Méthodes et outils pour le dimensionnement des bâtiments et des systèmes énergétiques en phase d'esquisse intégrant la gestion optimale

Présenté par Van Binh DINH

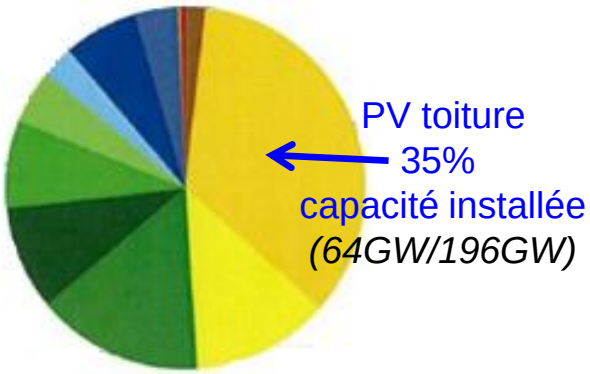
GDR SEEDS - ENS Cachan

15 juin 2017

Contexte général

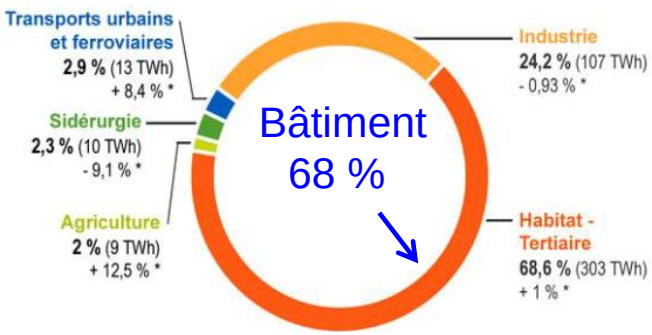
- **Réduction des émissions de gaz à effet de serre**
- **Loi de transition énergétique 2015**
- **Insertion des énergies renouvelables (PV, Eolienne)**
  - Production décentralisée intermittente
  - Problèmes d'équilibre consommation/production

Un important producteur d'ENR



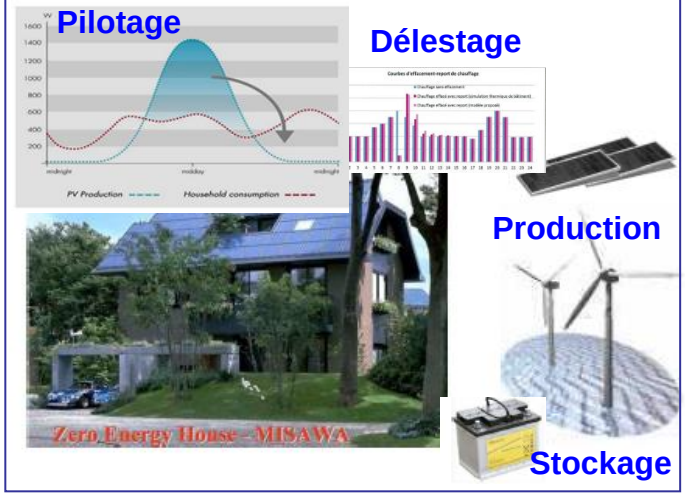
Scénario 2050 : 100 % ENR (ADEME, 2015)

Bâtiment : le plus gros consommateur



Consommation électrique en France en 2013 (EDF, 2015)

Smart-building



➡ Bâtiment du futur : un pilier fondamental du smart-grid pour répondre à l'enjeu climatique

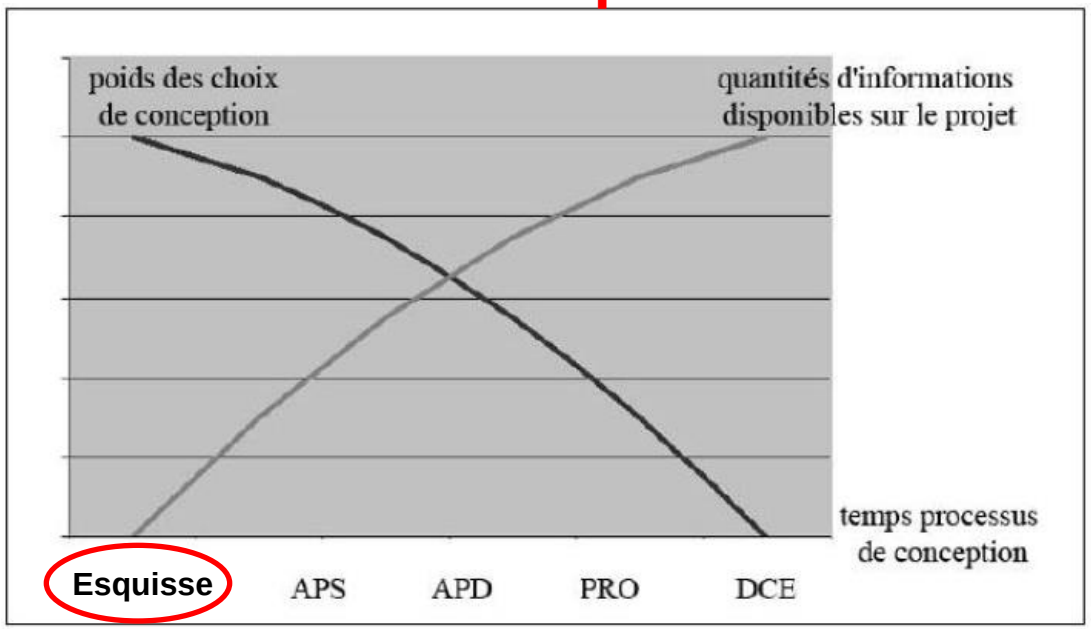
Nécessité des études de conception des bâtiments du futur dès l'esquisse

Mener des travaux de recherche sur les bâtiments du futur :

- ***efficacité énergétique***
- intégration de production d'énergie renouvelable et de stockage
- interaction par des cycles de fonctionnement avec les smart-grids

dès phase d'esquisse de la conception

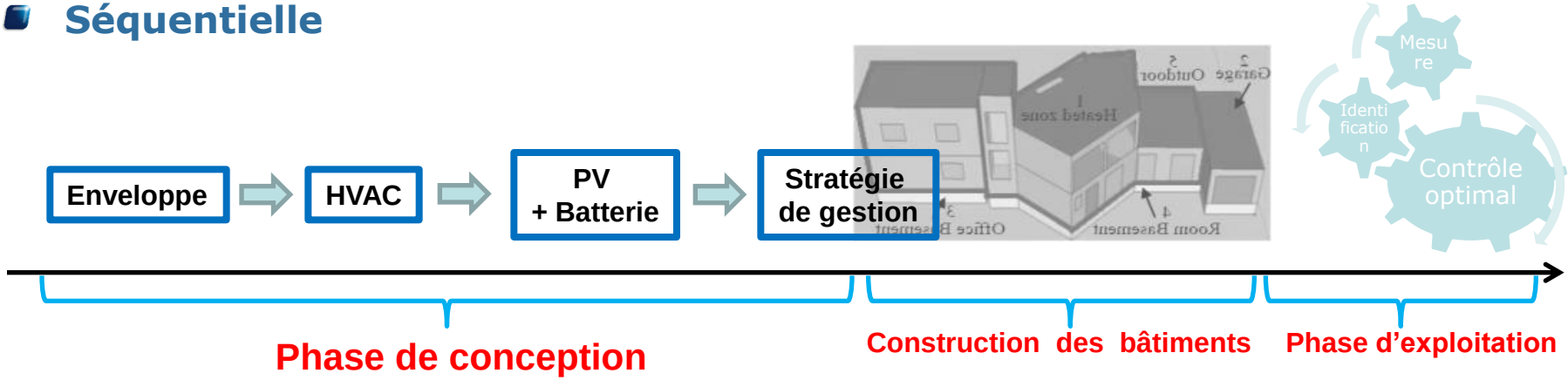
5% de coût du projet
75% des impacts



Schématisation du paradoxe de la conception (Adolphe, 1991)

Etat de l'art de la conception des bâtiments

Séquentielle



✓ **Simple et traditionnelle**

× **Manque de vision globale**

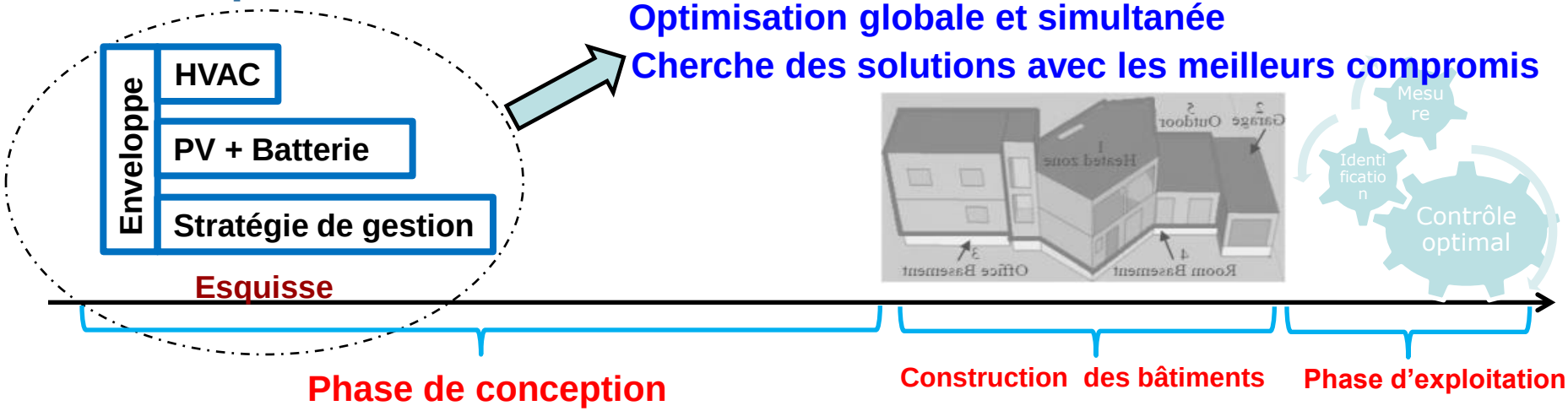
× **Manque d'estimation en amont des performances énergétiques**

× **Allers-retours entre Architectes et BE**

× **Efficacité énergétique ne pourra pas être optimisée**

Objectif de la thèse

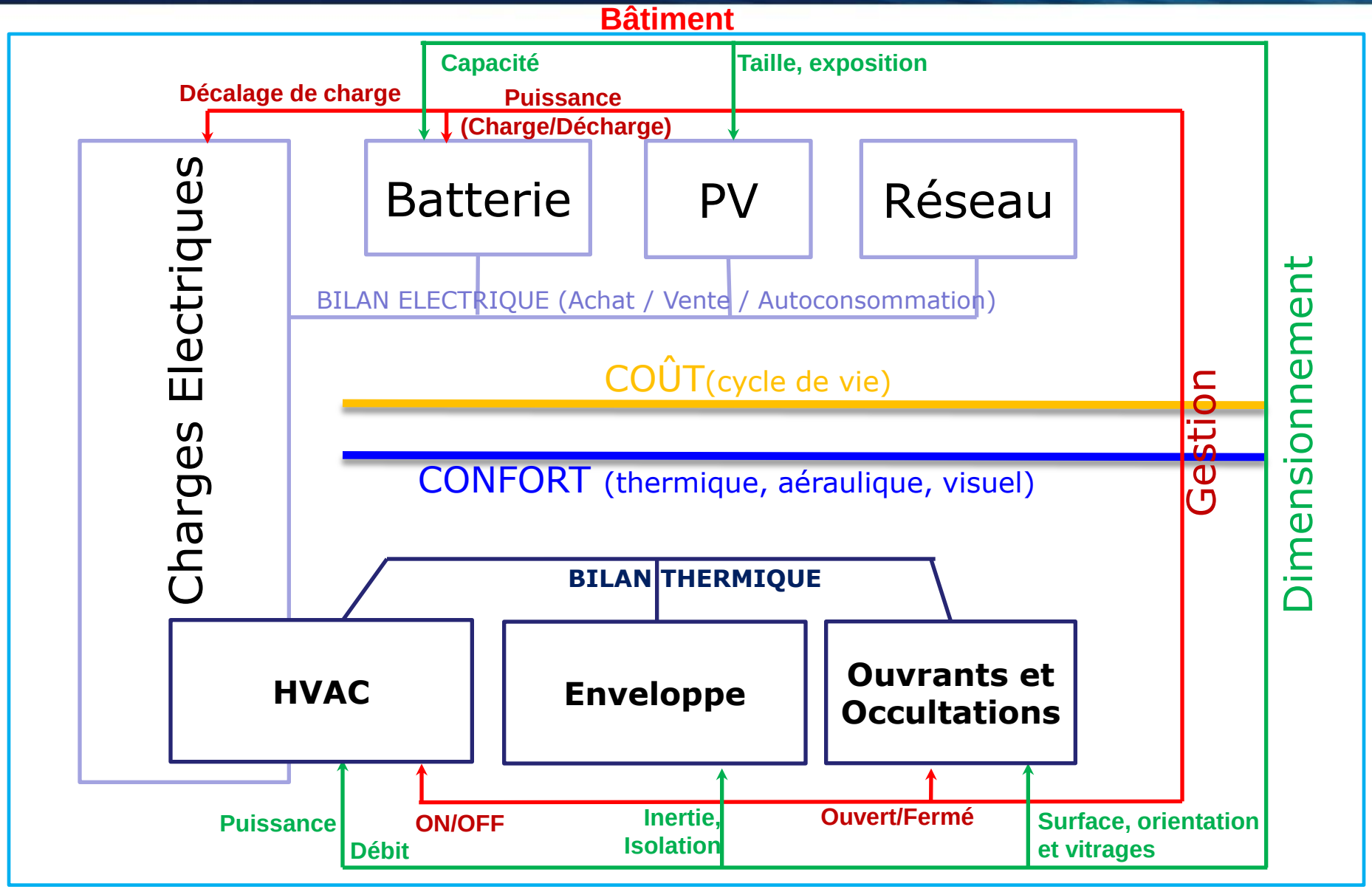
- **Développer des méthodes et outils pour une nouvelle approche de la conception :**



Aide à la conception des bâtiments du futur

- **Faisabilité**
- **Rapidité des possibilités**
- **Une vision globale en amont**
- **Décisions**

Approche globale de la conception



Plan de présentation

1. **Introduction: Contexte et objectifs**
2. **Méthodologies et mise en œuvre**
   - 2.1. Modélisation en vue de conception globale
   - 2.2. Méthodes d'optimisation et mise en œuvre informatique
3. **Applications et analyses**
   - 3.1. Dimensionnement des systèmes énergétiques en phase d'APD
   - 3.2. Conception de l'enveloppe et des systèmes énergétiques en phase d'esquisse
4. **Conclusions et perspectives**

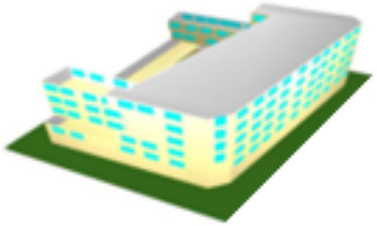
Plan de présentation

1. **Introduction: Contexte et objectifs**
2. **Méthodologies et mise en œuvre**
   - 2.1. Modélisation en vue de conception globale
   - 2.2. Méthodes d'optimisation et mise en œuvre informatique
3. **Applications et analyses**
   - 3.1. Dimensionnement des systèmes énergétiques en phase d'APD
   - 3.2. Conception de l'enveloppe et des systèmes énergétiques en phase d'esquisse
4. **Conclusions et perspectives**

Choix de la méthode de modélisation

3 types de modèles :

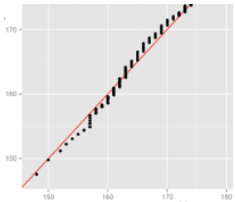
- **Numérique :**

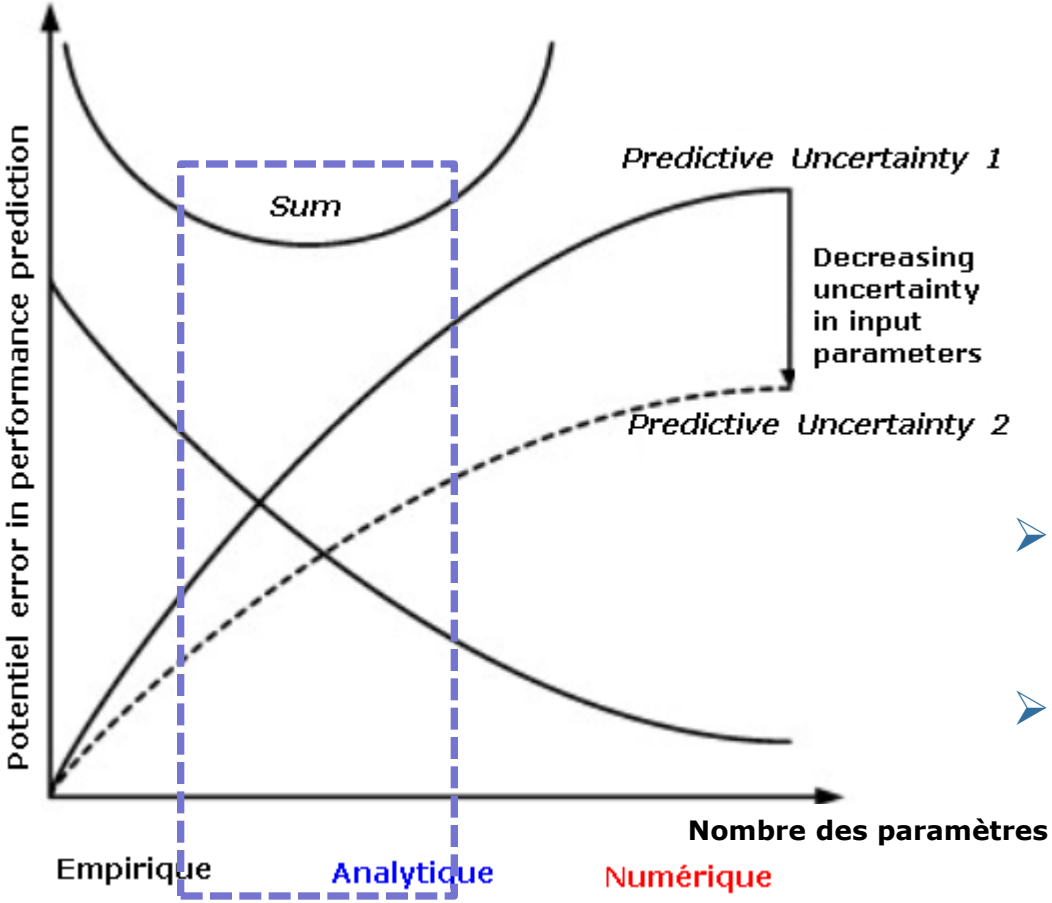


- **Analytique :**

$$C_1 \frac{\partial T_m^1(t)}{\partial t} = \frac{T_{ext}(t) - T_m^1(t)}{R_{ext}^1} + \frac{T_{int}(t) - T_m^1(t)}{R_{int}^1}$$

- **Empirique :**





En phase d'esquisse

- **Privilégier les modèles analytiques pour la physique**
- **Modèles empiriques pour les modèles économiques**

Modèles en vue de la conception

Modèle global

Isolation & Inertie

Ouvrants

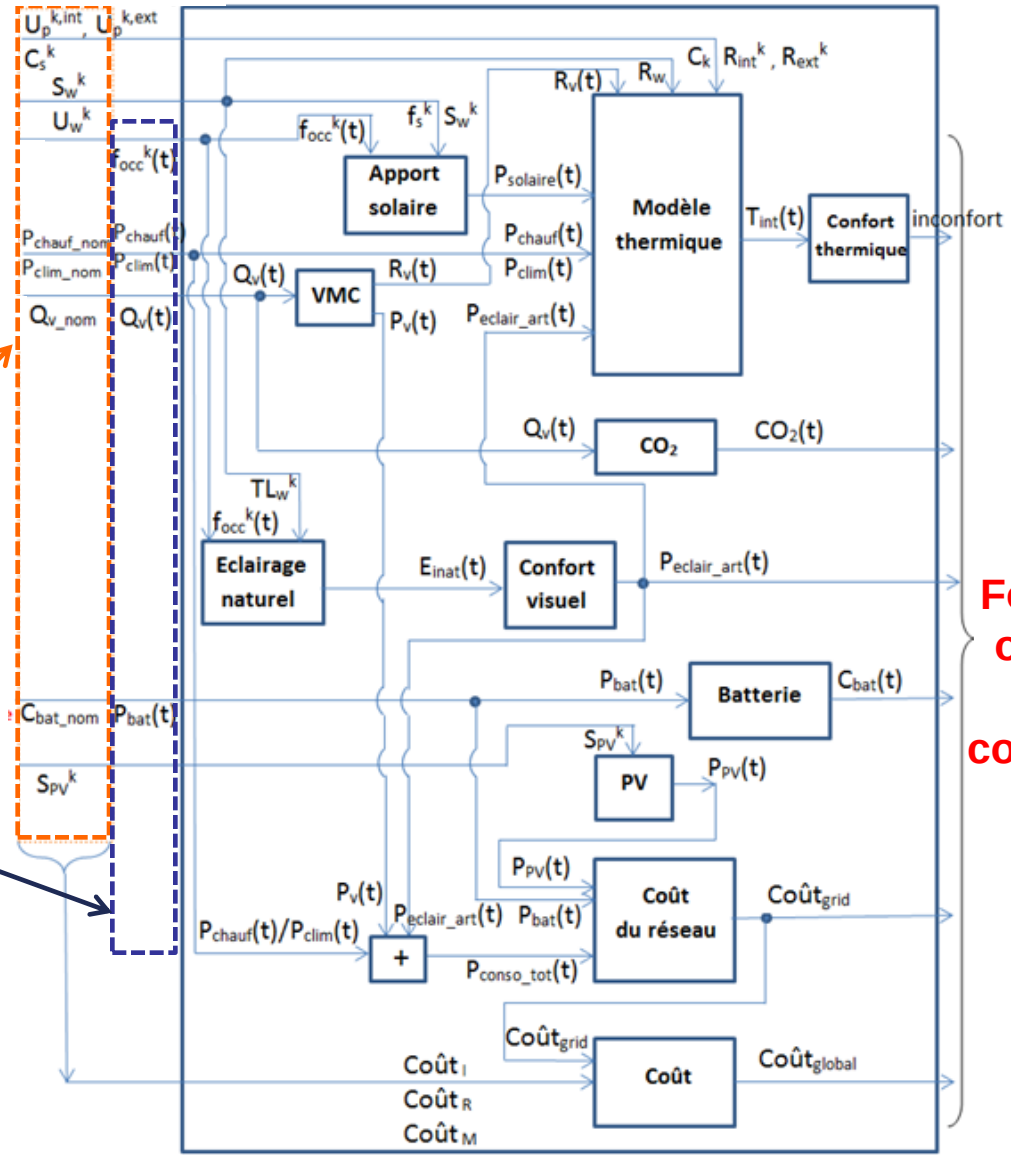
Occultations

Chauffage & Clim

Ventilation

Batterie

PV



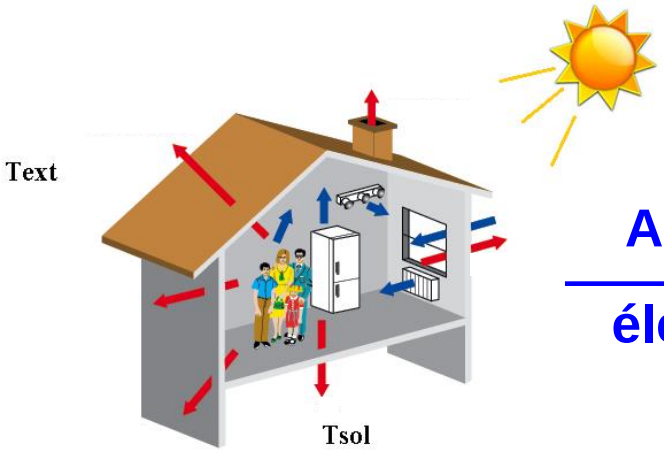
Fonctions objectifs & contraintes

Cahier des charges :

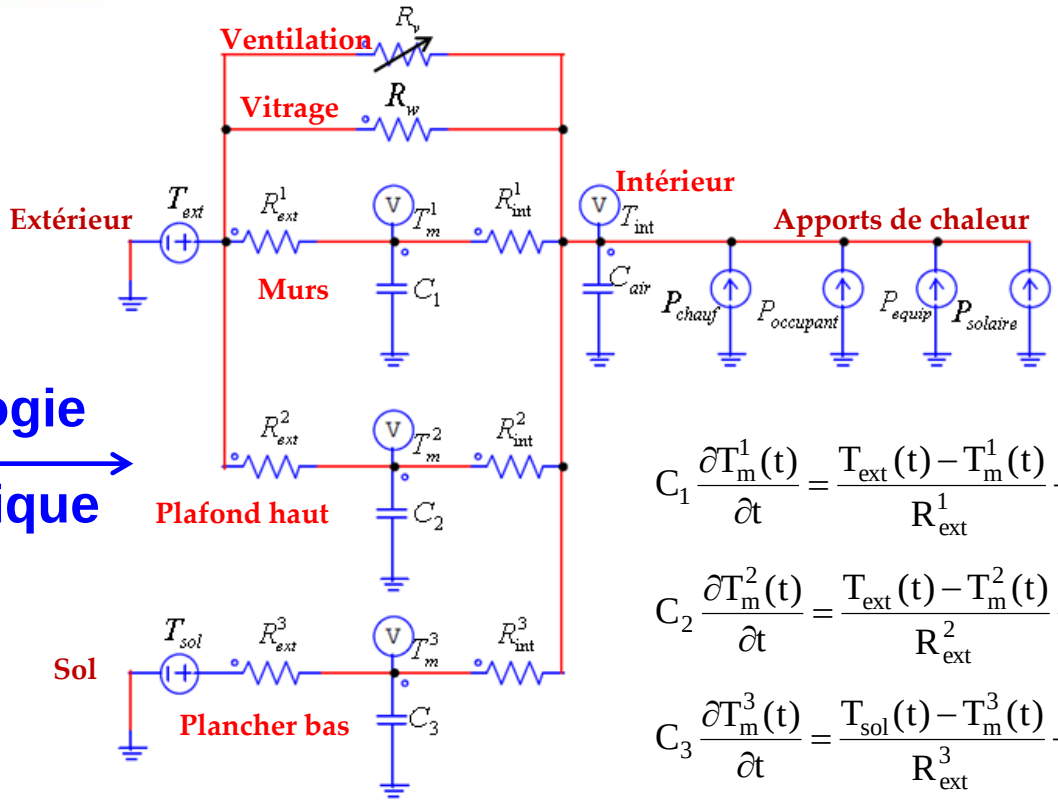
- **Critères de coût et de confort**
- **Paramètres de dimensionnement et de gestion**

Modèles en vue de la conception

Modèle d'enveloppe thermique



Analogie électrique



$$C_1 \frac{\partial T^1_m(t)}{\partial t} = \frac{T_{ext}(t) - T^1_m(t)}{R^1_{ext}} + \frac{T_{int}(t) - T^1_m(t)}{R^1_{int}}$$

$$C_2 \frac{\partial T^2_m(t)}{\partial t} = \frac{T_{ext}(t) - T^2_m(t)}{R^2_{ext}} + \frac{T_{int}(t) - T^2_m(t)}{R^2_{int}}$$

$$C_3 \frac{\partial T^3_m(t)}{\partial t} = \frac{T_{sol}(t) - T^3_m(t)}{R^3_{ext}} + \frac{T_{int}(t) - T^3_m(t)}{R^3_{int}}$$

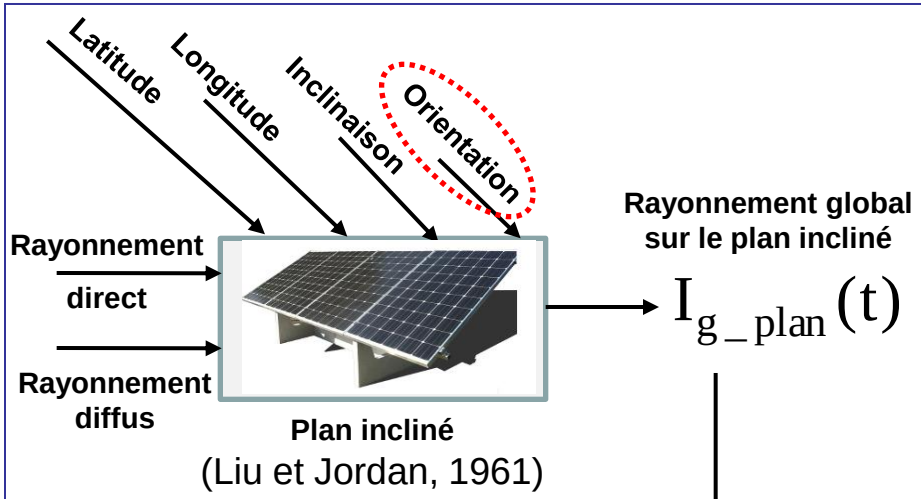
$$C_{air} \frac{\partial T_{int}(t)}{\partial t} = \frac{T^1_m(t) - T_{int}(t)}{R^1_{int}} + \frac{T^2_m(t) - T_{int}(t)}{R^2_{int}} + \frac{T^3_m(t) - T_{int}(t)}{R^3_{int}} +$$

$$+ \left(T_{ext}(t) - T_{int}(t)\right).\left(\frac{1}{R_w} + \frac{1}{R_v(t)}\right) + P_{chauf}(t) + P_{occupant}(t) + P_{equip}(t) + P_{solaire}(t)$$

$$\dot{x}(t) = A(t).x(t) + B(t).u(t) = f(x(t), u(t), t)$$

Modèles en vue de la conception
Modèle de PV et de batterie

Panneaux photovoltaïques



(Liu et Jordan, 1961)

Puissance électrique sortant d'un PV :

$$P_{PV}(t) = \eta_{PV} . S_{PV} . I_{g_plan}(t)$$

Surface

(Kaabeche et al, 2010)

Batterie

$$C_{bat}(t) = C_{bat}(t - \Delta t) + P_{bat}(t).\Delta t$$

$$C_{bat}(t) \leq C_{bat_nom}$$

$P_{bat}(t) > 0$: **Charge**

$P_{bat}(t) < 0$: **Décharge**

Variables de dimensionnement

Variables de gestion

Modèles en vue de la conception
Modèle économique

Coût sur le cycle de vie :

$$Cout_{CV} = Cout_I + Cout_R + Cout_M + Cout_{grid}$$

Investissement

$$Cout_{I_isolation} = \sum_k \left(b_3 \cdot \left(\frac{1}{U_p^{k,int}} + \frac{1}{U_p^{k,ext}} \right) + b_4 \right) \cdot S_p^k$$

$$Cout_{I_inertie} = \sum_k (b_1 \cdot C_s^k + b_2) \cdot S_p^k$$

$$Cout_{I_vitre} = \sum_k (-b_5 \cdot U_w^k + b_6) \cdot S_w^k$$

$$Cout_{I_sys} = \sum_{cps} Cout_{I_cps} = (C_{bat_nom} \cdot c_{unit_bat}) + (S_{PV} \cdot c_{unit_PV}) + (P_{chauf_nom} \cdot c_{unit_chauf}) + (Q_{v_nom} \cdot c_{unit_venti}) + (P_{clim_nom} \cdot c_{unit_clim})$$

Remplacement & maintenance

$$Cout_R = Cout_I \cdot \sum_{i=1}^{Nrep} \left(\frac{1+f_{inf}}{1+k_{act}} \right)^{LC.i}$$

$$Cout_M = k_M \cdot Cout_I \cdot \frac{1+f_{inf}}{k_{act} - f_{inf}} \cdot \left[1 - \left(\frac{1+f_{inf}}{1+k_{act}} \right)^{L_P} \right]$$

Coût d'électricité du réseau

$$Cout_{grid} = \sum_{i=1}^{Lp} \left[\left[\sum_t \left(\frac{P_{grid}(t)}{1000} \cdot c_{unit_grid}(t) \right) + c_{subs} \right] \cdot \left(\frac{1+f_{inf}}{1+k_{act}} \right)^{i-1} \right]$$

$$P_{grid}(t) = P_{conso_tot}(t) + \eta_{ond} (P_{bat}(t) - P_{PV}(t))$$

Variables de dimensionnement

Variables de gestion

Plan de présentation

1. **Introduction: Contexte et objectifs**
2. **Méthodologies et mise en œuvre**
   - 2.1. Modélisation en vue de conception globale
   - 2.2. Méthodes d'optimisation et mise en œuvre informatique
3. **Applications et analyses**
   - 3.1. Dimensionnement des systèmes énergétiques en phase d'APD
   - 3.2. Conception de l'enveloppe et des systèmes énergétiques en phase d'esquisse
4. **Conclusions et perspectives**

Complexité du problème d'optimisation globale et simultanée

- **Problème de grand nombre de variables et de contraintes**

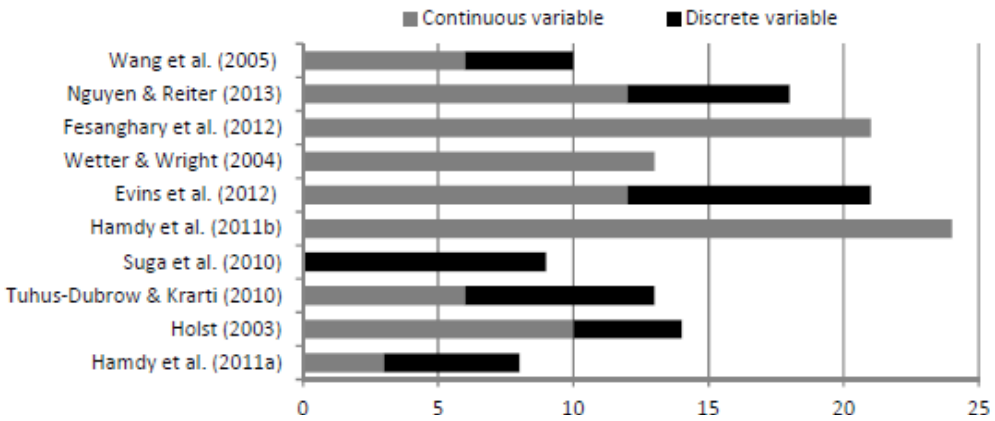
Problème d'optimisation globale : grande taille

Dimensionnement + gestion

	Nombre de variables	Nombre de contraintes
1 journée	$\sim 10^2$	$\sim 2 \cdot 10^2$
1 semaine	$\sim 1.4 \cdot 10^3$	$\sim 2.2 \cdot 10^3$
1 année	$\sim 3.4 \cdot 10^4$	$\sim 6.1 \cdot 10^4$
Durée de vie		

Etat de l'art : ordre de 10 variables

Dimensionnement



Statistique de nombre de variables d'optimisation (Nguyen et al, 2014)

- **Problème non linéaire**
- **Variables continues et discrètes**
- **Problème multi-objectif**

➡ **Problème d'optimisation globale difficile à résoudre**

Problématiques des approches d'optimisation adaptées

Approches d'optimisations ?

- **Linéaire ou non linéaire** — Principe-Cas test-Résultats
- **Continue ou discrète** — Principe-Cas test-Résultats
- **D'ordre 0 ou d'ordre 1** — Principe-Cas test-Résultats

➡ Choix des approches d'optimisation

Approche linéaire et non linéaire
Principes

- **Approche non linéaire : Résolution directe du modèle**
  - ***Méthode d'optimisation déterministe***
    - Ex: Quasi Newton : SQP (Approximations quadratiques successives grâce aux gradients)
  - ***Méthode d'optimisation stochastique***
    - Ex: Evolutionnaire : Algorithmes génétiques

- **Approche linéaire : Linéarisation du problème puis résolution**

+ Variables binaires u_a^i
+ Variables de décision ω_a^i
+ n_d points discrets A^i de a

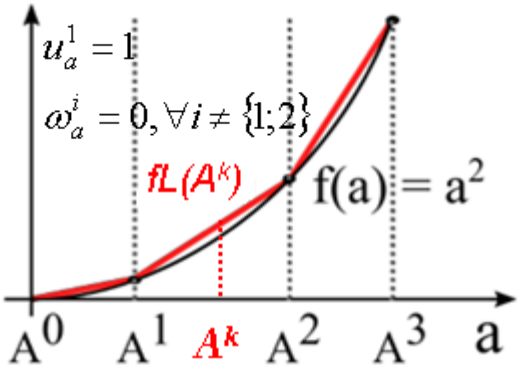
$$f(a) = a^2$$

Technique SOS2

$$\begin{cases} n_d \in N; \\ u_a^j = \{0;1\}; \quad \sum_{j=0}^{n_d-1} u_a^j = 1 \\ \omega_a^i \in [0;1]; \quad \sum_{i=0}^{n_d} \omega_a^i = 1 \\ \omega_a^0 \le u_a^0 \\ \omega_a^j \le u_a^{j-1} + u_a^j, \; j = 1;\ldots;n_d - 1 \\ \omega_a^{n_d} \le u_a^{n_d-1} \\ a = \sum_{i=0}^{n_d} \omega_a^i . A^i \end{cases}$$

Linéarisation par morceaux

$$f(a) = a^2 \approx \sum_{i=0}^{n_d} \omega_a^i . (A^i)^2$$



- ***Méthode d'optimisation linéaire***
  - Ex: MILP (Programmation linéaire mixte en nombres entiers)

➡ Choix en fonction des caractéristiques du problème à résoudre

Approche linéaire et non linéaire
Cas test

- **Problème non linéaire :** Gestion optimale des systèmes énergétiques d'une MEPOS connectée

Fonctions objectifs : Inconfort thermique & coût d'énergie

Non linéarités :

$$V.\frac{\partial CO_2(t)}{\partial t} = -\boxed{Q_v(t).(CO_2(t)} - CO_{2air}) + N_p(t).Q_p.CO_{2p}$$

$$q_v(t) = \rho_{air}.c_{air}\boxed{.Q_v(t).(T_{\text{int}}(t)} - T_{ext}(t))$$

$$P_v(t) = a_2.\boxed{(Q_v(t))^2} + a_1.Q_v(t) + a_0$$

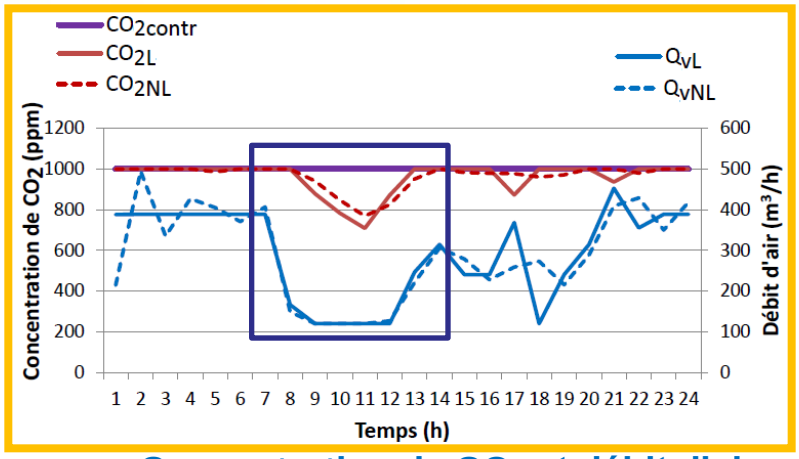
➡ **Comparer la performance de l'approche linéaire MILP et de l'approche non linéaire SQP**

Vincent REINBOLD, **Van-Binh DINH**, Daniel TENFEN, Benoit DELINCHANT, Dirk SAELENS. **Optimal operation of building micro-grids, comparison for both mixed linear integer and continuous non-linear approaches**. OIPE, 13-15 September 2016, Rome, Italy

Approche linéaire et non linéaire
Résultats

Solutions :

Par SQP : inconfort = 0.057°C.h et coût_energie = 5.2€
Par MILP : inconfort = 0°C.h et coût_energie = 5.4€



Concentration de CO_2 et débit d'air

Performances

Approche	Lignes code	Nombre variables (continues/ binaires	Nombre contraintes	**Temps de calcul (s)**
Non linéaire	547	72/0	72	**2.00**
Linéaire	3859	554/111	660	**0.73**

Approche non linéaire :

- × **Moins rapide**
- ✓ **Plus facile à formuler et à déboguer**

Approche linéaire :

- ✓ **Plus rapide et efficace**
- × **Coûteuse à formuler**
- × **Nécessite des connaissances/techniques**
- × **Plus difficile à déboguer**

Difficulté multipliée avec l'approche linéaire pour les problèmes de plus grande complexité

L'approche non linéaire est choisie

Approche continue et discrète

Pour construire un bâtiment, on utilise en général des composants d'un catalogue

	Approche discrète	**Approche continue**
Variables d'optimisation	discrètes	continues
Espace de recherche	base de données	imaginaire (continue et dérivable)
Solution	bâtiment constructible	bâtiment imaginaire
Résolution	Difficile et lente	facile et rapide

➡ **L'approche continue est choisie car :**

- ❖ Temps de calcul
- ❖ Phase d'esquisse : formulation bien posée?
- ❖ Faisabilité des solutions physiques > solutions précises
- ❖ Pas de solution imaginaire ➔ Pas de solution constructible

Abbass RAAD, **Van-Binh DINH**, Jean-Louis COULOMB, Benoit DELINCHANT, Frédéric WURTZ. **Hybrid discrete-continuous multi-criterion optimization for building design**. BSO, 12-14 September 2016, Newcastle, United Kingdom

Approche d'ordre 0 et d'ordre 1

Principes

	Approche d'ordre 0	Approche d'ordre 1
Gradients	Non	Oui
Modèle	Boite noire (Entrée/sortie)	Boite blanche (accessible, continue et dérivable)
Avantages	✓ Compatible avec simulation fine ✓ Optimum global	✓ Convergence rapide ✓ Gestion efficace des contraintes
Inconvénients	× Temps de calcul × Nombre de paramètres limité × Difficile à configurer	× Modèle et gradient × Optimum local
Exemple d'algorithme	NSGA-II (Sélection naturelle, croissement, mutation, recombinaison)	SQP

➡ L'approche d'ordre 1 est choisie car :

- **Temps de calcul**
- **Problème d'optimisation à résoudre est de grande taille**
- **Phase d'esquisse : optimum local suffit**
- **CADES : outil de calcul automatique des gradients (formule et algorithmes)**

Approche d'ordre 0 et d'ordre 1
Cas test

- **Problème :** Dimensionnement du chauffage intégrant la gestion (Chauffage + Ventilation)
  - **Fonctions objectifs :** inconfort thermique d'hiver & coût (investissement + exploitation)
  - **Variables et contraintes :**
    - **Scénario 1 : 1 journée d'hiver → 49 variables et 48 contraintes**
    - **Scénario 2 : 7 journées d'hiver → 337 variables et 504 contraintes**

Variables	Espace de recherche	Nombre de variables	
		Scénario 1 (1 journée)	Scénario 2 (1 semaine)
Pchauf_nom	[0 ; 20000]	1	1
Pchauf(t)	[0 ; 20000]	24	168
Qv(t)	[120 ; 3000]	24	168
	Total	49 variables	337 variables

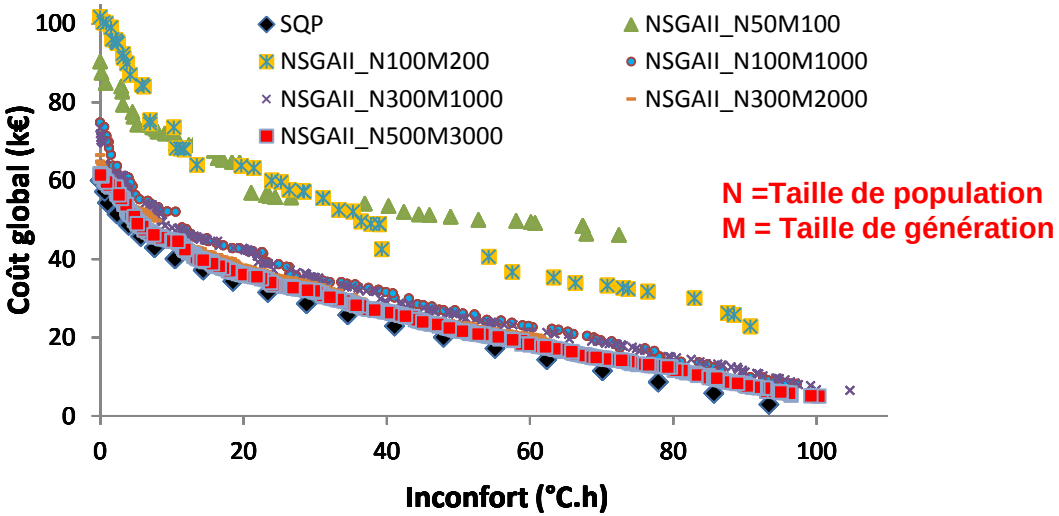
Fonctions des contraintes	Forme	Limite	Nombre de contraintes	
			Scénario 1 (1 journée)	Scénario 2 (1 semaine)
Pchauf(t)-Pchauf_nom	≤	0 (W)	24	168
$CO_2(t)$	≤	1000 (ppm)	24	168
Tint(t)	≤	21 (° C)	0	168
		Total	48 contraintes	504 contraintes

Logiciel : CADES
Ordinateur 2.7 Ghz
Core i5 Window 7

→ **Comparer la performance de NSGA-II et de SQP**

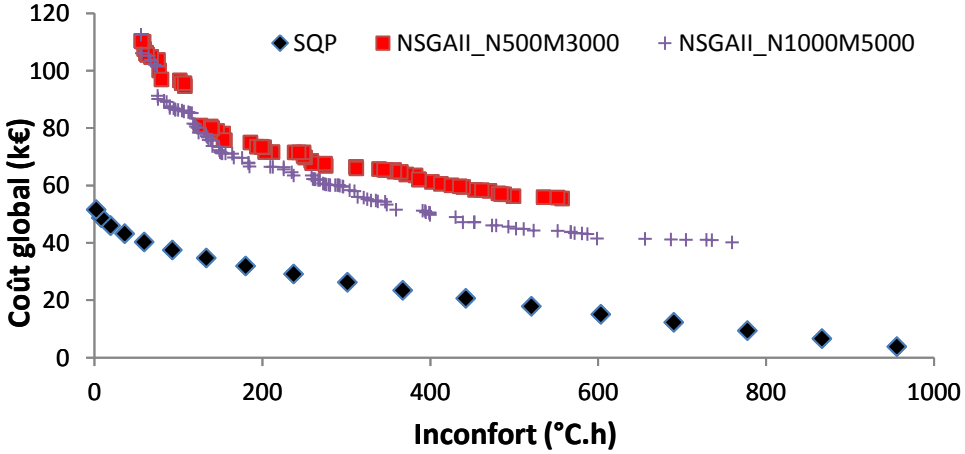
Approche d'ordre 0 et d'ordre 1
Résultats

- Scénario 1 : 49 variables et 48 contraintes



	TEMPS DE CALCUL
SQP	**10s**
NSGAII N50M100	19s
NSGAII N100M200	38s
NSGAII N100M1000	174s (3min)
NSGAII N300M1000	537s (9min)
NSGAII N300M2000	1072 (18min)
NSGAII N500M3000	**2795 (46min)**

- Scénario 2 : 337 variables et 504 contraintes



	TEMPS DE CALCUL
SQP	**3min**
NSGAII N500M3000	5h57min
NSGAII N1000M5000	**20h3min**

SQP > NSGA-II

Conclusion sur les choix

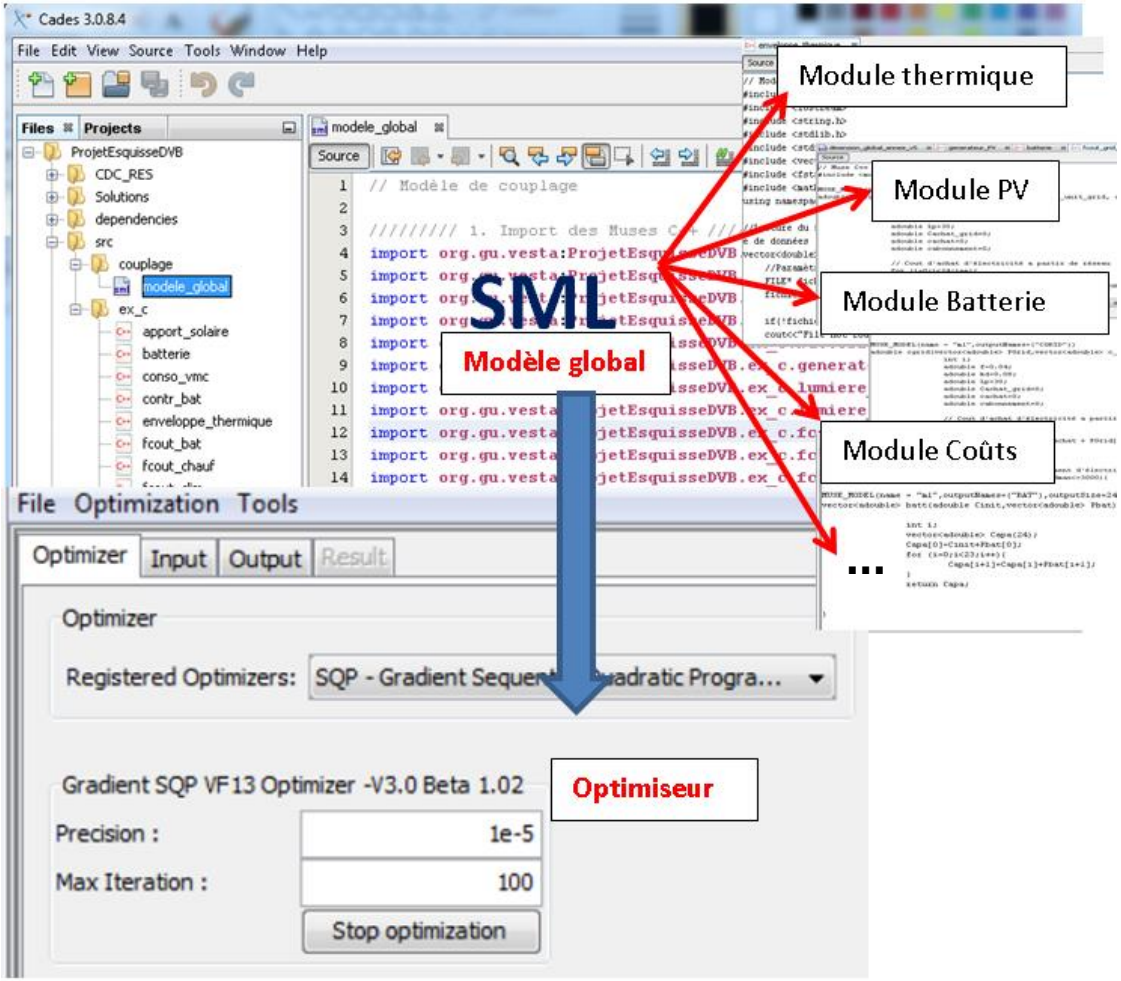
=> Notre choix :

- ✓ **Approche d'optimisation continue**
- ✓ **Traitement direct des problèmes non linéaires**
- ✓ **Algorithme d'optimisation d'ordre 1 (SQP)**

Mise en œuvre en informatique

CADES Vesta System

Calcul automatique des gradients



- **Implanter des modules dans C++**
- **Importer dans SML**
- **Coupler automatiquement à l'optimiseur**

Intégration de résolution des équations différentielles dans le modèle de calcul

```
// Calculer Tint à pas de temps k
    for (i=0;i<4;i++){// x0=>x3
        // Estimer x[k+1] à partir de x[k] par méthode Euler modifié
        j=0;
        somme1=0;
        for (j=0;j<4;j++){
            somme1=somme1+dt/2*(Apre[i][j]*x[j][k-1]);
        }
        n=0;
        somme2=0;
        for (n=0;n<6;n++){
            somme2=somme2+dt/2*(Bpre[i][n]*u[n][k-1]+B[i][n]*u[n][k]);
        }
        delta_x[i][k-1]=somme1+somme2;
        x[i][k]=x[i][k-1]+delta_x[i][k-1];
    }
    Tint[k]=x[3][k];
```

Plan de présentation

1. **Introduction: Contexte et objectifs**
2. **Méthodologies et mise en œuvre**
   - 2.1. Modélisation en vue de conception globale
   - 2.2. Méthodes d'optimisation et mise en œuvre informatique
3. **Applications et analyses**
   - 3.1. Dimensionnement des systèmes énergétiques en phase d'APD
   - 3.2. Conception de l'enveloppe et des systèmes énergétiques en phase d'esquisse
4. **Conclusions et perspectives**

Application 1
Objectifs de dimensionnement des systèmes énergétiques

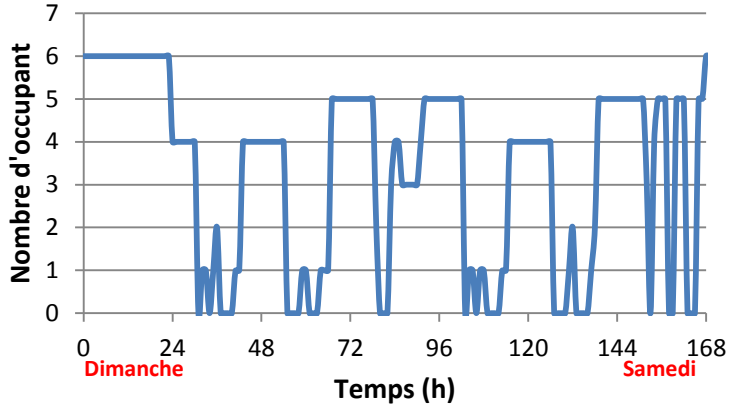
- **Maison individuelle raccordée au réseau**
  - Projet ADEME COMEPOS
  - 6 personnes
  - Surface de plancher: 200m²

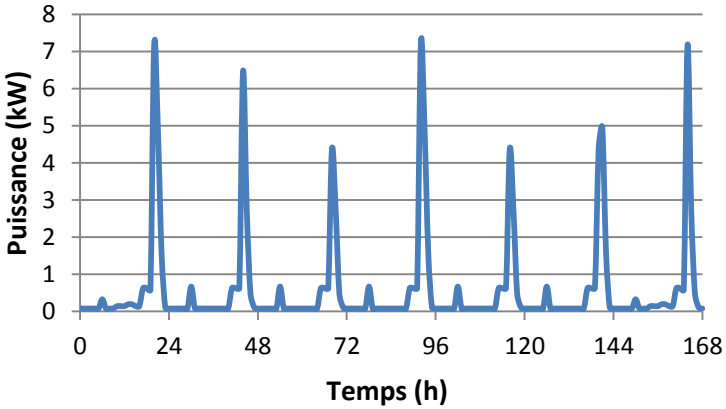
Plan d'architecture

Enveloppe fixée : composition des murs extérieurs

Composition	Epaisseur (cm)	Conductivité thermique (W/(m.K))	Masse volumique (kg/m³)	Chaleur spécifique (J/(kg.K))
Enduit extérieur	1	1	1450	500
Béton d'argile	20	0.182	600	1000
Laine de verre	16	0.032	40	1030
Enduit intérieur	1	0.43	1200	1000

Scénarios fournis par futurs propriétaires



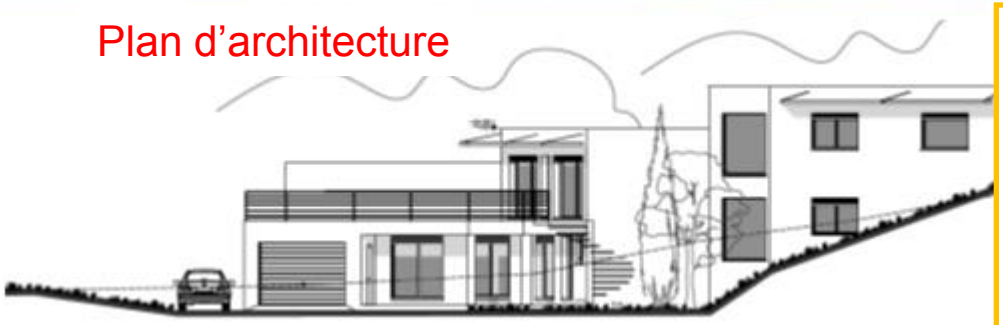


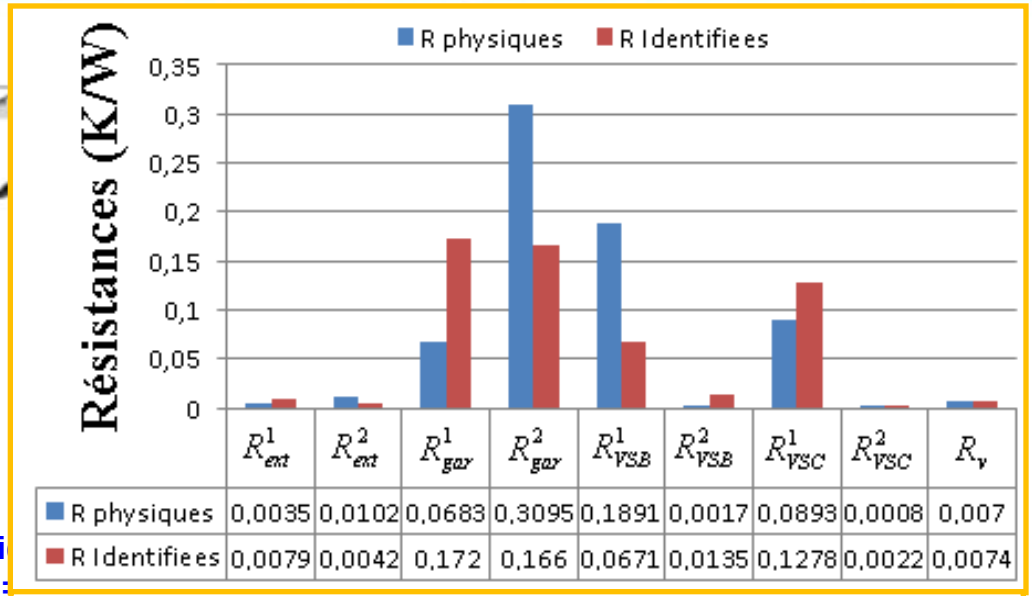
Dimensionnement optimal intégrant la gestion d'énergie du système (Chauffage, clim, PV, batterie)

Solutions avec les meilleurs compromis

Application 1
Modèle d'enveloppe thermique de la maison

Plan d'architecture

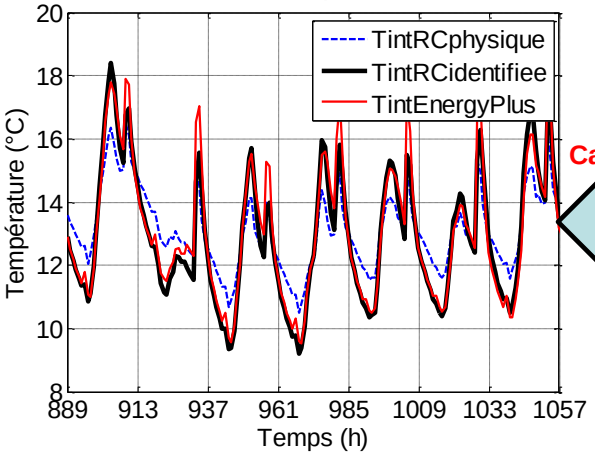




	R^1_{ext}	R^2_{ext}	R^1_{gar}	R^2_{gar}	R^1_{VSB}	R^2_{VSB}	R^1_{VSC}	R^2_{VSC}	R_v
R physiques	0,0035	0,0102	0,0683	0,3095	0,1891	0,0017	0,0893	0,0008	0,007
R Identifiees	0,0079	0,0042	0,172	0,166	0,0671	0,0135	0,1278	0,0022	0,0074

Erreur sur 1 année entre modèle RC et simulation E+ :

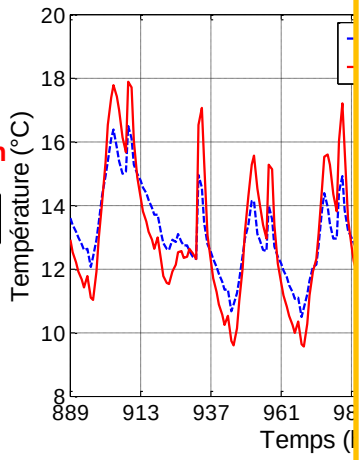
Après calibration :
Moyenne = 0,48ºC
Max = 2,7ºC



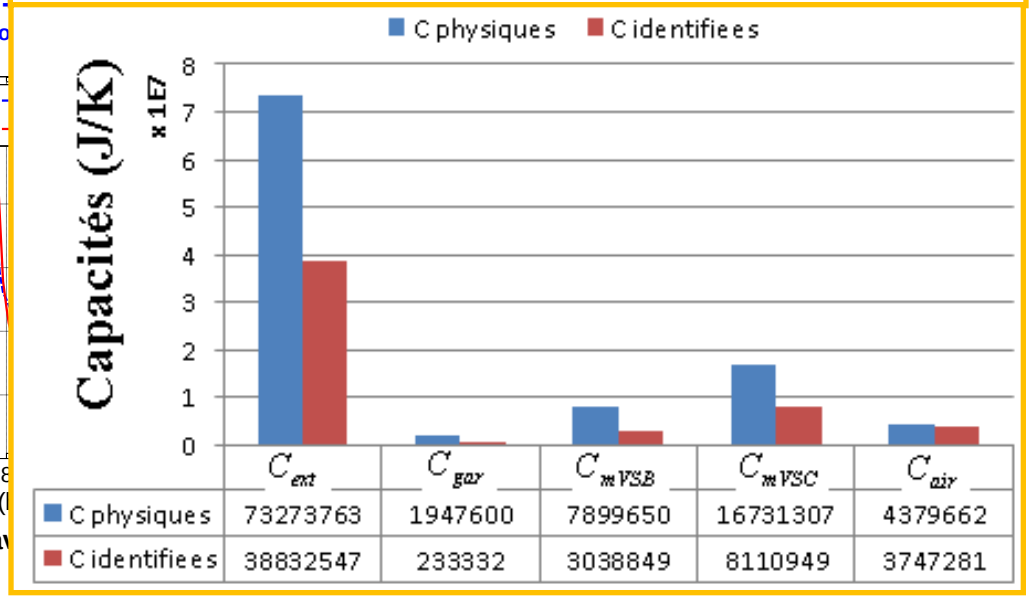
Température intérieure après la calibration

Calibration

Calcul physi
Moyenne :
Max = 3,5º



Température intérieure av



	C_{ent}	C_{gar}	C_{mVSB}	C_{mVSC}	C_{air}
C physiques	73273763	1947600	7899650	16731307	4379662
C identifiees	38832547	233332	3038849	8110949	3747281

Application 1
Cahier des charges

- **Scénario :**
  - 2 journées typiques : 1 hiver + 1 été
  - Pas de temps de simulation : 1h
- **Variables et contraintes**

102 variables

	Variables de décision	Espace de recherche
Chauffage	P_{chauf_nom}	[0 ; 20000]
	$P_{chauf}(t=1:24)$	[0 ; 20000]
Clim	P_{clim_nom}	[0 ; 20000]
	$P_{clim}(t=1:24)$	[0 ; 20000]
Batterie	C_{bat_nom}	[0 ; 60000]
	$P_{bat_ete}(t=1:24)$	[-10000 ; 10000]
	$P_{bat_hiver}(t=1:24)$	[-10000 ; 10000]
PV	S_{PV}^{Sud}	[0 ; 80]
	S_{PV}^{Est}	[0 ; 80]
	S_{PV}^{Ouest}	[0 ; 80]

149 contraintes

	Fonctions de contraintes	Nombre de contraintes
Chauffage	$P_{chauf}(t) \le P_{chauf_nom}$ (hiver)	24
Clim	$P_{clim}(t) \le P_{clim_nom}$ (été)	24
Batterie	$C_{bat}(t) \le C_{bat_nom}$ (hiver et été)	2x24
	$C_{bat}(t) \ge 0$ (hiver et été)	2x24
	$C_{bat}(24) = C_{bat}(1)$ (hiver et été)	2
	$C_{bat}(1) = 1/2 \cdot C_{bat_nom}$ (hiver et été)	2
PV	$S_{PV_totale} \le S_{toit}$	1

- **Fonction objectif :** $\min\ fobj = \alpha.\overline{inconfort} + (1-\alpha).\overline{Cout_{cv}}$

Variation alpha entre 0 et 1 => SQP dans CADES

Analyse des résultats d'application 1
Front de Pareto et taille des systèmes

Fig. 1 Front de Pareto

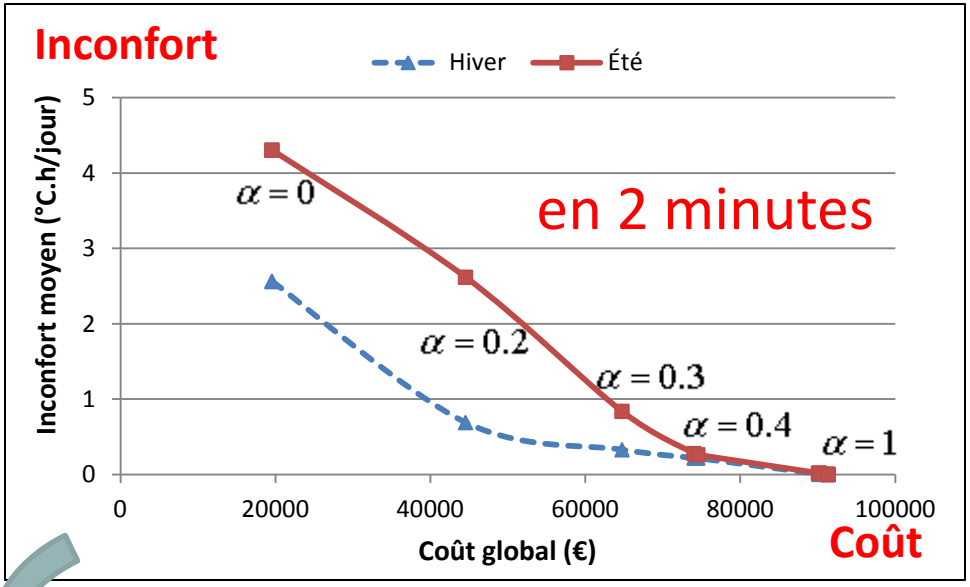


Fig. 2 Taille normalisée du système

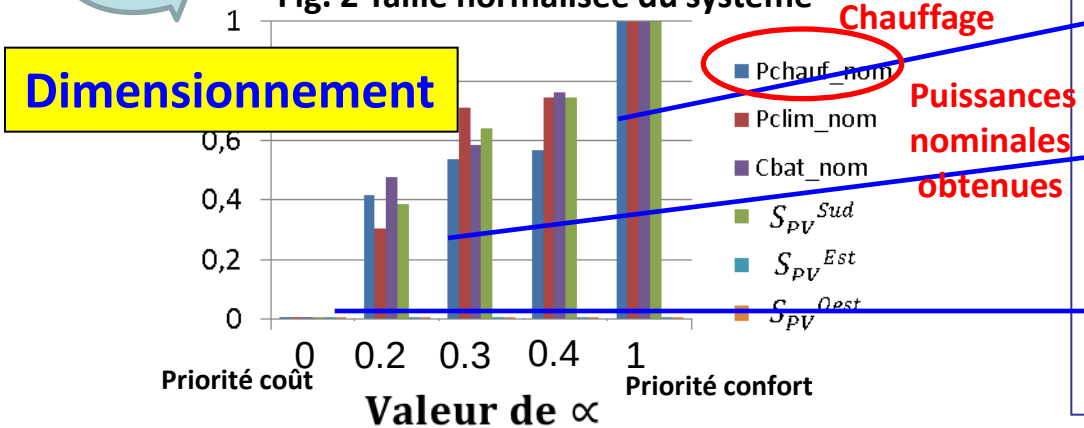


Fig. 3 Températures

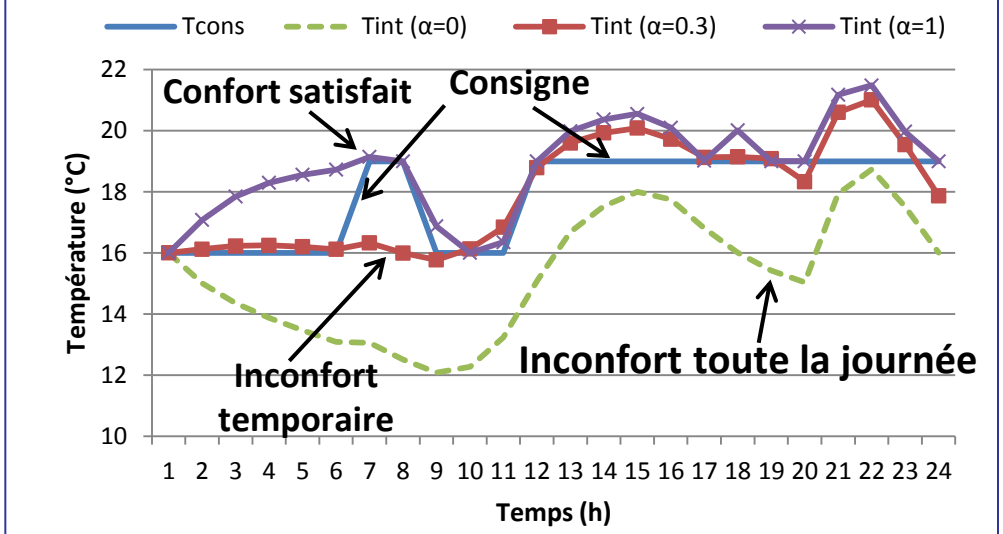
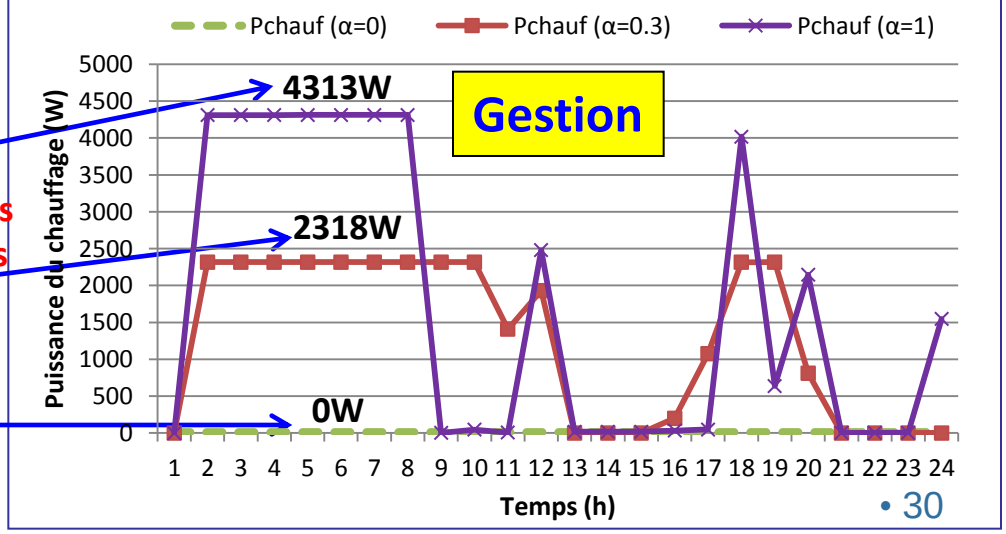


Fig. 4 Puissances du chauffage



Analyse des résultats d'application 1

Stratégie de gestion d'énergie en été

α =0.3

Fig. 1 Températures avec α =0.3

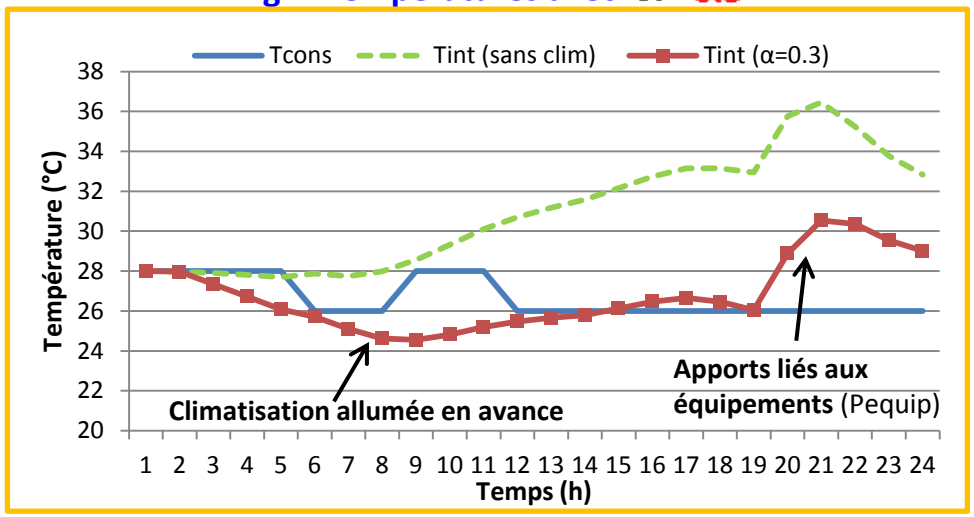
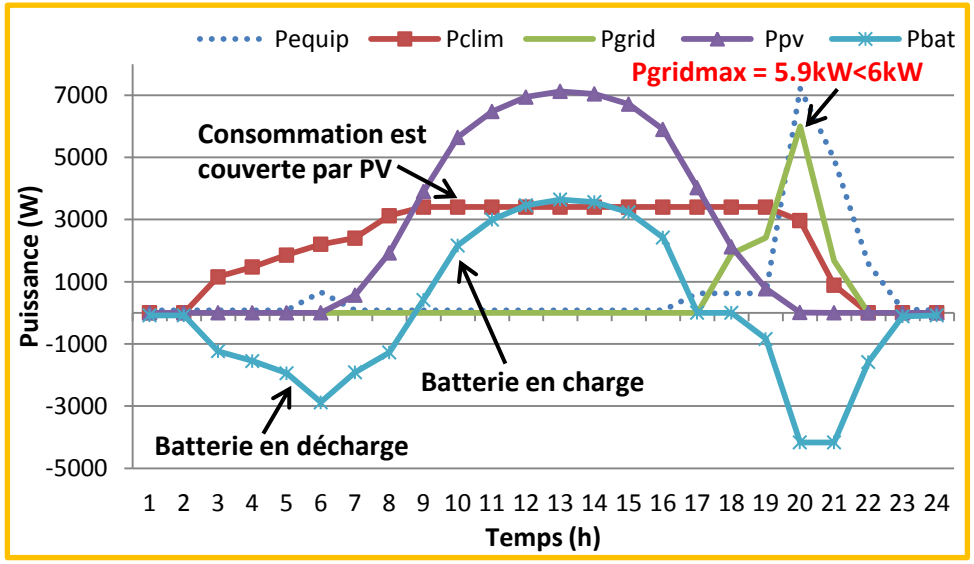


Fig. 2 Stratégie de gestion avec α =0.3

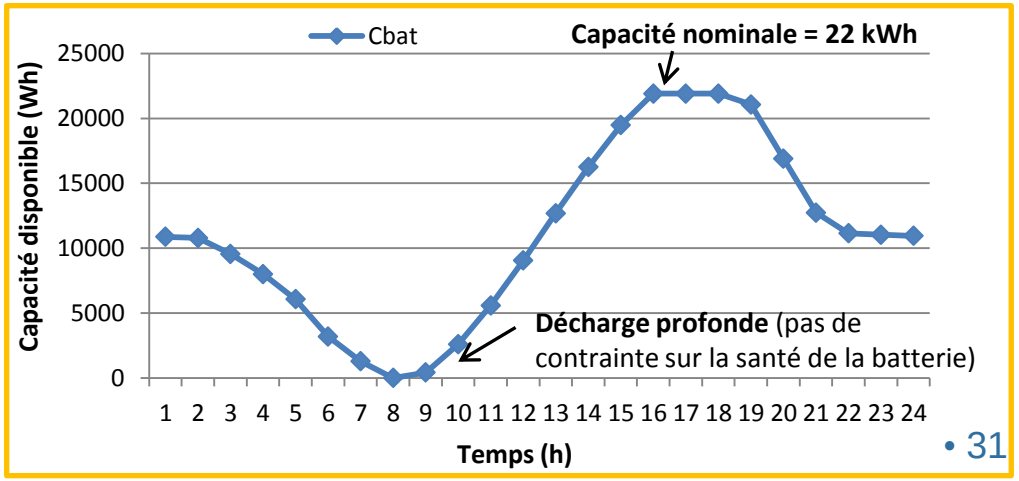


1) **Interaction entre PV et clim**
2) **Compromis entre coût d'énergie et coût d'investissement**
3) **Batterie ➔ Réduire les pics de consommation**

Coût de l'abonnement

Puissance de l'abonnement (kW)	Coût de l'abonnement (€)
6	102.39
9	121.69
12	208.53
15	244.72
18	280.91
24	470.21
30	570.57
36	670.93

Fig. 3 Etat de charge de batterie



Conclusions sur l'application 1

- **Dimensionnement des systèmes énergétiques**
- **Problème rapidement résolu**
- **Résultats cohérents avec de bons compromis**
- **Analyse des résultats => aide à la décision**

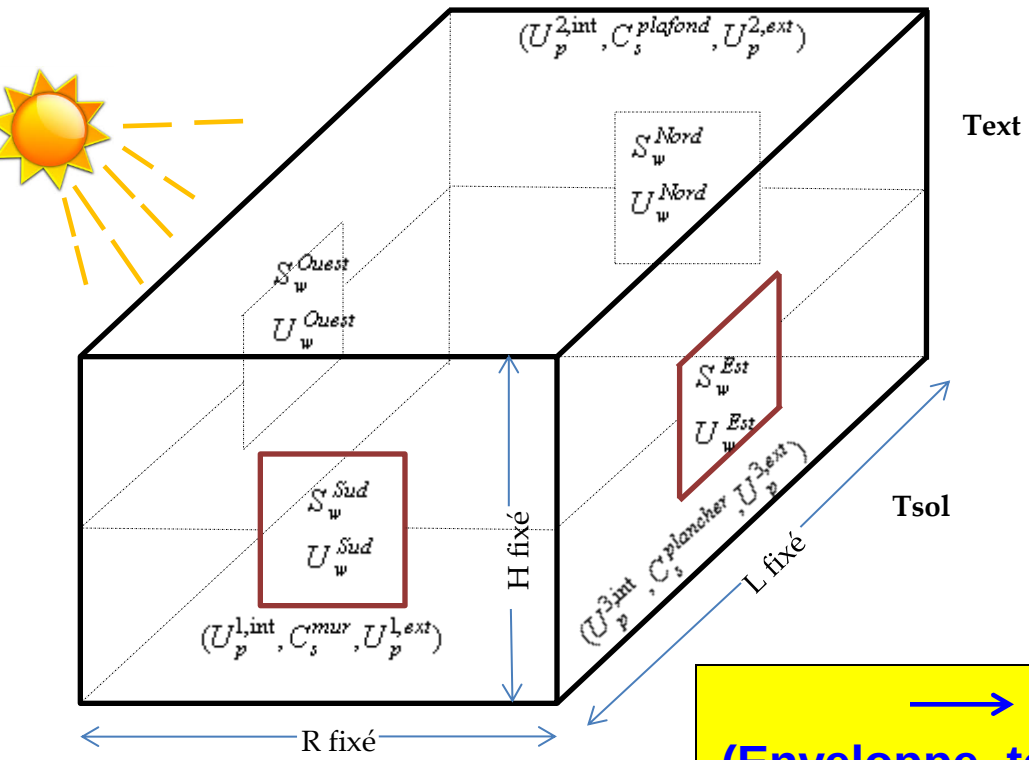
Plan de présentation

1. **Introduction: Contexte et objectifs**
2. **Méthodologies et mise en œuvre**
   - 2.1. Modélisation en vue de conception globale
   - 2.2. Méthodes d'optimisation et mise en œuvre informatique
3. **Applications et analyses**
   - 3.1. Dimensionnement des systèmes énergétiques en phase d'APD
   - 3.2. Conception de l'enveloppe et des systèmes énergétiques en phase d'esquisse
4. **Conclusions et perspectives**

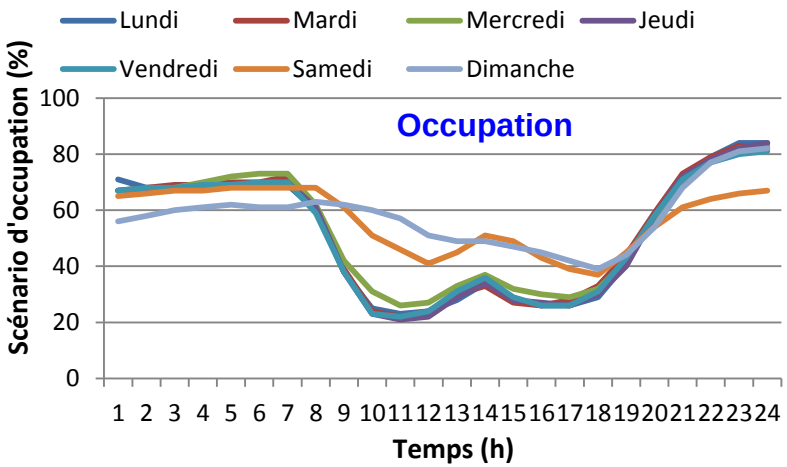
Application 2
Objectifs de conception de l'enveloppe et des systèmes énergétiques

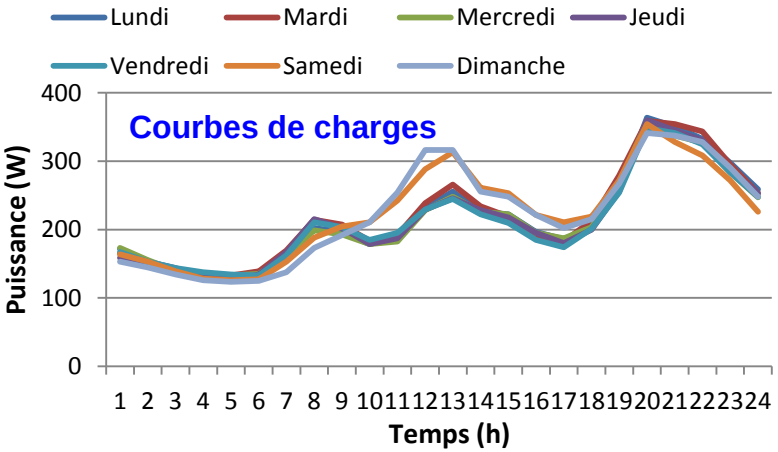
- **Maison individuelle**
  - 2 étages
  - Un couple et un enfant
  - En phase d'esquisse

Géométrie



Scénarios du projet COMEPOS





⟶ Optimisation simultanée
(Enveloppe, tous les systèmes, stratégies de gestion)

Application 2
Cahier des charges

- **Fonctions objectifs : inconfort thermique & coût (cycle de vie de 50 ans)**
- **Scénario : 2 semaines pires : 1 hiver + 1 été**
- **Variables et contraintes :**

~ 1400 variables & 2000 contraintes

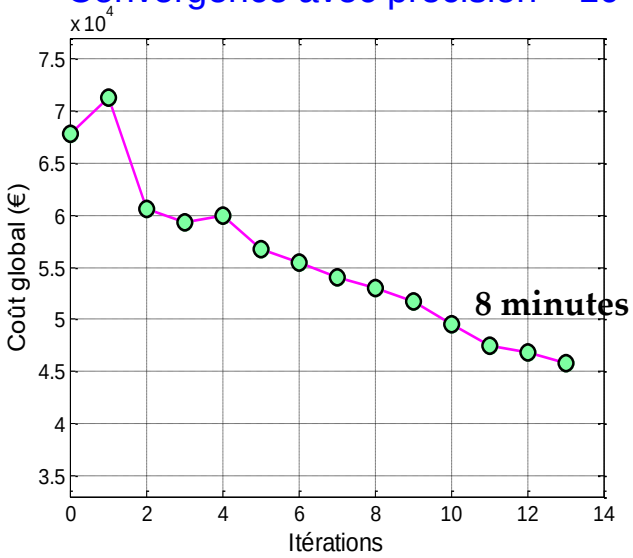
Problème beaucoup plus difficile à résoudre

		Variables de décision	Unité	Espace de recherche
Enveloppe	Murs	$U_p^{1,int}, U_p^{1,ext}$	W/(K.m²)	[0.08 ; 6.4]
		C_s^{mur}	J/(K.m²)	[6.5.10⁴ ; 5.2.10⁵]
	Plafond	$U_p^{2,int}, U_p^{2,ext}$	W/(K.m²)	[0.08 ; 6.4]
		$C_s^{plafond}$	J/(K.m²)	[1.3.10⁴ ; 1.3.10⁵]
	Plancher	$U_p^{3,int}, U_p^{3,ext}$	W/(K.m²)	[0.08 ; 6.4]
		$C_s^{plancher}$	J/(K.m²)	[6.5.10⁴ ; 5.2.10⁵]
	Surfaces vitrées	U_w^{SEO}, U_w^{Nord}	W/(K.m²)	[0.7 ; 2.0]
		S_w^{Sud}, S_w^{Nord}	m²	[0 ; 31]
		S_w^{Est}, S_w^{Ouest}	m²	[0 ; 44]
Systèmes	PV	$S_{PV}^{Sud}, S_{PV}^{Est}, S_{PV}^{Ouest}$	m²	[0 ; 54]
	Batterie	C_{bat_nom}	Wh	[0 ; 40000]
		$P_{bat_hiver}(t=1:168)$	W	[-6000 ; 6000]
		$P_{bat_ete}(t=1:168)$	W	[-6000 ; 6000]
	Chauffage	P_{chauf_nom}	W	[0 ; 20000]
		$P_{chauf}(t=1:168)$	W	[0 ; 20000]
	Climatisation	P_{clim_nom}	W	[0 ; 20000]
		$P_{clim}(t=1:168)$	W	[0 ; 20000]
	Ventilation	Q_{v_nom}	m³/h	[90 ; 500]
		$Q_{v_hiver}(t=1:168)$	m³/h	[90 ; 500]
		$Q_{v_ete}(t=1:168)$	m³/h	[90 ; 500]
	Occultation	$f_{occ}^{Sud}(t)_{t=7:21h\ chaque\ jour}$	-	[0 ; 1]
		$f_{occ}^{Est}(t)_{t=7:21h\ chaque\ jour}$	-	[0 ; 1]
		$f_{occ}^{Ouest}(t)_{t=7:21h\ chaque\ jour}$	-	[0 ; 1]

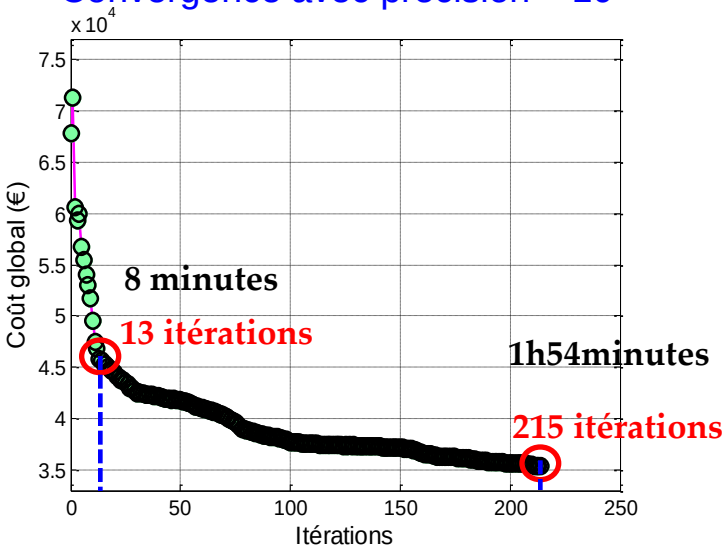
Analyse des résultats d'application 2

Difficulté de convergence de l'optimisation globale

Convergence avec précision = 10^{-3}

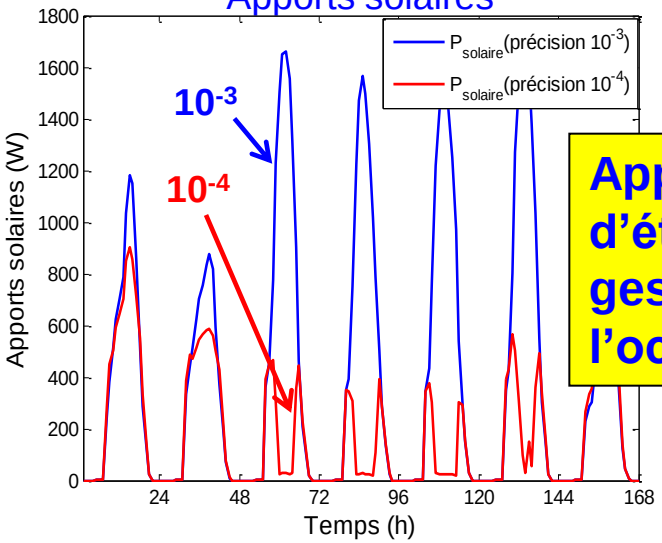


Convergence avec précision = 10^{-4}



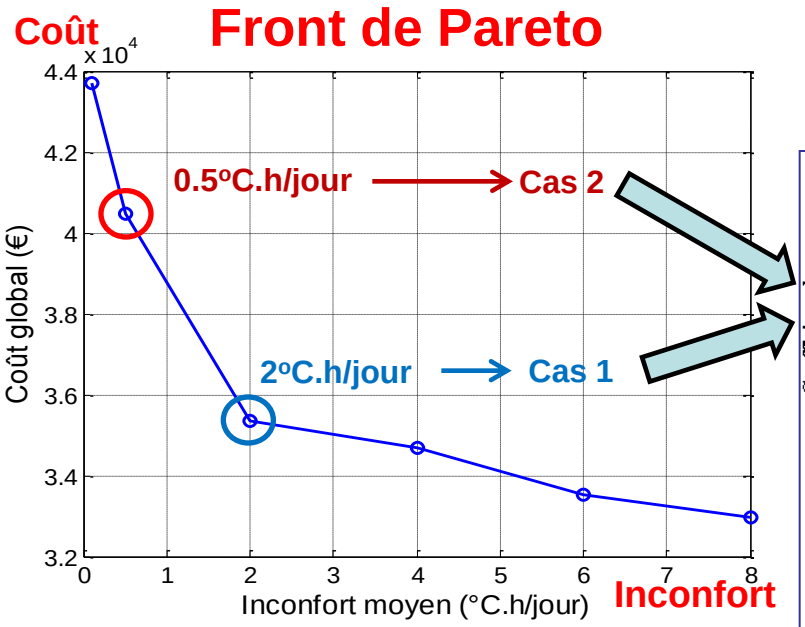
- **Paramètres principaux satisfont le cahier des charges**
- **Mais l'occultation ne s'optimise pas !**
  => problème numérique ?

Apports solaires



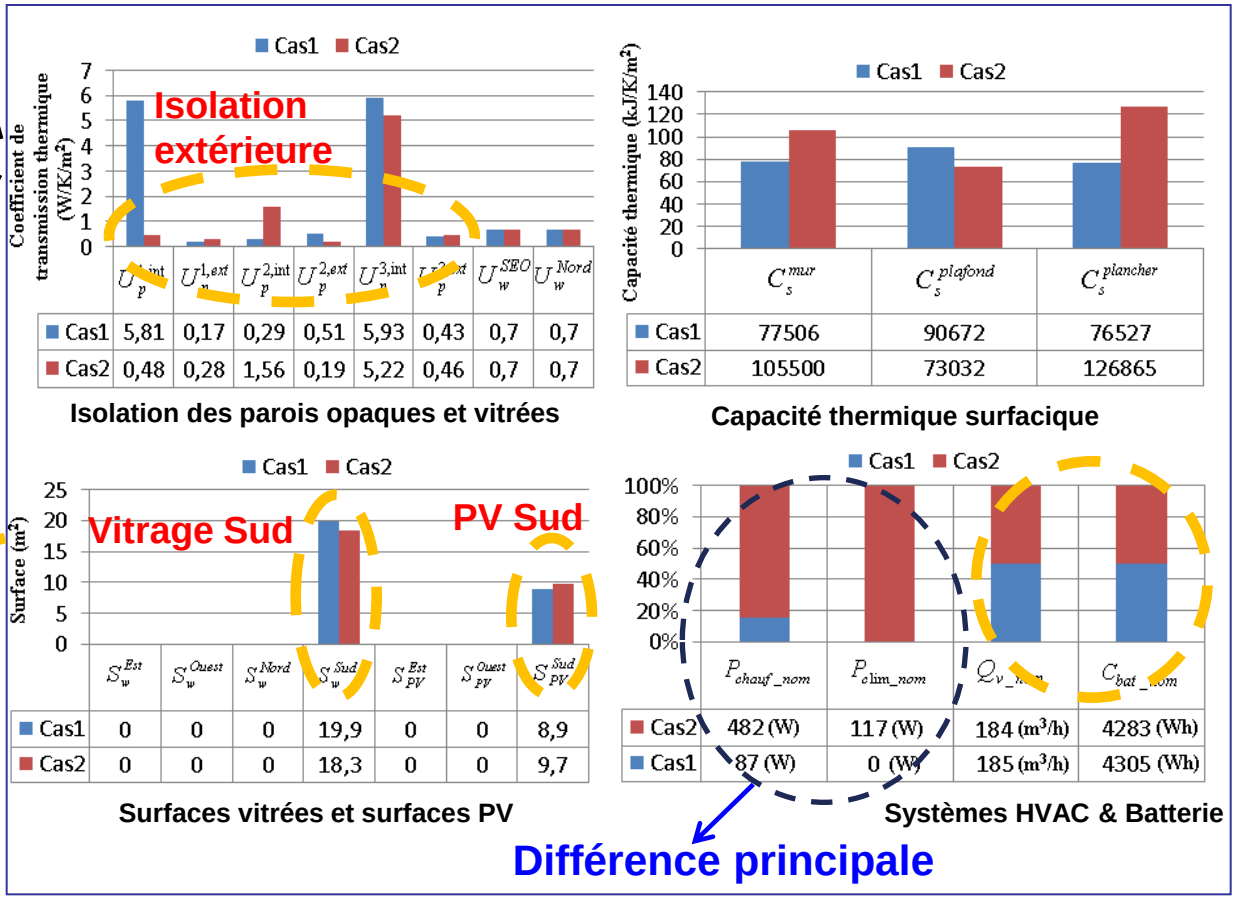
Apports solaires d'été réduits par la gestion de l'occultation

Analyse des résultats d'application 2
Front de Pareto et résultats de dimensionnement



Résultats de dimensionnement

Cas 1 : 2°C.h/jour & Cas 2 : 0.5°C.h/jour

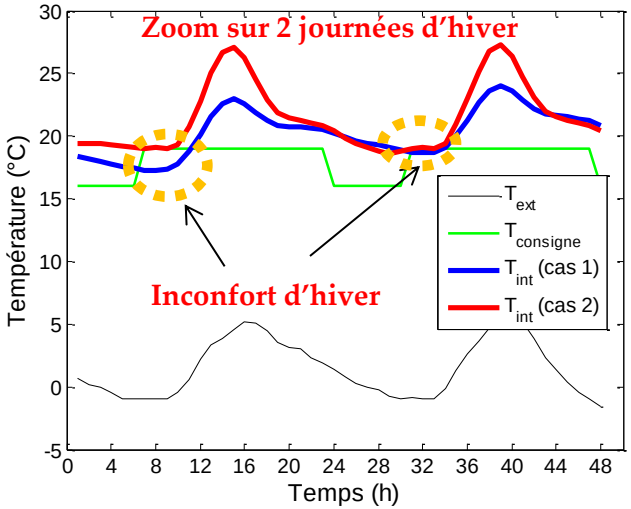


Résultats similaires

- Surfaces vitrées optimisées pour la façade Sud
- Vitrages bien isolés
- Murs pas très lourds, bien isolés par l'extérieur
- PV au Sud

Analyse des résultats d'application 2
Gestion des conforts d'occupant

Fig. 1 Températures

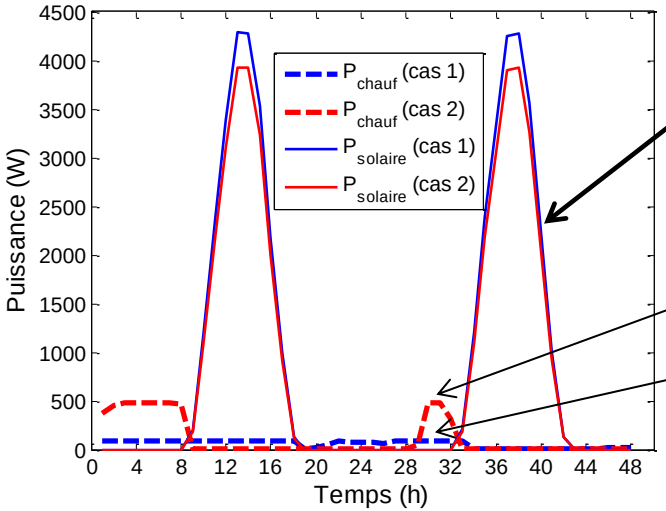


Cas 1 : 2°C.h/jour

Cas 2 : 0.5°C.h/jour

Hiver

Fig. 2 Puissances du chauffage et Apports solaires



Apports solaires des vitrages optimisés au Sud

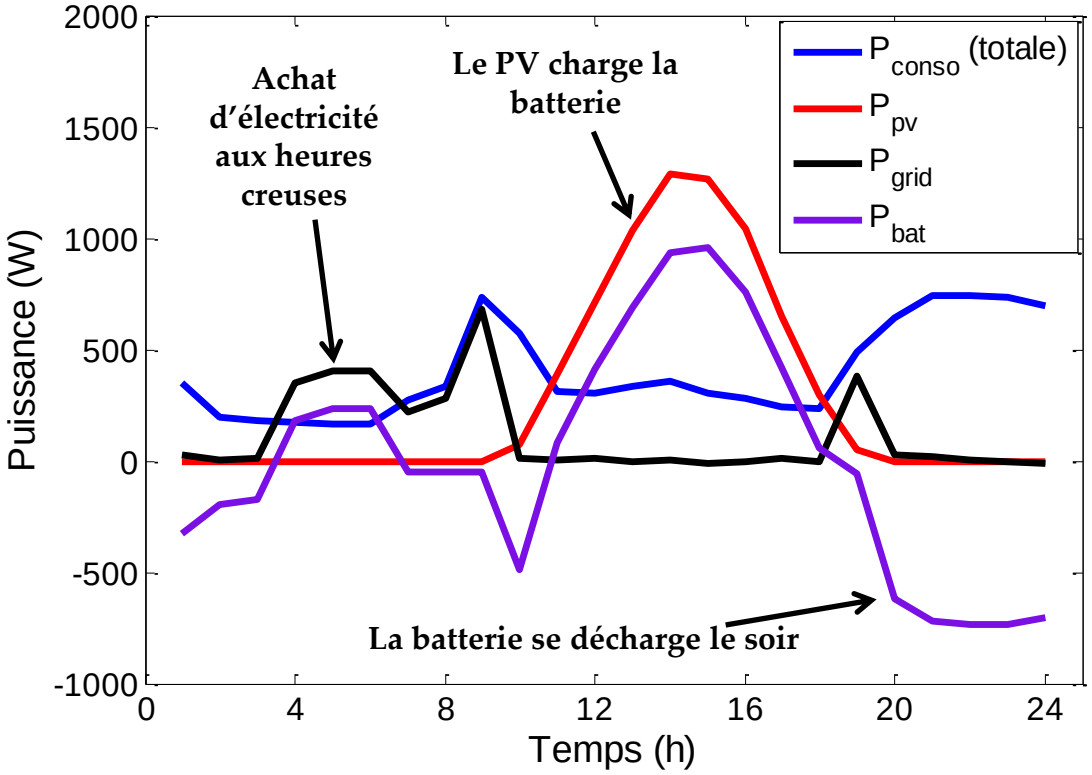
Pchauf_nom=482W

Pchauf_nom=87W

➢ **Interaction entre l'enveloppe et le système**

Analyse des résultats d'application 2
Gestion de la production/consommation électrique

Extrait : 1 journée d'hiver



Stratégie de gestion production/consommation

Pour les 2 cas :

- **Matin : Achat d'électricité aux heures creuses**
- **Midi : Autoconsommation**
- **Soir : Batterie se décharge ➔ Equipements**

Conclusion et analyse de robustesse de l'application 2

Optimisation globale : Solutions en limite des contraintes

Incertitudes : Risque de dépasser les contraintes

- Météo
- Usages

=> Tester la robustesse des solutions optimales

- Paramètres de dimensionnement fixés
- Etudier l'adaptabilité du système : adaptation de la gestion

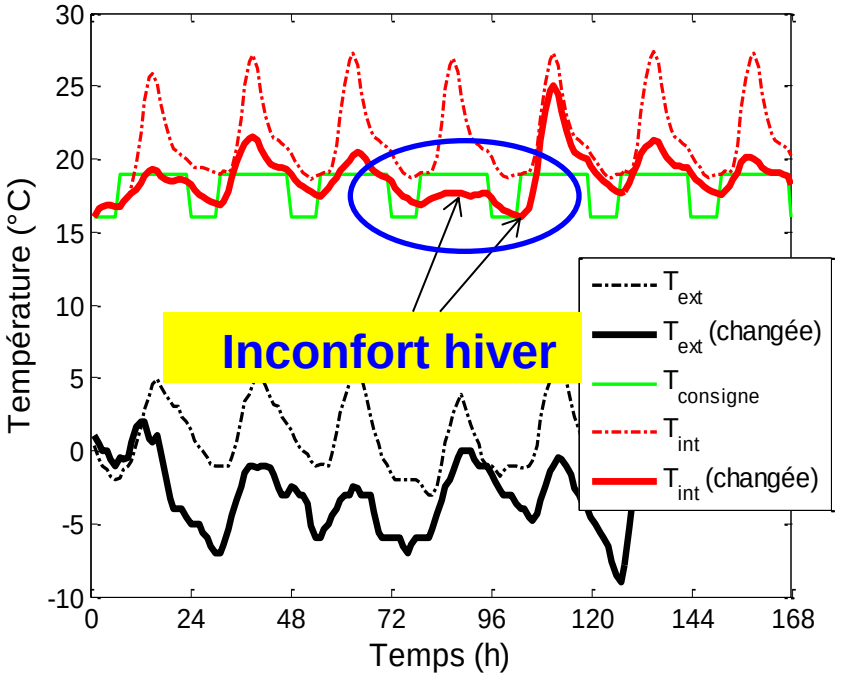
Problème de gestion optimale

Analyse de robustesse

Météo d'hiver rigoureux/Pas d'occultation d'été

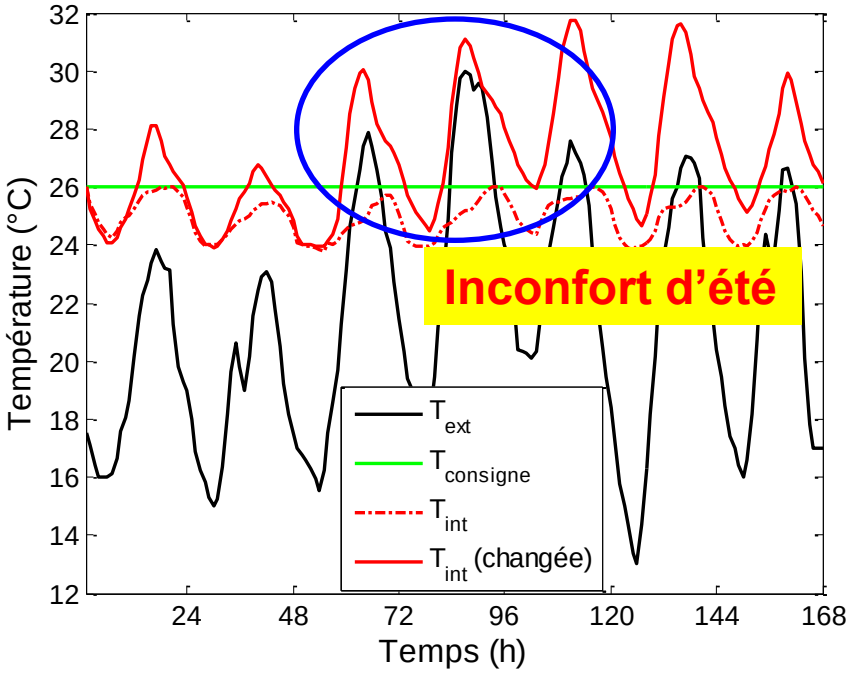
Météo d'hiver rigoureux

- Température plus froide
- Rayonnement solaire plus faible



Pas d'occultation d'été

- Les occupants n'appliquent pas la gestion



Concept de maison adaptative

Solutions

- **Optimisation robuste**
- **Maison adaptative**

Usagers

Trop chaude
Fermer les volets

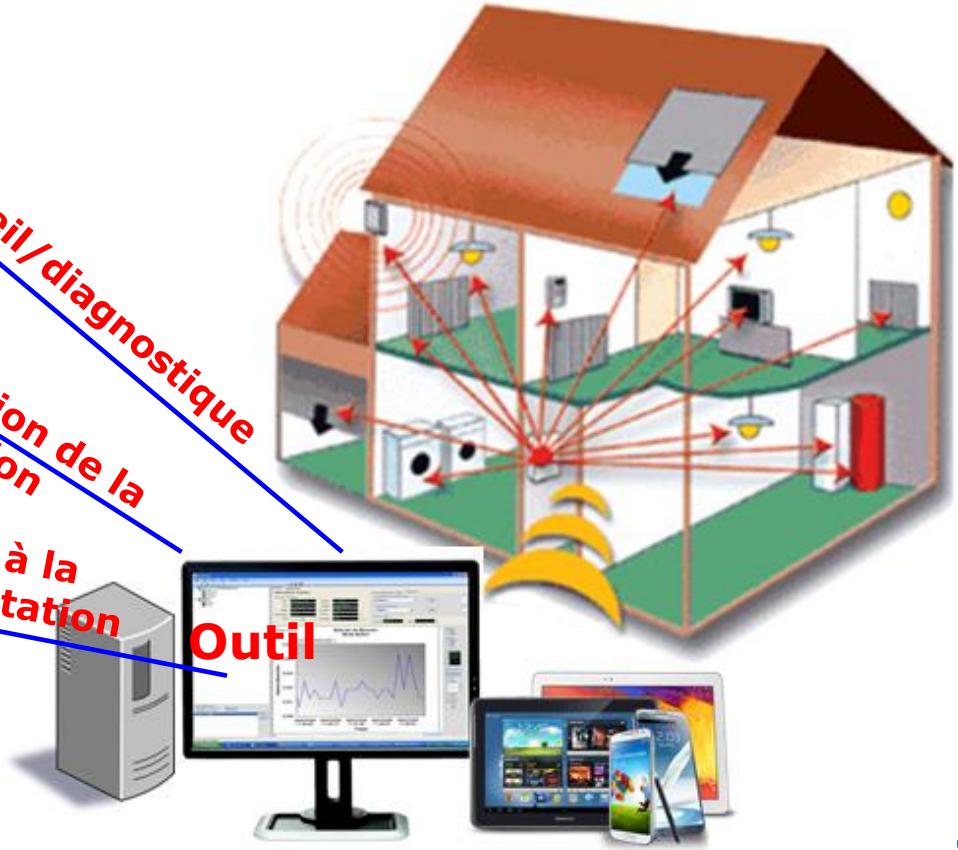
Nouveaux occupants

Professionnels

Conseil/diagnostique

Adaptation de la gestion

Aide à la réhabilitation



Plan de présentation

1. **Introduction: Contexte et objectifs**
2. **Méthodologies et mise en œuvre**
   - 2.1. Modélisation en vue de conception globale
   - 2.2. Méthodes d'optimisation et mise en œuvre informatique
3. **Applications et analyses**
   - 3.1. Dimensionnement des systèmes énergétiques en phase d'APD
   - 3.2. Conception de l'enveloppe et des systèmes énergétiques en phase d'esquisse
4. **Conclusions et perspectives**

Conclusions générales

Une nouvelle approche de conception des bâtiments : optimisation globale et simultanée.

- **Pour le concepteur :**
  - Conception de l'enveloppe, des systèmes énergétiques, en intégrant les stratégies de gestion
  - Permet d'appréhender le système complexe en ayant une vision globale dès la phase d'esquisse
    - *Vérifier la faisabilité des solutions*
    - *Tester rapidement des possibilités*
    - *Aider à prendre des décisions*
  - Basée sur des modèles analytiques simples, avec calcul du gradient automatique
- **Pour le chercheur :**
  - Problème d'optimisation complexe : non linéaire / multi-objectif / grande taille
  - Verrou : Difficultés numériques de convergence (Couplage fort)
- **Solution face aux incertitudes : Maison adaptative**

Perspectives

- **Développer la bibliothèque de modèles :**
  - Systèmes énergétiques complémentaires (solaire thermique, source éolienne...)
  - Automatiser la création de modèles d'enveloppe par schéma électrique

- **Utiliser la méthodologie en situation réelle :**
  - Dans les mains des vrais concepteurs (architectes, bureaux d'études)
  - En test dans un bâtiment réel pour le concept de maison adaptative

- **Lever les verrous scientifiques et numériques**
  - Dépasser les limites actuelles de taille de problème pour l'analyse du cycle de vie
    - Amélioration des performances numériques
    - Réduire la taille du problème d'optimisation (mois typique…)
  - Gérer des stratégies d'optimisation multi-niveaux (découplage)

Merci pour votre attention!