

Modélisation énergétique multi-flux d'un bâtiment et techniques de réduction du modèle avec pour visée l'optimisation de la gestion

Gilles DEDEBAN, Icam site de Vendée

Résumé: Les réseaux énergétiques actuels mutent vers une structure décentralisée qui intègre de plus en plus de petites productions locales (énergie locale et renouvelable), ce qui autorise de nombreuses interactions entre producteurs et consommateurs. Les progrès en matière de TIC contribuent largement au développement de ce réseau intelligent (SmartGrid).

Dans cette nouvelle donne, le bâtiment constitue une pièce maîtresse dans la mesure où il peut disposer de capacités de production et de réserves énergétiques propres (MicroGrid).

Les normes BBC, BEPOS poussent dans ce sens d'ailleurs et remettent en question les règles de l'art en matière de dimensionnement et de gestion énergétique. Aujourd'hui, les nombreuses possibilités offertes d'hybridation, de stratégies de gestion et de contrôle rendent complexe la prise de décision.

Des outils performants de simulation dynamique du bâtiment et de ses utilités deviennent indispensables. Ils permettent, certes, de modéliser assez fidèlement la réalité. Cependant, certains freins à leur utilisation peuvent apparaître comme la lourdeur des paramétrages et les temps de simulation conséquents.

Cette communication présente une méthodologie de réduction de modèles applicable aux composants du bâtiment, visant à faciliter leur exploitation dans des algorithmes d'optimisation.

Modélisation énergétique multi-flux d'un bâtiment et techniques de réduction du modèle avec pour visée l'optimisation de la gestion

1

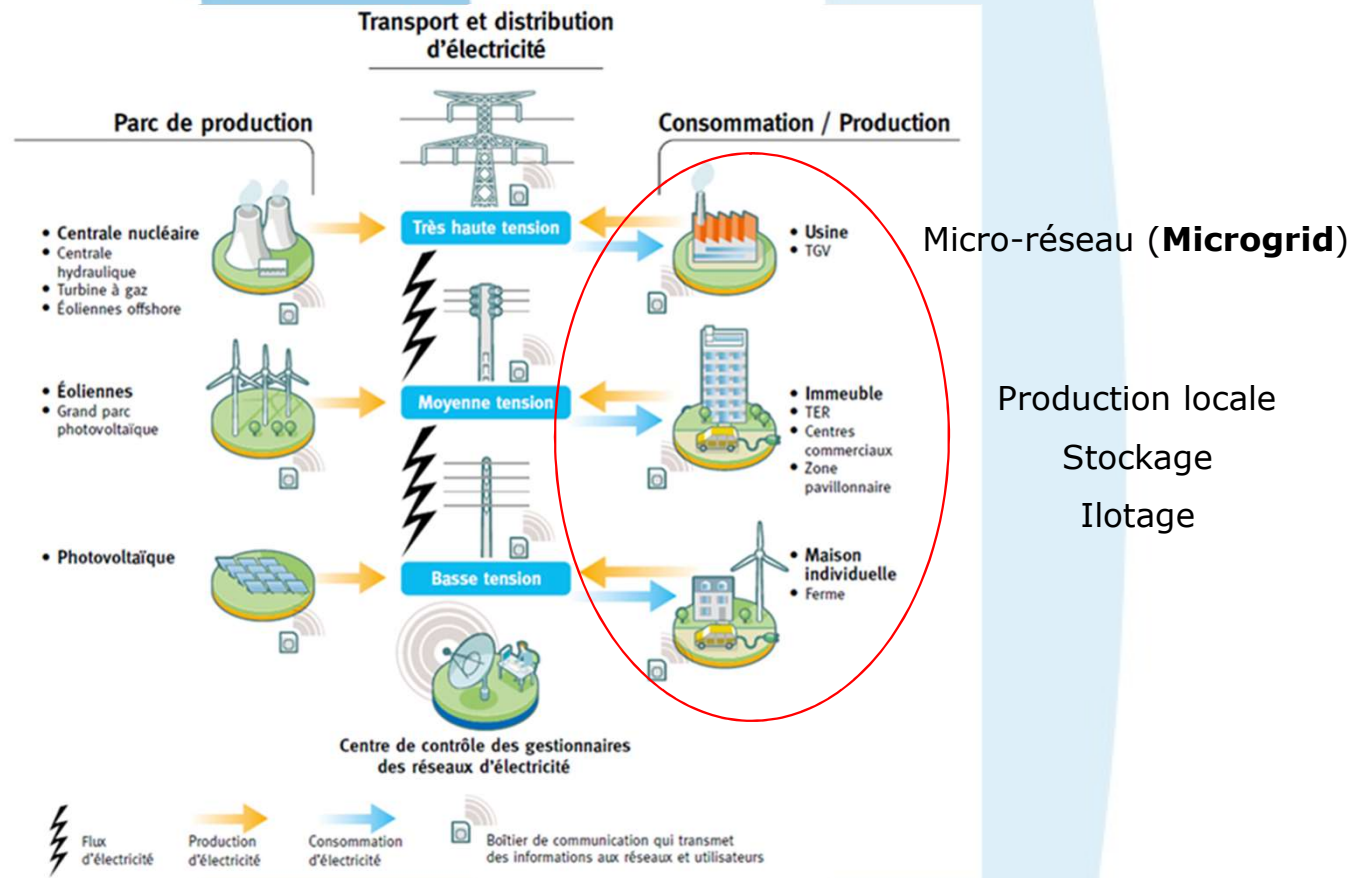
- ❑ Contexte et objectifs

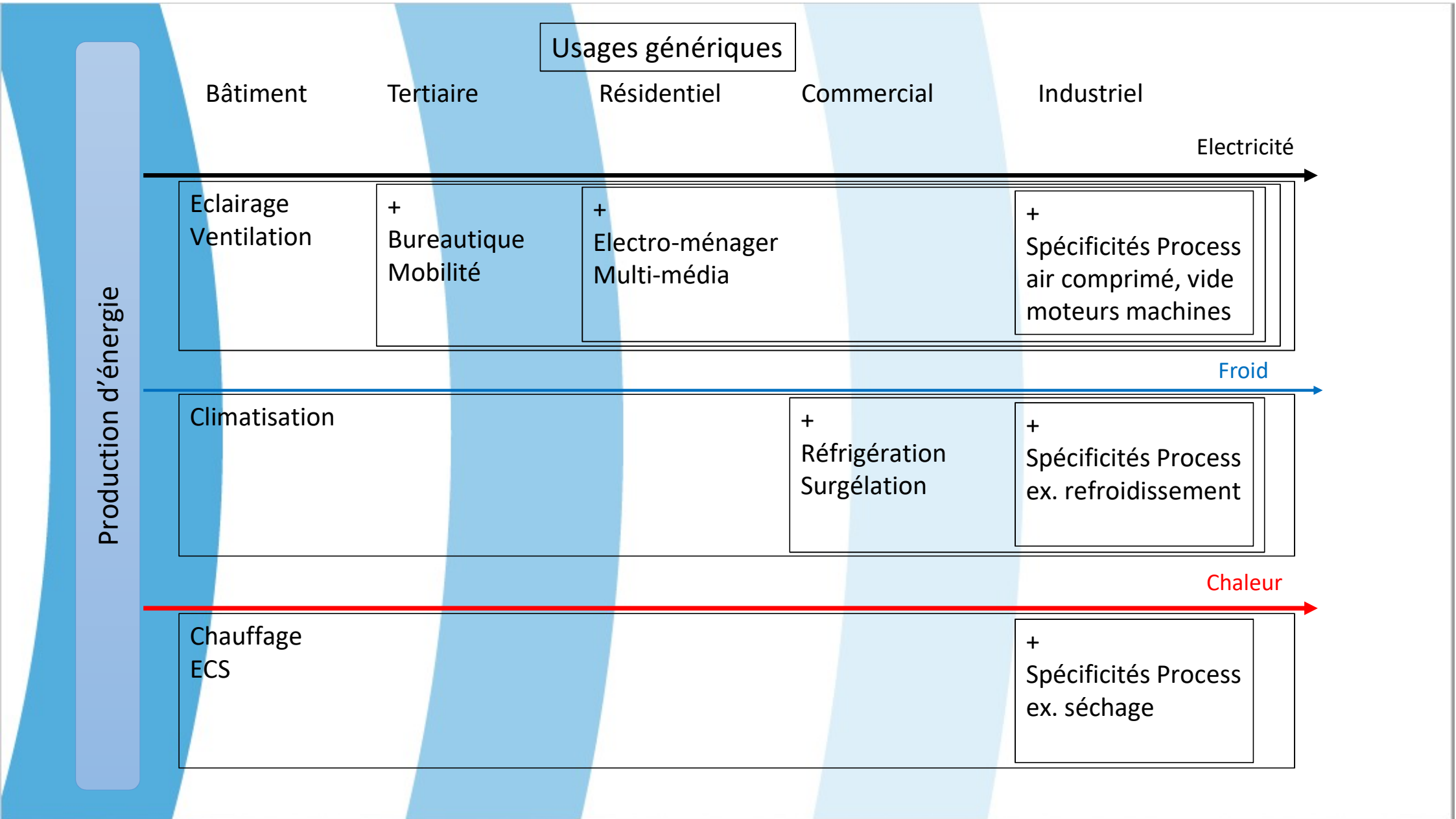
- ❑ Quelle modélisation pour l'optimisation énergétique ?
 - ❑ Problématique

 - ❑ Techniques de réduction de modèles

 - ❑ Construction directe de modèles d'ordre réduit
 - ❖ le bâtiment
 - ❖ un émetteur de chaleur

- ❑ Cas d'application et Perspectives de recherche





Production d'énergie

Usages génériques

Bâtiment

Tertiaire

Résidentiel

Commercial

Industriel

Electricité

Eclairage
Ventilation

+
Bureautique
Mobilité

+
Electro-ménager
Multi-média

+
Spécificités Process
air comprimé, vide
moteurs machines

Froid

Climatisation

+
Réfrigération
Surgélation

+
Spécificités Process
ex. refroidissement

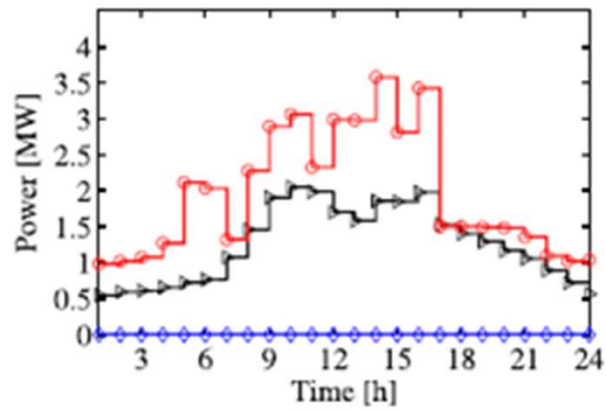
Chaleur

Chauffage
ECS

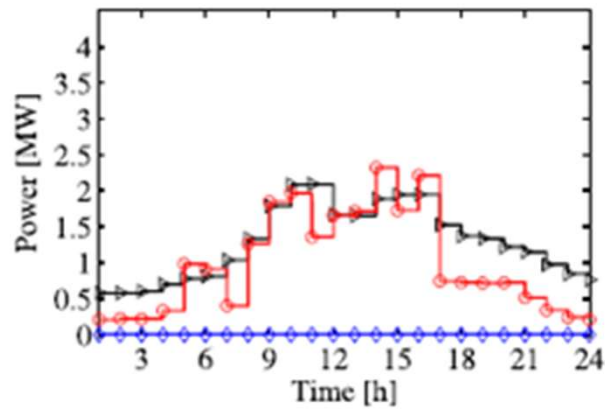
+
Spécificités Process
ex. séchage

Profils de puissance génériques

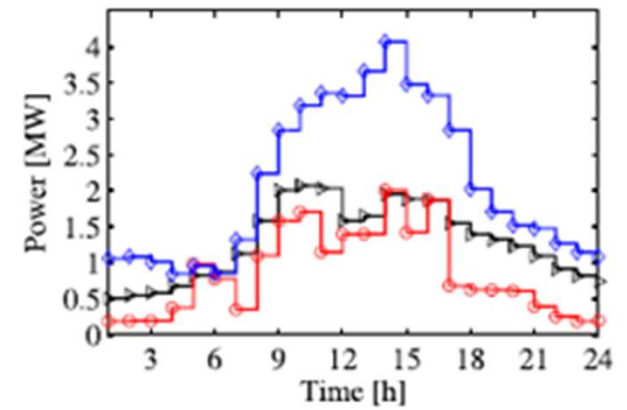
Electricity Thermal Chilling



(a) winter



(b) transition



(c) summer

Optimisation des consommations énergétiques d'un système multi-flux en cherchant à améliorer l'usage et la circulation des flux de puissance :

- ① **modéliser** les circulations, les conversions et les consommations d'énergie, en intégrant du **renouvelable** et des capacités de **stockage** en tirant parti des **synergies** entre réseaux
- ② **exploiter** des algorithmes de gestion innovants des diverses énergies disponibles mettant à profit les données disponibles en temps réel (**GTC, Open Data**) de façon à **anticiper les besoins** et définir une **trajectoire énergétique optimale**

3 critères seront pris en compte pour évaluer les scénarii:

- **Réduction des consommations**
- **Taux d'Autoconsommation**
- **Capacités d'effacement**

Les bâtiments BBC et BEP Les MicroGrids

remettent en question la sélection de solutions techniques et les règles de l'art en matière de dimensionnement et de gestion

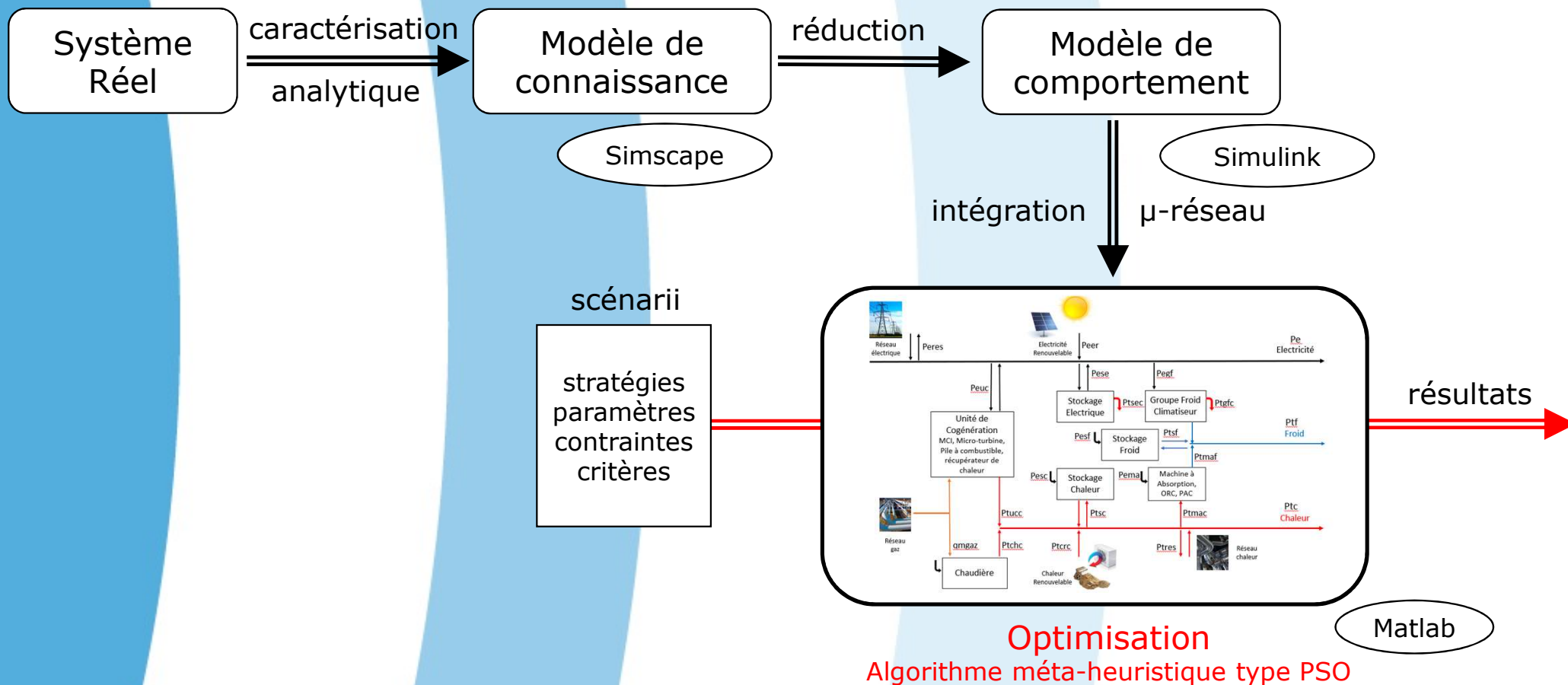
- Multiplication des solutions techniques et des possibilités d'hybridation
- Stratégie de régulation de plus en plus complexe

Outils de simulation dynamique du bâtiment

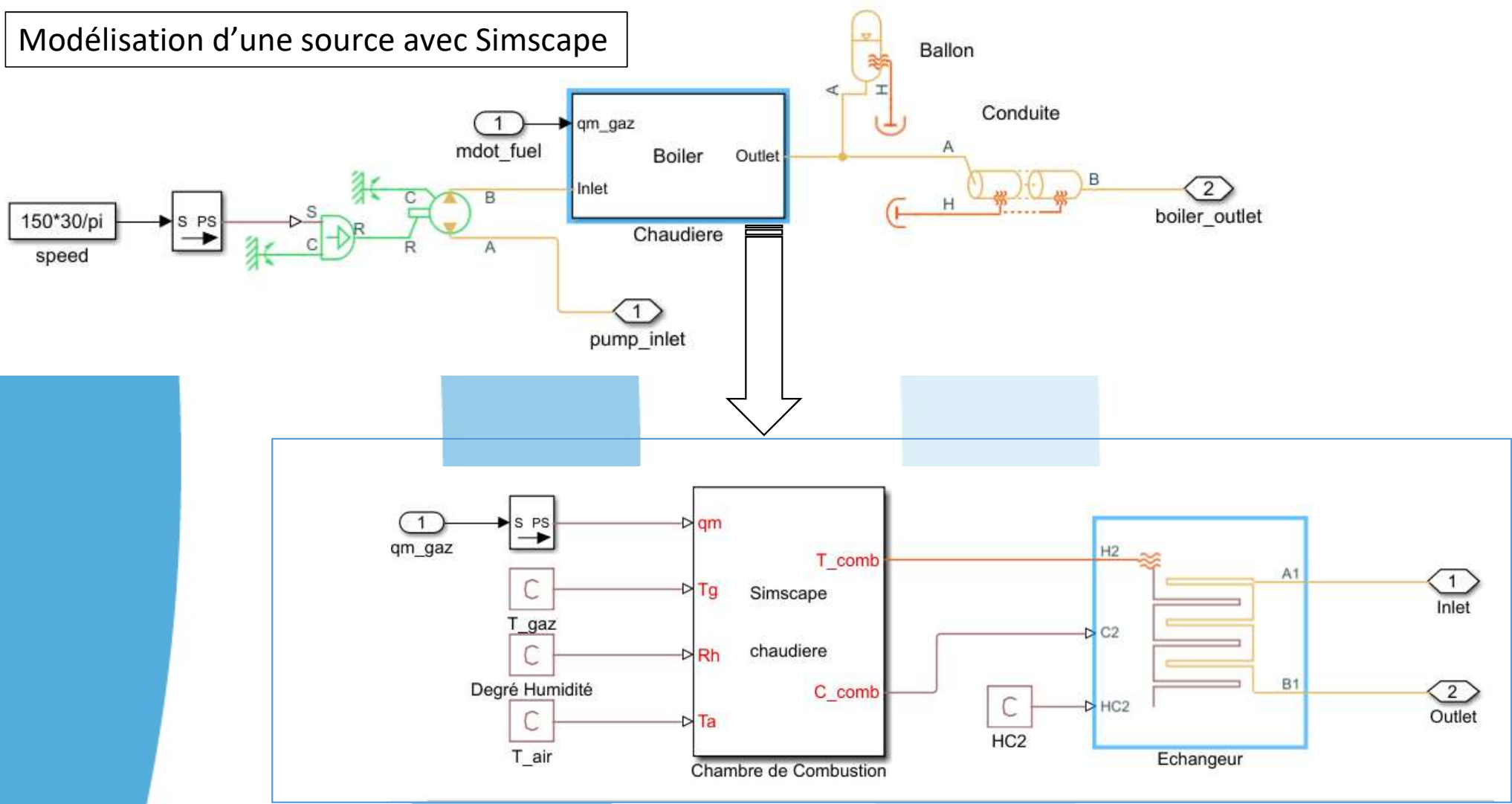


Freins à leur utilisation

- des données d'entrée nombreuses, parfois inadaptées et souvent inaccessibles
- des modèles opaques (limite de validité, incertitudes)
- des outils fastidieux (beaucoup de paramétrages à renseigner)
- des temps de simulation conséquents



Modélisation d'une source avec Simscape



1- techniques par réduction modale

- ❖ POD (proper orthogonal decomposition)
- ❖ SVD (singular value decomposition)
- ❖ PGD (proper generalized decomposition)

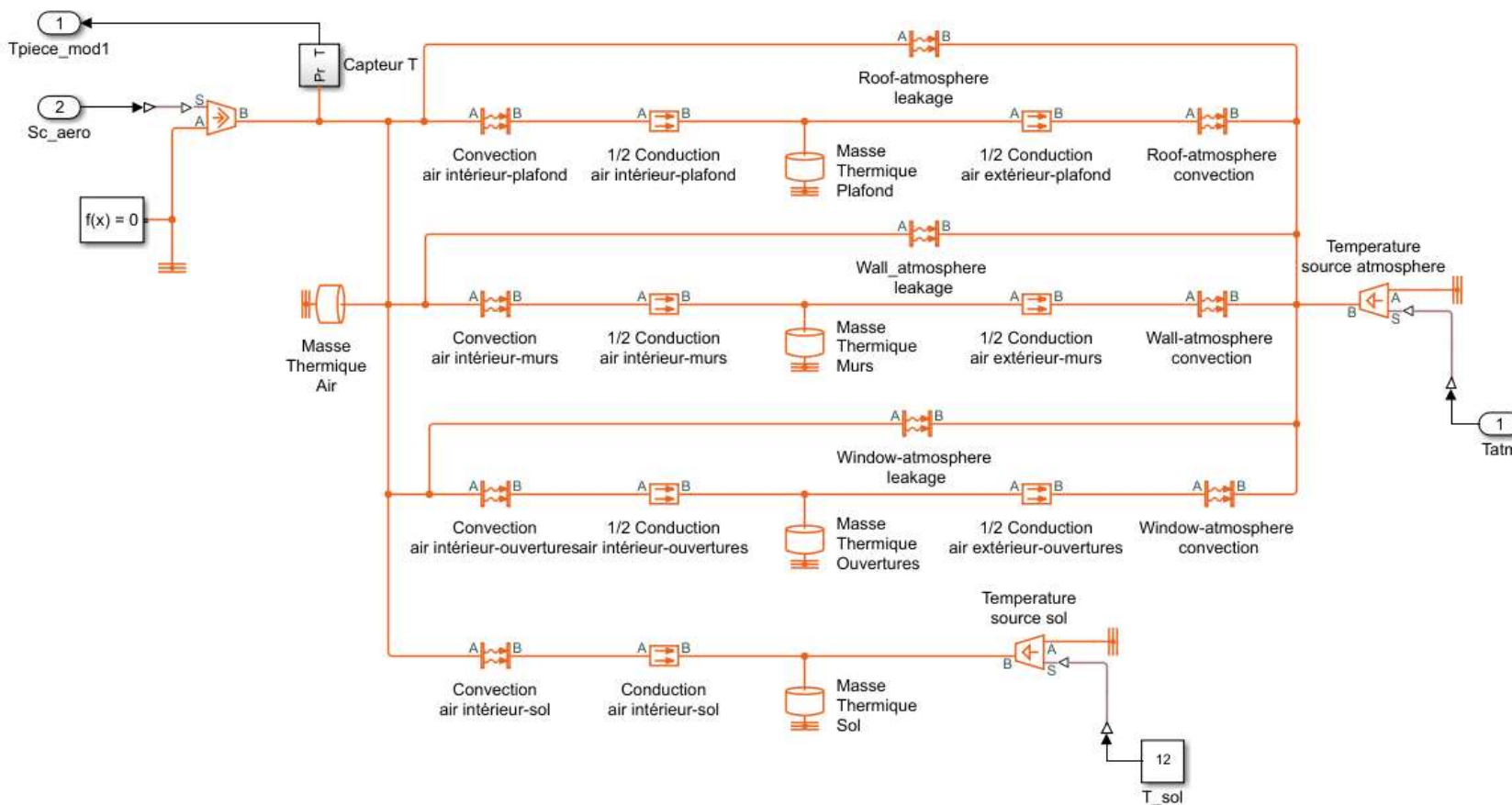
2- techniques par identification

- ❖ Modèles de type « RC »
- ❖ Modèles 1er ordre ou 2nd ordre

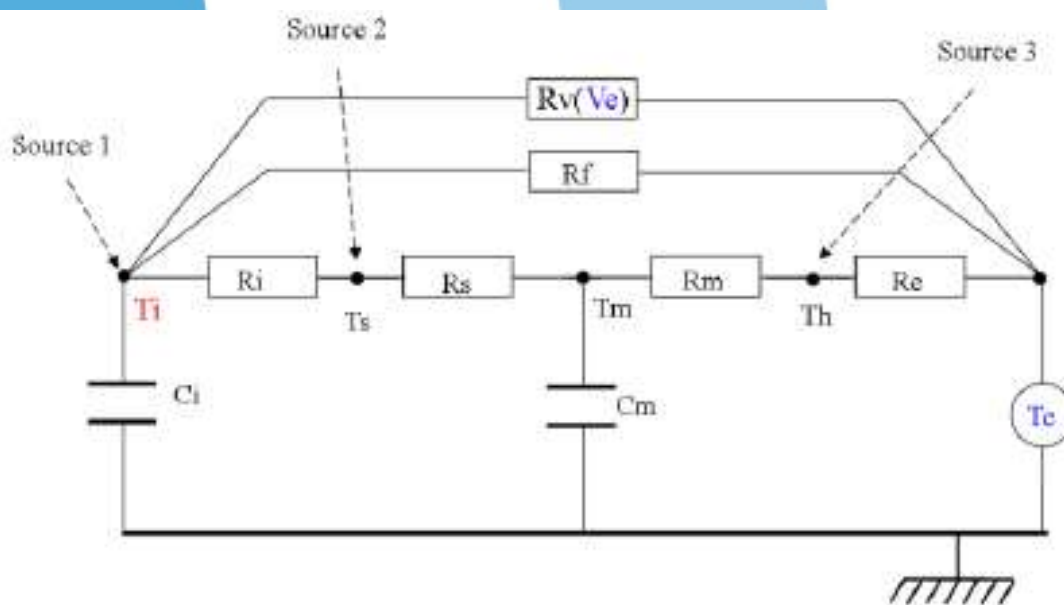
Extraction des caractères dominants

$$\begin{array}{l} \dot{X} = A_I X + B_I U \\ Y = C_I X \end{array} \quad \Longrightarrow \quad \begin{array}{l} \tilde{\dot{x}}(t) = a\tilde{x}(t) + b\tilde{u}(t) \\ \tilde{y}(t) = c\tilde{x}(t) \end{array}$$

a- Modélisation analytique d'une pièce



b- Analogie électrique R6C2 (Berthou,2013)

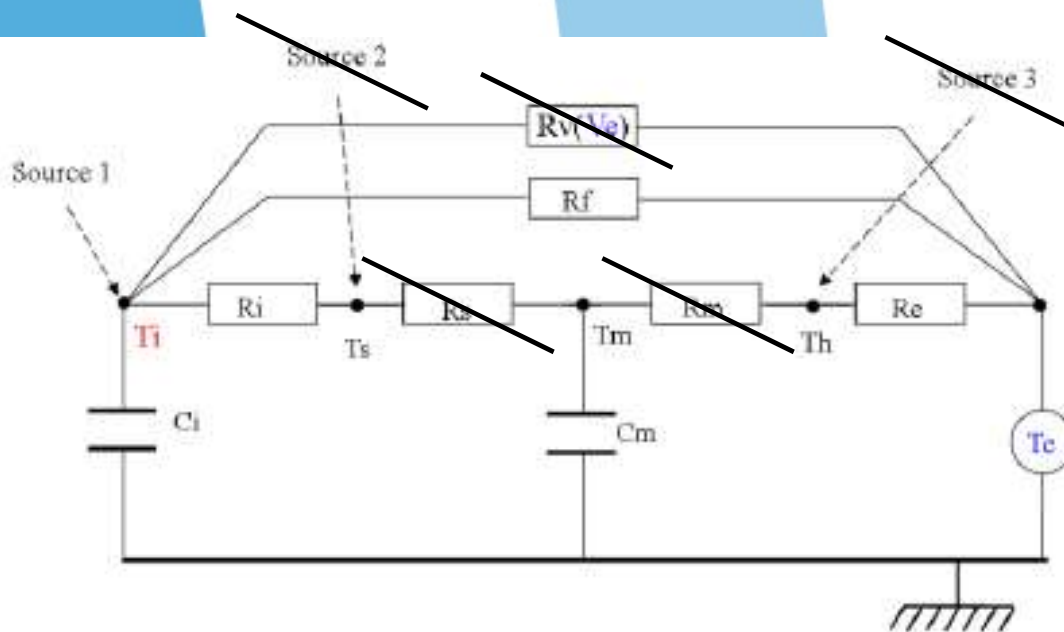


- C_i (J/K) Capacité de l'air intérieur et du mobilier
- C_m (J/K) Capacité des murs (bati)
- R_i (K/W) Résistance de convection intérieure
- R_s et R_m (K/W) Résistance de conduction des murs (isolation) $R_s=R_i$
- R_e (K/W) Résistance de convection extérieure
- R_f (K/W) Résistance équivalente aux infiltrations et aux vitres
- R_v (K/W) Résistance équivalente à la ventilation mécanique
Flux d'air variable (0.9 vol/h de 6h à 22h en semaine et 0 vol/h le reste du temps)
- Source 1 Gains internes convectifs (chauffage + occupants)
- Source 2 Gains internes radiatifs (occupants + apports solaires)
- Source 3 Gains externes radiatifs (apports solaires)

$$C \dot{T} = A T + B U$$

T: vecteur des températures aux nœuds du maillage
 U: vecteur des sollicitations
 A,B,C matrices de diffusion, sollicitations, capacités resp.
 À effectuer sur chacun des noeuds

b- Analogie électrique R6C2 (Berthou,2013)

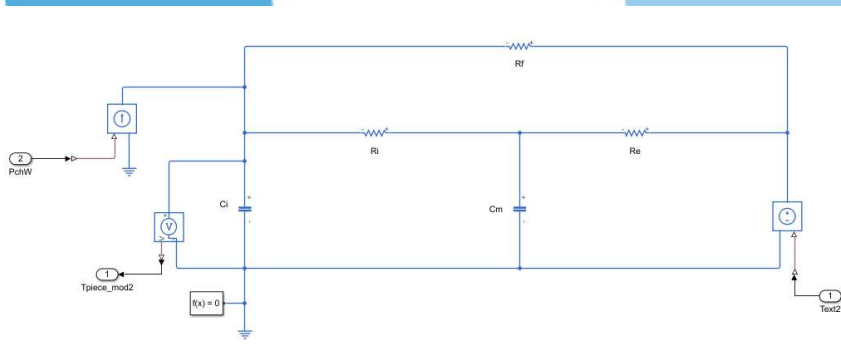


- C_i (J/K) Capacité de l'air intérieur et du mobilier
- C_m (J/K) Capacité des murs (bati)
- R_i (K/W) Résistance de convection intérieure
- ~~R_s et R_m (K/W) Résistance de conduction des murs (isolation) $R_s=R_i$~~
- R_e (K/W) Résistance de convection extérieure
- R_f (K/W) Résistance équivalente aux infiltrations et aux vitres
- ~~R_v (K/W) Résistance équivalente à la ventilation mécanique~~
- ~~Flux d'air variable (0.9 vol/h de 6h à 22h en semaine et 0 vol/h le reste du temps)~~
- Source 1 Gains internes convectifs (chauffage + occupants)
- ~~Source 2 Gains internes radiatifs (occupants + apports solaires)~~
- ~~Source 3 Gains externes radiatifs (apports solaires)~~

$$C \dot{T} = A T + B U$$

T: vecteur des températures aux nœuds du maillage
 U: vecteur des sollicitations
 A,B,C matrices de diffusion, sollicitations, capacités resp.
 À effectuer sur chacun des noeuds

c- Formalisation en représentation d'état



Modèle R3C2 Piece 1

$$\theta_1 \dot{T}_i = \frac{T_m - T_i}{\theta_3} + \frac{T_e - T_i}{\theta_5} + P$$

$$\theta_2 \dot{T}_m = \frac{T_i - T_m}{\theta_3} + \frac{T_e - T_m}{\theta_4}$$

$$\begin{cases} \theta_1 = C_i \\ \theta_2 = C_m \\ \theta_3 = R_i \\ \theta_4 = R_e \\ \theta_5 = R_f \end{cases}$$

$$\dot{T}_i = \left(-\frac{1}{\theta_1 \theta_3} - \frac{1}{\theta_1 \theta_5} \right) T_i + \frac{1}{\theta_1 \theta_3} T_m + \frac{1}{\theta_1 \theta_5} T_e + \frac{1}{\theta_1} P$$

$$\dot{T}_m = \frac{1}{\theta_2 \theta_3} T_i + \left(-\frac{1}{\theta_2 \theta_3} - \frac{1}{\theta_2 \theta_4} \right) T_m + \frac{1}{\theta_2 \theta_4} T_e$$

$$A = \begin{pmatrix} -\frac{1}{\theta_1 \theta_3} - \frac{1}{\theta_1 \theta_5} & \frac{1}{\theta_1 \theta_3} \\ \frac{1}{\theta_2 \theta_3} & -\frac{1}{\theta_2 \theta_3} - \frac{1}{\theta_2 \theta_4} \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned} T &= \begin{pmatrix} T_i \\ T_m \end{pmatrix} \\ U &= (T_e \ P) \end{aligned}$$

$$\begin{cases} \text{On pose } T' = AT + BU \\ Y = CT + DU \end{cases}$$

$$B = \begin{pmatrix} \frac{1}{C_i R_f} & \frac{1}{C_i} \\ \frac{1}{C_2 R_e} & 0 \end{pmatrix}$$

$$C = (1 \ 0) \quad D = 0$$

d- Script pour identification

Extraction des données du modèle analytique (échantillonnage)

```
% Chargement du fichier de données
load ('syst_piecel.mat');
Tpiece = Piecel_Data{1}.Values;
Text = Piecel_Data{2}.Values;
Pchauf = Piecel_Data{3}.Values;
%
param.t1 = 0;
param.t2 = 7197;
%
N1 = find(Pchauf.Time>=param.t1, 1);
N2 = find(Pchauf.Time>=param.t2, 1);
%
t = Pchauf.Time (N1:N2);
u = [Text.Data (N1:N2) Pchauf.Data (N1:N2)];
y = Tpiece.Data (N1:N2);

param.Interpolation = true;
```

```
% Interpolation des signaux avec une fréquence d'échantillonnage régulière
%-----|
methods = {'nearest', 'linear', 'spline', 'pchip', 'cubic'};
tsi = t(1):0.1:t(size(t,1));
usi = interp(t,u,tsi,methods{2});
ysi = interp(t,y,tsi,methods{2});

if param.Interpolation
    t = tsi;
    u = usi;
    y = ysi;

end
```

d- Script pour identification

Initialisation et contrôle de validité des paramètres

```

% Initialisation des paramètres
%-----
Ci = 6.106e5; %8.687e5;
Cm = 2.701e8; %1.184e9; %1.427e8;
Ri = 1.467e-3; %8.251e-4;
Re = 1.087e-3; %3.622e-4; %2.976e-4;
Rf = 1.004e-3; %1.003e-3; %2.602e-3;

param.xi = [17;15];
param.thetai = [Ci;Cm;Ri;Re;Rf];
    
```

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	pair	1,2 kg.m ³							pair	1,2 kg.m ³							
2	Cair	1005,4 J/(K.kg)		Ci		8,687E+05 J/K		6,089E+05	Cair	1005,4 J/(K.kg)			Ci	6,802E+07 J/K		7,70E+07	1,10E+08
3	Vair	720 m ³						6,106E+05	Vair	20000 m ³				6,80E+07			
4									Mob	2,00E+04 J.m ² .K ²							
5									Sc	2194,48 m ²							
6																	
7	pmurs	1920 kg.m ³							pmurs	1920 kg.m ³			Cm	6,413E+09 J/K		4,30E+09	5,00E+09
8	Cmurs	835 J/(K.kg)		Cm		1,427E+08 J/K		9,537E+10	Cmurs	835 J/(K.kg)				6,40E+09			
9	Vmurs	89 m ³						1,184E+09	Vmurs	4000 m ³							
10								2,701E+08									
11	Sint	404 m ²		Ri		1,031E-04 K/W		1,409E-03	Sint	18810 m ²			Ri	1,7721E-05 K/W		7,30E-06	8,00E-06
12	hint	24 W.m ⁻² .K ¹		3		8,251E-04		1,467E-03	hint	3 W.m ⁻² .K ¹				1,70E-05			
13																	
14	e_murs	0,2 m							e_murs	0,2 m							
15	S_murs	445 m ²		Rs		5,914E-03 K/W			S_murs	20000 m ²			Rs	1,316E-04 K/W		4,40E-06	3,90E-06
16	k_murs	0,038 W.m ⁻¹ .K ¹							k_murs	0,038 W.m ⁻¹ .K ¹				1,70E-05			
17																	
18				Rm		5,914E-03 K/W							Rm			1,90E-04	1,90E-04
19														5,63E-04			
20																	
21	Sext	224 m ²		Re		1,313E-04 K/W		5,914E-03	Sext	3150 m ²			Re	1,8674E-05 K/W		3,60E-05	3,60E-05
22	hext	34 W.m ⁻² .K ¹		15		2,976E-04		3,622E-04	hext	17 W.m ⁻² .K ¹				1,70E-05			
23								1,087E-03									
24	Rinf	1,195E-02 K/W							Rinf	7,974E-04 K/W							
25																	
26	Ufen	32 W.m ⁻² .K ¹		4 Rf		5,565E-03 K/W		1,012E-03	Ufen	3,95 W.m ⁻² .K ¹			Rf	1,491E-04 K/W		3,00E-04	2,40E-04
27	Sfen	3 m ²				2,602E-03		1,003E-03	Sfen	1380 m ²				1,80E-04			
28	Rfen	1,042E-02 K/W		2,604E-03				1,004E-03	Rfen	1,835E-04 K/W							

d- Script pour identification

Valeurs limites sur les paramètres à identifier

```
% Valeurs limites de recherche
%-----
param.wci1 = Ci/3;
param.wci2 = Ci*3;
param.wcm1 = Cm/10;
param.wcm2 = Cm*10;
param.wri1 = Ri/3;
param.wri2 = Ri*3;
param.wre1 = Re/3;
param.wre2 = Re*3;
param.wrf1 = Rf/3;
param.wrf2 = Rf*3;
```

Paramétrage de la fonction de minimisation `fminsearch`

```
[thetae,fval,exitflag,output] = fminsearch(@(theta) Fobj2_piece(theta, usi, ysi, tsi, param),...
    param.thetai, optimset('TolX',1e-4,'MaxFunEvals',150000,'PlotFcns',@optimplotfval,'Display','final'));
```

d- Script pour identification

Calculs des valeurs de sortie du système simulé

Calcul de l'erreur

```
function J = Fobj2_piece(theta,u,y,t,param)
```

```
% Model parameters:
%-----
Ci = theta(1);
Cm = theta(2);
Ri = theta(3);
Re = theta(4);
Rf = theta(5);

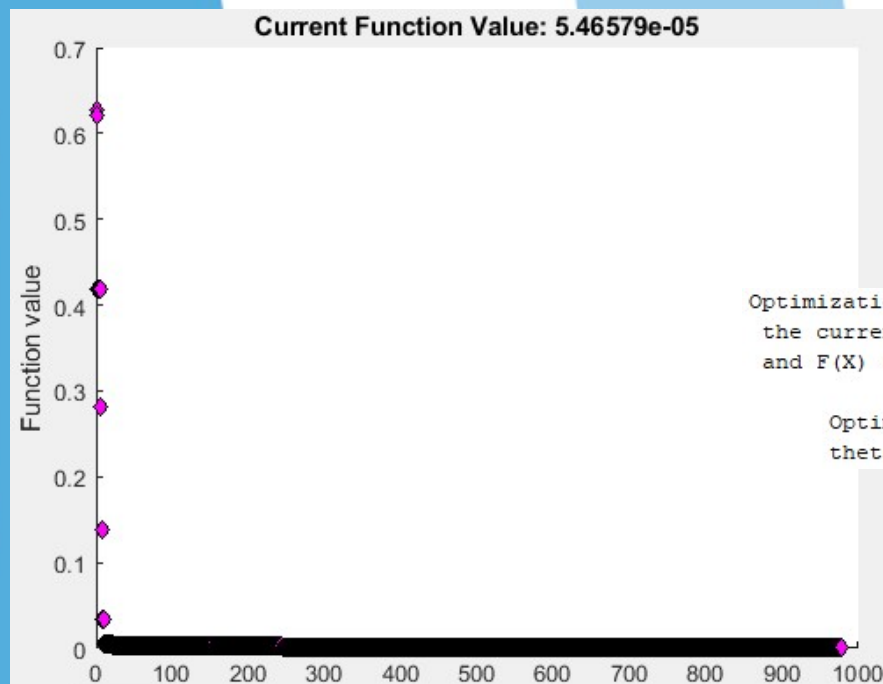
% State space matrices:
%-----
Ac = [1/Ci*(-1/Ri-1/Rf) 1/(Ci*Ri); 1/(Cm*Ri) 1/Cm*(-1/Ri-1/Re)];
Bc = [1/(Ci*Rf) 1/Ci; 1/(Cm*Re) 0];
Cc = [1 0];
Dc = 0;

% Model output simulation:
%-----
ym = lsim(ss(Ac,Bc,Cc,Dc),u,t,param.xi);
```

```
% Weigthing parameters
%-----
wci = 100-99*((Ci >=param.wci1) & (Ci <=param.wci2));
wcm = 100-99*((Cm >=param.wcm1) & (Cm <=param.wcm2));
wri = 100-99*((Ri >=param.wri1) & (Ri <=param.wri2));
wre = 100-99*((Re >=param.wre1) & (Re <=param.wre2));
wrf = 100-99*((Rf >=param.wrf1) & (Rf <=param.wrf2));

% Criteria:
%-----
J = wci * wcm * wri * wre * wrf * sum( (y-ym').^2 / y);
```

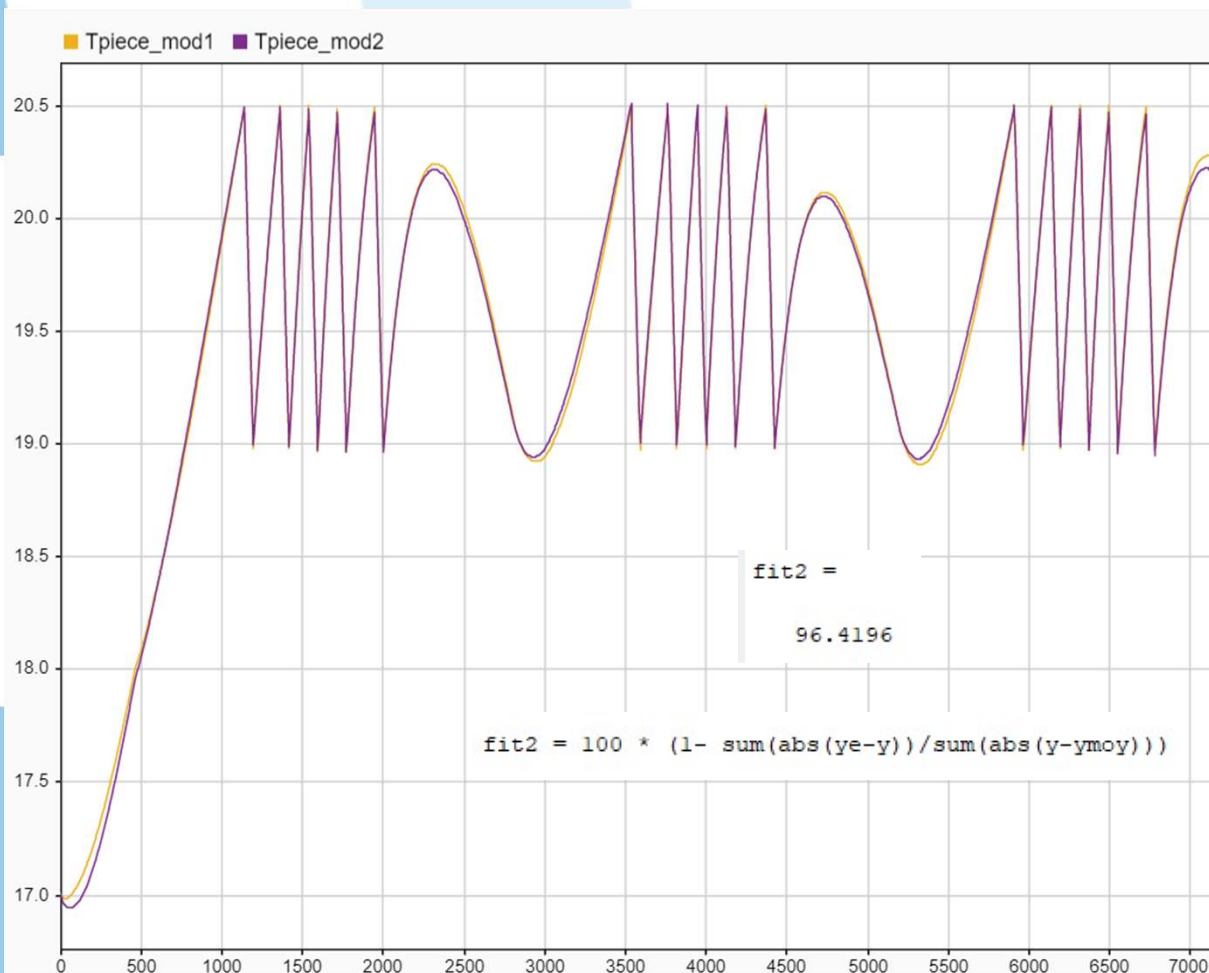
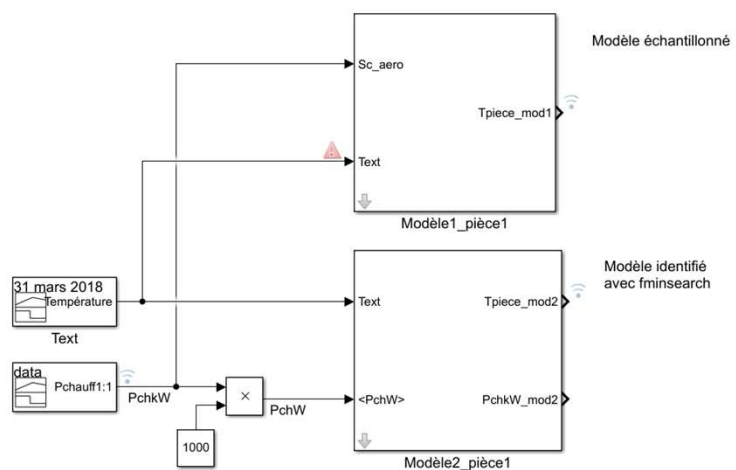
e- Résultat de l'identification



Optimization terminated:
the current x satisfies the termination criteria using `OPTIONS.TolX` of $1.000000e-04$
and $F(X)$ satisfies the convergence criteria using `OPTIONS.TolFun` of $1.000000e-06$

Optimization time:184.5157
thetae = [610621.3451 216441130.0935 0.001468 0.0012507 0.0010036]

f- Evaluation du modèle réduit



g- Script pour nouvelle identification intégrant la puissance de chauffage et avec un autre profil de température

```
function J = Fobj3_piece(theta,u,y,p,e,t,param)
```

```
% Model output simulation (Ti):
```

```
%-----
```

```
ys = lsim(ss(Ac,Bc,Cc,Dc),u,t,param.xi);
```

```
ti = ys(:,1);
```

```
tm = ys(:,2);
```

```
te = u(:,1);
```

```
% Model output simulation (P):
```

```
%-----
```

```
% Calcul besoin de chauffage
```

```
pm = ((Ci*(param.tc-ti)/0.1)+((ti-tm)/Ri)+((ti-te)/Rf))/1000;
```

```
% Puissances délivrables suivant les consignes de vitesse
```

```
pv1 = (0.2657 * 2860 / 3600 * 1.215 + 0.17798) * (e' - ti);
```

```
pv2 = (0.2657 * 3300 / 3600 * 1.215 + 0.17798) * (e' - ti);
```

```
% Seuils de puissance pour changement de vitesse
```

```
pm2 = ((Ci*(2)/0.1)+((ti-tm)/Ri)+((ti-te)/Rf))/1000;
```

```
pm_on = ((Ci*(1)/0.1)+((ti-tm)/Ri)+((ti-te)/Rf))/1000;
```

```
pm1 = ((Ci*(-0.5)/0.1)+((ti-tm)/Ri)+((ti-te)/Rf))/1000;
```

```
if pm >= pm_on, param.v_on = true;
```

```
end
```

```
if pm < pm1, param.v_on = false;
```

```
end
```

```
if param.v_on
```

```
    if pm > pm2
```

```
        pm = pv2;
```

```
    else
```

```
        pm = pv1;
```

```
    end
```

```
else
```

```
    pm = 0;
```

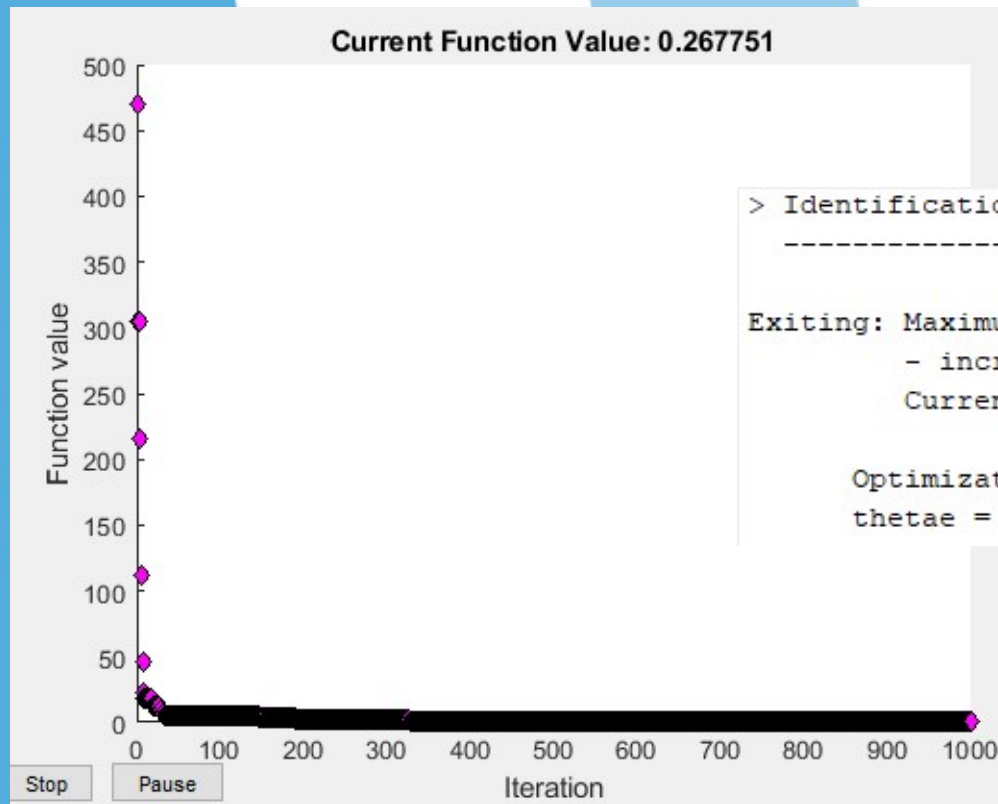
```
end
```

```
% Criteria:
```

```
%-----
```

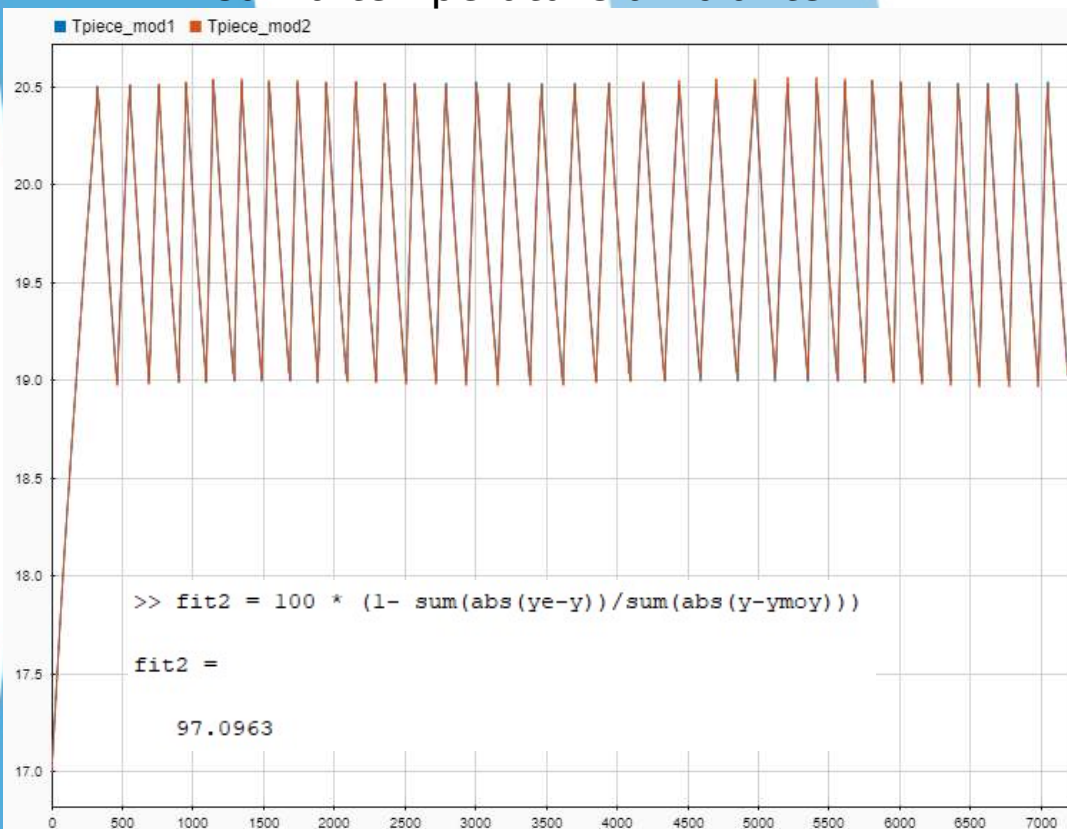
```
J = wci * wcm * wri * wre * wrf * sum( (y-ti').^2 / y) * sum( (p-pm').^2 / p);
```

h- Résultat nouvelle identification

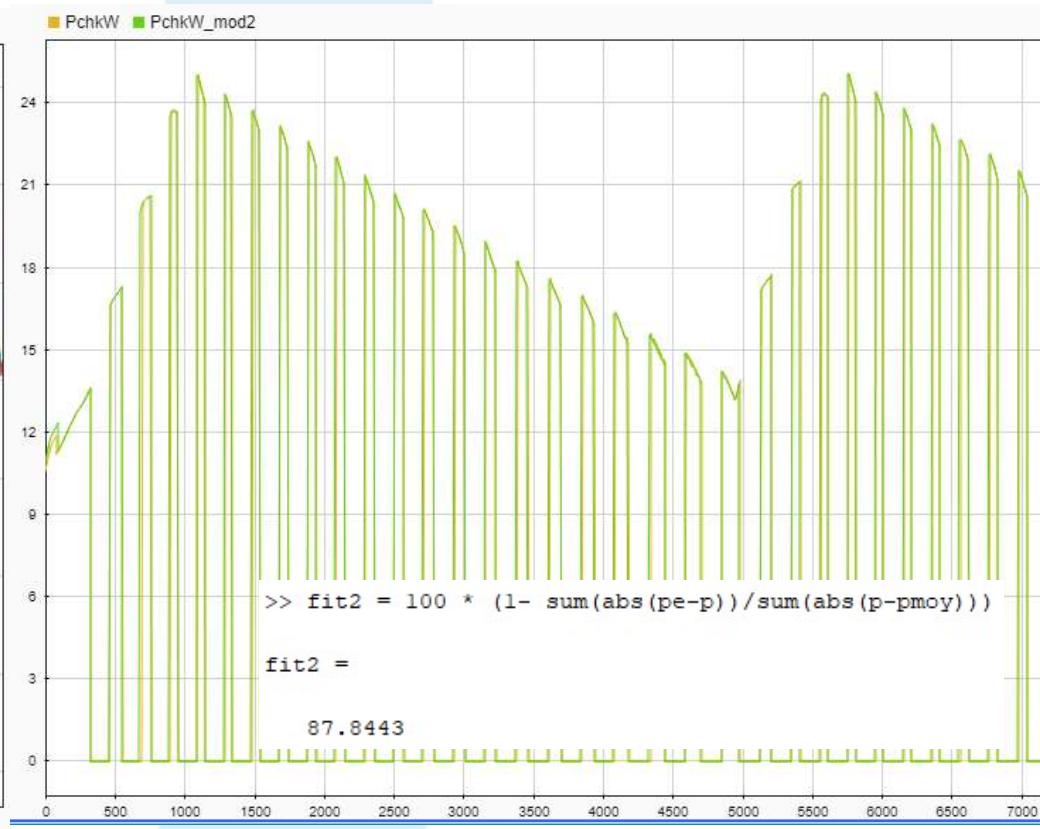


```
> Identification avec l'algorithme de Nelder-Mead:  
-----  
  
Exiting: Maximum number of iterations has been exceeded  
- increase MaxIter option.  
Current function value: 0.267751  
  
Optimization time:206.6197  
thetae = [600824.194 2815852.8547 0.00082476 0.00018027 0.0027618 ]  
  
thetae = [610621.3451 216441130.0935 0.001468 0.0012507 0.0010036 ]
```

i- Nouvelle évaluation du modèle réduit sur la température ambiante



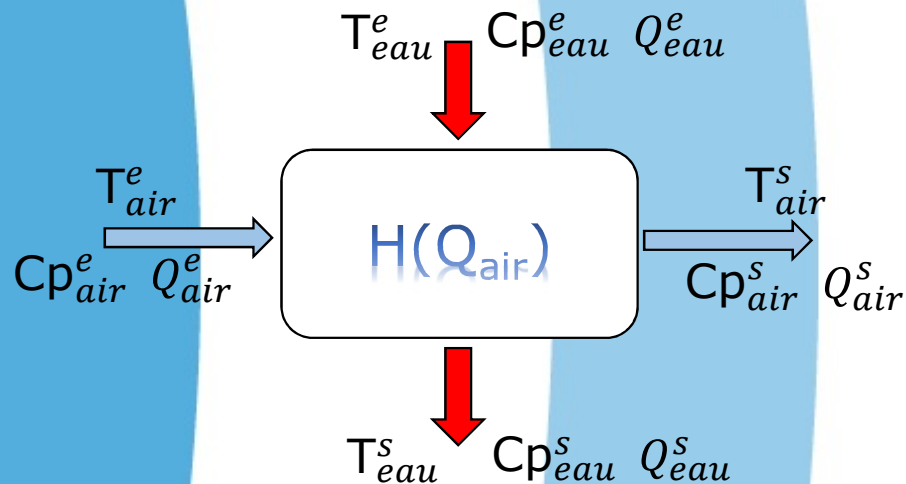
sur la puissance de chauffage



→ Calibration bayésienne

a- Modélisation analytique d'un aérotherme à eau

(Beauchêne, 2016)



$$H = Eff * \min(Cp_{eau}^e Q_{eau}^e, Cp_{air}^e Q_{air}^e)$$

Coefficient d'échange

$$\underbrace{\rho_{eau} V_{eau} Cp_{eau} \frac{dT_{eau}^s}{dt}} =$$

Φ_{eau} perdu

$$\underbrace{Q_{eau} Cp_{eau} (T_{eau}^e - T_{eau}^s)} - \underbrace{H (T_{eau}^e - T_{air}^e)}$$

Φ_{eau} in - Φ_{eau} out

Φ_{air} généré

On pose $H = \alpha \cdot Q_{air}^e + \beta \Rightarrow \Phi_{air}$ généré = $(\alpha \cdot Q_{air}^e + \beta) \cdot (T_{eau}^e - T_{air}^e)$

b- Script pour identification

Extraction des données du modèle analytique (échantillonnage)

```
% Chargement du fichier de données
load('syst2_aerotherme.mat');

Pchauff = Aerotherme_Data2{1}.Values;
Q_air = Aerotherme_Data2{2}.Values;
Tair_e = Aerotherme_Data2{3}.Values;
Teau_e = Aerotherme_Data2{4}.Values;
%
param.t1 = 0;
param.t2 = 7195;
%
N1 = find(Tair_e.Time>=param.t1, 1);
N2 = find(Tair_e.Time>=param.t2, 1);
%
t = Tair_e.Time(N1:N2);
u = [Teau_e.Data(N1:N2) Tair_e.Data(N1:N2) Q_air.Data(N1:N2)];
y = Pchauff.Data(N1:N2);
%
param.alpha1 = 0;
param.alpha2 = 1;
param.betal = 0;
param.beta2 = 1;
%
```

```
%
param.rho_eau = 997; %kg/m3
param.Veau = 2.77e-3; %m3
param.Cpeau = 4.175e3; %J/(kg.K)
%
param.Interpolation = true;

% Interpolation des signaux avec pas d'échantillonnage fixe
%-----|
methods = {'nearest', 'linear', 'spline', 'pchip', 'cubic'};
tsi = t(1):0.1:t(size(t,1));
usi = interpl(t,u,tsi,methods{2});
ysi = interpl(t,y,tsi,methods{2});

if param.Interpolation
    t = tsi;
    u = usi;
    y = ysi;
end
```

b- Script pour identification

Initialisation, paramétrages, calculs de la sortie du système et de l'erreur

```
% Initialization des paramètres
%-----|
alpha = 1;
beta = 1;

param.thetai = [alpha;beta];
```

```
% Identification
%-----
[thetae,fval,exitflag,output] = fminsearch(@(theta) Fobj2_Aerotherme(theta, usi, ysi, param),...
    param.thetai, optimset('TolX',1e-8,'MaxFunEvals',100000,'PlotFcns',@optimplotfval));

function J = Fobj2_Aerotherme(theta,u,y,param)

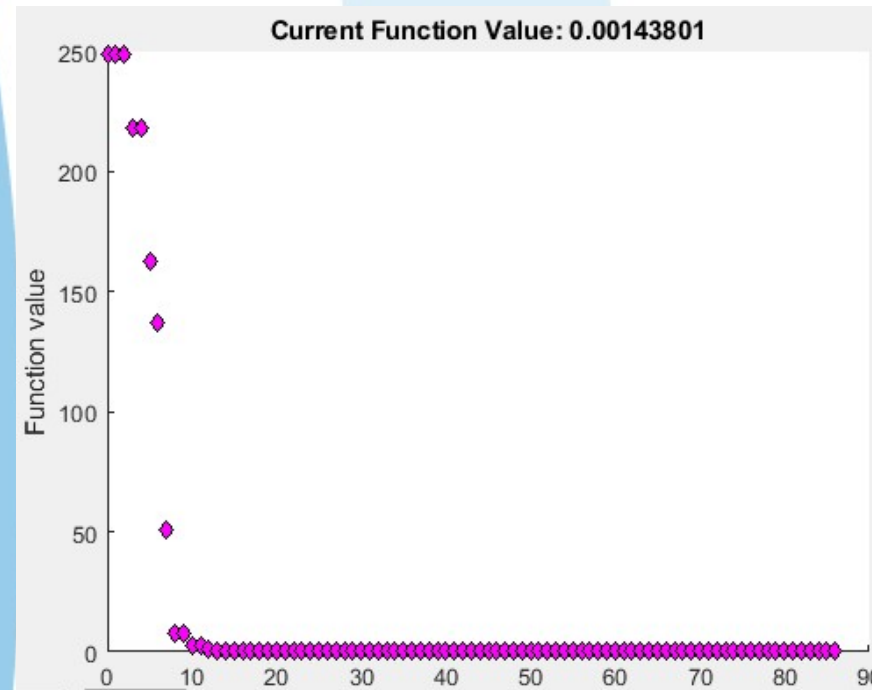
% Paramètres du modèle:
%-----
alpha = theta(1);
beta = theta(2);

% Simulation de la sortie du modèle:
%-----
ym = (alpha .* u(:,3) + beta) .* (u(:,1) - u(:,2));

% Paramètres de pondération
%-----
walpha = 100-99*((alpha >=param.alpha1) & (alpha <=param.alpha2));
wbeta = 100-99*((beta >=param.betal) & (beta <=param.beta2));

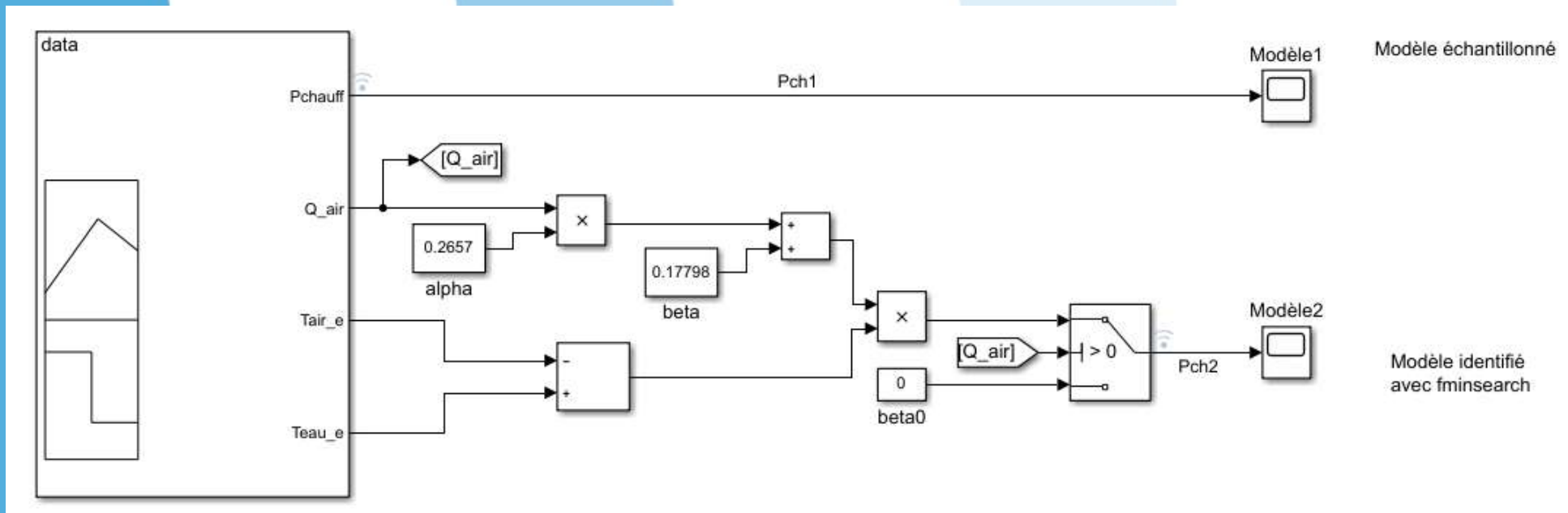
% Critère d'optimisation:
%-----
J = walpha * wbeta * sum( (y-ym').^2 /y);
```

c- Résultat de l'identification



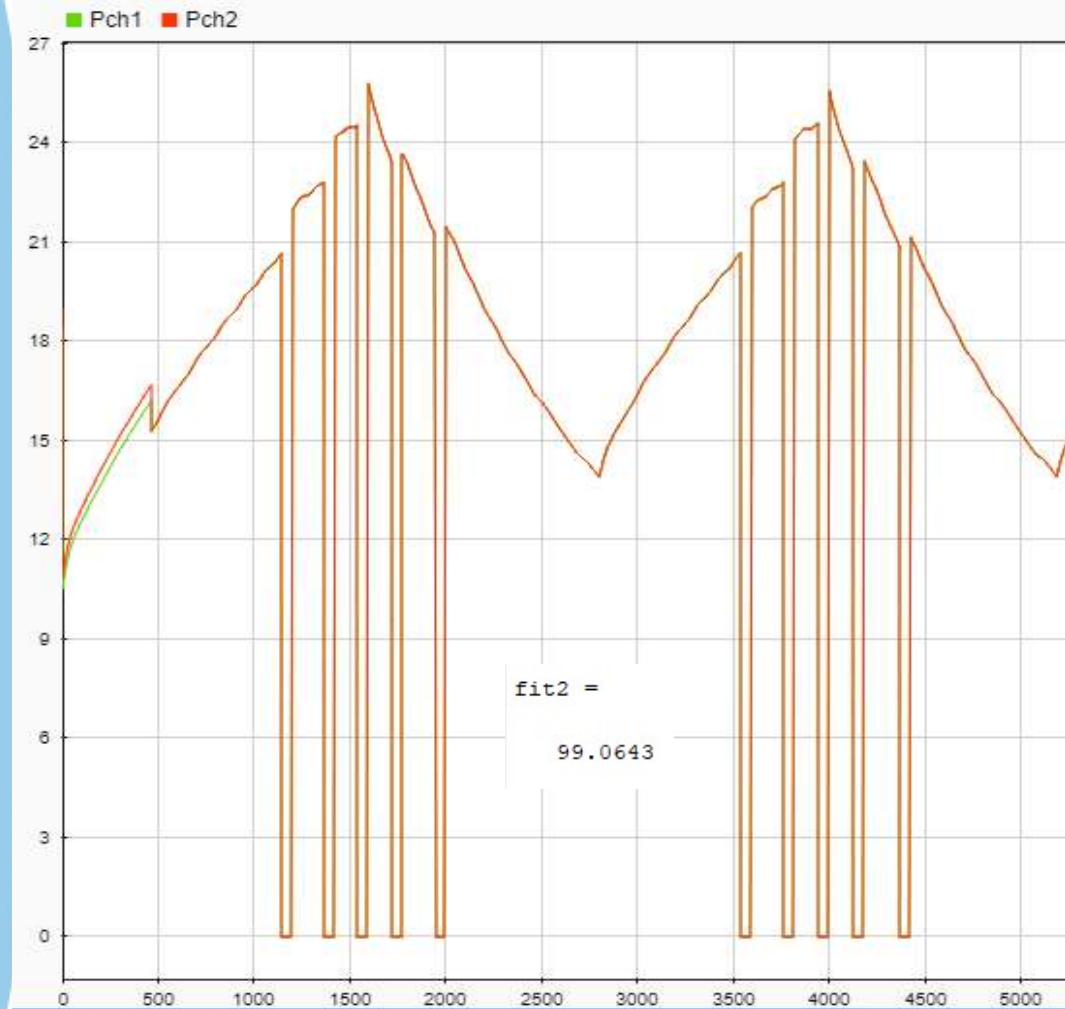
Optimization time:8.107
thetae = [0.2657 0.17798]

d- Evaluation du modèle réduit



d- Evaluation du modèle réduit

```
fit2 = 100 * (1- sum(abs(ye-y))/sum(abs(y-ymoy)))
```



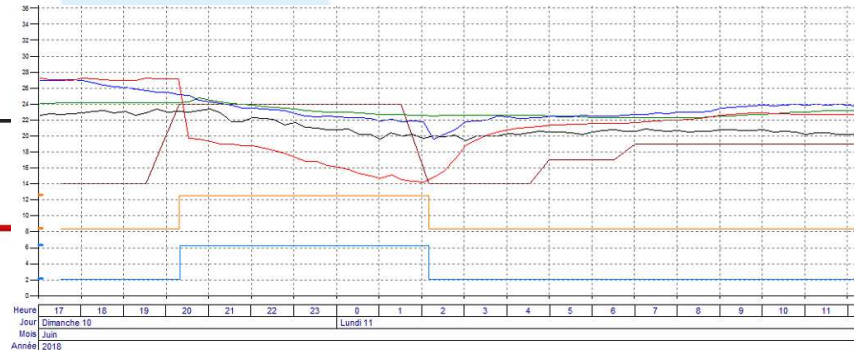
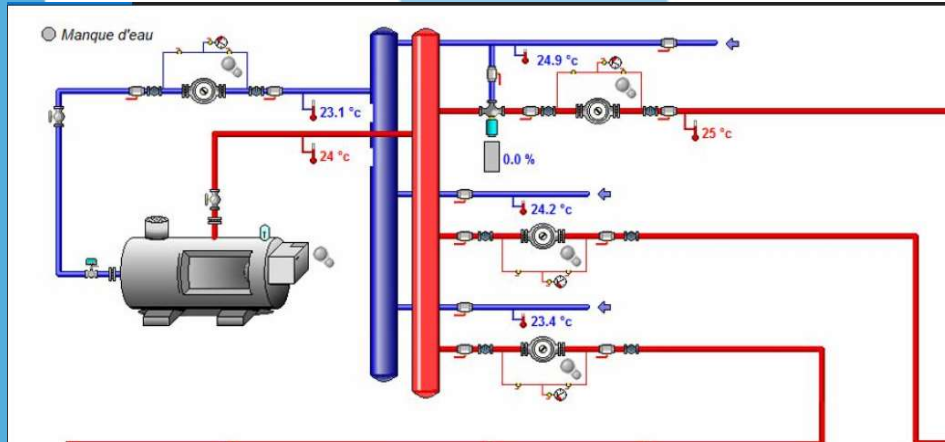
e- Contrôle de validité

Grande vitesse		Petite vitesse	
$\Delta T_{\text{eau-air}}$	35 °C	$\Delta T_{\text{eau-air}}$	35 °C
Q _{air} donné	3300 m ³ /h	Q _{air} donné	2860 m ³ /h
P _{chauf} donné	13,1 kW	P _{chauf} donné	12 kW
P _{chauf} trouvé Par calcul (*)	14,75 kW	P _{chauf} trouvé Par calcul (*)	13,62 kW

(*) $P_{\text{chauf}} = (0.2657 * Q_{\text{air}} + 0.17798) * (T_{\text{eau}} - T_{\text{air}})$

Valeurs calculées cohérentes en appliquant un rendement de ~88.5%

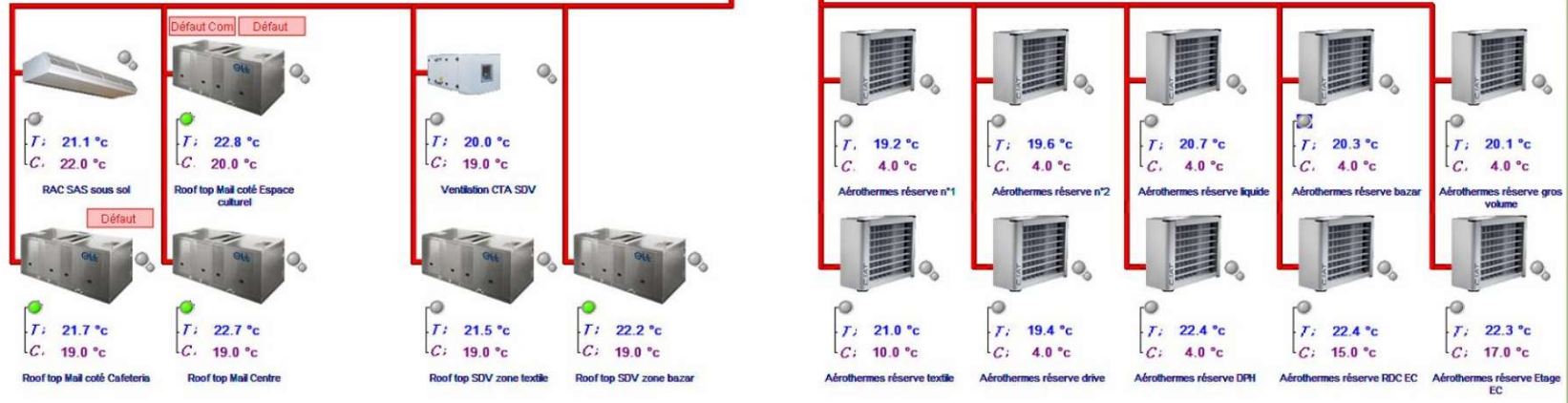
Cas d'application: Hypermarché Leclerc



Heure: Dimanche 10, Lundi 11
Mois: Juin
Année: 2018

Début -12H -6H 06/2018 +6H +12H +Jour

Initiële de l'information		Mini	Maxi	Moyen	Valeur	Date	Heure	En cours
<input checked="" type="checkbox"/>	Etat retour Roof top Mail Centre	Disparition	Apparition	*	Disparition	10/06/18	18:31	Disparition
<input checked="" type="checkbox"/>	Roof top Mail Centre	Disparition	Apparition	*	Disparition	10/06/18	18:31	Disparition
<input checked="" type="checkbox"/>	Com. Roof top Mail Centre	14.0 °C	24.0 °C	-	14.0 °C	10/06/18	18:31	19.0 °C
<input checked="" type="checkbox"/>	Température ambiante RT Mail centre	22.3 °C	24.0 °C	22.2 °C	24.2 °C	10/06/18	18:46	23.4 °C
<input checked="" type="checkbox"/>	Température air repris RT Mail centre	19.6 °C	27.1 °C	23.6 °C	26.2 °C	10/06/18	18:46	24.6 °C
<input checked="" type="checkbox"/>	Température soufflage RT Mail centre	14.2 °C	27.3 °C	21.4 °C	27.0 °C	10/06/18	18:46	23.1 °C
<input checked="" type="checkbox"/>	% position vanne 3 voies BEC RT Mail centre	0 %	0 %	0 %	0 %	10/06/18	18:51	0 %
<input checked="" type="checkbox"/>	T° extérieure	19.4 °C	23.4 °C	20.9 °C	22.9 °C	10/06/18	18:46	19.7 °C



→ Rajouter au modèle prototype :

- Solaire thermique avec ballon de stockage stratifié (chaudière en appoint)
- Intégrer les apports solaires au bâtiment (modèle prévisionnel d'irradiation de Rémy Vincent, 2019)
- Climatisation (Rooftop)
- Solaire photovoltaïque (avec stockage)

→ Rechercher les stratégies de gestion qui optimise les critères

- **Réduction des consommations**
- **Taux d'Autoconsommation**
- **Capacités d'effacement**