t,i} \leq DB_e$$

$$pb_{c,e,t} - ub_{e,t} \cdot CB_e \leq 0$$

$$ub_{e,t}, DB_e + pb_{d,e,t} \leq DB_e$$

$$ub_{e,t} \in [0, 1]$$

Without controlling the charge

$$-pb_{c,e,t} + ub_{e,t}^{max1} \cdot CB_e + ub_{e,t} \cdot 10000 \leq 10000$$

$$-pb_{c,e,t} - \alpha_e \cdot eb_{e,t} + ub_{e,t} \cdot 10000 + ub_{e,t}^{max2} \cdot CB_e \leq 10000$$

$$-ub_{e,t}^{max1} \cdot 0.7 \cdot EB_e^{max} + eb_{e,t} \leq 0.7 \cdot EB_e^{max}$$

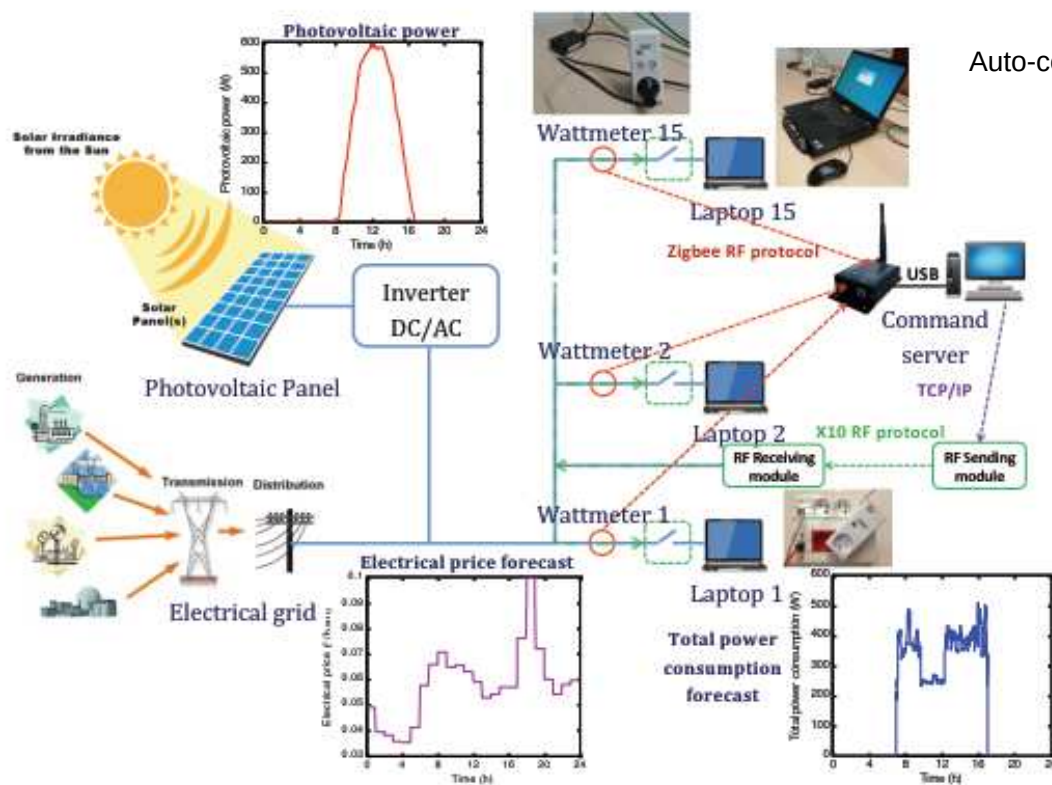
$$-ub_{e,t}^{max2} \cdot 0.7 \cdot EB_e^{max} - eb_{e,t} \leq -0.7 \cdot EB_e^{max}$$

$$ub_{e,t}^{max1} + ub_{e,t}^{max2} = 1$$

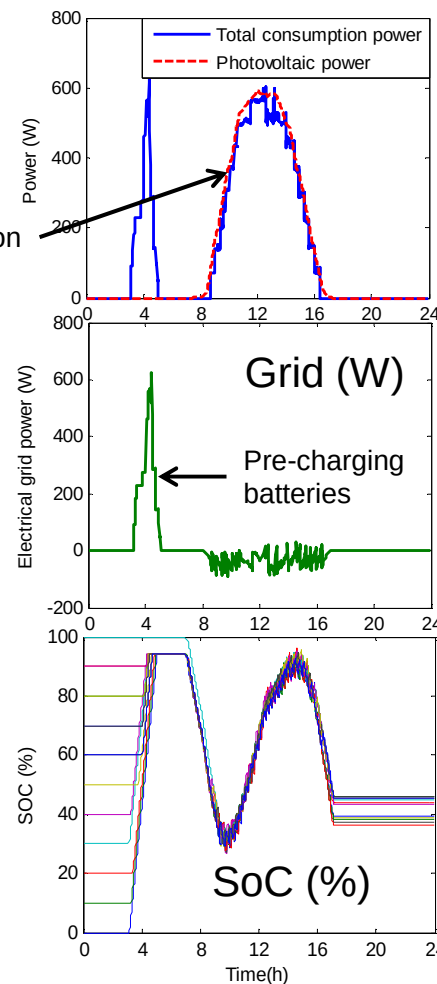
- "Lithium-ion Battery Modelling for the Energy Management Problem of Microgrids", D. TENFEN, E. C. FINARDI, B. DELINCHANT, F. WURTZ, IET Generation, Transmission & Distribution, Volume 10, Issue 3, 18 February 2016, p. 576 – 584, DOI: 10.1049/iet-gtd.2015.0423, Print ISSN 1751-8687, Online ISSN 1751-8695
- "Load Demand, Batteries, and Electric Vehicles Modelling to the Energy Management of Microgrids", Daniel Tenfen*; Benoit Delinchant; Frédéric Wurtz; Erlon C. Finardi; Jaqueline Rolim; Rubiapiara C. Fernandes, 2nd Elecon Workshop, Magdebourg, Allemagne, 28-29 octobre 2014 available at http://www.elecon.ipp.pt/images/Workshop2/Papers/Load_Demand_Batteries_and_Electric_Vehicles_Modeling_to_the_Energy_Management_of_Microgrids.pdf

"Smart Buildings" offrant Gestion de la demande, "Demand Response", Gestion anticipative, ...

Gestion de la demande pour maximiser l'autoconsommation



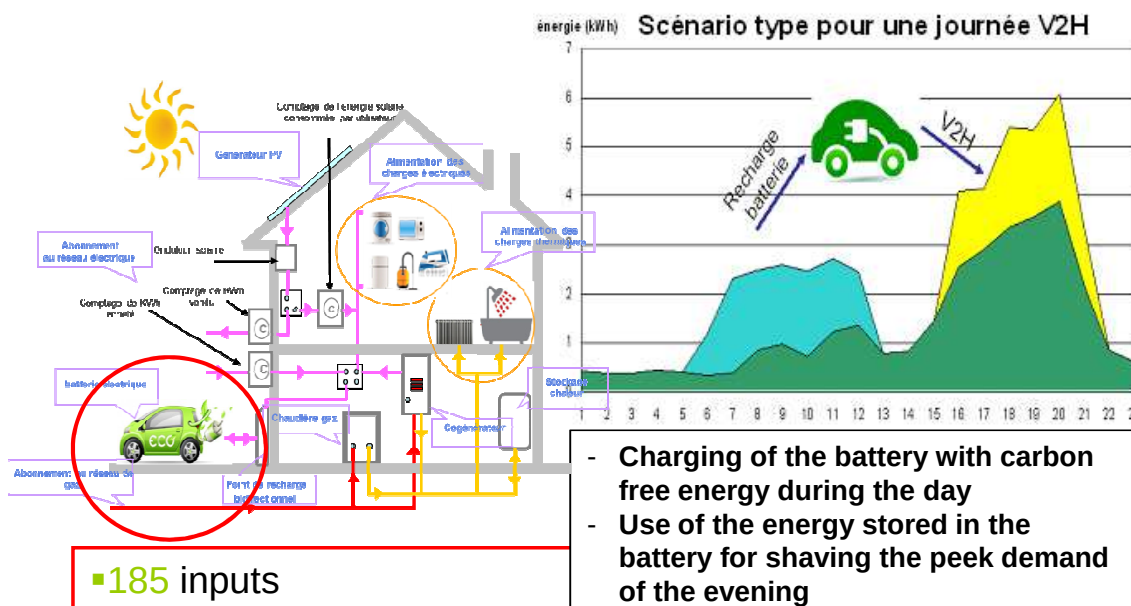
Auto-consumption



Hoang Anh Dang, Benoit Delinchant, and Frederic Wurtz, "Toward autonomous photovoltaic building energy management: modeling and control of electrochemical batteries", IBPSA 2013, Chambéry, August 2013, http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2013/p_2095.pdf

"Smart Buildings" offrant Gestion de la demande, "Demand Response", Gestion anticipative, ...

Anticipative demande side Management of Vehicule to Home (V2H)



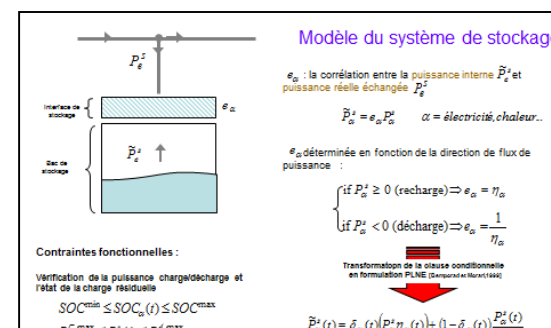
■ 185 inputs

■ $(50 \times 24) + 11 = 1211$ continues variables

■ $(24 \times 24) = 576$ binary discrete variables

■ $(178 \times 24) + 1 = 4273$ constraints

- Charging of the battery with carbon free energy during the day
- Use of the energy stored in the battery for shaving the peak demand of the evening



Modèle de gestion des charges ménagères

services ménagers temporaires :
rechercher le temps de démarrage optimal
dans un intervalle souhaité par l'utilisateur

- La durée potentielle du service k dans la période t :

$$d'(k, t) = \min[\text{Start}^{\text{pot}}(k) + \alpha(k+1, t+1) - \max[\text{Start}^{\text{pot}}(k), t], \Delta]$$

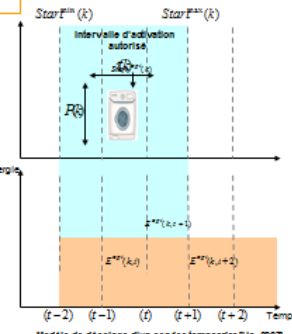
transformation des fonction min et max en formulations PLNE (Bemporad et Morari, 1999)

$$d'(k, t) = (t+1)\Delta - \tilde{d}_1(k, t+1)\Delta + \tilde{d}_1(k, t+1) + \tilde{d}_1(k, t+1) + \tilde{d}_1(k+1, t)\Delta - \tilde{d}_1(k, t) - \tilde{d}_1(k, t) + \Delta \tilde{d}_1(k, t)$$

- Durée effective si $d'(k, t) > 0 \Rightarrow d(k, t) = \max[0, d']$

- Consommation optimale du service K est égale à :

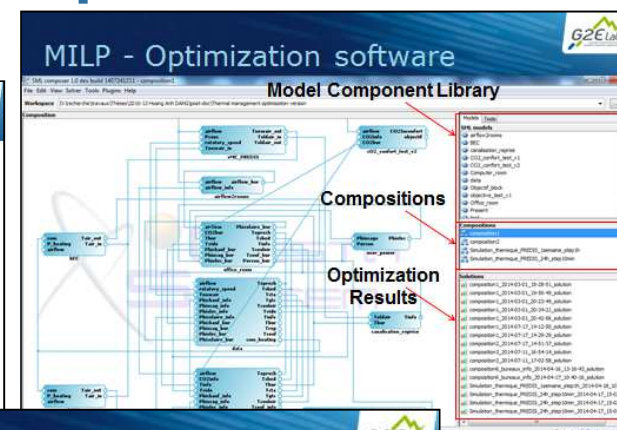
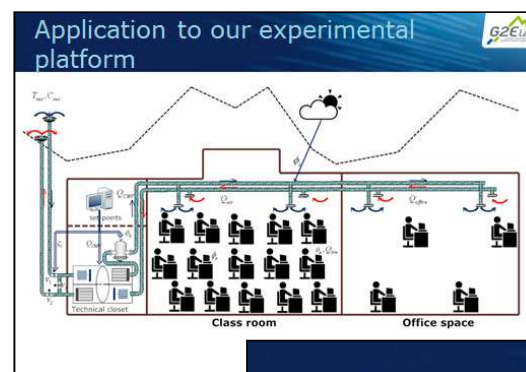
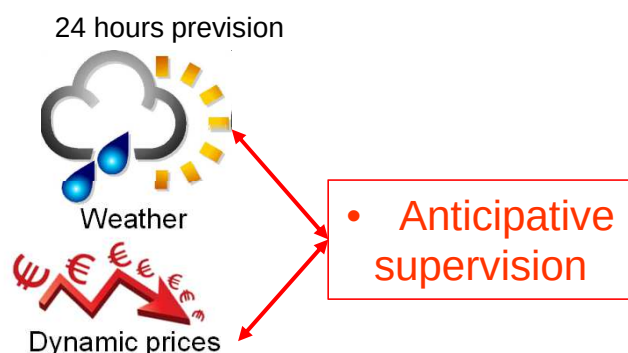
$$E^{\text{opt}}(k, t) = d(k, t) P(k)$$



- « Gestion des flux multi-énergie pour les systèmes V2H », A. Dargahi, thèse de l'Université de Grenoble, 26 Septembre 2014, <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01111994>
- A. Dargahi, S. Ploix, A. Soroudi, F. Wurtz, (2014) "Optimal household energy management using V2H flexibilities", COMPEL: The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering, Vol. 33 Iss: 3, pp.777, DOI:10.1108/COMPEL-10-2012-0223

"Smart Buildings" offrant Gestion de la demande, "Demand Response", Gestion anticipative, ...

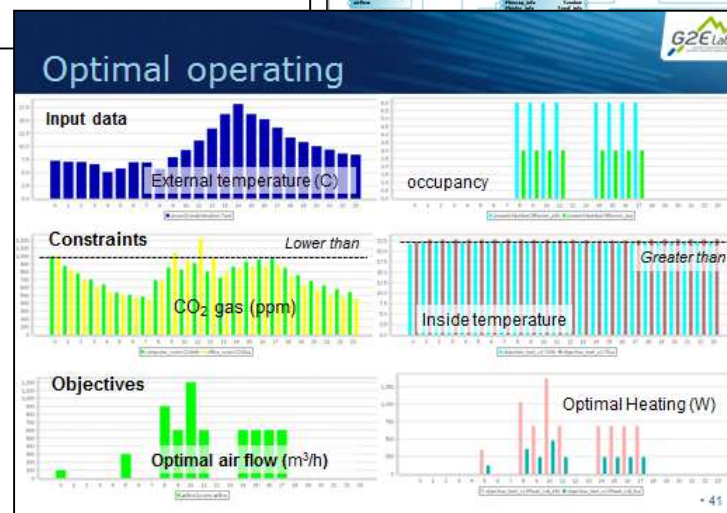
■ Gestion anticipative de la demande: compromis consommation - confort



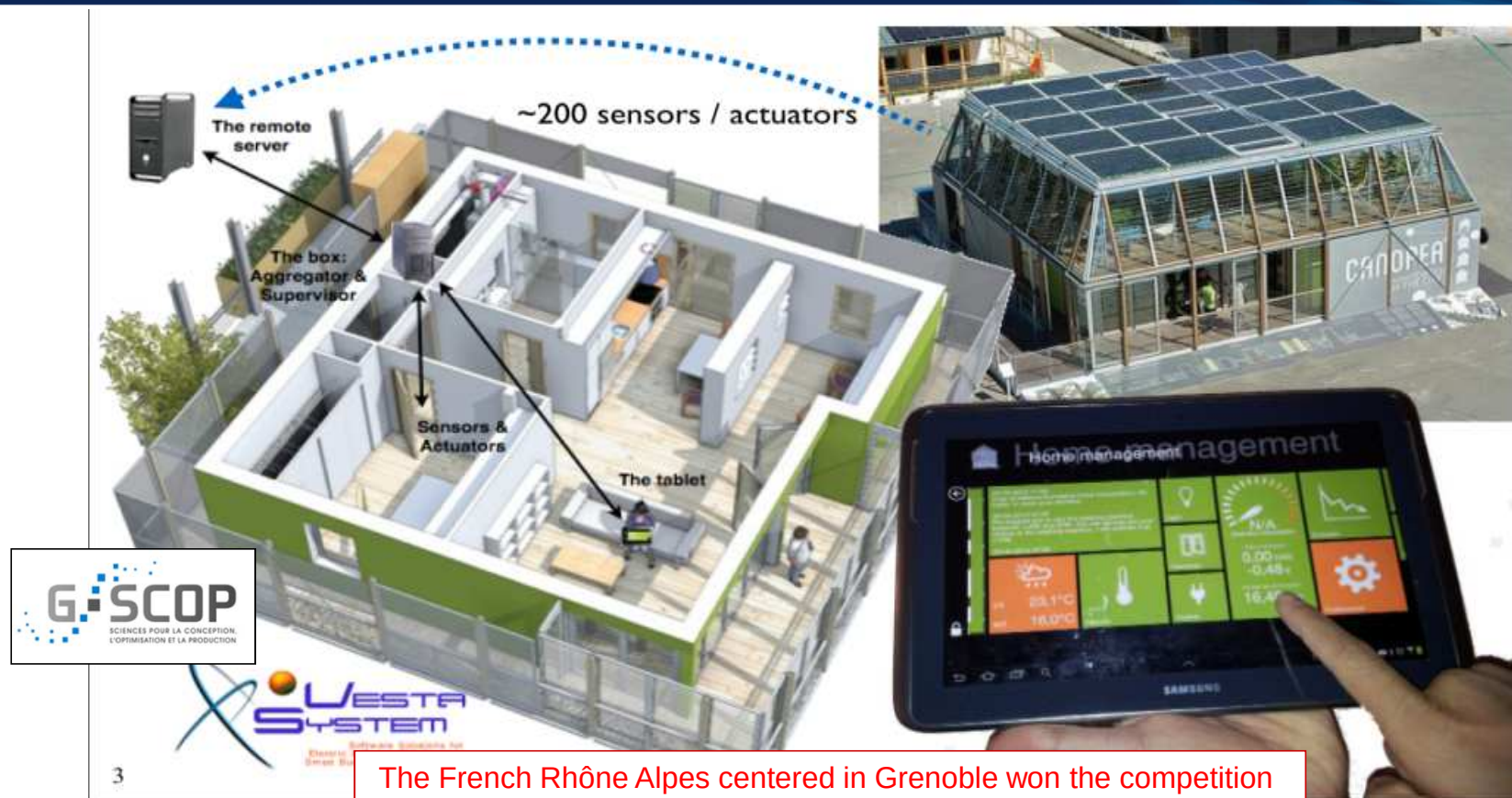
Industrial solution available at



<http://www.vesta-system.fr/fr/produits/vestaenergy/vesta-energy.html>



"Smart Buildings" offrant Gestion de la demande, "Demand Response", Gestion anticipative, ...



The French Rhône Alpes centered in Grenoble won the competition

« Prise en compte de la complexité de modélisation dans la gestion énergétique des bâtiments », Yanis Hadj Said, thèse de Docteur, docteur de l'université Grenoble Alpes, 20 juillet 2016, available soon

<http://www.g2elab.grenoble-inp.fr/grand-prix-international-solar-decathlon-2012--497448.kjsp>

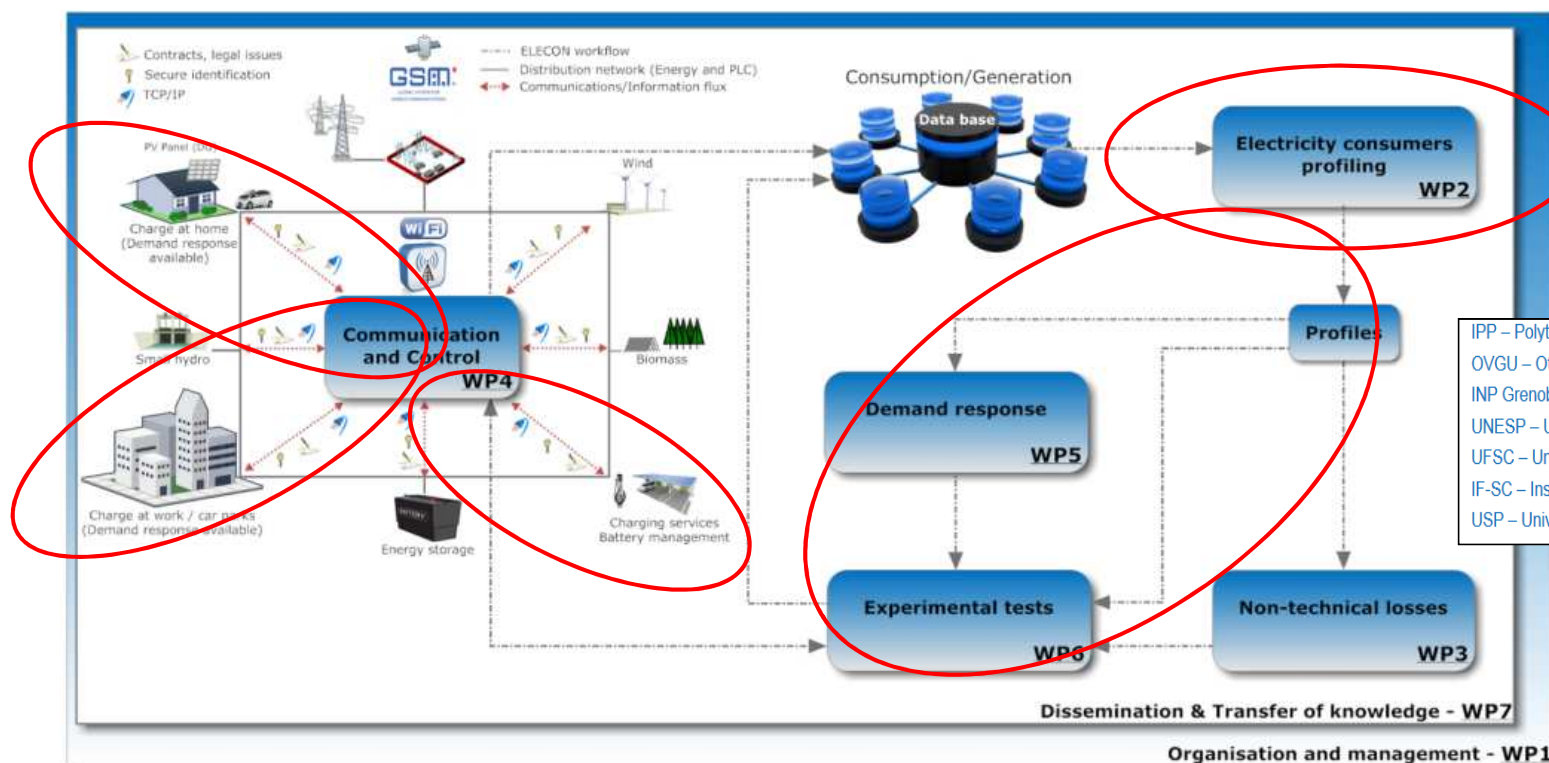
<http://www.g-scop.grenoble-inp.fr/accueil/la-team-rhone-alpes-remporte-le-solar-decathlon-europe-2012--499021.kjsp>

<http://www.echosciences-grenoble.fr/articles/la-team-rhone-alpes-remporte-le-solar-decathlon-2012>

"Smart Buildings" offrant Gestion de la demande, "Demand Response", Gestion anticipative, ...

■ Projet Europe - Brésil

■ ELECON: An example of a Portugal - French – Brazilian – German program about interaction between SG and SB



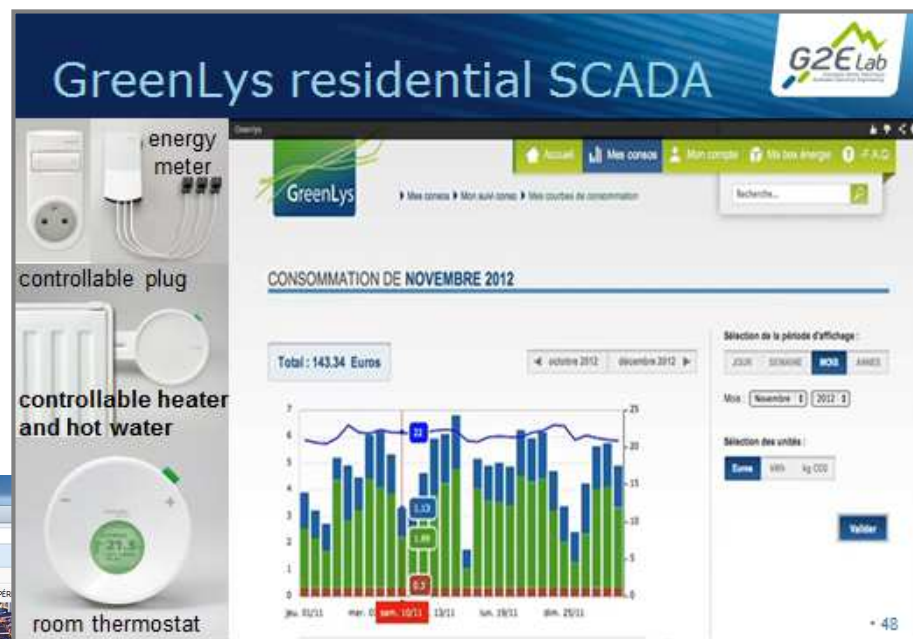
<http://www.elecon.ipp.pt/>

IPP – Polytechnic Institute of Porto, Portugal, **Project Coordinator**
OVGU – Otto von Guericke University of Magdeburg, Germany
INP Grenoble – Institut Polytechnique de Grenoble, France
UNESP – Universidade Estadual Paulista, Brazil
UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Brazil
IF-SC – Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Brazil
USP – Universidade de São Paulo, Brazil.

Les optimisations à l'échelle quartier et réseau

GreenLys Smart Grid

- Partners : major stakeholders in the French electricity market with complementary skills:**
 - Électricité Réseau Distribution France (ERDF), the project leader,
 - GDF Suez, Gaz Électricité de Grenoble (GEG),
 - Schneider Electric,
 - Institut polytechnique de Grenoble (Grenoble INP),
 - Atos Worldgrid, Réseau de Transport d'Électricité (RTE), Alstom, the CEA national solar energy institute (CEA INES), Rhône-Alpes Énergie Environnement (RAEE), Hespul and the CNRS LEPII-EDDEN (Économie de développement durable et de l'énergie) laboratory.
- Two cities : Grenoble and Lyon**
- Project : 43M€ invested for 4 years (2012-2016)**
- Diffuse Load Shedding experimentation :**
 - ~1000 Household are connected
 - ~100 Commercial buildings



Voir: <http://www.greenlys.fr/>

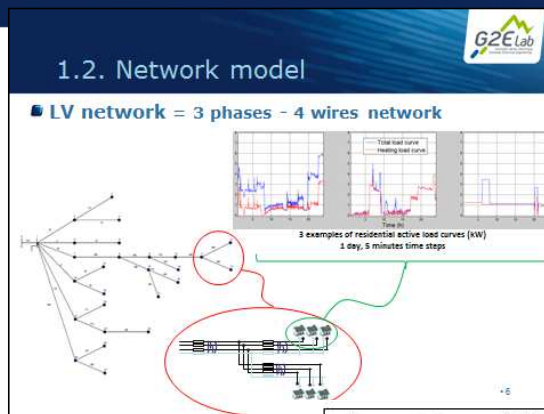
Les optimisations à l'échelle quartier et réseau

GreenLys **G2E Lab**
Grenoble Énergie Electrique
Grenoble Electrical Engineering

MILP formulation for large scale Peak Shaving problems in Low Voltage Smart Grids

UMR CNRS 5269 - Grenoble-INP
- Université Joseph Fourier

Clémentine BENOIT, Aurélien MERCIER, Frédéric WURTZ, Yvon BESANGER



- Problem has been solved with GAMS/Cplex
- 53 loads have been used (corresponding to the available data)
- 53*29*288 binary decision variables
Soit 442656 variables
- Resolution time = 20 minutes

Donner une idée de la complexité possible (en théorie)

MILP

- Variables are defined
- $\alpha = 0$ but 1 during
- $\alpha_{Binary} = 0$ but 1

$$p^{AGGREGATED}(Days, T) = \sum_{Loads} \left(\sum_{t \in T_{PR}} p^{FLEX}(Loads, Days, ttt + t - tt - 2h) \right) \cdot \alpha^{Binary}(Loads, Day, t - tt - 2h) \cdot Shape^{PR}(tt)$$

Simple MILP formulation :

$$p^{PR}(Loads, Day, t \in T) = \sum_{tt \in T_{PR}} \left[\left(\sum_{Load \in [0,2h]} p^{FLEX}(Loads, Days, ttt + t - tt - 2h) \right) \cdot \alpha^{Binary}(Loads, Day, t - tt - 2h) \cdot Shape^{PR}(tt) \right]$$

• During a shifting, the heating system is completely turned off

• Each load cannot be shifted more than once a day

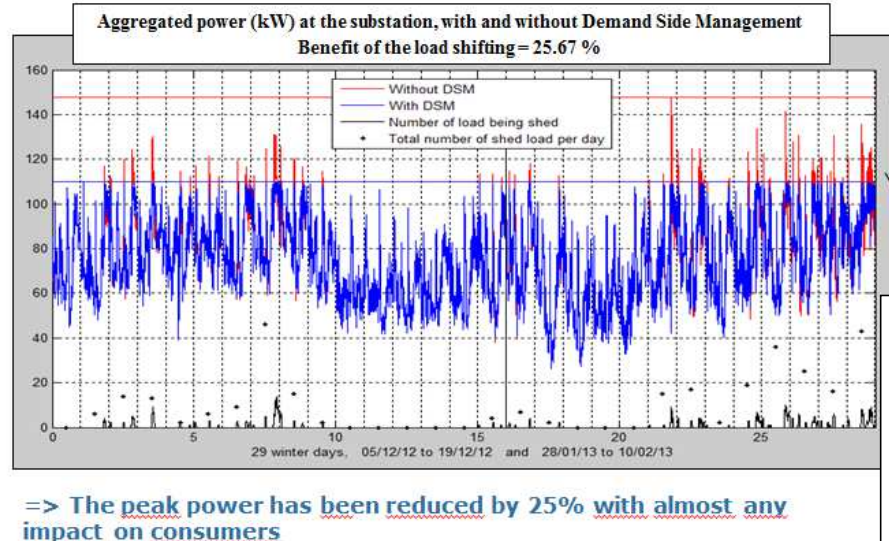
• A payback effect is considered:

- 100% of the shifted energy is recovered
- The maximal power of the payback is 140% higher than the average shifted power
- The shifting lasts one hour, and the payback effect two hours
- Model obtained from GreenLys load sheddings tests

Very soft load shedding (very small impact on consumers)

Payback energy = 100% * shifted energy

Max payback power = mean shifted Power * 140%



• « Models for investigation of flexibility benefits in unbalanced low voltage smart grids », C. Benoit, thèse de l'Université de Grenoble, 19 juin 2015, <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01223369/>

Les optimisations à l'échelle d'un pays

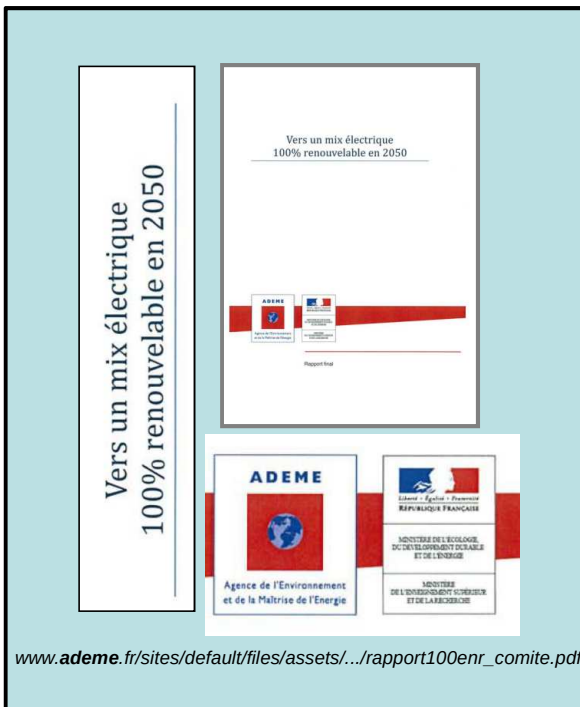
3.4 Méthode, critères et contraintes de l'optimisation

Dans le cadre de cette étude, le critère à minimiser est économique ; il s'agit du coût total annuel de gestion du mix électrique français, comprenant :

- les coûts d'installation annualisés et de maintenances annuelles des différentes filières de production et stockage ;
- les coûts annuels d'exploitation et d'investissement relatifs au réseau de transport ;
- les coûts variables de combustibles utilisés pour produire de l'électricité, se limitant, dans le cas du mix 100% EnR, aux cogénérations à bois, dont le coût variable de production revient à 16 € MWhe (après déduction de la valorisation de la chaleur).

Les variables du problème à résoudre (au nombre de 14 millions environ) correspondent :

- aux puissances installées de production et stockage de chaque filière dans chaque région
- aux productions de chaque filière EnR pilotable (hydraulique à réservoirs, méthanisation, cogénération bois ...), dans chaque région française et dans chaque zone frontalière, à chaque heure de l'année
- aux capacités des lignes interrégionales
- aux flux d'électricité circulant sur les lignes inter-régionales à chaque heure de l'année
- au pilotage de la demande pour chaque région et chaque heure de l'année
- à la production et à la consommation de chaque type de stockage dans chaque région, pour chaque heure de l'année.



Un grand nombre de contraintes (de l'ordre de 19 millions) sont simultanément prises en compte par l'optimisation :

- contrainte d'équilibre offre-demande à chaque heure de l'année, pour chaque région française et dans les zones frontalières modélisées, prenant en compte les capacités d'import-export,
- contrainte de bilan annuel import-export neutre entre la France et ses pays voisins,
- contrainte de flux d'électricité entre les régions bornée, à chaque heure, par la capacité d'échange maximale,
- contrainte de production maximale à chaque instant, dans chaque région française et chaque zone frontalière, pour chaque filière pilotable,
- contraintes techniques associées à des filières spécifiques
 - compétitivité entre les filières éoliennes terrestres classiques et nouvelle génération (une même surface au sol par région pouvant être occupée par l'une ou l'autre exclusivement, ou une combinaison de ces filières).

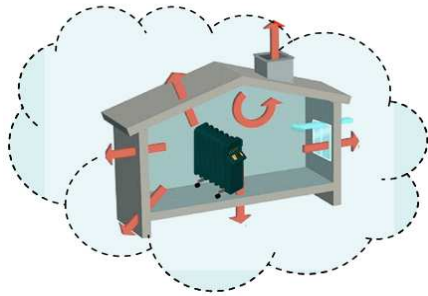
Concevoir des bâtiments optimisés pour l'intégration énergétique dans les quartiers dès les phases de conception

**Et ceci, si possible, dès les phases
d'esquisse**

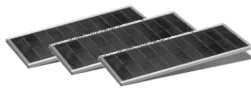
Conception optimale des bâtiments et des systèmes en intégrant les stratégies de supervision dès les phases d'esquisse

La problématique scientifique

Concevoir simultanément!

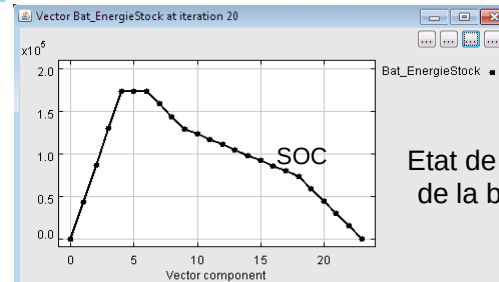


L'enveloppe

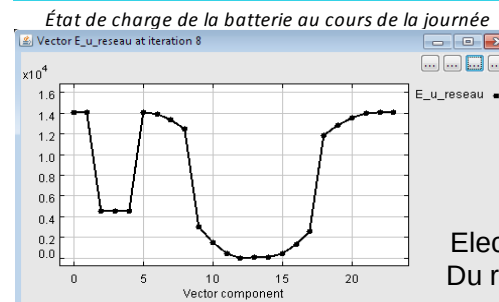


Chauffage, Ballon...

Dimensions systèmes



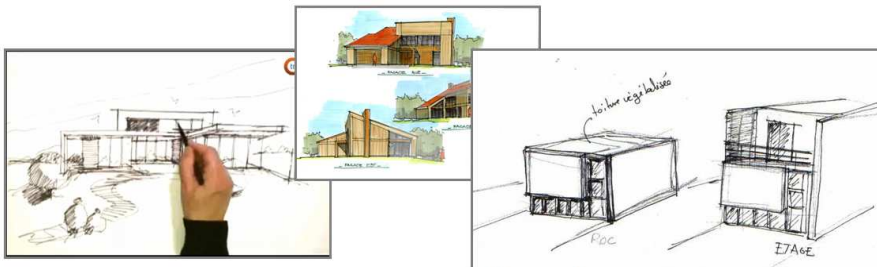
Etat de charge
de la batterie



Electricité
Du réseau

Électricité prise sur le réseau

Stratégie de
contrôle optimal

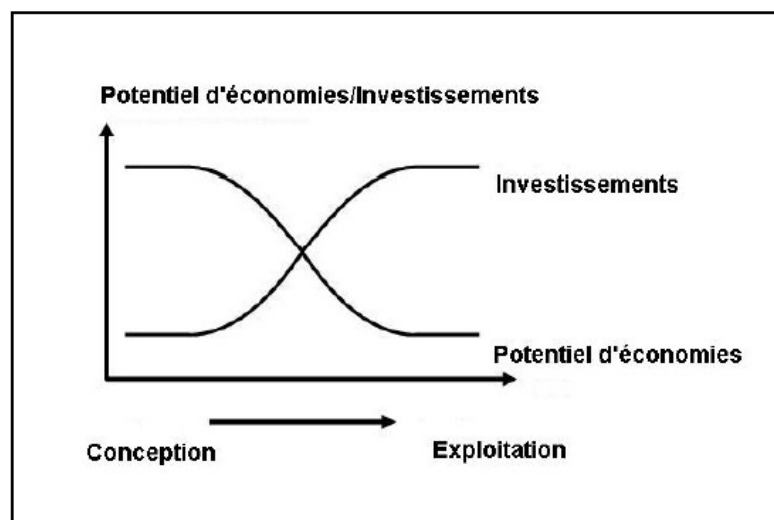


Dès les phases d'esquisse:
Intégration de gestion de la demande
et de gestion anticipative

- "Sketch Systemic Optimal Design Integrating Management Strategy, Thermal Insulation, Production And Storage Energy Systems (Thermal And Electrical): Application To An Energy- Positive Train Station" **F. WURTZ**, J. POUGET, X. BRUNOTTE, M. GAULIER, Y. RIFONNEAU, S. PLOIX AND B. L'HENORET, IBPSA 2013 – FRANCE, http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2013/p_2376.pdf
- "On The Sizing Of Building Enveloppe And Energy System Integrating Management Strategy In Sketch Phase", IBPSA 2015, <http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2015/p2142.pdf>

Conception optimale des bâtiments et des systèmes en intégrant les stratégies de supervision dès les phases d'esquisse

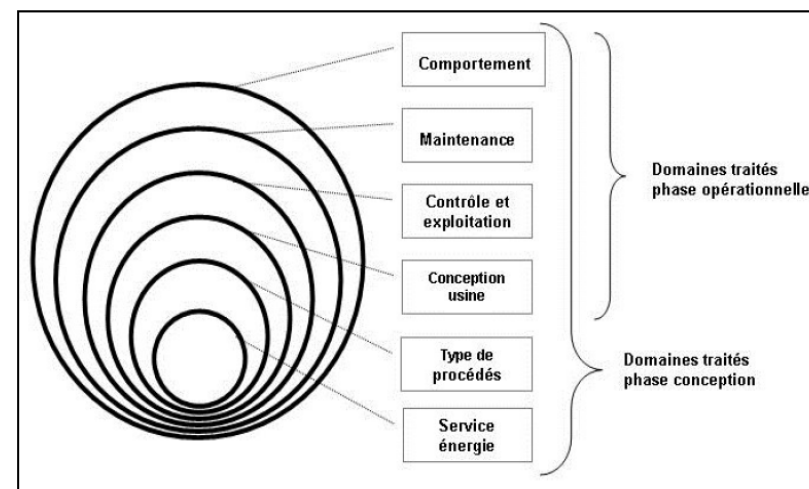
■ Importance des phases d'esquisse



CE, 2009. Commission européenne. Document de référence sur les meilleures techniques disponibles, Efficacité énergétique

Selon le document de référence sur les meilleures techniques disponibles (CE, 2009), établi après des échanges entre les Etats membres de l'Union Européenne et les industriels, l'efficacité énergétique devrait être prise en compte dès la phase de conception au lieu d'en phase d'exploitation pour maximiser les potentiels d'économie

Ce document indique des économies de 20 à 30% sur la consommation d'énergie totale dans de nombreux projets qui appliqueraient l'efficacité énergétique dès leur phase de conception, et il recommande aussi une approche intégrant les cycles d'exploitation dès la phase de conception pour, par exemple pour une usine



Conception optimale des bâtiments et des systèmes en intégrant les stratégies de supervision dès les phases d'esquisse

L'approche utilisée: Optimisation

Formulation : on explore Des approches non linéaires

With :

$$P1 \Rightarrow \begin{cases} \min fob(E,P) \\ E_j \quad \text{avec} \\ S_{\max,i} \leq S_i(E,P) \leq S_{\max,i} \\ E_{\min,j} \leq E_j \leq E_{\max,j} \end{cases}$$

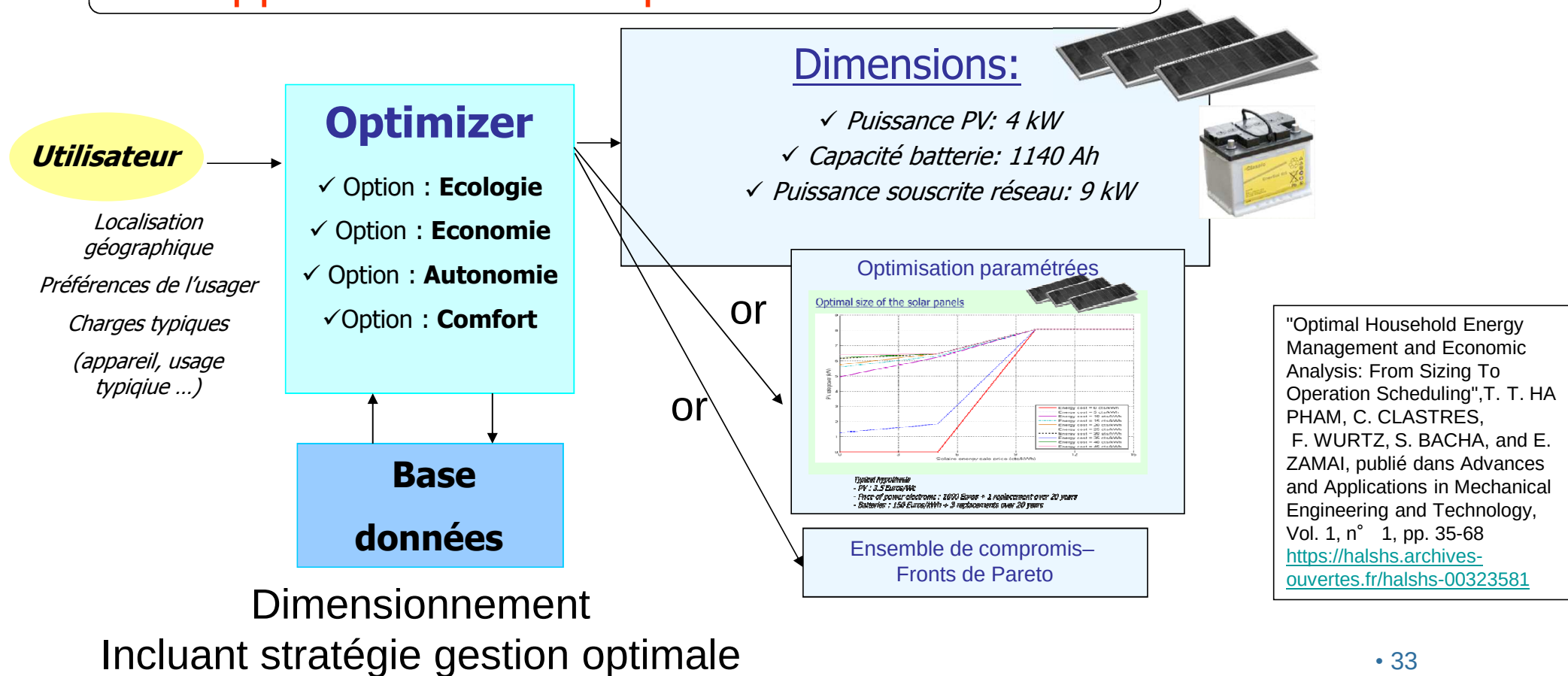
E_j : variables d'optimisation
 P : paramètres fixes durant l'optimisation
 fob : objective function, cost, comfort,
 S_i : constraints,

"Optimal Household Energy Management and Economic Analysis: From Sizing To Operation Scheduling", T. T. HA PHAM, C. CLASTRES, F. WURTZ, S. BACHA, and E. ZAMAI, publié dans Advances and Applications in Mechanical Engineering and Technology, Vol. 1, n° 1, pp. 35-68
<https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00323581>

On explore: SQP
Possible aussi: MILP après linéarisation à priori du modèle
Solved with : Matlab
CPLEX (Ilog), GUROBI – Linear approach
Own developed tools (CADES, SML – Composer), Non Linear approach

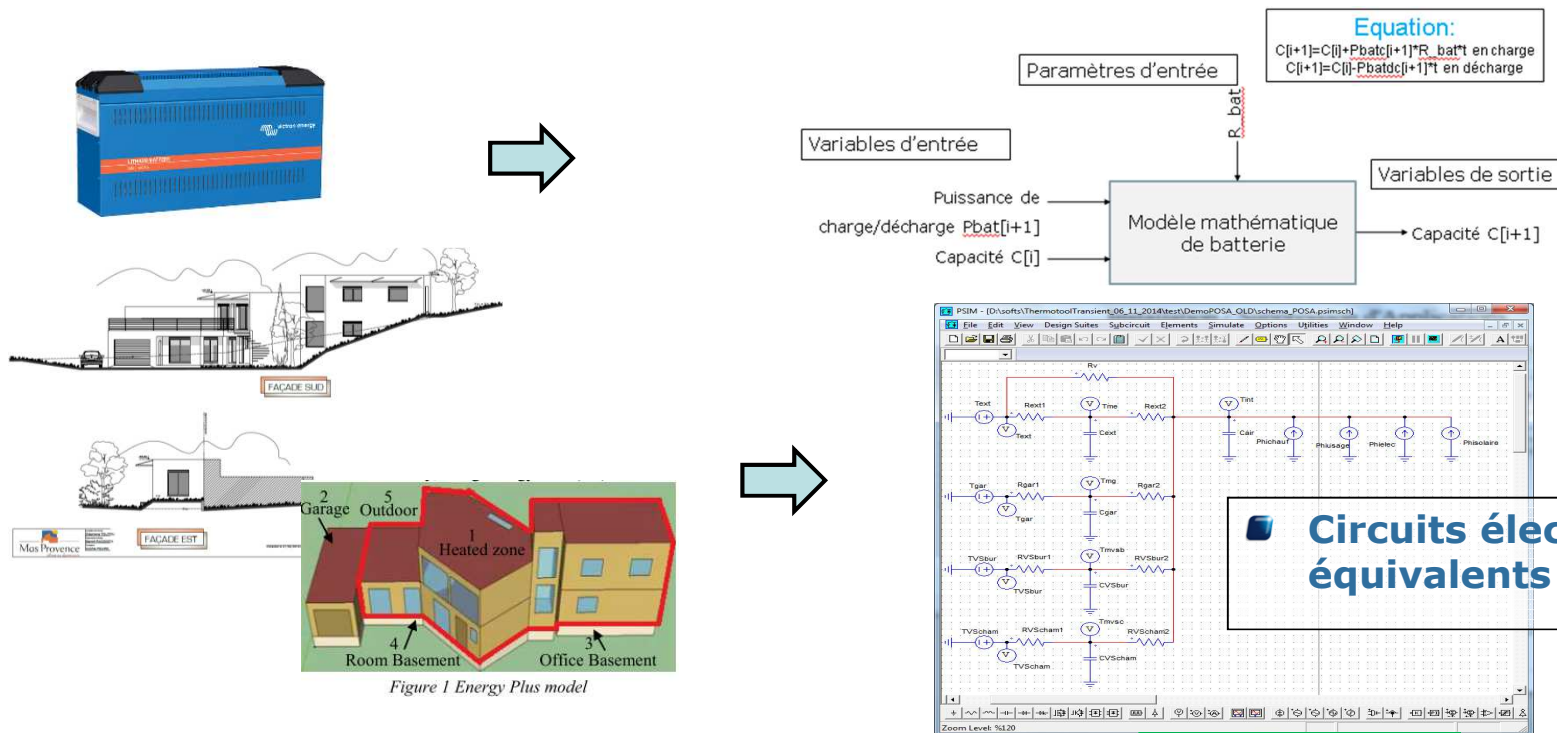
Conception optimale des bâtiments et des systèmes en intégrant les stratégies de supervision dès les phases d'esquisse

L'approche: Outils d'optimisation résultant



Conception optimale dès les phases d'esquisse

Le type de modèle utilisé

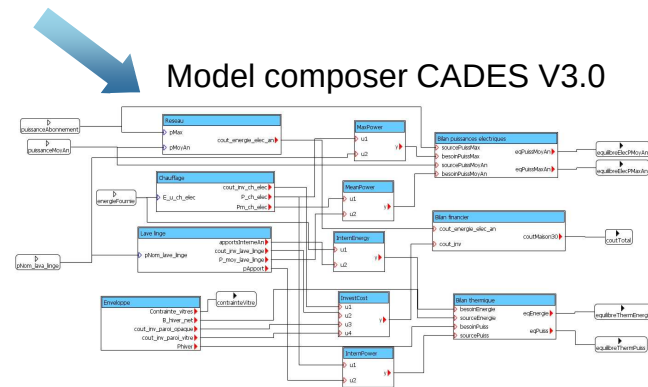
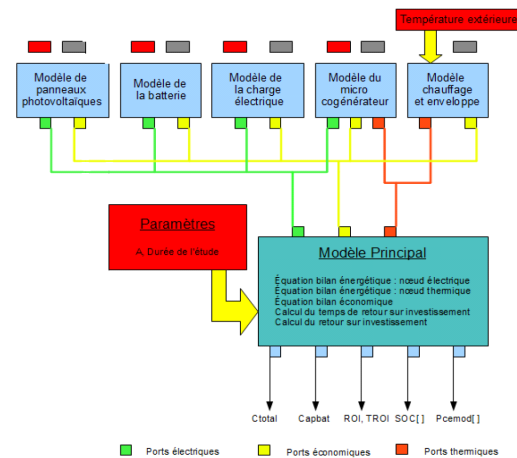
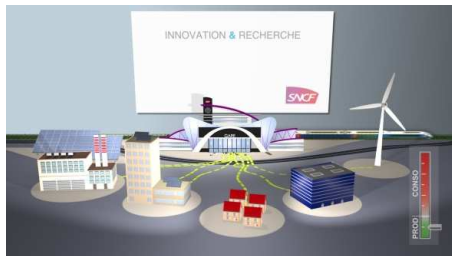


Le bon niveau de modèle
Composé à l'échelle du système

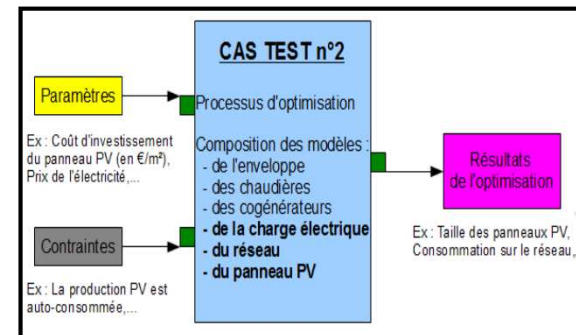
« Optimal Sizing Of A Complex Energy System Integrating Management Strategies For A Grid-connected Building »,
Van-Binh Dinh, Benoit Delinchant, and Frederic Wurtz, IBPSA 2015,
http://www.ibpsa.org/proceedings/B_S2015/p2141.pdf

G2E Lab
Grenoble Génie Electrique
Grenoble Electrical Engineering

Projet VEGEP



Problème d'optimisation résolu



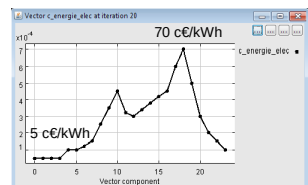
« Les enjeux de la conception en phase d'esquisse pour les systèmes du génie électrique : illustration sur le cas des systèmes énergétiques pour les bâtiments », F. Wurtz , B. Delinchant , Van Binh Dinh , Julien Pouget , Xavier Brunotte, *SGE 2014 - Symposium de Génie Electrique 2014*, Cachan : France (2014), <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01024644>

$P1 \Rightarrow$	$\min_{E_j} \text{fob}(E,P)$ avec $S_{\max_i} \leq S_i(E,P) \leq S_{\max_i}$ $E_{\min_j} \leq E_j \leq E_{\max_j}$
------------------	---

Méthode:
- *Déterministes Non Linéaires (Gradient SQP)*

Conception optimale dès les phases d'esquisse L'exemple d'une gare à énergie positive

L'outil développé et aperçu des résultats



- Dynamic tariff of energy

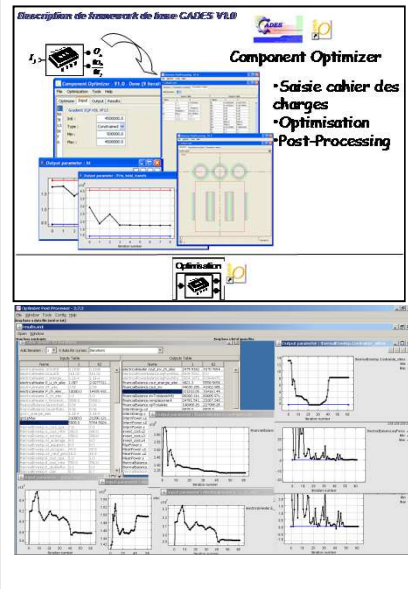
- Area

- Cost of technology
 - Building
 - Systems (PV, Battery, heating, co-generator, ...)

- Life-time (30 ans)

- Discount rate

Optimiser CADES



- Optimal results

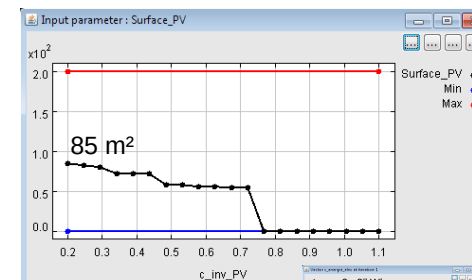
- Building Envelop

- Systems

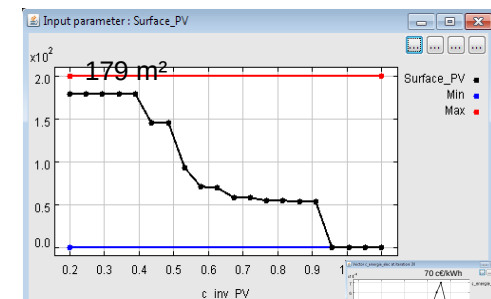
- Management strategy

**Optimisation with hundreds to thousands
Parameters and constraints**

Parametrized optimisation results



Yellow tarif



Dynamic tarification

- "Sketch Systemic Optimal Design Integrating Management Strategy, Thermal Insulation, Production And Storage Energy Systems (Thermal And Electrical): Application To An Energy- Positive Train Station" **F. WURTZ**, J. POUGET, X. BRUNOTTE, M. GAULIER, Y. RIFONNEAU, S. PLOIX AND B. L'HENORET, IBPSA 2013 – FRANCE
http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2013/p_2376.pdf
- "On The Sizing Of Building Enveloppe And Energy System Integrating Management Strategy In Sketch Phase", IBPSA 2015,
<http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2015/p2142.pdf>

Les défis restant à relever

- Vers des optimisations de grande taille
- Maîtriser le bon niveau de modélisation
- Implication des acteurs
 - concepteur
 - mais surtout « consom'acteur »

Vers des optimisations de grande taille

■ Dépasser l'état de l'art actuel de l'optimisation dans la filière bâtiment

Building optimization problem: order of 10 variables

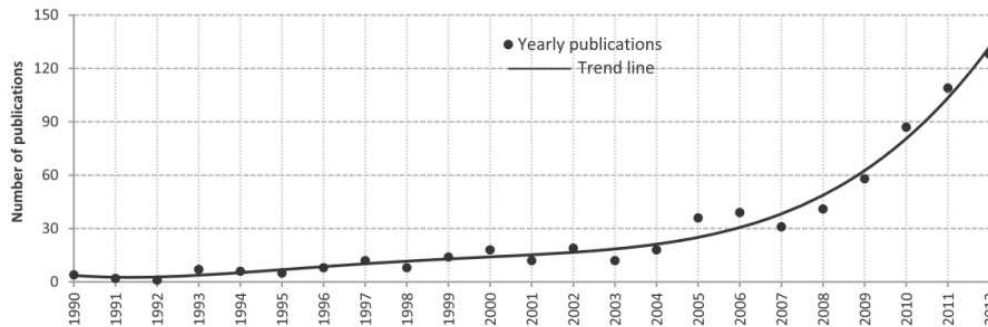
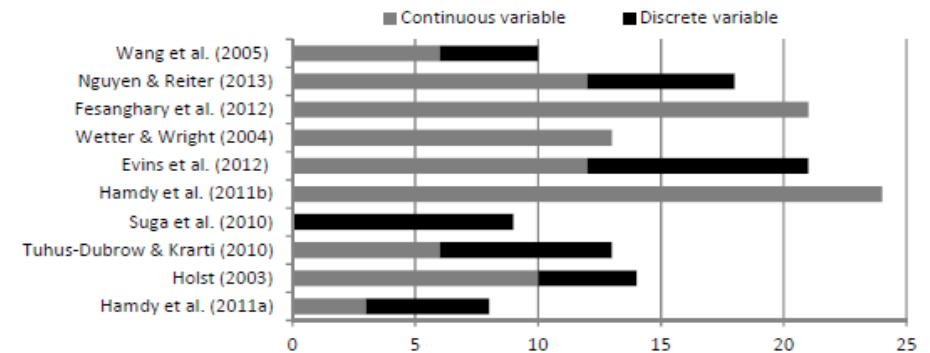


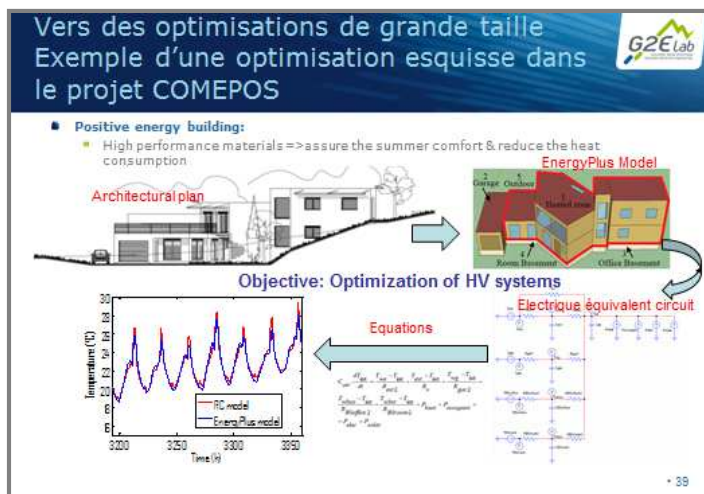
Fig. 1. The increased trend of number of optimization studies in building science.



Statistical result : Number of optimization variables in some arbitrary studies
(Nguyen et al., 2014)

Nguyen, A.-T., Reiter, S., Rigo, P., 2014. A review on simulation-based optimization methods applied to building performance analysis. *Applied Energy* 113, 1043–1058

Vers des optimisations de grande taille



=> Etudier les performances pour un problème non-linéaire et multi-objectif de grande taille avec 2 approches d'optimisation

- Algorithme d'ordre 0 (sans gradient): NSGAII
- Algorithme d'ordre 1 (avec gradient): (SQP)

$$\text{Minimize } F(X) = \begin{bmatrix} f_1(X) \\ \vdots \\ f_l(X) \end{bmatrix} \quad X \in S \subset R^n$$

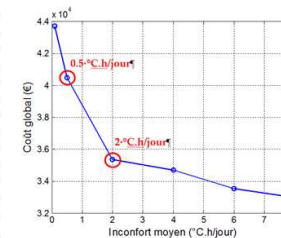
$$\text{Under constraints } g_j(X) \leq 0 \quad j = 1, \dots, m$$

Optimisation simultanée enveloppe, système et stratégie de gestion

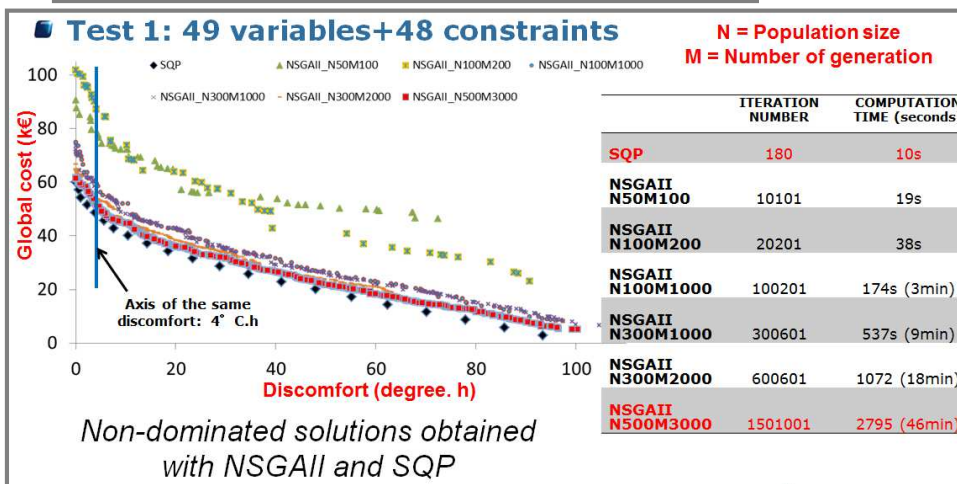
1400 variables de décision, 2200 contraintes

	Variables de décision	Unité	Espace de recherche
Enveloppe	Murs	U_{m}^{min}, U_{m}^{max}	W/(K.m²) [0.08; 6.4]
	Plancher	C_{p}^{min}, C_{p}^{max}	J/(K.m²) [68.10; 82.10]
	Plancher	U_{p}^{min}, U_{p}^{max}	W/(K.m²) [0.08; 6.4]
	Plancher	C_{p}^{min}, C_{p}^{max}	J/(K.m²) [13.10; 13.10]
	Plancher	U_{p}^{min}, U_{p}^{max}	W/(K.m²) [0.08; 6.4]
Systèmes	Surfaces vitrées	U_{v}^{min}, U_{v}^{max}	W/(K.m²) [0.7; 2.0]
	Surfaces vitrées	S_{v}^{min}, S_{v}^{max}	m² [0; 30]
	Surfaces vitrées	S_{v}^{min}, S_{v}^{max}	m² [0; 40]
	SPV	$S_{SPV}^{min}, S_{SPV}^{max}$	m² [0; 50]
	Batterie	$C_{bat}^{min}, C_{bat}^{max}$	Wh [0; 40000]
	Batterie	$P_{bat, max}(G=1:168)$	W [-6000; 6000]
	Batterie	$P_{bat, min}(G=1:168)$	W [-6000; 6000]
	Chauffage	$P_{ch, max}(G=1:168)$	W [0; 20000]
	Climatisation	$P_{cl, max}(G=1:168)$	W [0; 20000]
	Climatisation	$P_{cl, min}(G=1:168)$	W [0; 20000]
Ventilation	Ventilation	$Q_{v, max}(G=1:168)$	m³/s [0; 100]
	Ventilation	$Q_{v, min}(G=1:168)$	m³/s [0; 100]
	Ventilation	$Q_{v, max}(G=1:168)$	m³/s [0; 100]
	Ventilation	$Q_{v, min}(G=1:168)$	m³/s [0; 100]
Occupation	Occupation	$f_{occ}^{min}(t), f_{occ}^{max}(t)$	- [0; 1]
	Occupation	$f_{occ}^{min}(t), f_{occ}^{max}(t)$	- [0; 1]

En plus des contraintes vues dans l'application précédente, nous avons de nouvelles contraintes pour le problème d'optimisation.
Par exemple, la surface vitrée totale de la maison doit être supérieure ou égale à 1/6 fois de la surface habitable. La concentration de CO₂ à l'intérieur de la maison à chaque instant ne doit pas dépasser le seuil de 1000 ppm. Une contrainte est également mise sur le débit d'air afin qu'il ne dépasse pas sa valeur nominale correspondant à un paramètre optimisable. De plus, la luminosité moyenne dans le local doit être supérieure ou égale à 300 lux à tout instant de la journée.
Au total, nous obtenons plus de 2200 contraintes, composées de contraintes linéaires et non linéaires, d'égalité et d'inégalité, de dimensionnement et de gestion.



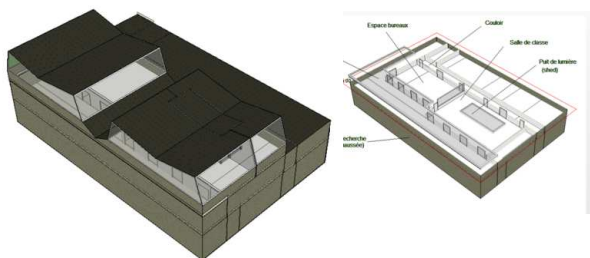
Thèse Van
Dinh Binh
Soutenance
13 décembre
2016



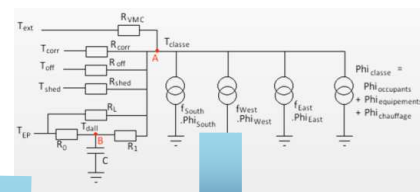
Maîtriser le bon niveau de modélisation

Exemple de circuit équivalent pour la supervision anticipative

Bâtiments

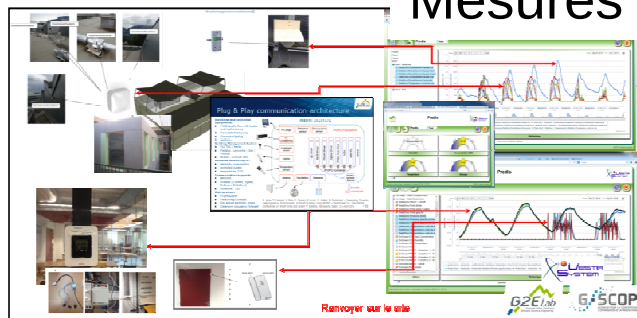


Les modèles efficaces
ne sont pas les plus complexes

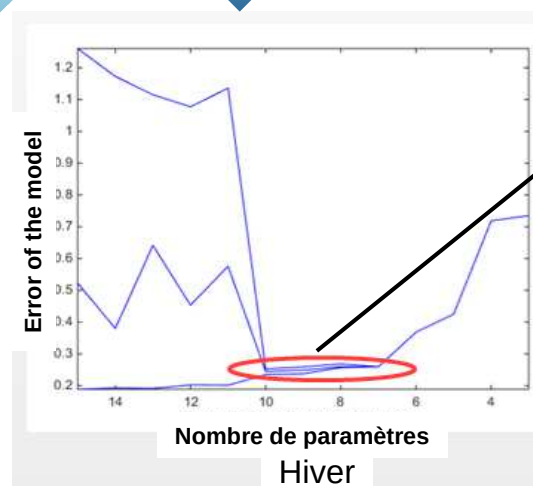


Circuits physiques
équivalents
De 2 à 15
paramètres
(Résistances thermiques
Et capacités)

Mesures



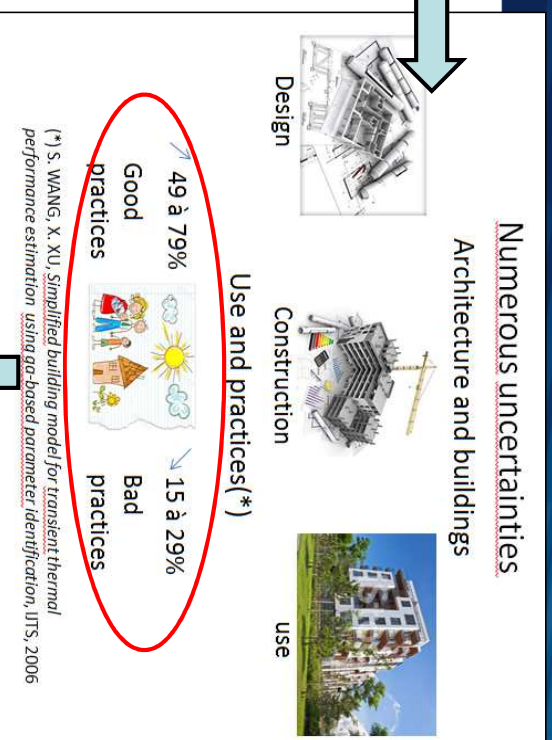
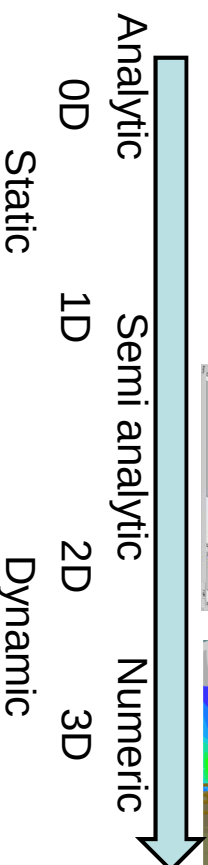
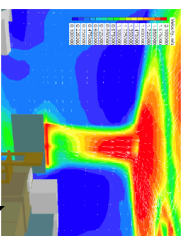
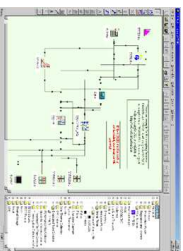
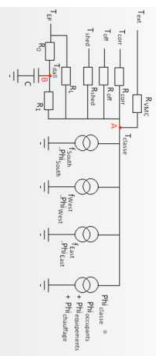
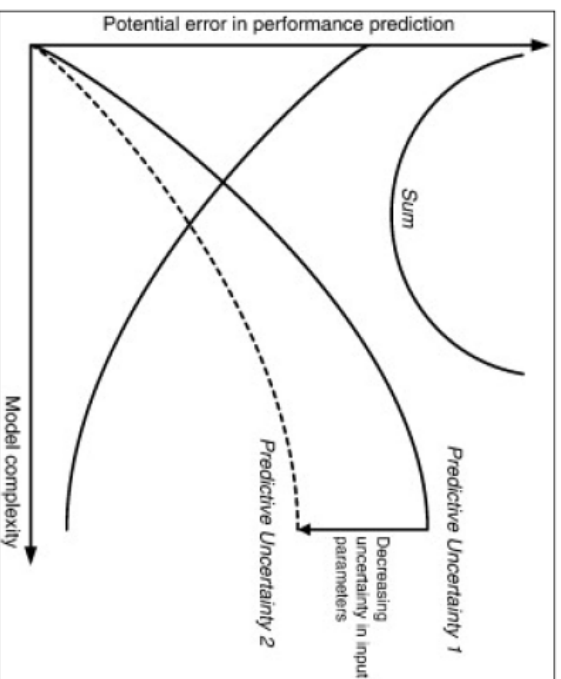
From phd defense A. Le Mounier, « Méta-optimisation pour la calibration automatique de modèles énergétiques bâtiment pour le pilotage anticipatif », **29 juin 2016**,
Thèse en génie électrique de la communauté université Grenoble Alpes, soon available



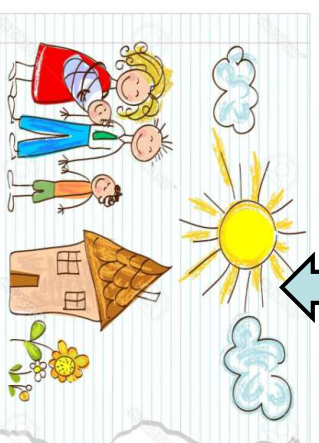
Le bon
compromis en
terme de complexité
est ici

Maîtriser le bon niveau de modélisation

Jan Hensen, "Building performance simulation: current state and challenges", Expert meeting on "Evaluating and Modelling Near-Zero Energy Buildings; are we ready for 2018?" 30-31 January 2012, University of Strathclyde, Glasgow (UK)



From phd defense A. Le Mounier, « Méta-optimisation pour la calibration automatique de modèles énergétiques bâtiment pour le pilotage anticipatif », 29 juin 2016, Thèse en génie électrique de la communauté université Grenoble Alpes, soon available



Usagers
La plus
Grande
incertitude!

Nécessité d'introduire
l'humain dans la boucle !

Implication des acteurs (concepteurs & consom'acteurs)

■ Pour la gestion de la demande, la gestion anticipative, est-ce que tout sera automatique?

- C'était notre première approche, mais ...
- Hypothèse actuelle: **usager/habitant** doit être **impliqué**
 - Les habitants veulent pouvoir décider, comprendre, ...
 - S'il ne peuvent ni comprendre, ni décider -> **Rejet**

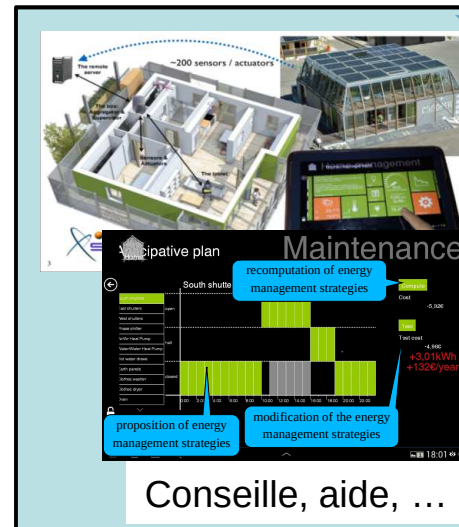
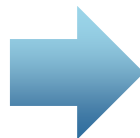
■ Le consumer est appelé à devenir un consom'acteur actif



Consommation
D'énergie

« Demand Response »

Achat/échange
D'énergie



Conseille, aide, ...



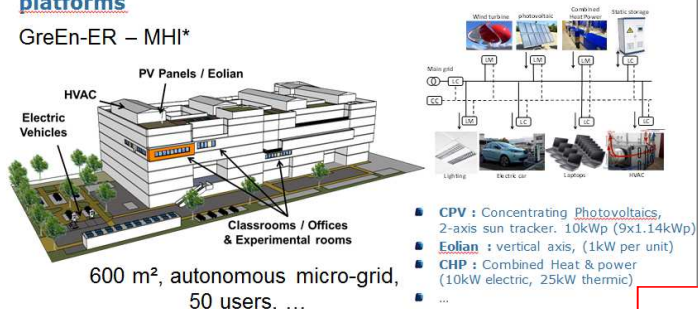
Usager
comprend, décide,

...

Le « living lab » du bâtiment au quartier

Inside GreEn-ER: an autonomous and energy positive platforms

GreEn-ER – MHI*



*MHI: Monitoring et Habitat Intelligent – Monitoring and Smart House Platform
Complete description will be soon available at: <http://predis.grenoble-inp.fr/>

« Smart-Building » intégré dans le « Smart-Grid » de l'éco-cité
En impliquant les usagers: étudiants, enseignants, chercheurs, citoyens de l'écoquartier

From the Smart Building Platform to prototype and real smart-buildings

Smart building platform



Advanced prototypes



Canopeo - Presentation Movie - Solar Decathlon 2012:
<https://www.youtube.com/watch?v=5a2F4d5W7Y>

Modeling and optimisation tools



Real houses

Project COMEPO: Deployment of energy positive houses in France



Smart Building Platform V1 Grenoble



Une recherche mise en œuvre via des plateformes expérimentales A l'échelle éco-quartier



Conclusion

Conclusion

- **Le « smart-grid » est une réponse à la transition énergétique**
- **Qui s'appuyera massivement sur le « smart-building »**
- **En utilisant massivement de l'optimisation pour:**
 - La gestion anticipative, la gestion de la demande, ...
 - Intégrer ces aspects dès les phases de conception
- **Parmi les défis à surmonter:**
 - Être capable d'optimiser des problèmes de grandes tailles
 - Avoir des solutions d'optimisations en interaction avec les usagers au cœur du système (consom'acteurs)