

# LES BOND GRAPHS POUR LA SUPERVISION EN GENIE DES PROCEDES

*K. MEDJAHER<sup>1</sup>, B. OULD BOUAMAMA<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Doctorant à l'Université des Sciences et Technologies de  
Lille*

*<sup>2</sup>Professeur à l'Ecole Polytechnique de Lille ([www.poltech-lille.fr](http://www.poltech-lille.fr))*

*Laboratoire d'Automatique, Génie Informatique et Signal  
(LAGIS - UMR CNRS 8021)*



# PLAN

- ⇒ Définition de la supervision
- ⇒ Place de la FDI et du diagnostic dans la supervision
- ⇒ Pourquoi les BGs pour la conception des systèmes de supervision ?
- ⇒ Algorithme de génération des RRAs
- ⇒ Exemple académique
- ⇒ Application industrielle
- ⇒ Conclusions et perspectives

# Définition de la supervision

- ⇒ **Supervision:** Indiquer les états indésirables ou non permis, maintenir un bon fonctionnement et éviter les accidents.
- ⇒ **Approche:** Supervision à base de modèle analytique
- ⇒ **Outil:** Bond graphs

# Les niveaux FDI et FTC de la Supervision



## SUPERVISION



**Comment détecter et localiser les défaillances ?**

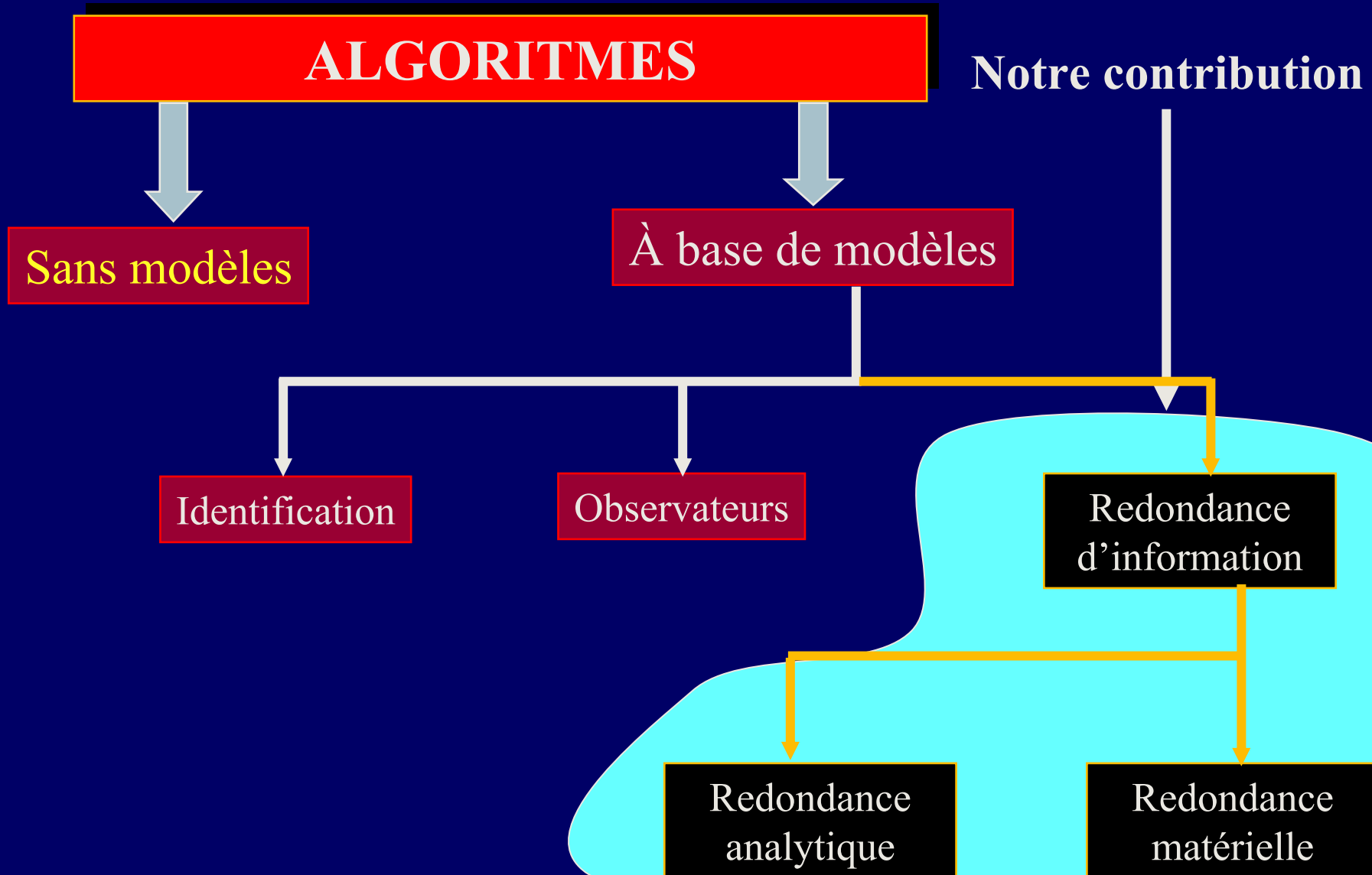
**FDI**



**Comment conduire le process en présence des défaillances ?**

**FTC**

# ALGORITHMES DE FDI



# Positionnement : bond graph et surveillance

**BOND GRAPH POUR LA MODELISATION (1961)**

**Commande (1990)**

**DIAGNOSTIC**

**Approche qualitative (1993)**

*Linkens, Mosterman, Kohda, ..*

**Approche quantitative (1995)**

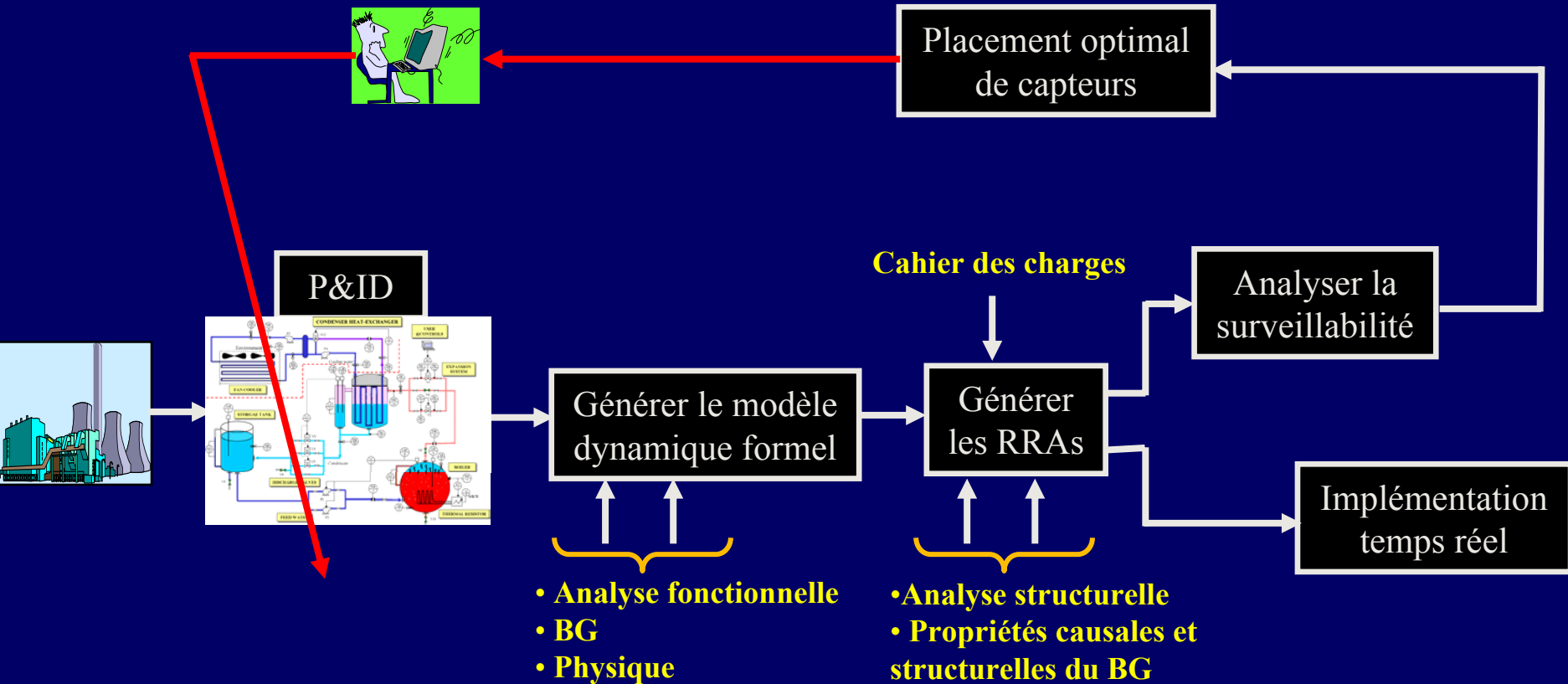
**Modèle Bond Graph monoénergie  
(Tagina 95)**

**Bond Graph à  
énergie couplée**

- ✓ Boucle ouverte
- ✓ Modèle linéaire
- ✓ Fautes capteurs et actionneurs

- ✓ Boucle fermée
- ✓ fautes capteurs, actionneurs et process
- ✓ Implémentation
- ✓ Conception de systèmes de supervision

# Etapes de conception du système de supervision



# Problématique

## ⇒ MODELISATION

- La modélisation est l'étape la plus importante dans un système de supervision
- L'obtention du modèle est la tâche la plus difficile
- Difficulté d'avoir le modèle sous une forme appropriée.

## ⇒ GENERATION DES RESIDUS

- Pour un système complexe l'élimination des variables inconnues n'est pas triviale par les méthodes classiques (Espace de parité, Analyse structurelle, etc.)
- Comment générer systématiquement et automatiquement les indicateurs de défauts ?

⇒ **OBJECTIF:** Construire une boîte à outils permettant la génération de modèles dynamiques, de RRAs, l'analyse de la surveillabilité et le placement de capteurs...

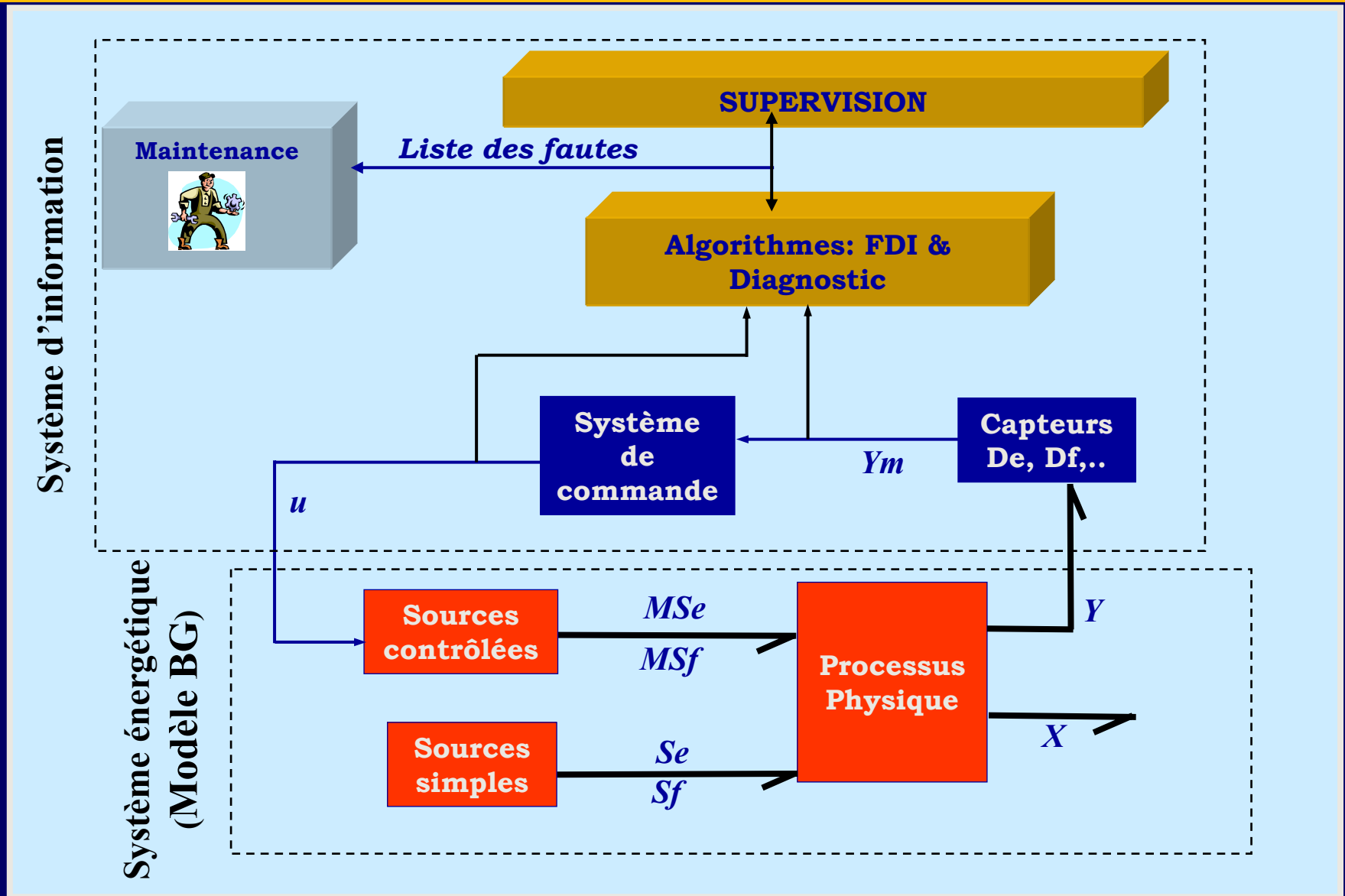
...**En utilisant les BOND GRPAHS**



# POURQUOI LES BOND GRAPHS

- ⇒ Représentation graphique de la structure du process
- ⇒ Un seul outil: Modélisation, Analyse, Synthèse, FDI
- ⇒ Causalité: Elimination des variables inconnues
- ⇒ Outils pour l'analyse structurelle (Commandabilité, Observabilité)
- ⇒ Génération systématique des RRA
- ⇒ Placement de capteurs

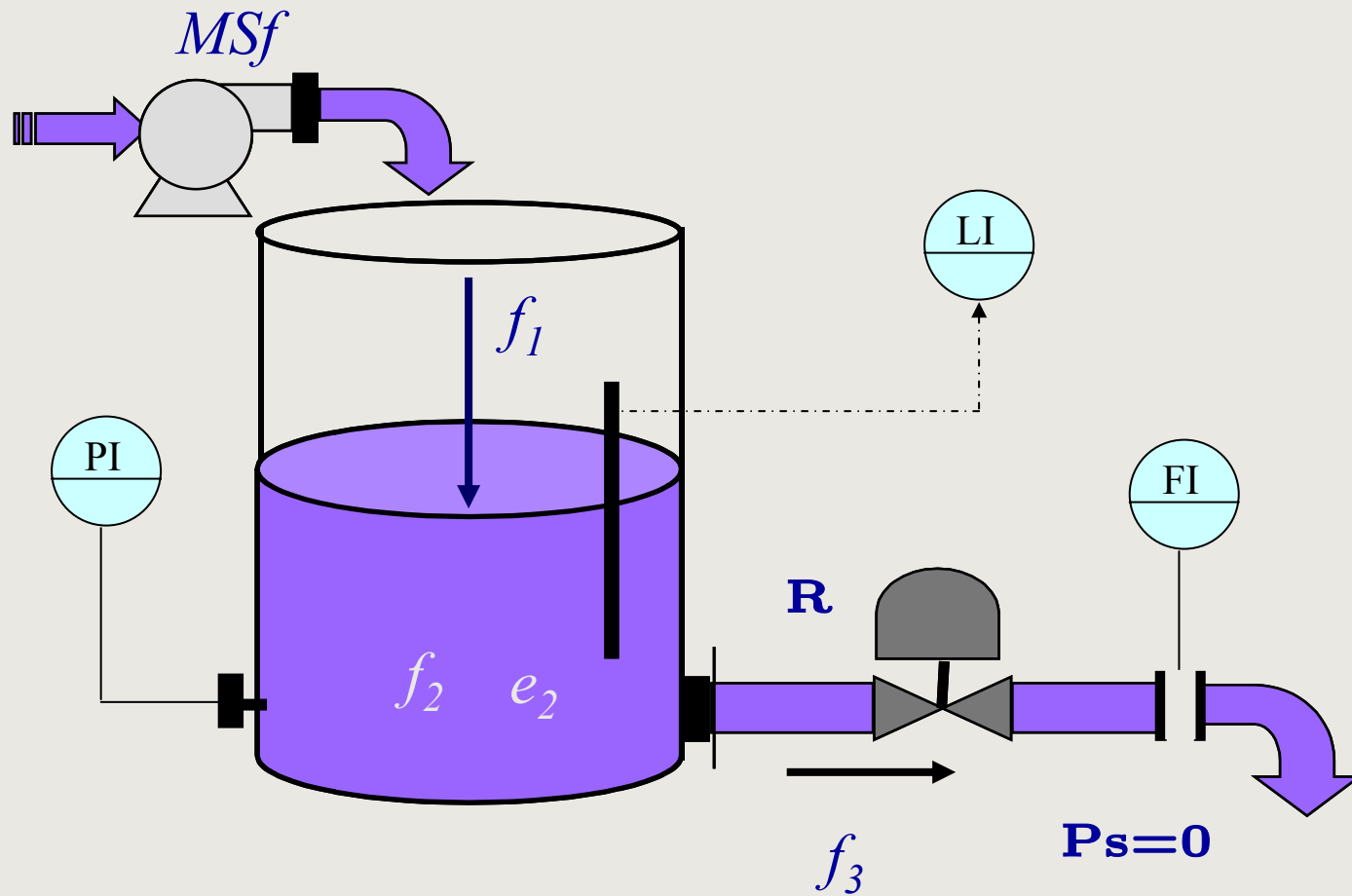
# Schéma de supervision du point de vue bond graphs



# Algorithme de génération des RRA

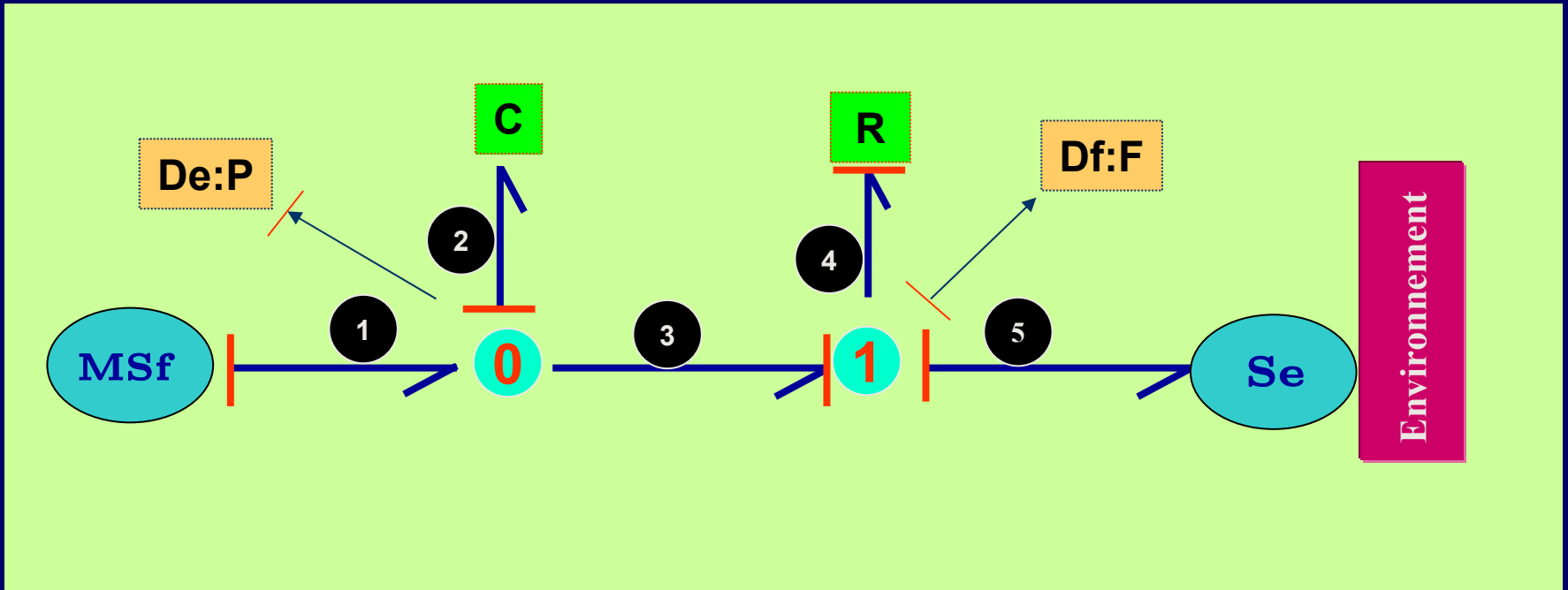
- ⇒ Mettre le modèle BG en causalité dérivée préférentielle
- ⇒ Inverser la causalité des détecteurs (si possible)
- ⇒ Pour les détecteurs dont la causalité est inversée une RRA est déduite en mettant sa variable 'faible' = 0
- ⇒ Pour les détecteurs dont la causalité ne peut pas être inversée une RRA est déduite en mettant sa variable 'forte' = mesure (redondance matérielle)
- ⇒ **Remarques:**
  - Pour un système observable, Nbre de RRA = Nbre de détecteurs
  - Les résidus obtenus sont structurellement indépendants

# Exemple d'application



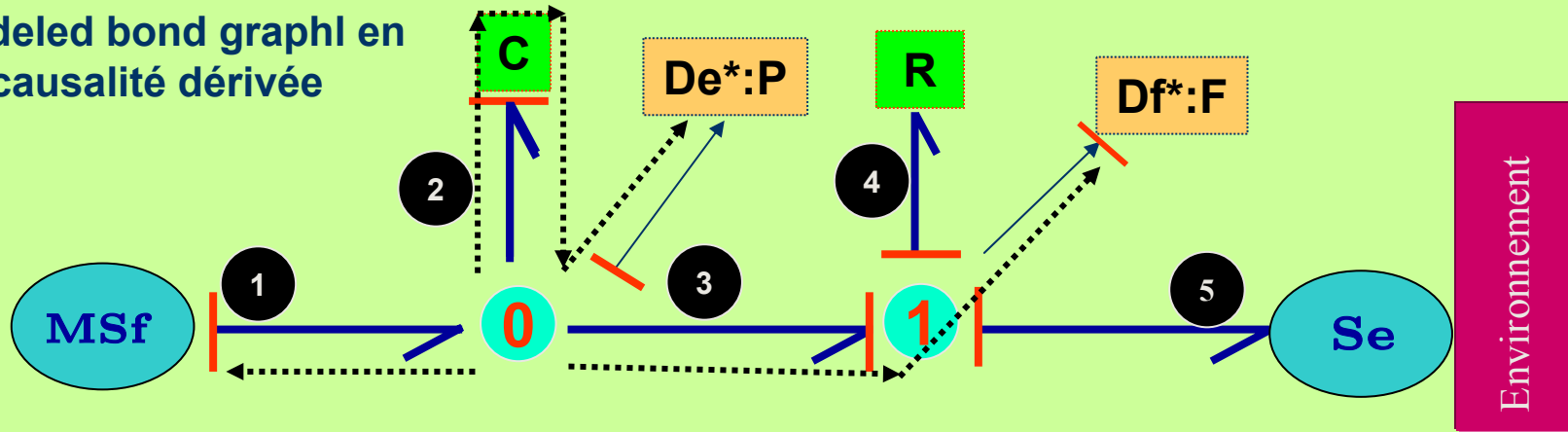
# Exemple d'application (suite)

Modèle bond graph en causalité intégrale



# Exemple d'application (suite)

Modelé bond graph en causalité dérivée



$$\Phi_{J0} : f_1 - f_3 - f_2 = De^* = 0 \Rightarrow X = \{f_1, f_3, f_2\}?$$

$$f_1? \rightarrow 1\text{-MSf} \rightarrow f_1 = MSf$$

$$f_2? \rightarrow 2\text{-C-2-De} \rightarrow f_2 = \Phi_c(d(De)/dt)$$

$$f_3? \rightarrow 3\text{-Df} \rightarrow f_3 = Df$$

$$ARR1 : MSf - Df - \Phi_c(d(De)/dt)$$

$$\Phi_{J1} : e_3 - e_4 - e_5 = Df^* = 0 \Rightarrow X = \{e_3, e_4, e_5\}?$$

$$e_3? \rightarrow 3\text{-De} \rightarrow e_3 = De$$

$$e_5? \rightarrow 5\text{-Se} \rightarrow e_5 = Se$$

$$e_4? \rightarrow 4\text{-R-4-Df} \rightarrow e_4 = \Phi_R(Df)$$

$$ARR2 : De - Se - \Phi_R(Df)$$

# Graphe biparti et approche bond graph

## Graph Biparti

**1) Elimination des variables inconnues par ordre sur le graphe**

**2) L'étape initiale pour générer les ARRs difficile à choisir**

## Bond graph

**1) Le parcours des chemins causaux sur le BG (et donc l'élimination des variables inconnues) dépend de la causalité affectée**

**2) Les ARRs se déduisent des lois de conservation "0" et "1" et du parcours des chemins causaux**

# Résultats

- ⇒ L'ensemble des contraintes et des variables inconnues et connues est directement déductible du modèle bond graph
- ⇒ Calcul systématique des RRAs
- ⇒ Possibilité de programmation de la méthode
- ⇒ Surveillance des actionneurs, des capteurs, des composants physiques du process et des contrôleurs
- ⇒ Placement de capteurs



# Automatisation de la procédure



**Quels sont les composants surveillables avec l'instrumentation existante ?**

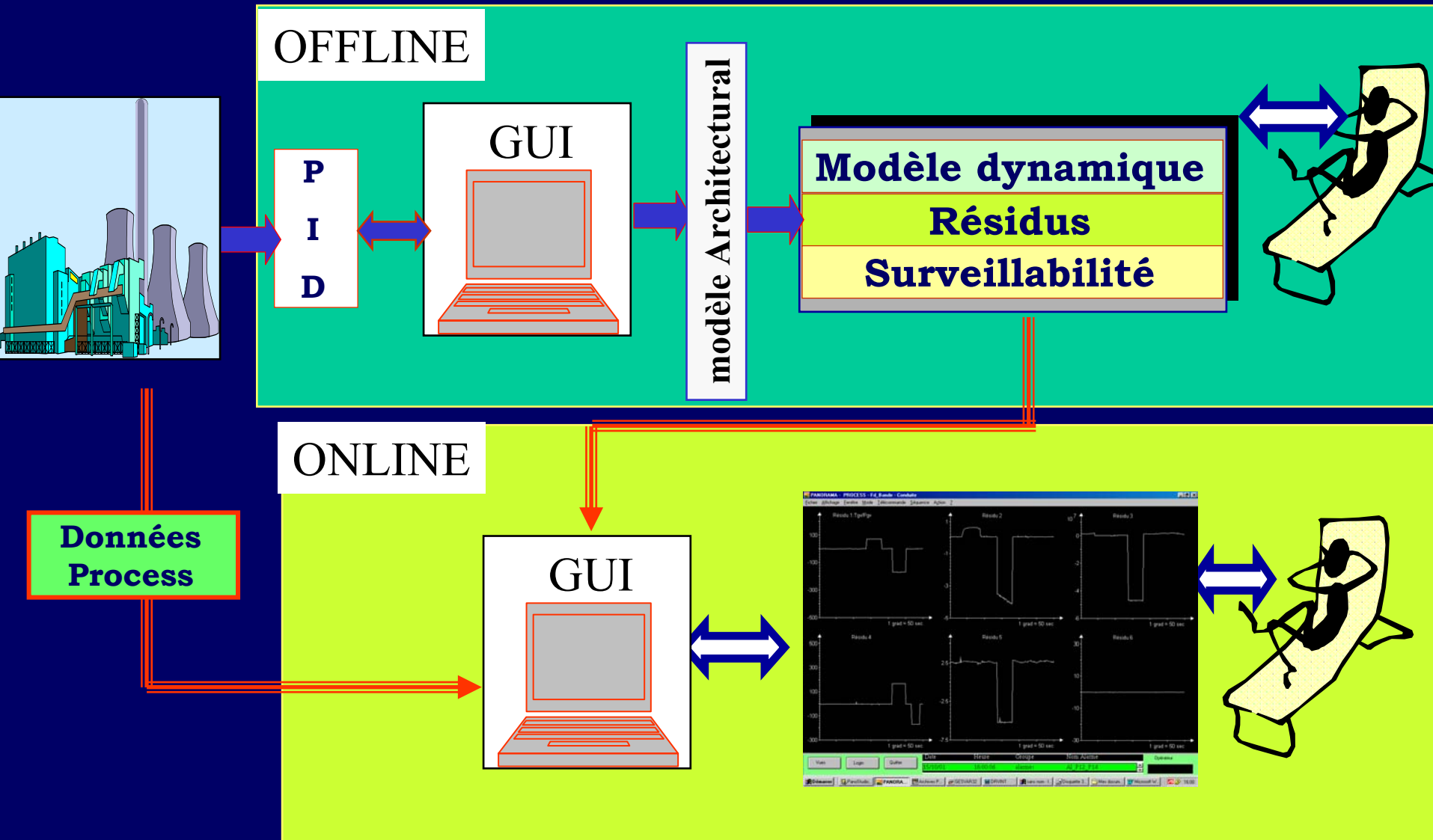
**Comment améliorer la surveillabilité en ajoutant des capteurs ?**

**Comment implémenter les algorithmes de FDI ?**

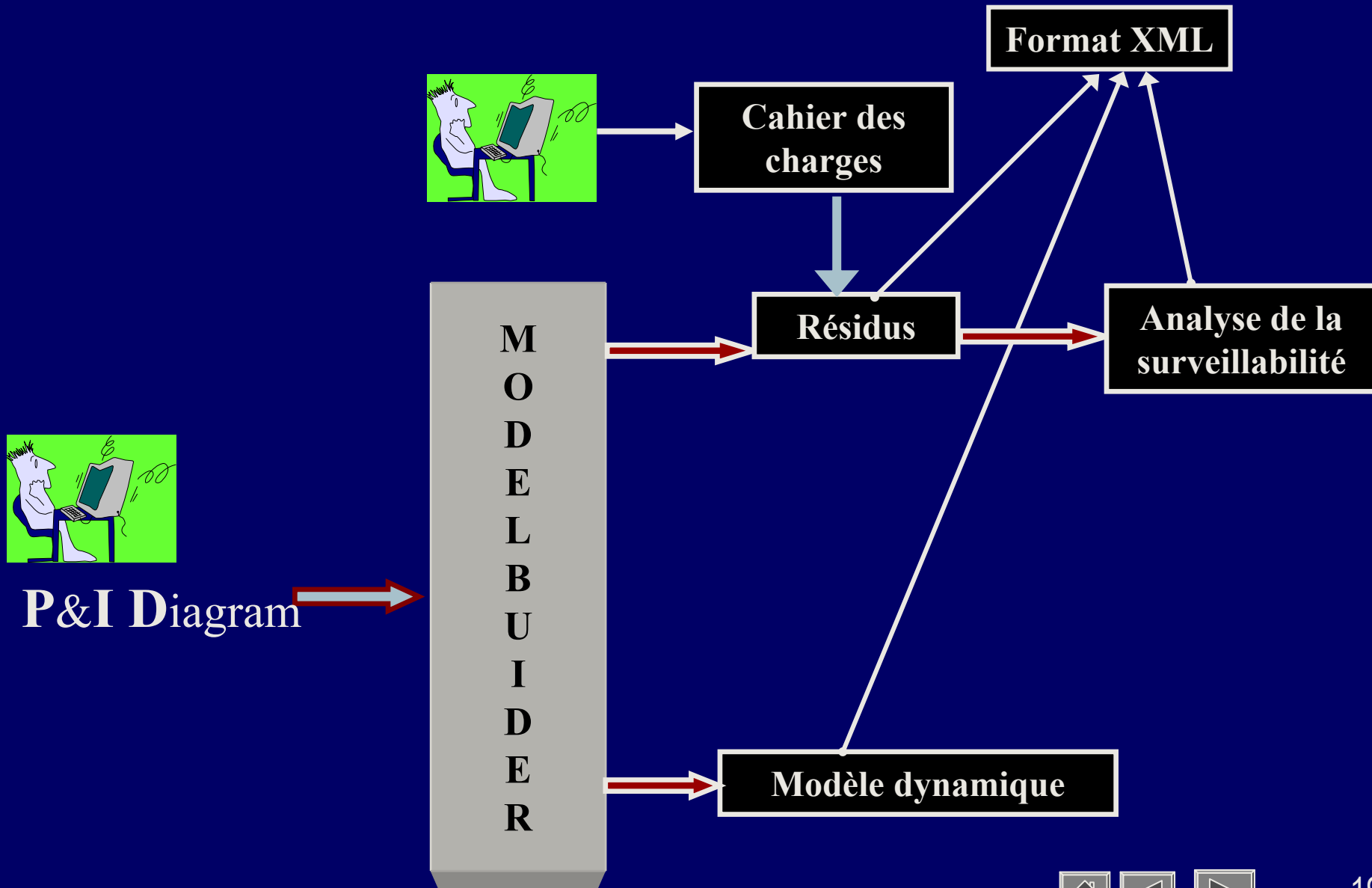
**Comment intégrer le tout dans une plate-forme de supervision ?**



# Comment ça marche



# Fonctionnalités



# ModelBuilder: Interface graphique

The screenshot displays the ModelBuilder software interface, titled "SYMBOLS FDIpad - [Two Tank]". The interface is divided into several sections:

- Left Panel (Capsules):** A library of components categorized under "Capsules". The "Sensor" category is highlighted, and a yellow box labeled "Bibliothèque de composants" points to it. Other categories include Process, Hydrothermal, Pipe, Tank, Valve, and Block Diagram.
- Top Panel:** Contains menu options (File, Edit, View, Options, Process, Window, Help) and a toolbar with various icons for file operations and editing.
- Central Panel (Modèle fonctionnel):** A graphical representation of a two-tank system. It includes a pump, two tanks, valves, and sensors. A yellow box labeled "Modèle fonctionnel" highlights this diagram.
- Bottom Panel (Modèle dynamique):** A code editor containing dynamic model equations. A yellow box labeled "Modèle dynamique" points to this section. The equations are:

```
ID1=Hc_SF1-De1_mu/De1_g/De1_Rho/Tank1_C2*Tank1_Q2
ID2=De2_mu/De2_g/De2_Rho/Tank2_C2*Tank2_Q2
ID3=Valve1_mu/Tank1_C2*Tank1_Q2-Valve1_mu/Tank2_C2*Tank2_Q2
ID4=Valve2_mu/Tank2_C2*Tank2_Q2-Valve2_mu*Env
ID5=PI_mu1*(PI_Kp*ID1+PI_Ki*intg(ID1))
Therm2_e2=Therm2_mu/Tank2_C1/(1/Tank2_C2*Tank2_Q2)*Tank2_Q1
Therm1_e2=Therm1_mu/Tank1_C1/(1/Tank1_C2*Tank1_Q2)*Tank1_Q1
Pump_f6=Pump_mu*MinMax(ID5,Pump_Min,Pump_Max)
De2_e2=De2_mu/De2_g/De2_Rho/Tank2_C2*Tank2_Q2
De1_e2=De1_mu/De1_g/De1_Rho/Tank1_C2*Tank1_Q2
Tank2_f1=-Tank2_SF31+1/Tank1_C1/(1/Tank1_C2*Tank1_Q2)*Tank1_Q1*Valve1_mu*Valve1_Cd*si
*OnOff_mu1*On_Off(ID2,OnOff_State,OnOff_Min,OnOff_Max)
-1/Tank2_C1/(1/Tank2_C2*Tank2_Q2)*Tank2_Q1*Valve2_mu*Valve2_Cd*sign(ID4)*sqr
Tank2_f2=Valve1_mu*Valve1_Cd*sign(ID3)*sqr(fabs(ID3))*OnOff_mu1*On_Off(ID2,OnOff_Sta
```

For Help, press F1

# ModelBuilder: Interface graphique

Residuals

Résidus

```

Arr1=mUp-PI_Kp*(hc-P1)-PI_Ki*intg(hc-P1)
Arr2=mUb-On_Off(P2,OnOff_State,OnOff_Min,OnOff_Max)
Arr3=-Valve1_Cd*sign(Rho*g*P1-Rho*g*P2)*sqrt(fabs(Rho*g*P1-Rho*g*P2))*mUb+mQp-Tank1_C2*ddt(Rho*g*P1)
Arr4=-Valve2_Cd*sign(Rho*g*P2-Po)*sqrt(fabs(Rho*g*P2-Po))*mUo+Valve1_Cd*sign(Rho*g*P1-Rho*g*P2)*sqrt(fabs(Rho*g*P1-Rho*g*P2))*mUb-Tank2_C2*ddt(Rho*g*P2)
Arr5=mQp-MinMax(mUp,Pump_Min,Pump_Max)
Arr6=-Tank1_C1*T1*ddt(Rho*g*P1)-Tank1_C1*Rho*g*P1*ddt(T1)+Pump_T*mQp-T1*Valve1_Cd*sign(Rho*g*P1-Rho*g*P2)*sqrt(fabs(Rho*g*P1-Rho*g*P2))*mUb
Arr7=-Tank2_C1*T2*ddt(Rho*g*P2)-Tank2_C1*Rho*g*P2*ddt(T2)+T1*Valve1_Cd*sign(Rho*g*P1-Rho*g*P2)*sqrt(fabs(Rho*g*P1-Rho*g*P2))*mUb-T2*Valve2_Cd*sign(Rho*g*P2-Po)*sqrt(fabs(Rho*g*P2-Po))*mUo
    
```

Monitorability Analysis

	M <sub>b</sub>	I <sub>b</sub>	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
mUp	1	1	1	0	0	0	1	0	0
mUb	1	0	0	1	1	1	0	1	1
P1	1	1	1	0	1	1	0	1	1
P2	1	0	0	1	1	1	0	1	1
mQp	1	1	0	0	1	0	1	1	0
T1	1	1	0	0	0	0	0	1	1
T2	1	1	0	0	0	0	0	0	1
PI	1	1	1	0	0	0	0	0	0
OnOff	1	1	0	1	0	0	0	0	0
Tank1	1	1	0	0	1	0	0	1	0
Valve1	1	1	0	0	1	1	0	1	1
Tank2	1	0	0	0	0	1	0	0	1
Valve2	1	0	0	0	0	1	0	0	1
Pump	1	1	0	0	0	0	1	1	0

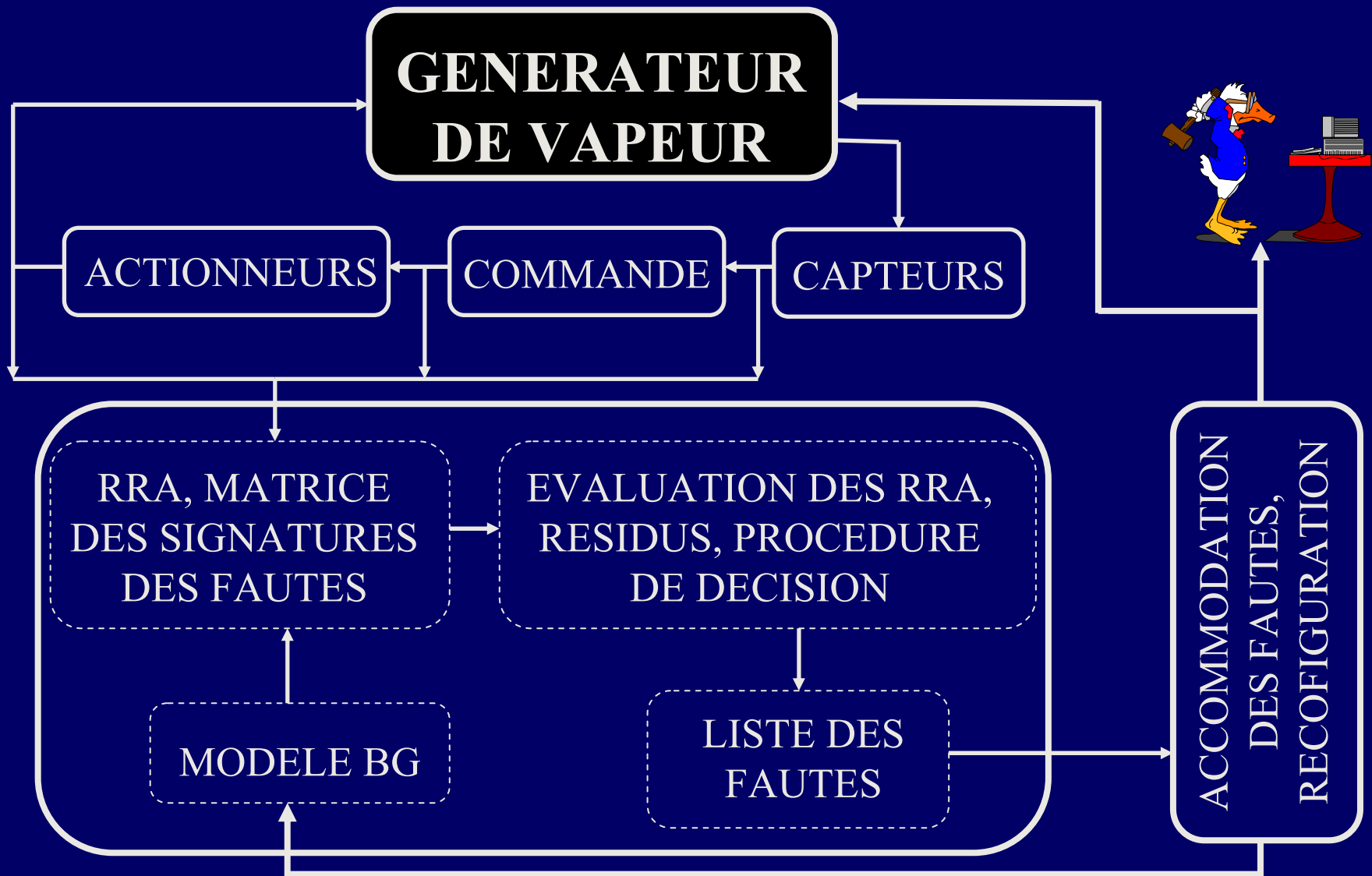
Matrice de signature de fautes

Equations Expressions Structural FDI

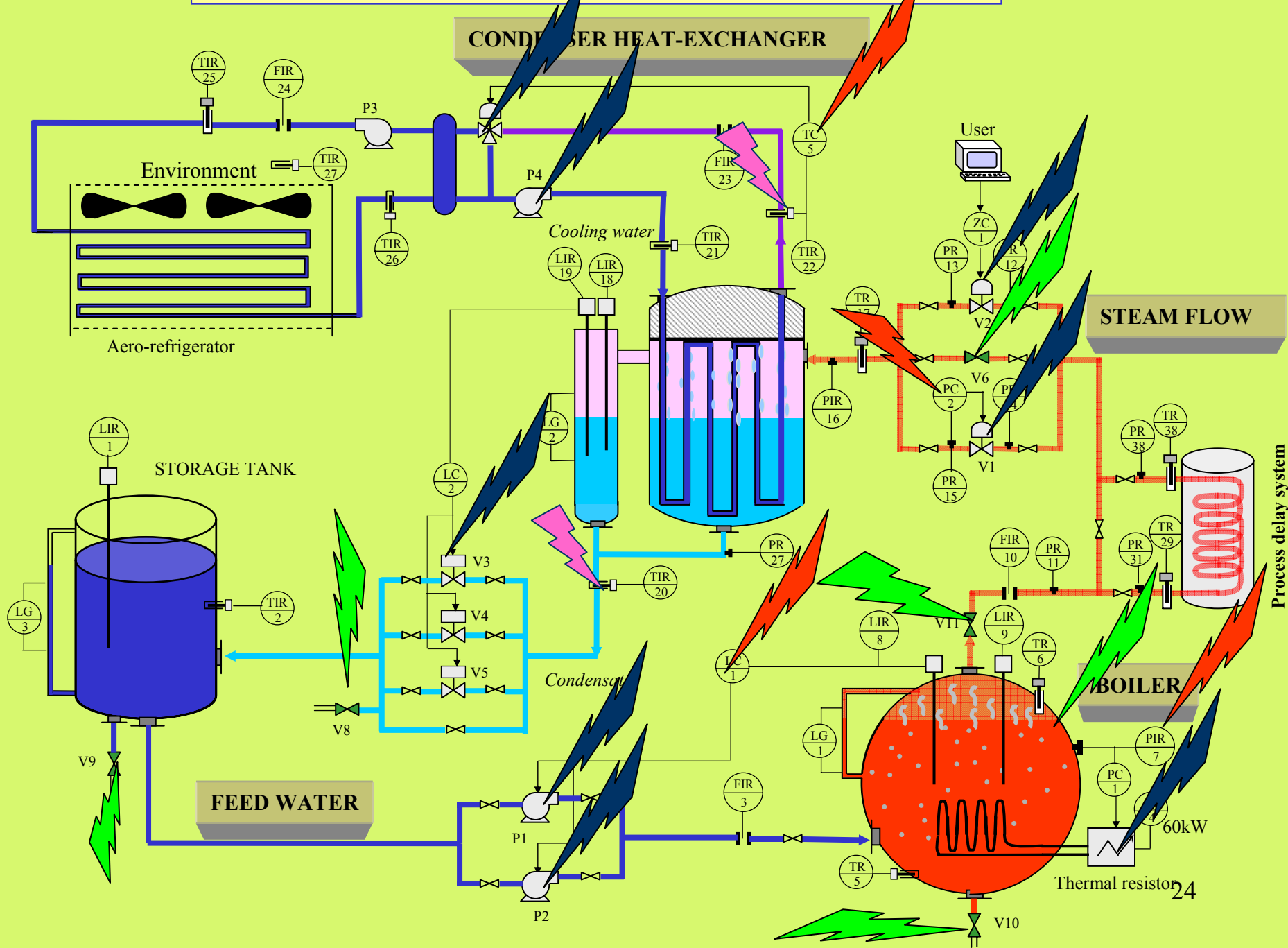
# Application à un générateur de vapeur



# Schéma de supervision

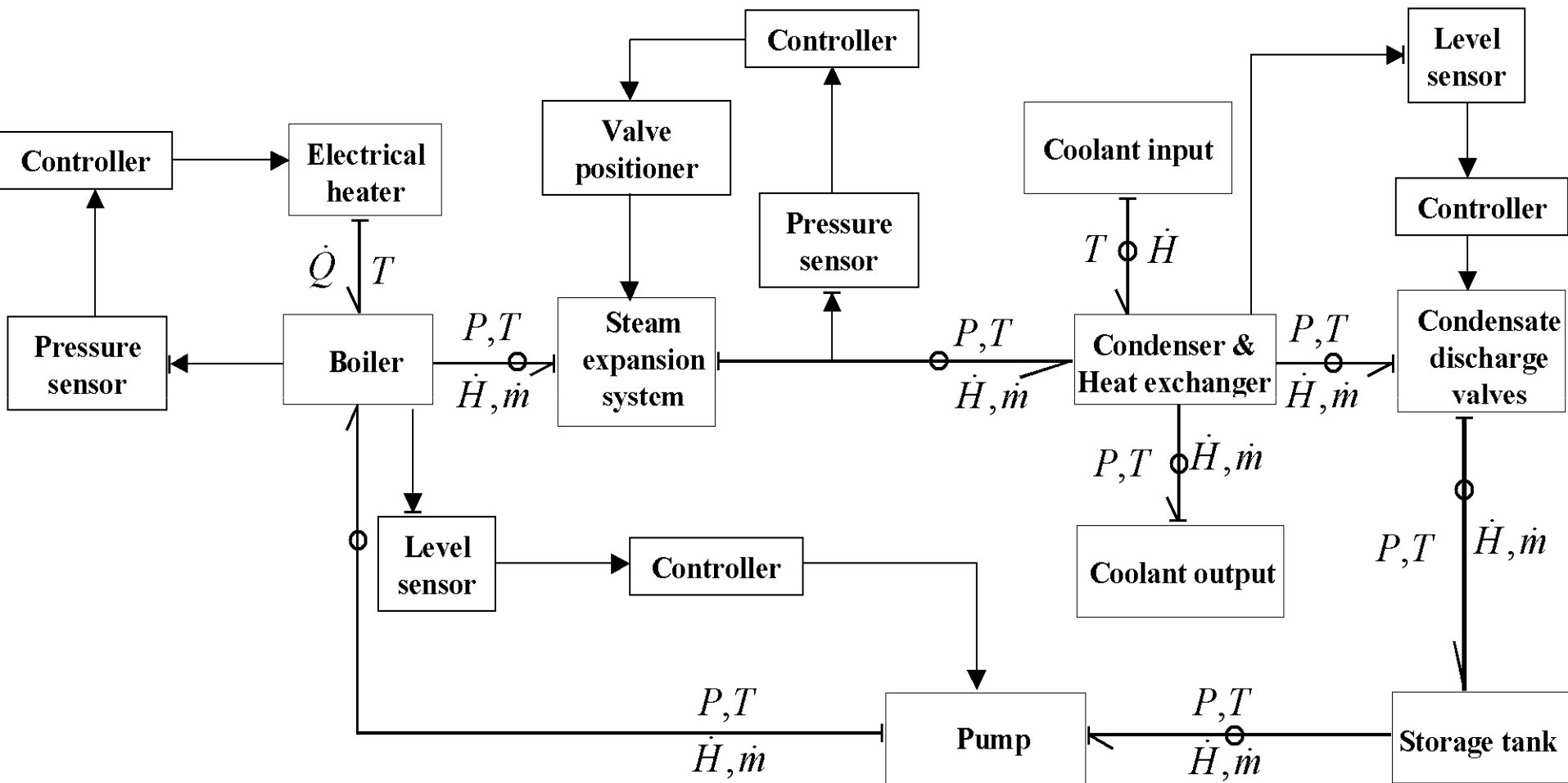


# STEAM GENERATOR P & I DIAGRAM

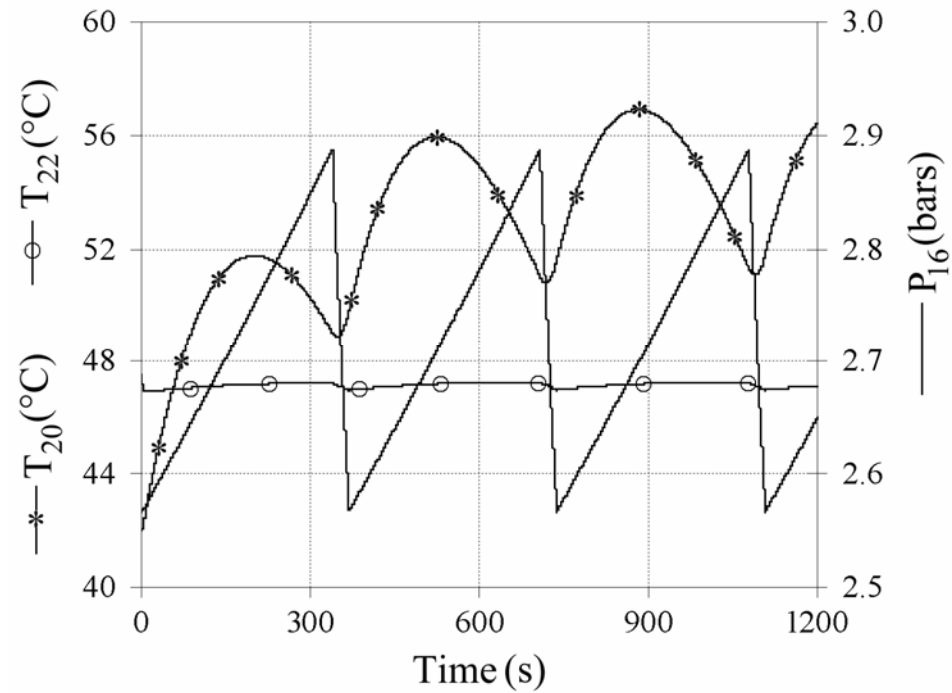
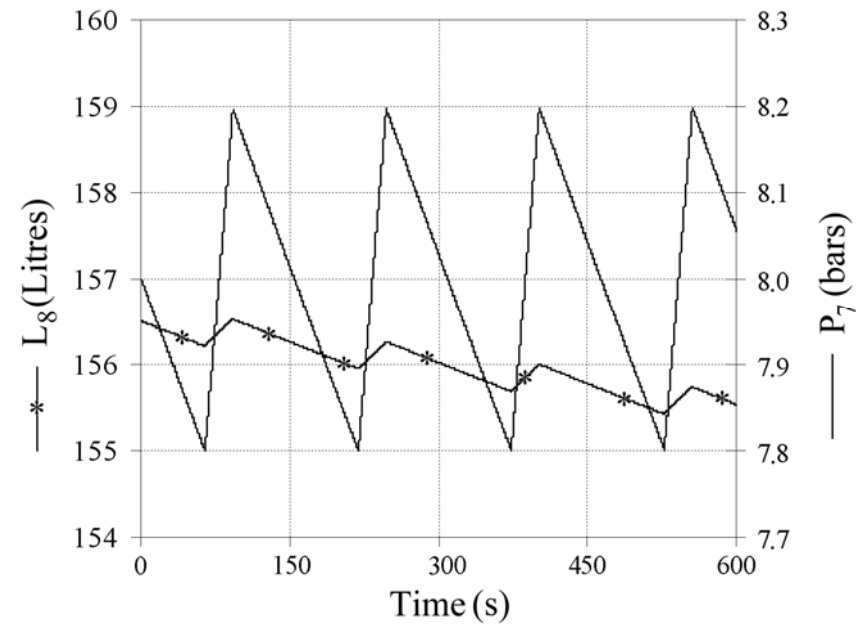




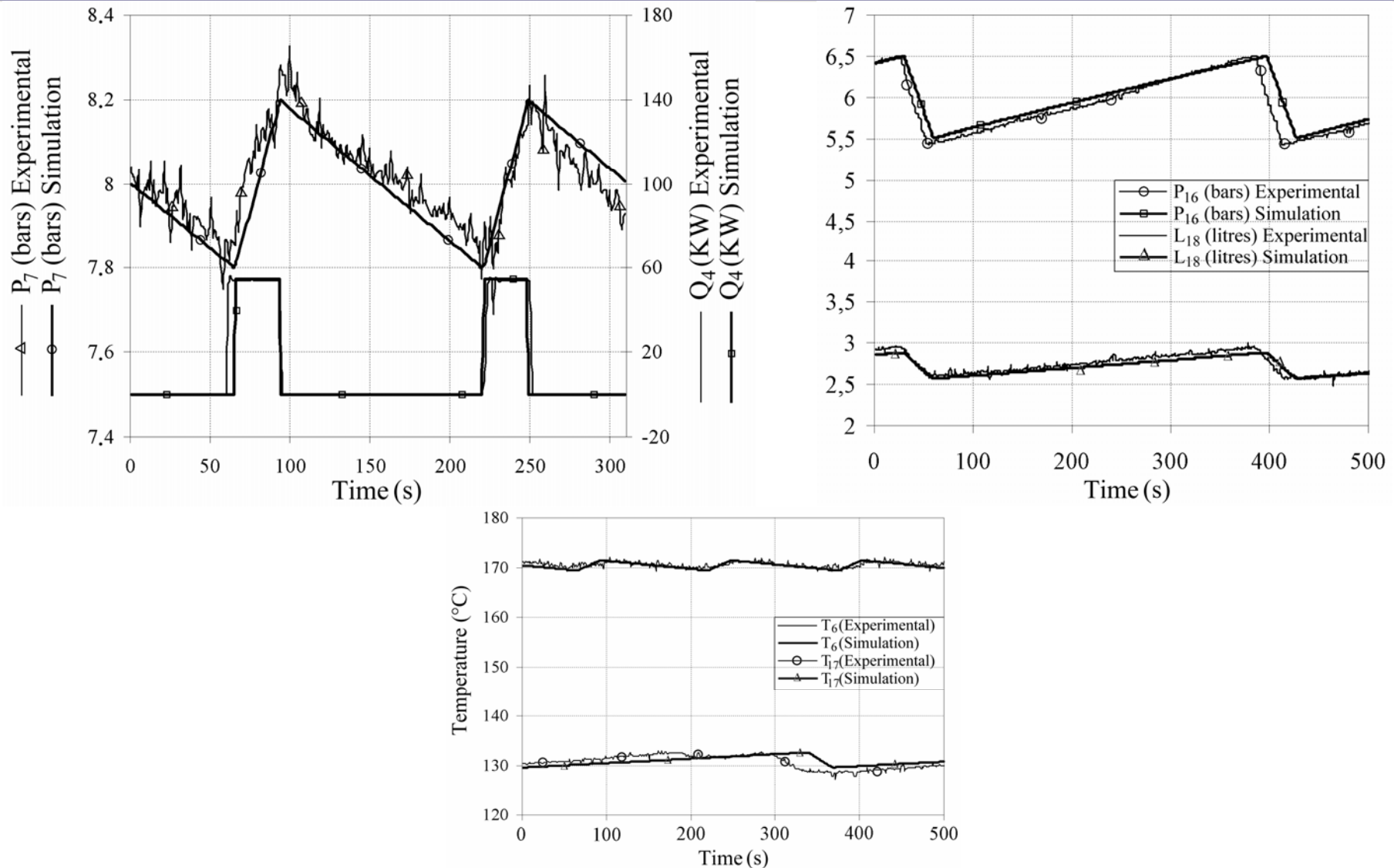
# Bond graph à mots du GV



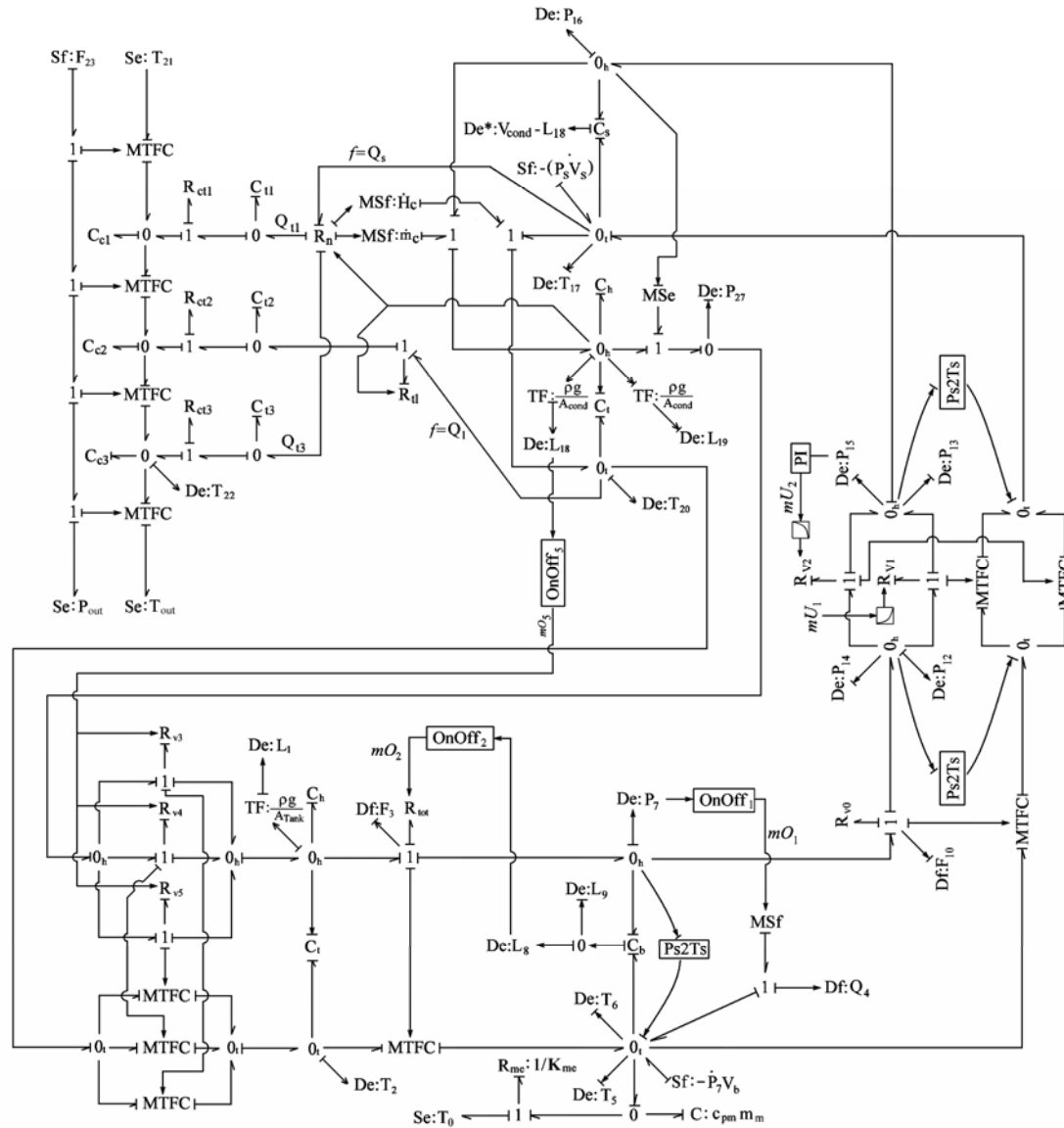
# Validation du modèle dynamique du GV



# Validation du modèle (suite)



# Génération des RRAs



# Les RRAs obtenues

$$ARR_1 : (V_3_{Cd} + V_4_{Cd} + V_5_{Cd}) \sqrt{P_{16} + \rho \cdot g \cdot \frac{L_{18}}{A_{Cond}} - P_0 - \rho \cdot g \cdot \frac{L_1}{A_{Tank}}} \cdot mO_5 - F_3 - \rho \cdot s(L_1) = 0$$

$$ARR_2 : c_p \cdot T_{20} \cdot (V_3_{Cd} + V_4_{Cd} + V_5_{Cd}) \sqrt{P_{16} + \rho \cdot g \cdot \frac{L_{18}}{A_{Cond}} - P_0 - \rho \cdot g \cdot \frac{L_1}{A_{Tank}}} \cdot mO_5$$

$$-T_2 \cdot c_p \cdot F_3 - T_2 \cdot \rho \cdot s(L_1) - \rho \cdot L_1 \cdot s(T_2) = 0$$

$$ARR_3 : F_3 - \frac{(V_7_{Cd})^2}{2 \cdot K_1} \cdot mO_2 + \frac{V_7_{Cd} \cdot \sqrt{(V_7_{Cd})^2 - 4 \cdot K_1 \cdot \left( K_2 + K_1 \cdot \left( P_7 - P_0 - \rho \cdot g \cdot \frac{L_1}{A_{Tank}} \right) \right)}}{2 \cdot K_1} \cdot mO_2 = 0$$

$$ARR_4 : F_3 - F_{10} - s \left( \frac{(V_{boiler} - L_8)}{\nu_v(P_7)} + \frac{L_8}{\nu_l(P_7)} \right) = 0$$

$$ARR_5 : F_3 \cdot c_p \cdot T_2 - F_{10} \cdot h_v(P_7) - \lambda \cdot (Ps2Ts(P_7) - T_0) + Q_4 - s \left( \begin{array}{l} \frac{L_8}{\nu_l(P_7)} \cdot h_l(P_7) + \frac{(V_{boiler} - L_8)}{\nu_v(P_7)} \cdot h_v(P_7) \\ -P_7 \cdot V_{boiler} + c_{pm} \cdot m_m \cdot Ps2Ts(P_7) \end{array} \right) = 0$$



# Les RRAs obtenues (suite)

$$ARR_6 : Q_4 - W_p \cdot mO_1 = 0$$

$$ARR_7 : F_{10} - V_{0\_} C_d \cdot \sqrt{P_{12}} \cdot \sqrt{P_7 - P_{12}} \cdot \Phi_e(mU_0) = 0$$

$$ARR_8 : F_{10} - \sqrt{P_{16}} \cdot \sqrt{P_{12} - P_{16}} \cdot (V_{1\_} C_d \cdot \Phi_e(mU_1) + V_{2\_} C_d \cdot \Phi_e(mU_2)) = 0$$

$$ARR_9 : [V_{1\_} C_d \cdot \Phi_e(mU_1) + V_{2\_} C_d \cdot \Phi_e(mU_2)] \sqrt{P_{16}} \cdot \sqrt{P_{12} - P_{16}} - \rho \cdot s(L_{18}) - s(\rho_v(P_{16})(V_{Cond} - L_{18})) \\ - (V_{3\_} C_d + V_{4\_} C_d + V_{5\_} C_d) \sqrt{P_{16} + \rho \cdot g \cdot \frac{L_{18}}{A_{Cond}} - P_0 - \rho \cdot g \cdot \frac{L_1}{A_{Tank}}} \cdot mO_5 = 0$$

$$ARR_{10} : -s \left( \begin{array}{l} (V_{Cond} - L_{18}) \cdot \frac{h_v(P_{16})}{\nu_v(P_{16})} + \rho \cdot c_p \cdot T_{20} \cdot L_{18} \\ -P_{16} \cdot V_{Cond} + c_{pCond} \cdot Mt_{Cond} \cdot T_{17} \end{array} \right) - F_{23} \cdot c_p \cdot (T_{21} - T_{22}) \\ + h_v(P_{12}) \cdot [V_{1\_} C_d \cdot \Phi_e(mU_1) + V_{2\_} C_d \cdot \Phi_e(mU_2)] \cdot \sqrt{P_{16}} \cdot \sqrt{P_{12} - P_{16}} \\ - (V_{3\_} C_d + V_{4\_} C_d + V_{5\_} C_d) \cdot \sqrt{P_{16} + \rho \cdot g \cdot \frac{L_{18}}{A_{Cond}} - P_0 - \rho \cdot g \cdot \frac{L_1}{A_{Tank}}} \cdot mO_5 \cdot c_p \cdot T_{20} = 0$$

# Les RRA obtenues (suite)

$$ARR_{11} : mO_1 - \mathbf{OnOff}_1(P_{7\_ref}, P_7) = 0$$

$$ARR_{12} : mO_2 - \mathbf{OnOff}_2(L_{8\_ref}, L_8) = 0$$

$$ARR_{13} : mU_2 - \mathbf{PI}(P_{15\_ref}, P_{15}) = 0$$

$$ARR_{14} : mO_5 - \mathbf{OnOff}_5(-L_{18\_ref}, -L_{18}) = 0$$

$$ARR_{15} : T_5 - T_6 = 0$$

$$ARR_{16} : T_6 - \mathbf{Ps2Ts}(P_7) = 0$$

$$ARR_{17} : P_{12} - P_{14} = 0$$

$$ARR_{18} : P_{16} - P_{13} = 0$$

$$ARR_{19} : P_{16} - P_{15} = 0$$

$$ARR_{20} : P_{16} + \rho.g.\frac{L_{18}}{A_{Cond}} - P_{27} = 0$$

$$ARR_{21} : T_{17} - \mathbf{Ps2Ts}(P_{16}) = 0$$

$$ARR_{22} : L_{19} - L_{18} = 0$$

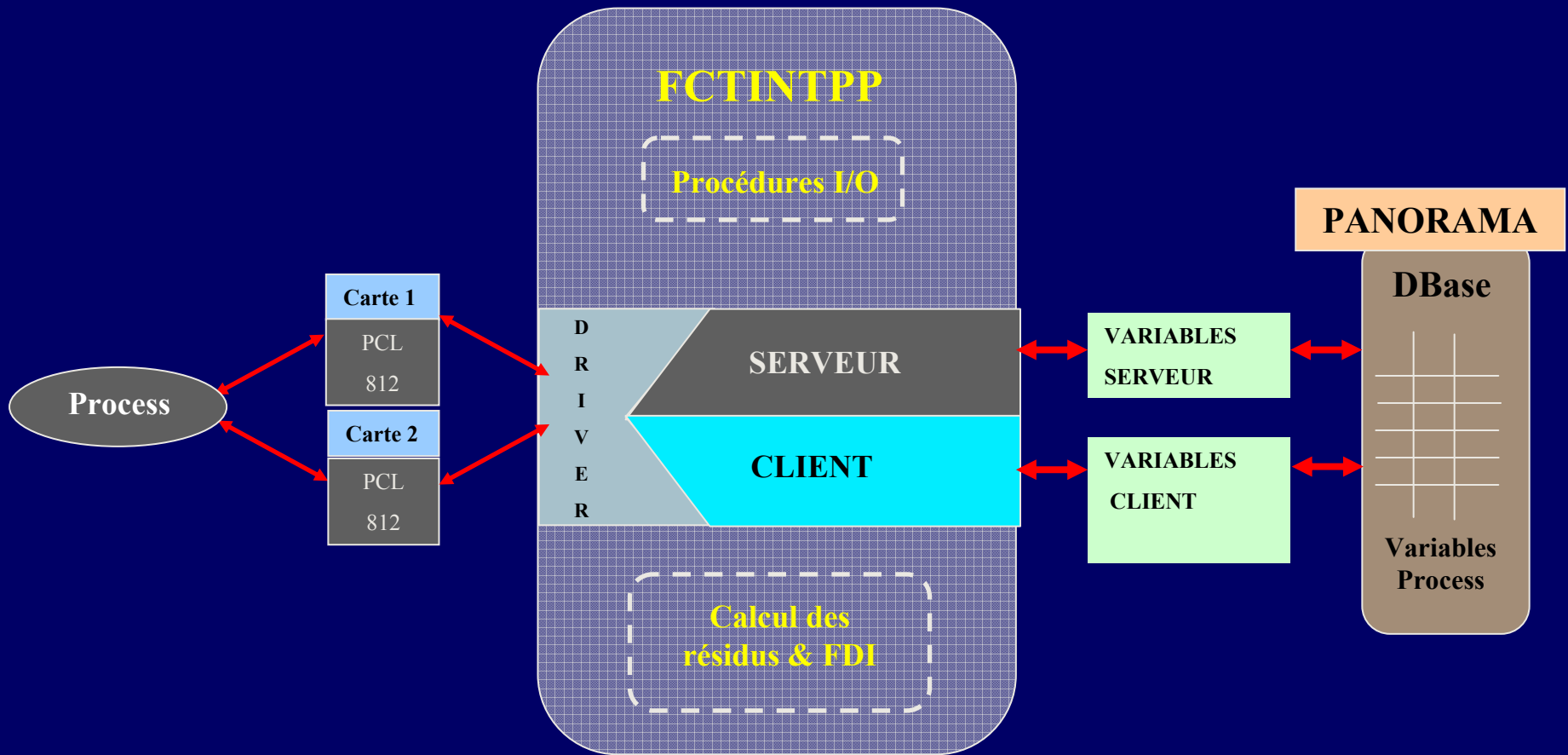
$$ARR_{23} : L_8 - L_9 = 0$$

# Surveillabilité

	D <sub>b</sub>	I <sub>b</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>	R <sub>5</sub>	R <sub>6</sub>	R <sub>7</sub>	R <sub>8</sub>	R <sub>9</sub>	R <sub>10</sub>	R <sub>11</sub>	R <sub>12</sub>	R <sub>13</sub>	R <sub>14</sub>	R <sub>15</sub>	R <sub>16</sub>	R <sub>17</sub>	R <sub>18</sub>	R <sub>19</sub>	R <sub>20</sub>	R <sub>21</sub>	R <sub>22</sub>	R <sub>23</sub>	
L <sub>1</sub>	1	0	1	1																						
T <sub>2</sub>	1	1		1			1																			
F <sub>3</sub>	1	1	1	1	1	1	1																			
L <sub>8</sub>	1	1				1	1																			1
L <sub>9</sub>	1	1																								1
P <sub>7</sub>	1	1			1	1	1		1									1								
Q <sub>4</sub>	1	1					1	1																		
T <sub>5</sub>	1	1															1									
T <sub>6</sub>	1	1														1	1									
F <sub>10</sub>	1	1				1	1		1	1																
P <sub>12</sub>	1	1							1	1	1	1								1						
P <sub>13</sub>	1	1																			1					
P <sub>14</sub>	1	1																		1						
P <sub>15</sub>	1	1																				1				
P <sub>16</sub>	1	1	1	1						1	1	1									1	1	1	1		
T <sub>17</sub>	1	1																						1		
L <sub>18</sub>	1	1									1	1											1		1	
L <sub>19</sub>	1	1																							1	
P <sub>27</sub>	1	1																				1				
T <sub>20</sub>	1	1		1								1														
Tank	1	0	1	1																						
Pump	1	1			1																					
Boiler	1	1				1	1																			
Condenser	1	1									1	1														
Heater	1	1						1																		
OnOff <sub>1</sub>	1	1											1													
OnOff <sub>2</sub>	1	1												1												
OnOff <sub>5</sub>	1	1														1										
PI	1	1													1											
V <sub>0</sub>	1	1							1																	
V <sub>1</sub>	1	0								1	1	1														
V <sub>2</sub>	1	0								1	1	1														
V <sub>3</sub>	1	0	1	1							1	1														
V <sub>4</sub>	1	0	1	1							1	1														
V <sub>5</sub>	1	0	1	1							1	1														



# Implémentation



# Implémentation (suite)

PanoStudio - [C:\PANDRAMA\USERS\GV\_2000\_10 - Synoptique GENERAL]

Fichier Edition Affichage Fenêtre Aide

C:\PANDRAMA\USERS\GV\_2000\_10

- Utilisateurs
- Base de données
- Process
  - Synoptiques
    - Accueil
    - ALARMES
    - archives
    - Courb\_R1
    - Courb\_R2
    - Courb\_R3
    - Courb\_R4
    - Fd\_Bande
    - GENERAL**
    - GV
    - MENU
    - Selec\_ca
    - T\_P\_L\_F
    - Titre\_Bd
  - Actions
  - Recettes
  - Alarms
    - Fenêtres d'alarme
    - Modèles
  - Groupe général
    - alarmes
  - Instanciateurs

The diagram illustrates a process control system for a water tank and condenser. Key components include:

- Water Tank:** L1 (0.0 litres), T2 (0.0 °C), V3, V4, V5 (Commands).
- Condenser:** L18 (0.0 litres), L19 (0.0 litres), T20 (0.0 °C), P27 (0.0 bars).
- Fan cooler:** T25 (0.0 °C), F24 (0.0 l/h), T26 (0.0 °C), T27 (0.0 °C).
- Pumps and Flow:** Pump 1 (PUMP), P16 (0.0 bars), F23 (0.0 l/h), P13 (0.0 bars), P12 (0.0 bars), P15 (0.0 bars), P14 (0.0 bars), V1 (0.0), V2 (0.0).
- Temperatures:** T21 (0.0 °C), T22 (0.0 °C), T17 (0.0 °C).

**Regulation Parameters...**

P7 Setpoint:	0.0	V1	0.0
L8 Setpoint:	0.0	<input type="checkbox"/>	L19 controller fault
P15 Setpoint:	0.0	<input type="checkbox"/>	P7 controller fault
L18 Setpoint:	0.0		

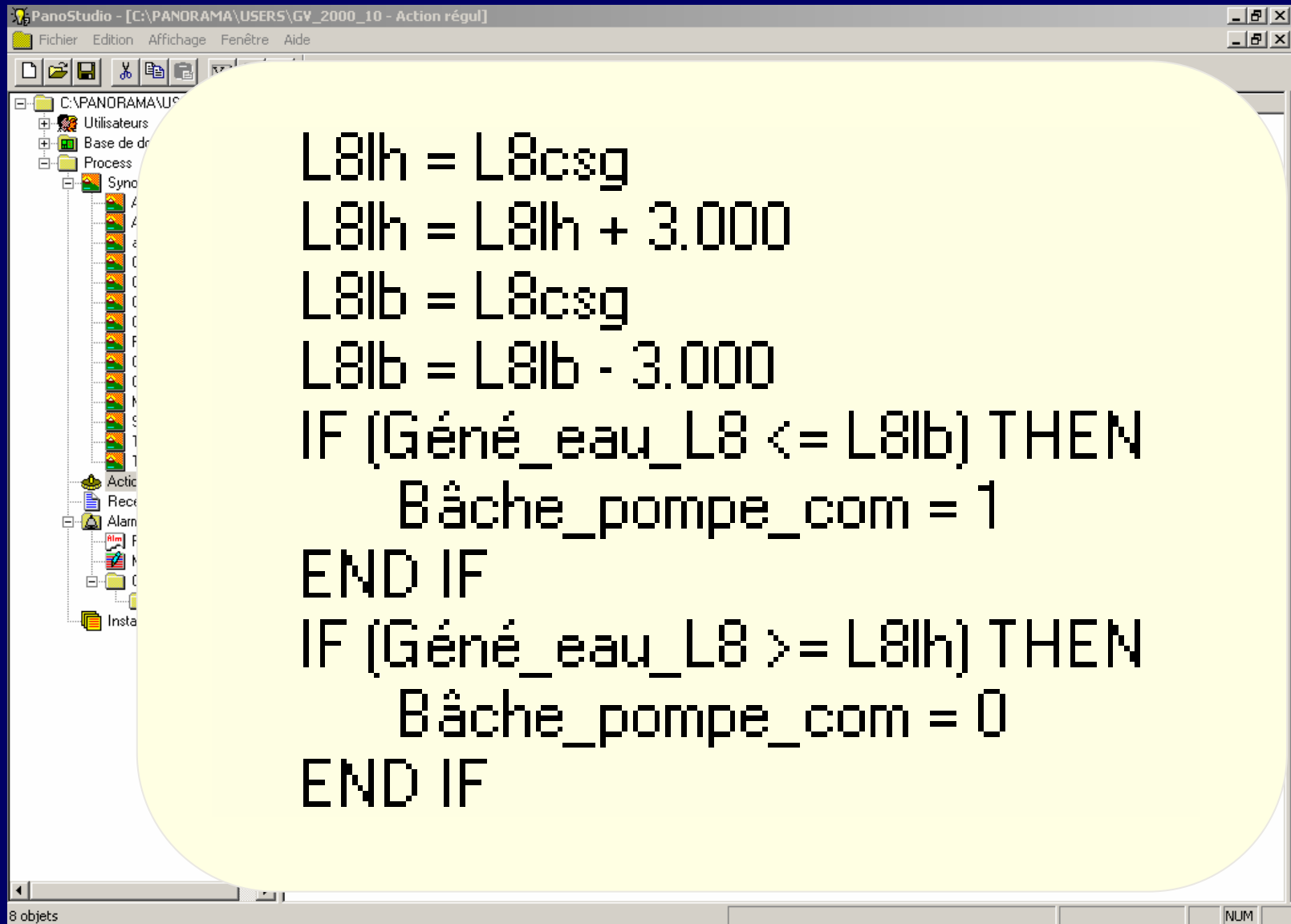
Start/Stop Control loop **In Operation...**

L8 0.0 litres  
L9 0.0 litres

Manual command to start pump

0 objet

# Implémentation (suite)



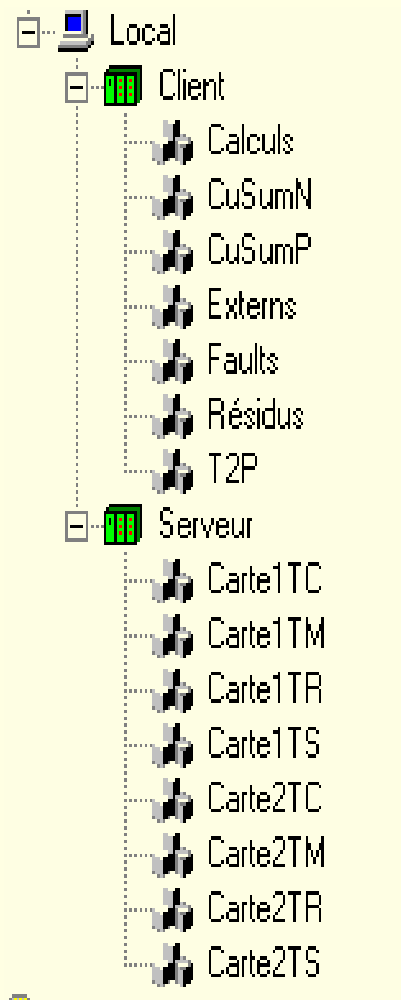
The screenshot shows the PanoStudio application window. The title bar reads "PanoStudio - [C:\PANORAMA\USERS\GV\_2000\_10 - Action régul]". The menu bar includes "Fichier", "Edition", "Affichage", "Fenêtre", and "Aide". The toolbar contains icons for file operations. On the left, a tree view shows a folder structure under "C:\PANORAMA\USERS\GV\_2000\_10", including "Utilisateurs", "Base de données", "Process", "Syno", and "Actio". A large yellow rounded rectangle is overlaid on the main workspace, containing the following code:

```
L8lh = L8csg  
L8lh = L8lh + 3.000  
L8lb = L8csg  
L8lb = L8lb - 3.000  
IF (Géné_eau_L8 <= L8lb) THEN  
    Bâche_pompe_com = 1  
END IF  
IF (Géné_eau_L8 >= L8lh) THEN  
    Bâche_pompe_com = 0  
END IF
```

At the bottom left of the window, it says "8 objets". At the bottom right, there is a "NUM" field and navigation icons.



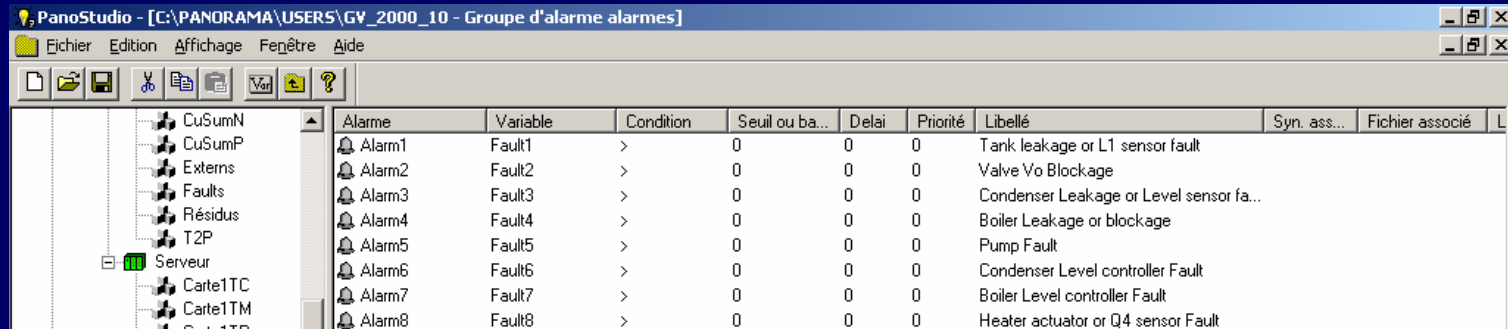
# Implémentation (suite)



Var	Dét_var2_in_P12	Procédé	TM	Serveur	Carte2TM	7
Var	Dét_var2_out_P13	Procédé	TM	Serveur	Carte2TM	8
Var	Dét_var2_Pouvert	Procédé	TR	Serveur	Carte1TR	0
Var	Dét_var2_V2	Procédé	TS	Serveur	Carte1TS	0
Var	Dét_vap_calc_P11	Procédé	TM	Serveur	Carte2TM	11
Var	Dét_vap_F10	Procédé	TM	Serveur	Carte2TM	6
Var	Ech_eau_F23	Procédé	TM	Serveur	Carte1TM	4
Var	Ech_in_eau_T21	Procédé	TM	Serveur	Carte1TM	2
Var	Ech_out_eau_T22	Procédé	TM	Serveur	Carte1TM	3
Var	Ext1	Procédé	TC	Client	Externs	0
Var	Ext2	Procédé	TC	Client	Externs	1
Var	Ext3	Procédé	TC	Client	Externs	2
Var	Ext4	Procédé	TC	Client	Externs	3
Var	Ext5	Procédé	TC	Client	Externs	4
Var	Ext6	Procédé	TC	Client	Externs	5
Var	Ext7	Procédé	TC	Client	Externs	6
Var	Ext8	Procédé	TC	Client	Externs	7

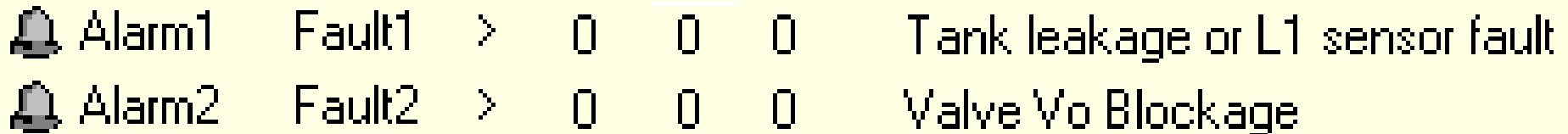




# Implémentation (suite)

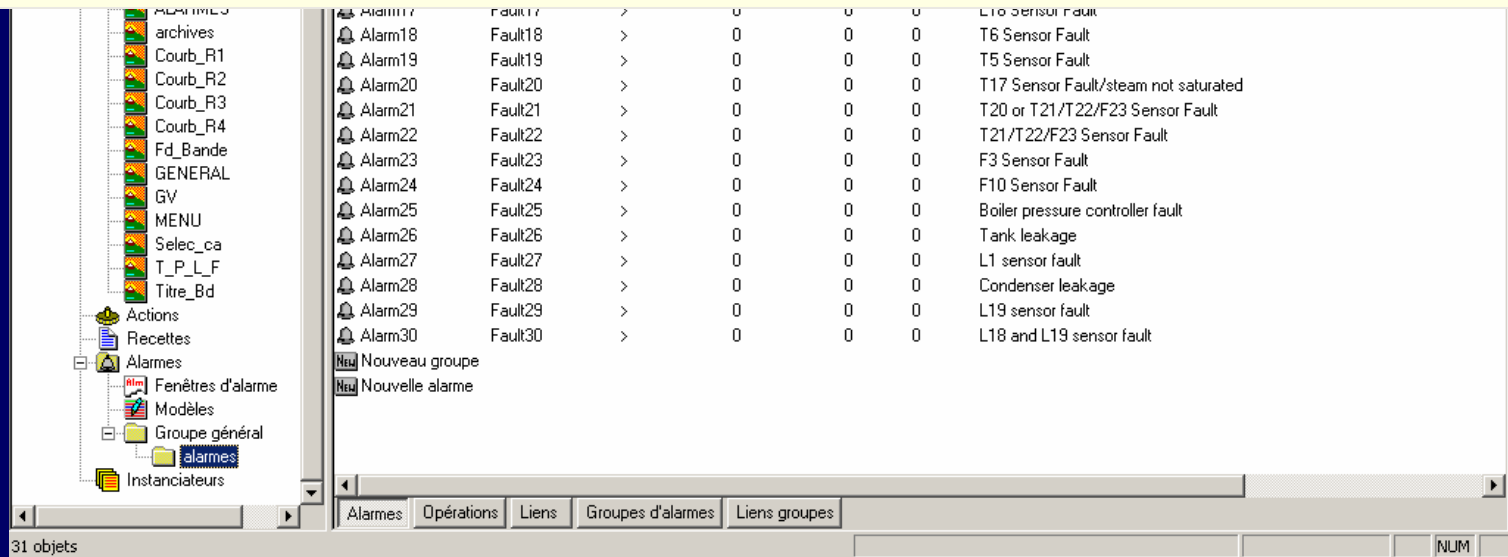


PanoStudio - [C:\PANORAMA\USERS\GV\_2000\_10 - Groupe d'alarme alarmes]

Alarme	Variable	Condition	Seuil ou ba...	Delai	Priorité	Libellé	Syn. ass...	Fichier associé	L
Alarm1	Fault1	>	0	0	0	Tank leakage or L1 sensor fault			
Alarm2	Fault2	>	0	0	0	Valve Vo Blockage			
Alarm3	Fault3	>	0	0	0	Condenser Leakage or Level sensor fa...			
Alarm4	Fault4	>	0	0	0	Boiler Leakage or blockage			
Alarm5	Fault5	>	0	0	0	Pump Fault			
Alarm6	Fault6	>	0	0	0	Condenser Level controller Fault			
Alarm7	Fault7	>	0	0	0	Boiler Level controller Fault			
Alarm8	Fault8	>	0	0	0	Heater actuator or Q4 sensor Fault			



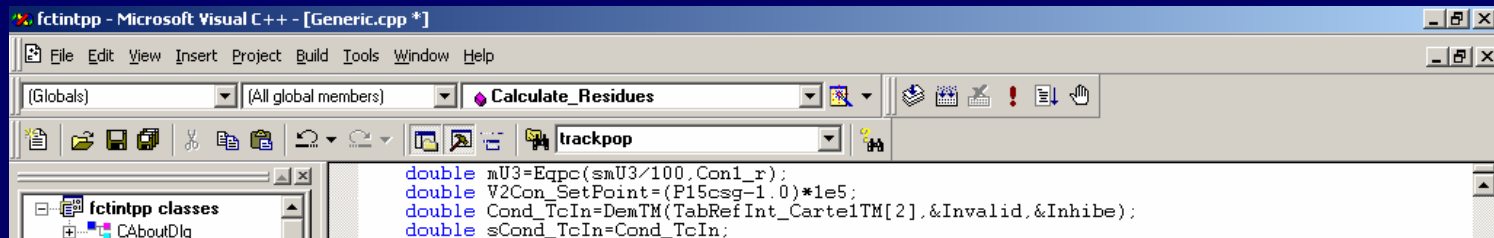
	Alarm1	Fault1	>	0	0	0	Tank leakage or L1 sensor fault
	Alarm2	Fault2	>	0	0	0	Valve Vo Blockage



Alarm17	Fault17	>	0	0	0	L16 Sensor Fault			
Alarm18	Fault18	>	0	0	0	T6 Sensor Fault			
Alarm19	Fault19	>	0	0	0	T5 Sensor Fault			
Alarm20	Fault20	>	0	0	0	T17 Sensor Fault/steam not saturated			
Alarm21	Fault21	>	0	0	0	T20 or T21/T22/F23 Sensor Fault			
Alarm22	Fault22	>	0	0	0	T21/T22/F23 Sensor Fault			
Alarm23	Fault23	>	0	0	0	F3 Sensor Fault			
Alarm24	Fault24	>	0	0	0	F10 Sensor Fault			
Alarm25	Fault25	>	0	0	0	Boiler pressure controller fault			
Alarm26	Fault26	>	0	0	0	Tank leakage			
Alarm27	Fault27	>	0	0	0	L1 sensor fault			
Alarm28	Fault28	>	0	0	0	Condenser leakage			
Alarm29	Fault29	>	0	0	0	L19 sensor fault			
Alarm30	Fault30	>	0	0	0	L18 and L19 sensor fault			
Nouveau groupe									
Nouvelle alarme									

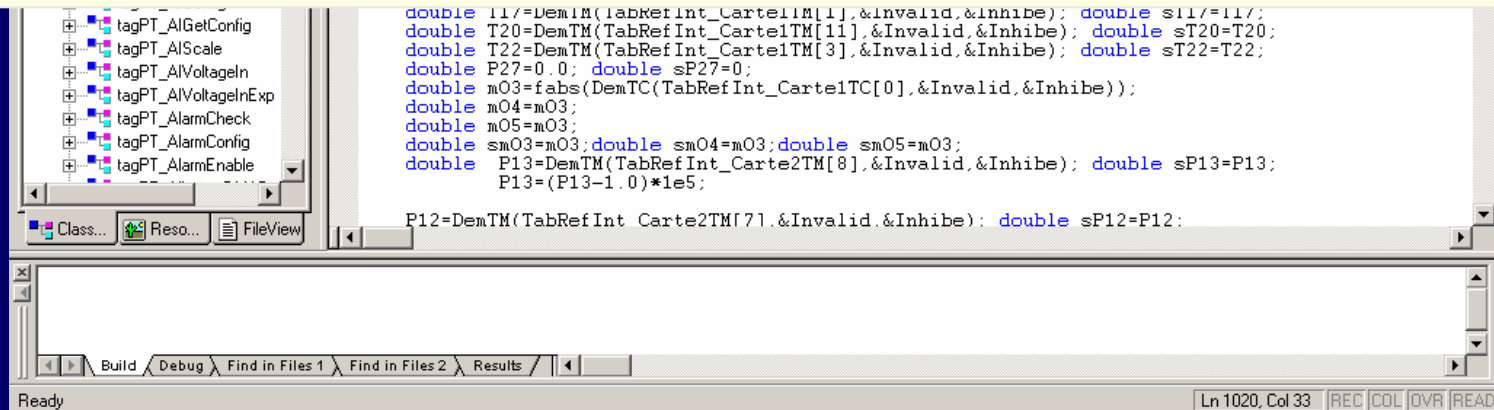
31 objets

# Implémentation (suite)



```
double mU3=Eqpc(smU3/100,Con1_r);
double V2Con_SetPoint=(P15csg-1.0)*1e5;
double Cond_TcIn=DemTM(TabRefInt_Carte1TM[2],&Invalid,&Inhibe);
double sCond_TcIn=Cond_TcIn;
```

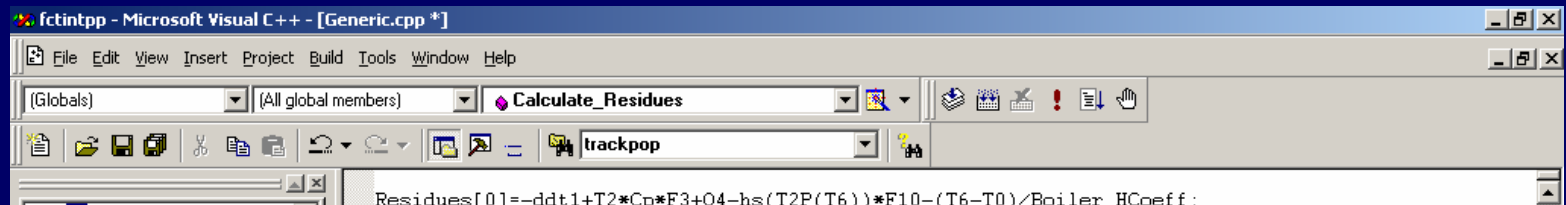
```
double P7=DemTM(TabRefInt_Carte2TM[2],&Invalid,&Inhibe);
double sP7=P7;
P7=(P7-1.0)*1e5;
```



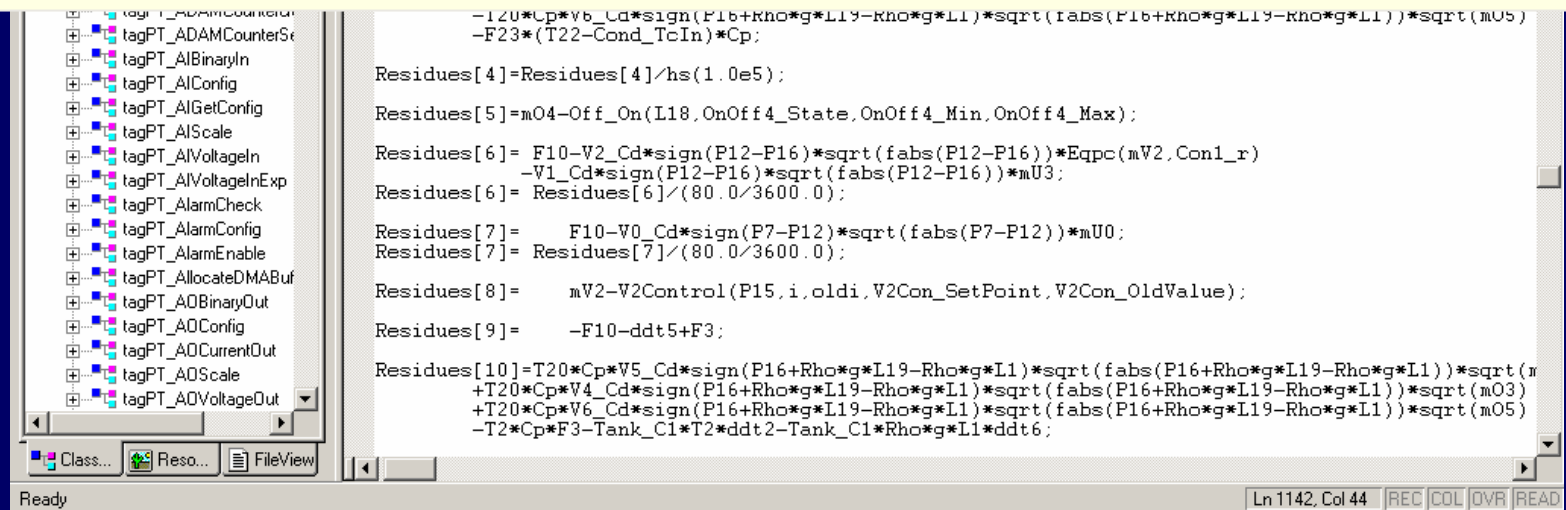
```
double m17=DemTM(TabRefInt_Carte1TM[1],&Invalid,&Inhibe); double s17=m17;
double T20=DemTM(TabRefInt_Carte1TM[11],&Invalid,&Inhibe); double sT20=T20;
double T22=DemTM(TabRefInt_Carte1TM[3],&Invalid,&Inhibe); double sT22=T22;
double P27=0.0; double sP27=0;
double m03=fabs(DemTC(TabRefInt_Carte1TC[0],&Invalid,&Inhibe));
double m04=m03;
double m05=m03;
double sm03=m03;double sm04=m03;double sm05=m03;
double P13=DemTM(TabRefInt_Carte2TM[8],&Invalid,&Inhibe); double sP13=P13;
P13=(P13-1.0)*1e5;

P12=DemTM(TabRefInt_Carte2TM[7],&Invalid,&Inhibe); double sP12=P12;
```

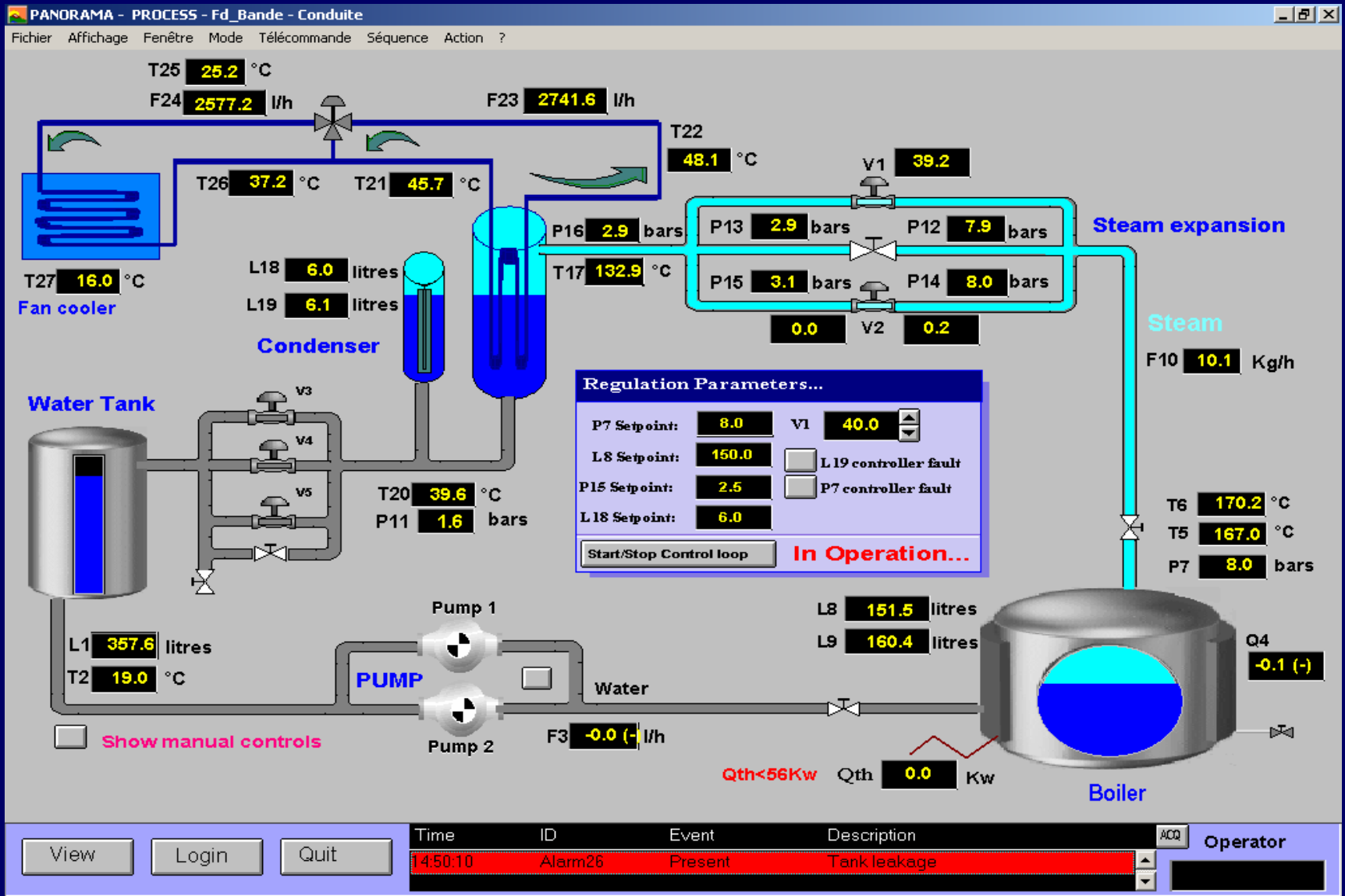
# Implémentation (suite)



```
Residues[0] = -ddt1 + T2 * Cp * F3 + Q4 - hs(T2P(T6)) * F10  
              - (T6 - T0) / Boiler_HCoeff;
```

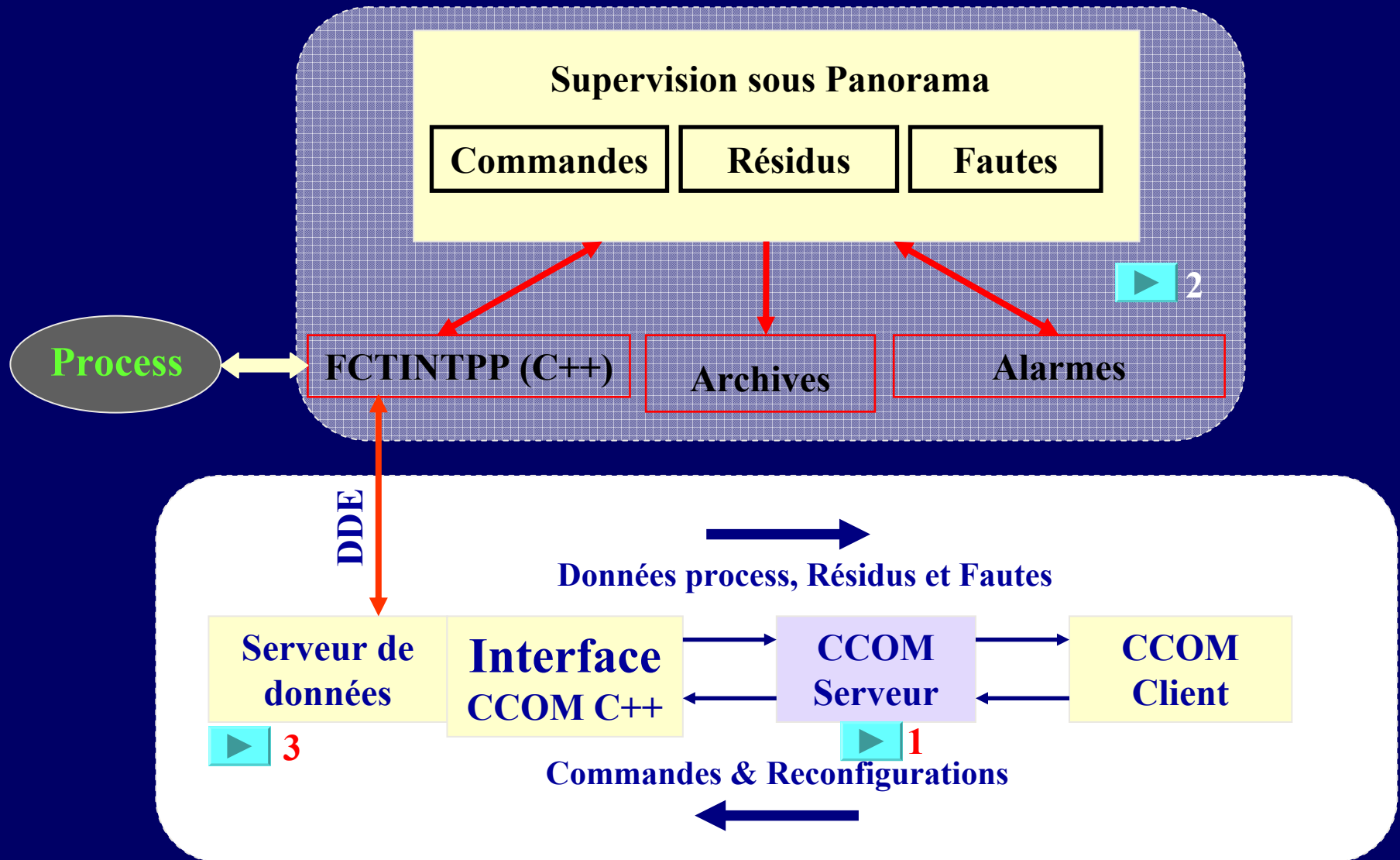


# Interface de supervision

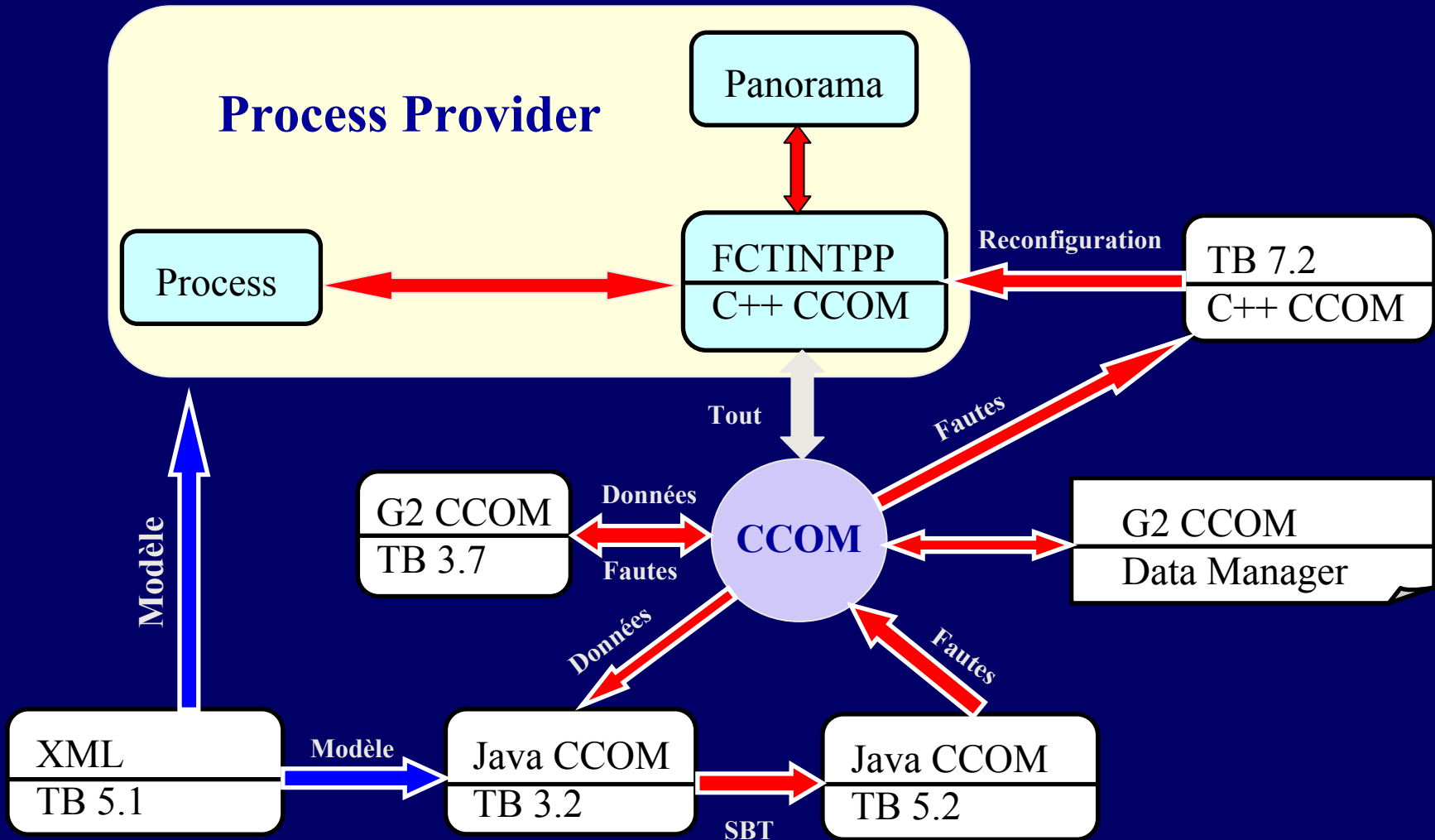




# Implémentation temps réel



# Plate-forme de supervision: Intégration



# Décision

⇒ Simple test

$$c_i = \begin{cases} 1 & \text{if } |R_i| > \varepsilon_i \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$R_i$	$\zeta_i$	$\varepsilon_i$	$R_i$	$\zeta_i$	$\varepsilon_i$	$R_i$	$\zeta_i$	$\varepsilon_i$
$R_1$	1	0.2	$R_9$	1	0.025	$R_{17}$	$10^5$	0.2
$R_2$	$8.3 \times 10^4$	0.2	$R_{10}$	$2.67 \times 10^6$	0.0019	$R_{18}$	$10^5$	0.2
$R_3$	0.25	0.4	$R_{11}$	1	0.5	$R_{19}$	$10^5$	0.2
$R_4$	1	1.0	$R_{12}$	1	0.5	$R_{20}$	$10^5$	0.2
$R_5$	$2.67 \times 10^6$	0.1	$R_{13}$	1	0.5	$R_{21}$	10	1.0
$R_6$	$5.5 \times 10^4$	0.5	$R_{14}$	1	0.5	$R_{22}$	1	0.05
$R_7$	0.022	0.225	$R_{15}$	10	1.0	$R_{23}$	1	1.0
$R_8$	0.022	0.675	$R_{16}$	10	1.0			

# Test CuSum

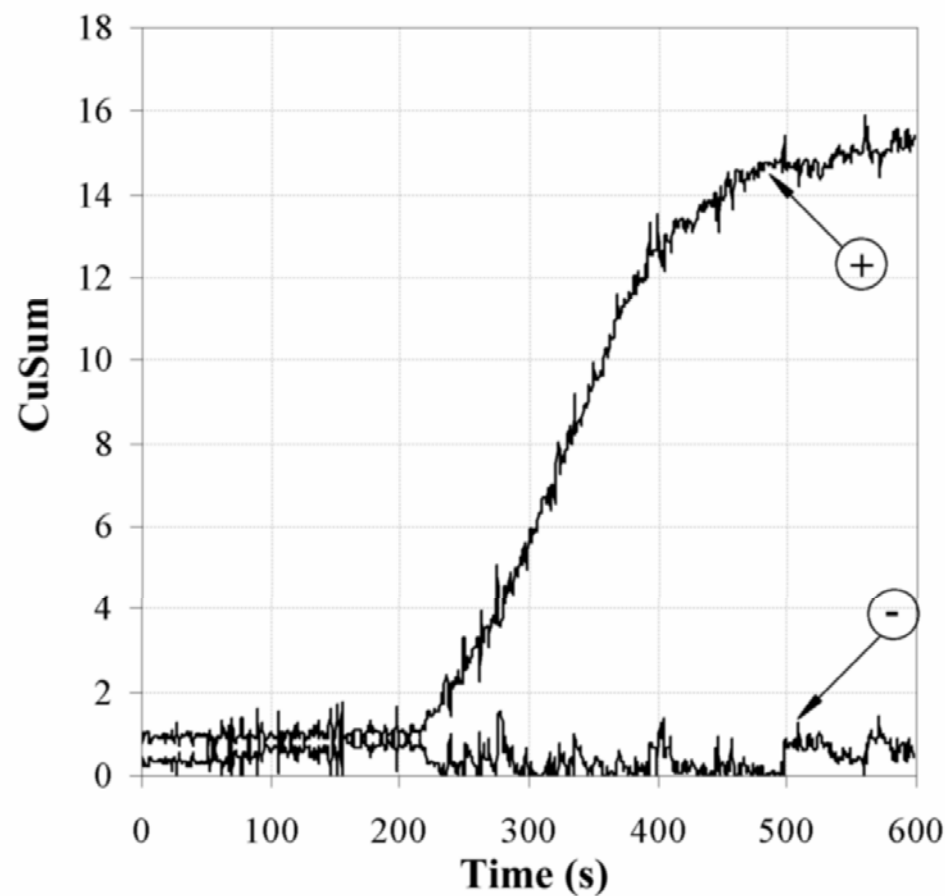
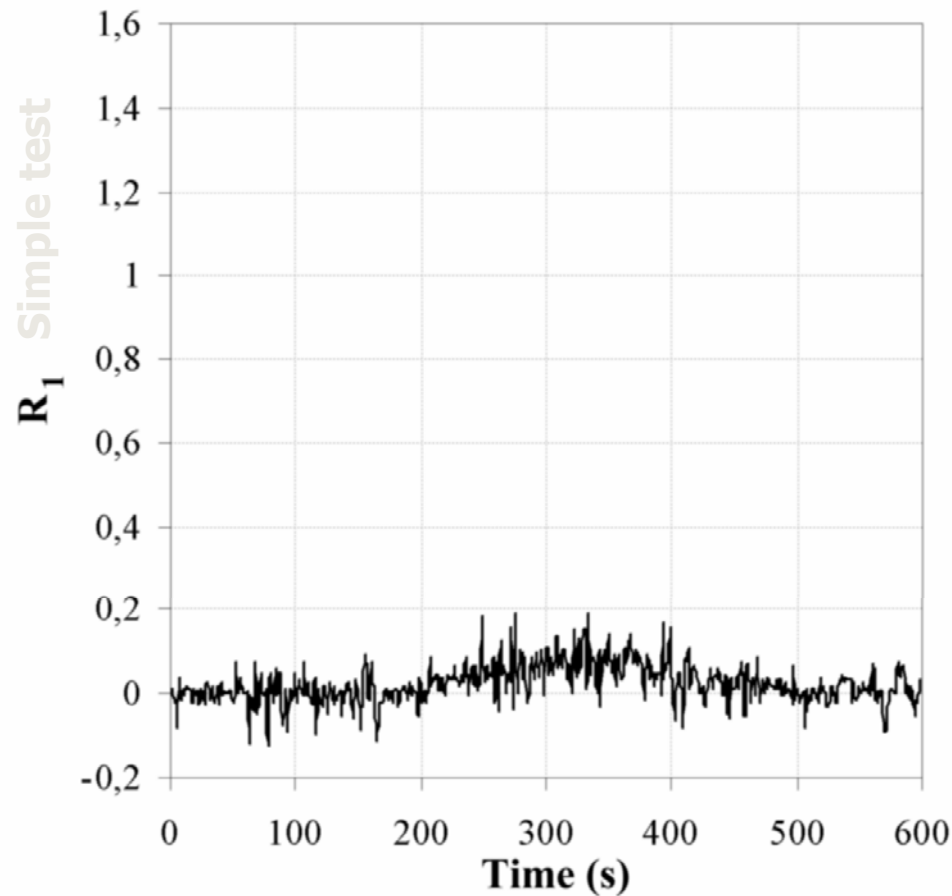
## ⇒ Two-sided CuSum

$$\begin{cases} g_0^+ = g_0^- = 0 \\ g_k^+ = \sup[0, (g_{k-1}^+ + R_{ik} - \mu_0 - \frac{\nu}{2})] \\ g_k^- = \sup[0, (g_{k-1}^- - R_{ik} + \mu_0 - \frac{\nu}{2})] \\ t_a = \min \{k : (g_k^+ \geq h) \cup (g_k^- \geq h)\} \end{cases}$$

	$R_1$	$R_2$	$R_4$	$R_5$	$R_9$	$R_{10}$
$\nu$	0.05	0.05	0.1	0.05	0.005	0.001
$h_c$	2	2	5	1	0.3	0.02

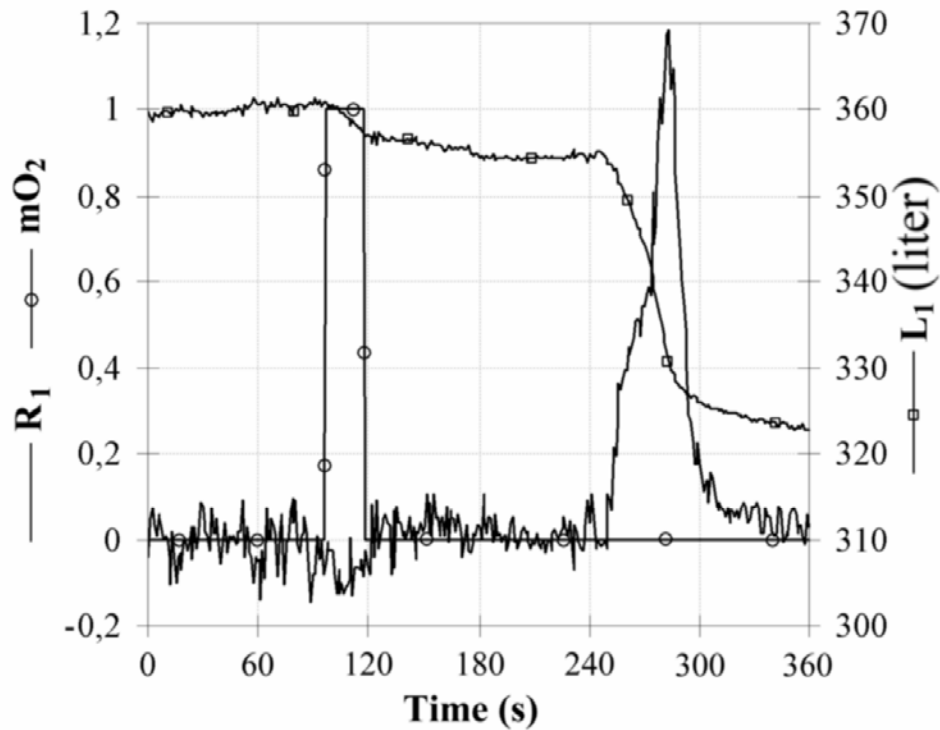
# Test CuSum (suite)

## ⇒ Application de CuSum

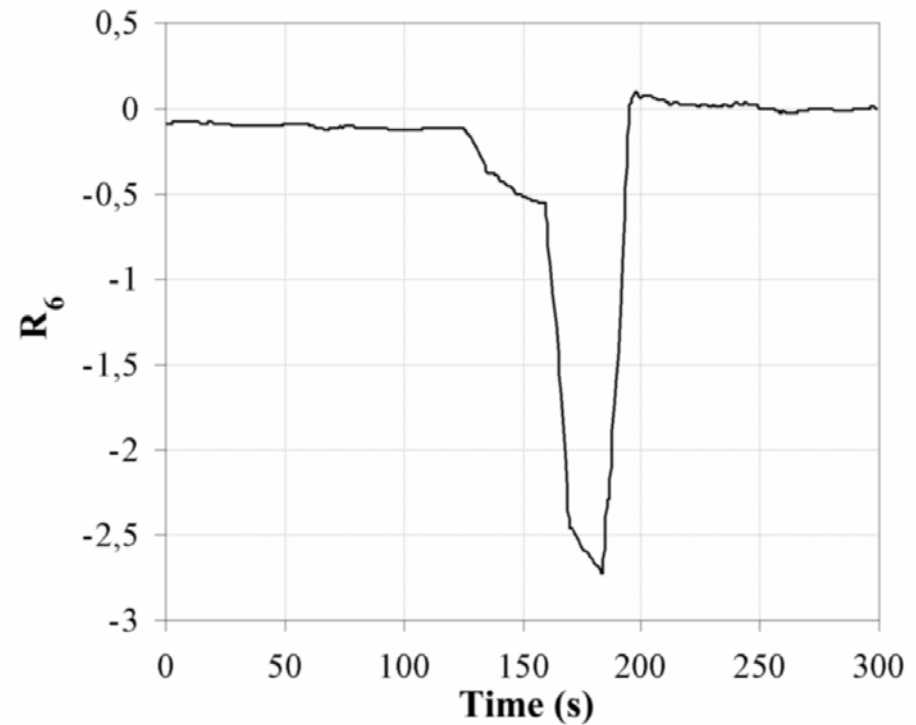


# Résultats

## ➔ Fautes process



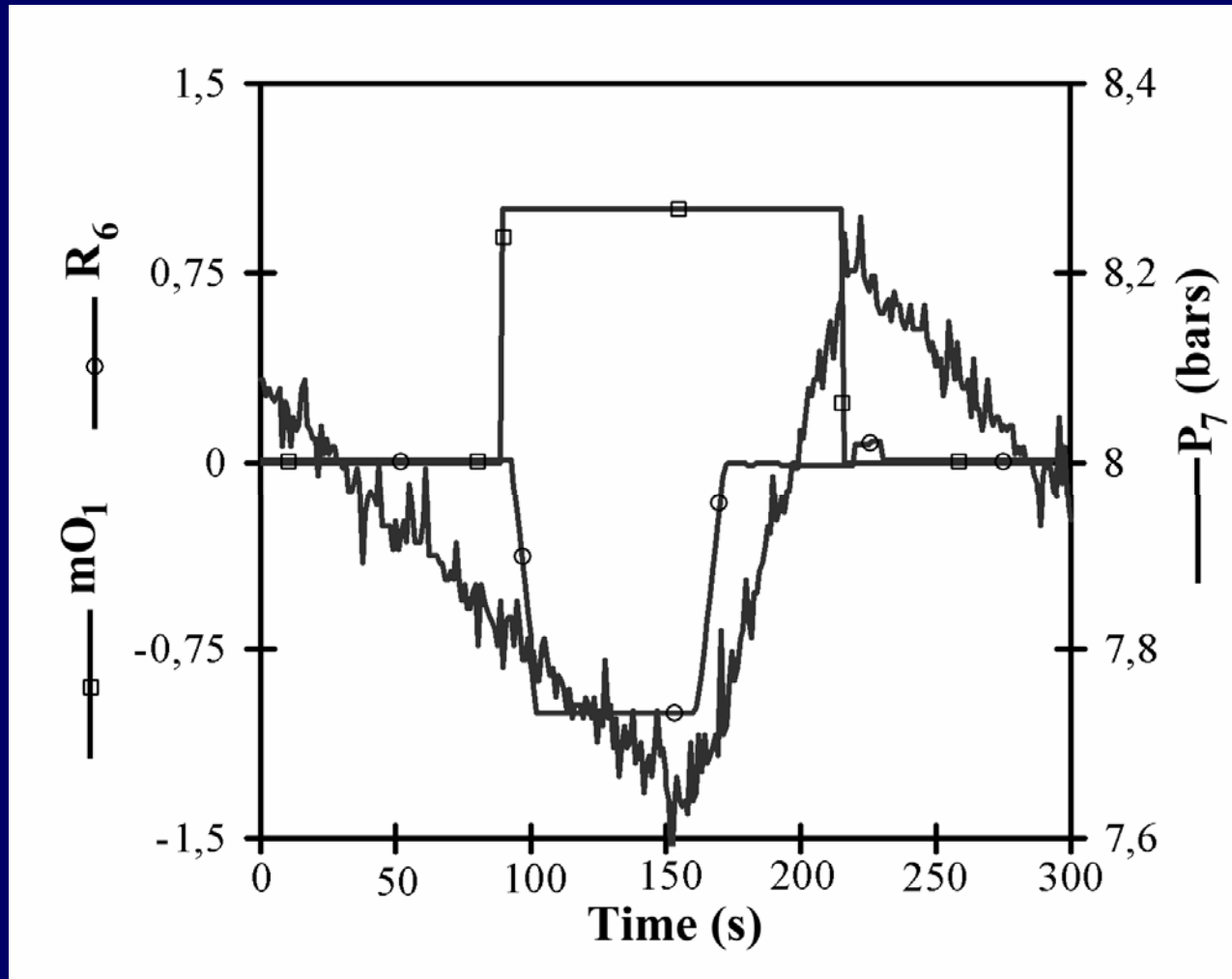
**Fuite d'eau du réservoir**



**Blocage à la sortie de chaudière**

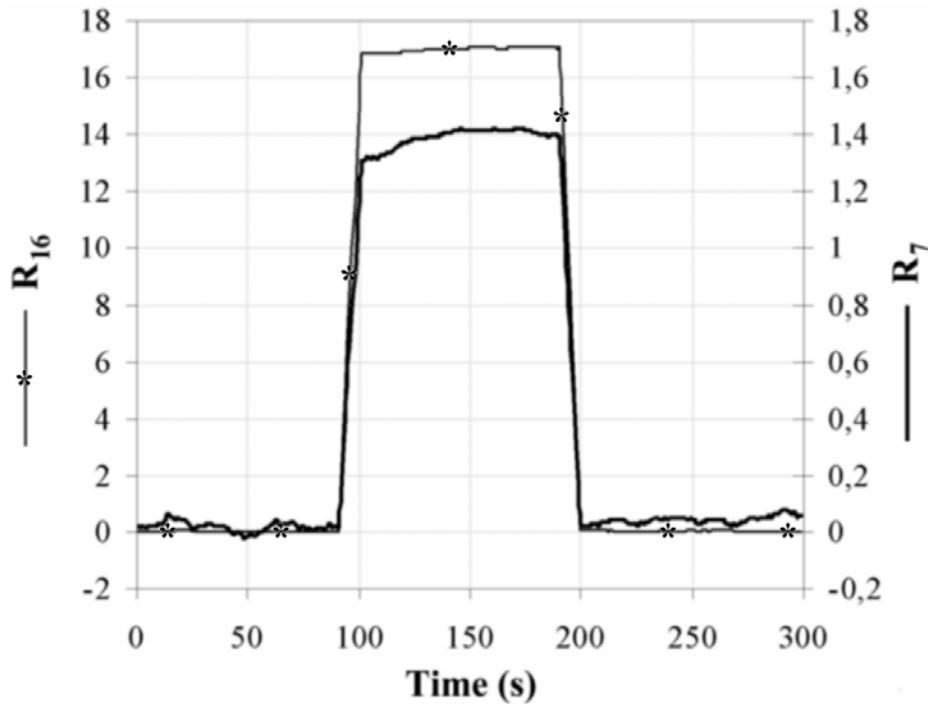
# Résultats (suite)

## ⇒ Fautes actionneurs (Thermo-résistance)

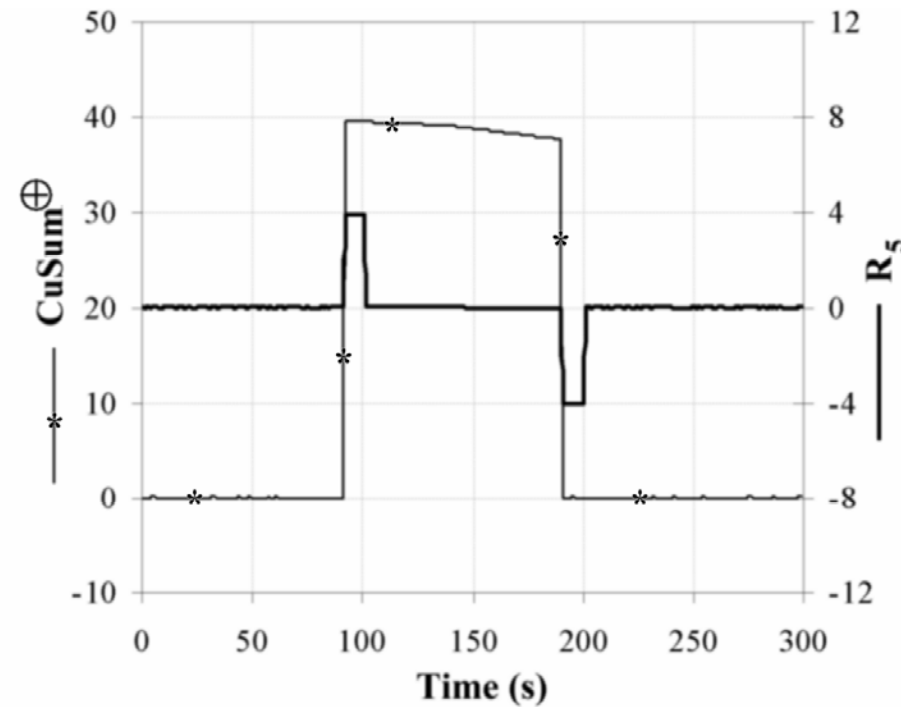


# Résultats (suite)

## ➔ Fautes capteurs (P7)



Détection par simple seuil

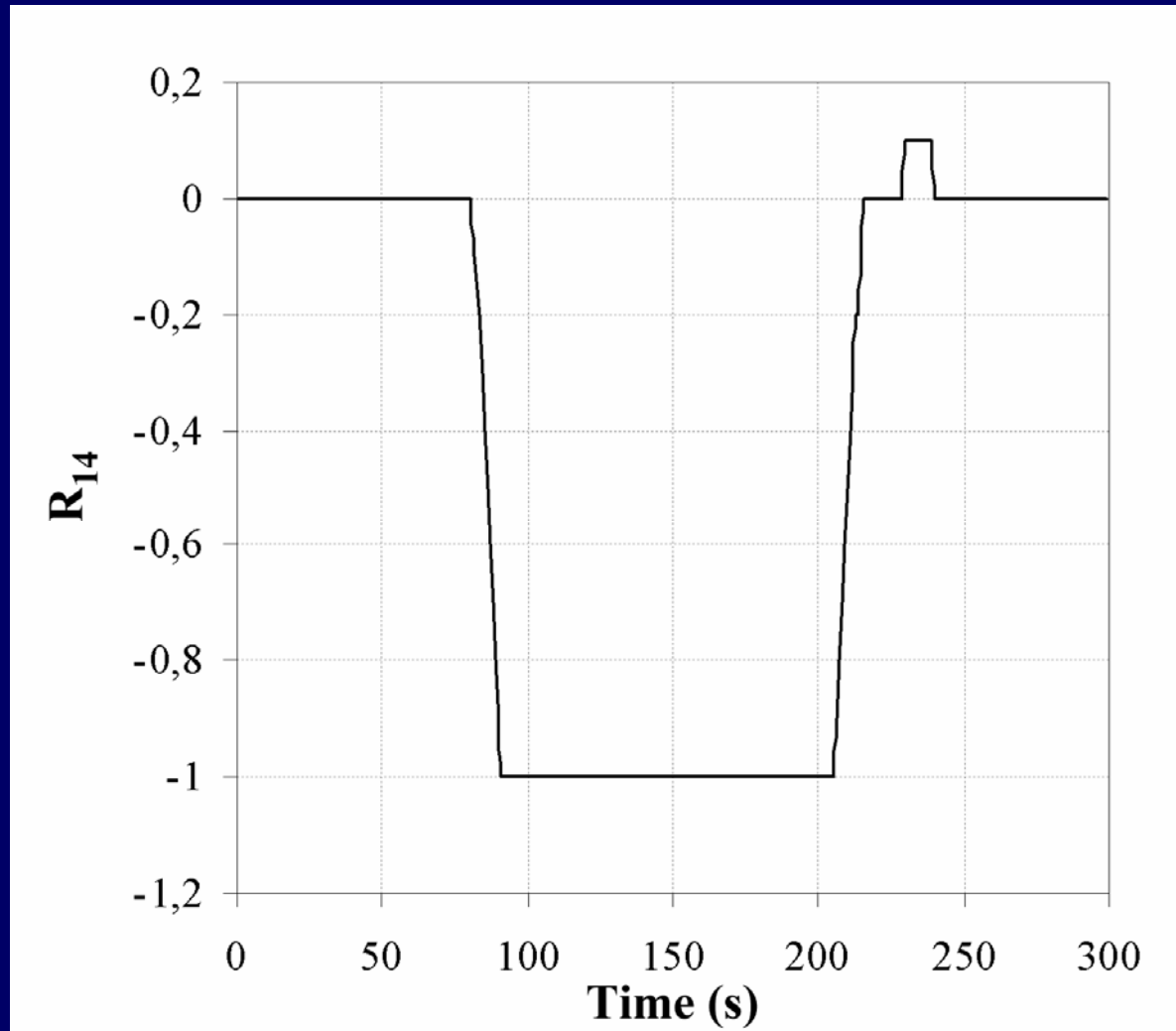


Détection par CuSum



# Résultats (suite)

## ⇒ Fautes régulateur



# Conclusions

## ⇒ Originalité

- Génération systématique et automatique des modèles & RRAs formels
- Aide au placement de capteurs
- Applicable aux systèmes non linéaires
- Valable aussi bien pour le régime transitoire que le régime permanent
- Utilisation d'un seul outil

## ⇒ Limites

- Non applicable aux systèmes non déterministes
- Dépend du niveau de modélisation et donc de la qualité du modèle analytique
- Connaissance de l'outil BG