CENTRE FRANCAIS DE FIABILITE

Diagnostic de défauts du convertisseur DC-DC pour véhicule hybride

Houcine CHAFOUK (houcine.chafouk@esigelec.fr

Rouen, le 15 juin 2017

Centre Français Fiabilité

UNION EUROPÉENNE

Ce projet est cofinancé par le Fonds européen de développement régional

Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

RÉGION NORMANDIE

objectifs

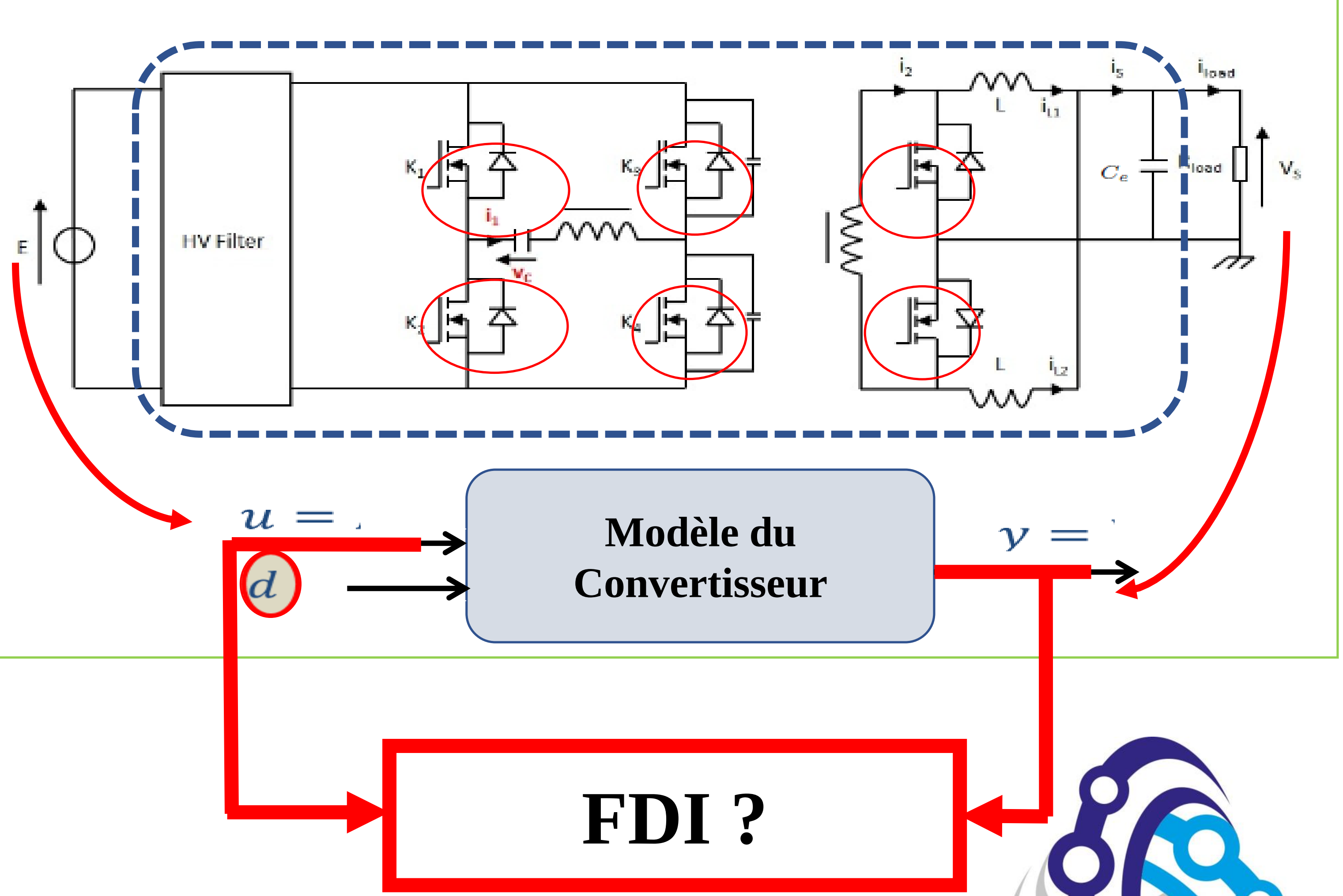
❑ Problématiques :

- Erreur de modélisation,
- Incertitudes des paramètres,
- Environnement bruité.

❑ Objectifs :

- Détection robuste de défauts,
- Localisation de défauts,
- Du diagnostic vers la fiabilité.

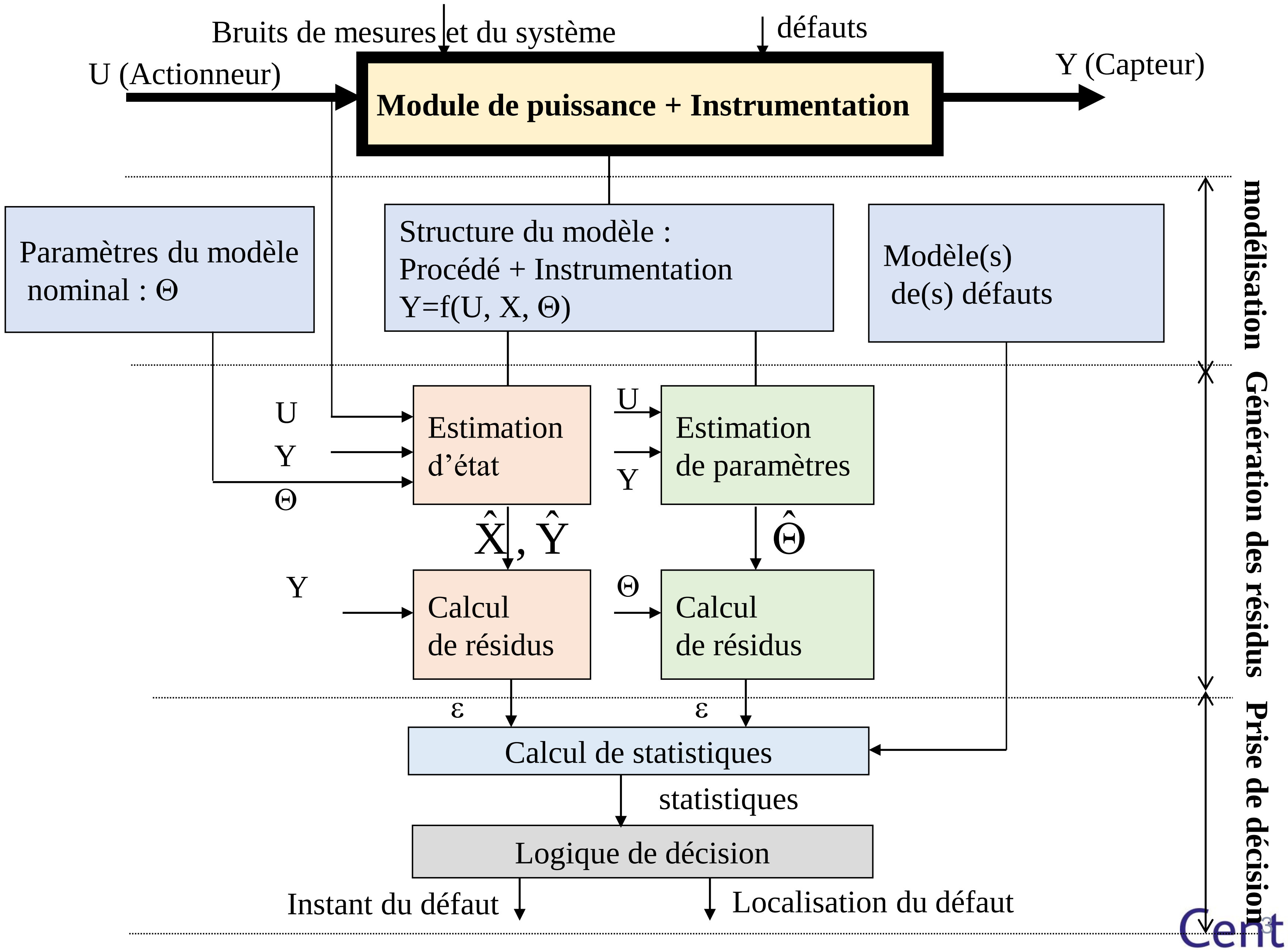
Convertisseur DC-DC (Système réel APM S97 Source Valeo)



Réaliser une méthode de Diagnostic de défauts à base d'observateurs par intervalles (en tenant compte des incertitudes et des perturbations)

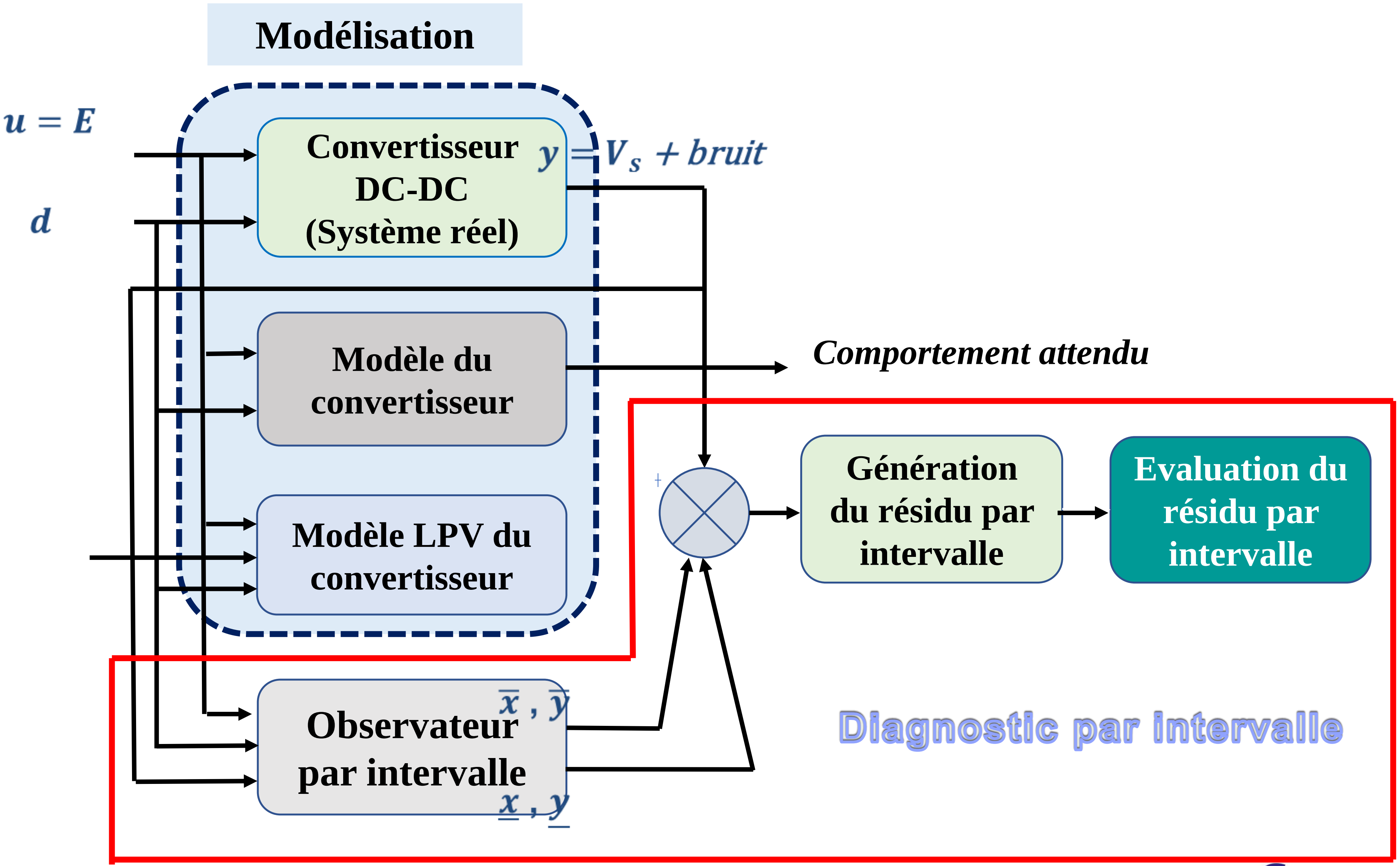
Centre Français Fiabilité

Architecture du Diagnostic à base de Modèle



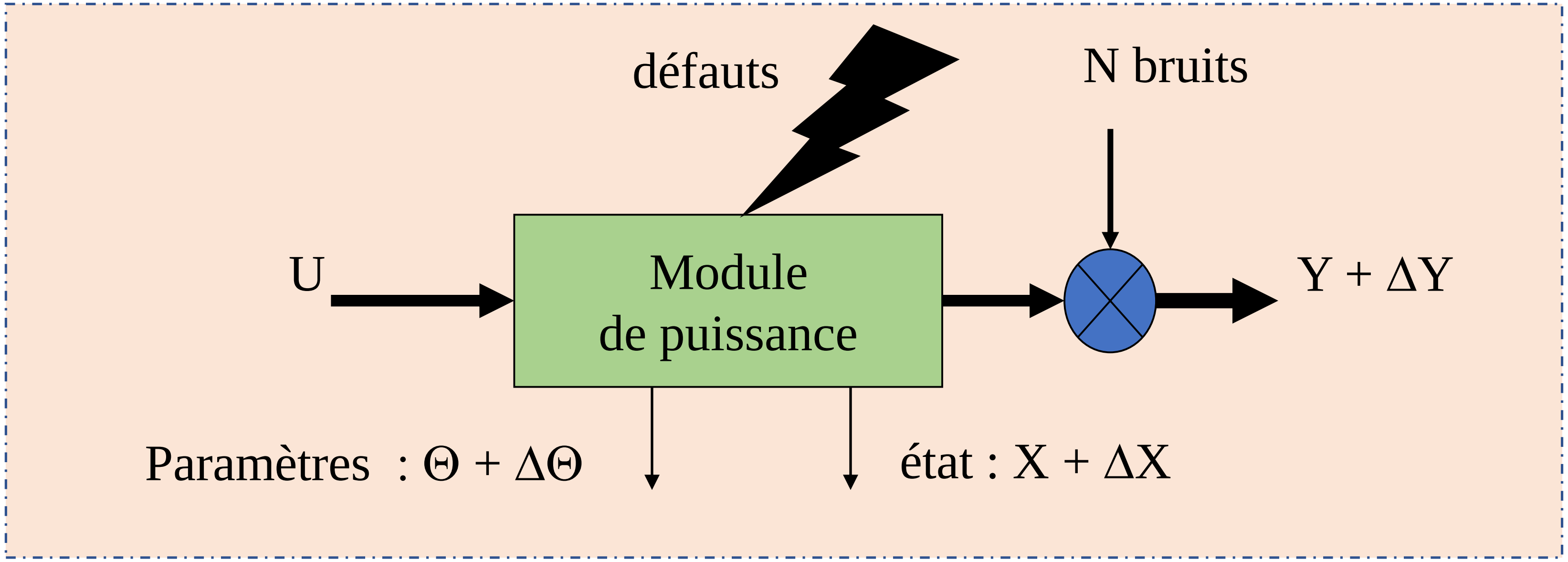
Centre Français Fiabilité

Méthodologie de diagnostic proposée



Centre Français Fiabilité

Modélisation d'un Système Physique



- **Modèle du système** :

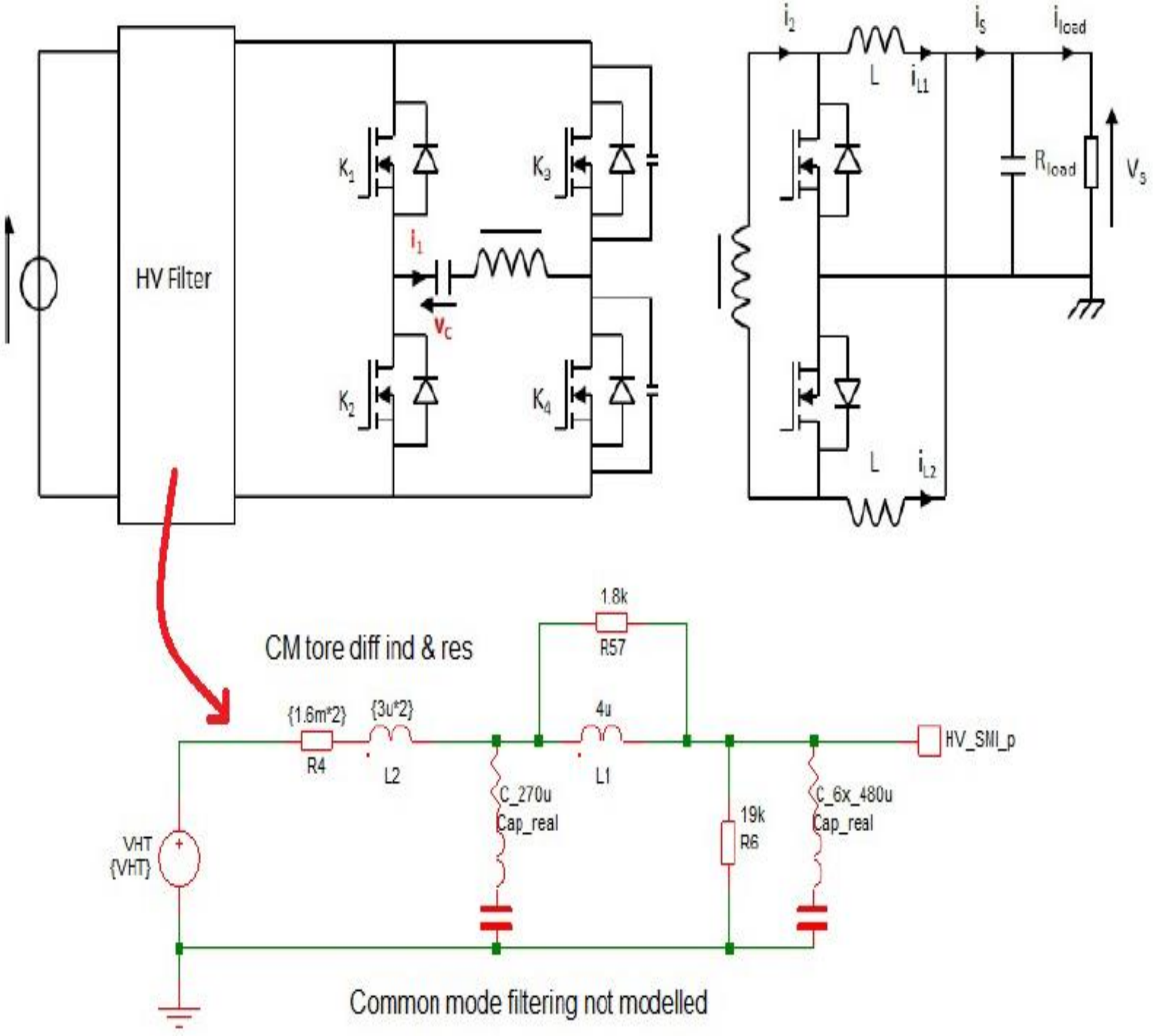
  $Y = f(U, \Theta, X, N)$

- **Variables dont on peut tester l'évolution** :

- signaux mesurables : U , Y
- États partiellement mesurables : X
- Paramètres non mesurables mais estimables : Θ
- Quantités caractéristiques non mesurables : $\eta = f(U, Y, \Theta)$

Centre Français Fiabilité

Modélisation électrique



$$
\begin{cases}
\dot{V}_s = \frac{d}{C_s} I_{L1} - \frac{1}{C_s.R_{load}} V_s + \frac{1-d}{C_s} I_{L2} \\
\dot{I}_{L1} = \frac{d}{L_1+n^2L_f+L_s}(nV_{c2} - nV_c - n^2 R_p I_{L1} - V_s) \\
\dot{I}_{L2} = \frac{1-d}{L_2+n^2L_f+L_s}(nV_{c2} - nV_c - n^2 R_p I_{L2} - V_s) \\
\dot{V}_c = \frac{n.d}{C_s} I_{L1} + \frac{(1-d).n}{C_s} I_{L2} \\
\dot{V}_{c2} = \frac{1}{c_2}(I_e - \frac{1}{R3} V_{c2} - n.d.I_{L1} - n.(1-d).I_{L2} - I_1) \\
\dot{I}_e = \frac{1}{L_{11}}((2.d-1)E - V_{c1} - R_1.I_e) \\
\dot{V}_{c1} = \frac{1}{c_1} I_1 \\
\dot{I}_1 = \frac{(2.d-1)E}{L_{11}} - (\frac{1}{L_{11}} + \frac{1}{L_{22}})V_{c1} - (\frac{R_1}{L_{11}} - \frac{1}{C_2.R_2})I_e - (\frac{1}{C_1.R_1} + \frac{1}{R_2.C_2})I_1 \\
\qquad -(\frac{1}{C_2.R_2.R_3} - \frac{1}{L_{22}})V_{c2} - \frac{n.d}{C_2.R_2} I_{L1} - \frac{n.(1-d)}{C_2.R_2} I_{L2}
\end{cases}
$$

Modélisation d'état du Système

- **Représentation d'état sous forme canonique :**

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) \\ y(t) = Cx(t) \end{cases}$$

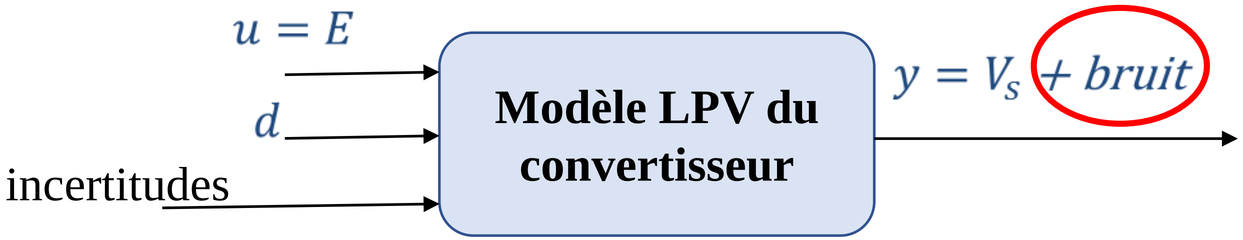
A : Matrice d'état,
B : Matrice de Commande,
C : Matrice de mesure

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{1}{C_e(R_{load}+ESR)} & \frac{R_{load}}{C_e(R_{load}+ESR)} & \frac{R_{load}}{C_e(R_{load}+ESR)} \\ -\frac{R_{load}}{L_1(R_{load}+ESR)} & -\frac{R_{load}\ ESR}{L_1(R_{load}+ESR)} & -\frac{R_{load}\ ESR}{L_1(R_{load}+ESR)} \\ -\frac{R_{load}}{L_2(R_{load}+ESR)} & -\frac{R_{load}\ ESR}{L_2(R_{load}+ESR)} & -\frac{R_{load}\ ESR}{L_2(R_{load}+ESR)} \end{bmatrix},\ B = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{d\ n}{L_1} \\ -\frac{d\ n}{L_2} \end{bmatrix},\ C = \begin{bmatrix} \frac{R_{load}}{R_{load}+ESR} & \frac{R_{load}\ ESR}{R_{load}+ESR} & \frac{R_{load}\ ESR}{R_{load}+ESR} \end{bmatrix}$$

$$x = \begin{pmatrix} x_1 = i_L \\ x_2 = V_s \end{pmatrix} \qquad u = E \quad \text{et} \quad y = Vs$$

Centre Français Fiabilité

Modélisation d'état par intervalle



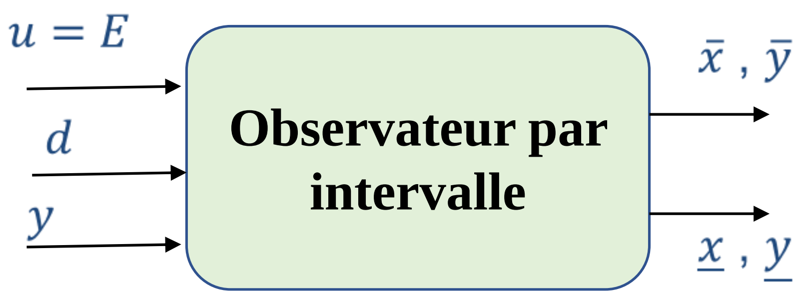
$$\begin{cases} \dot{x}(t) = A_f(\rho(t))x(t) + B_f(\rho(t))u(t) \\ y(t) = C_f x(t) + Fw(t) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \frac{1}{L_1} \pm \Delta L_1\% \equiv \frac{1}{L_1} + \frac{0.1}{L_1}[-1,\ 1], \\ \\ \frac{1}{L_2} \pm \Delta L_2\% \equiv \frac{1}{L_2} + \frac{0.1}{L_2}[-1,\ 1], \\ \\ \frac{1}{C_e} \pm \Delta C_e\% \equiv \frac{1}{C_e} + \frac{0.1}{C_e}[-1,\ 1]. \end{cases}$$

$w(t) \in [-1,\ 1]$ $\rho(t) \in [-1,\ 1]$

Centre Français Fiabilité

Modélisation d’état par intervalle



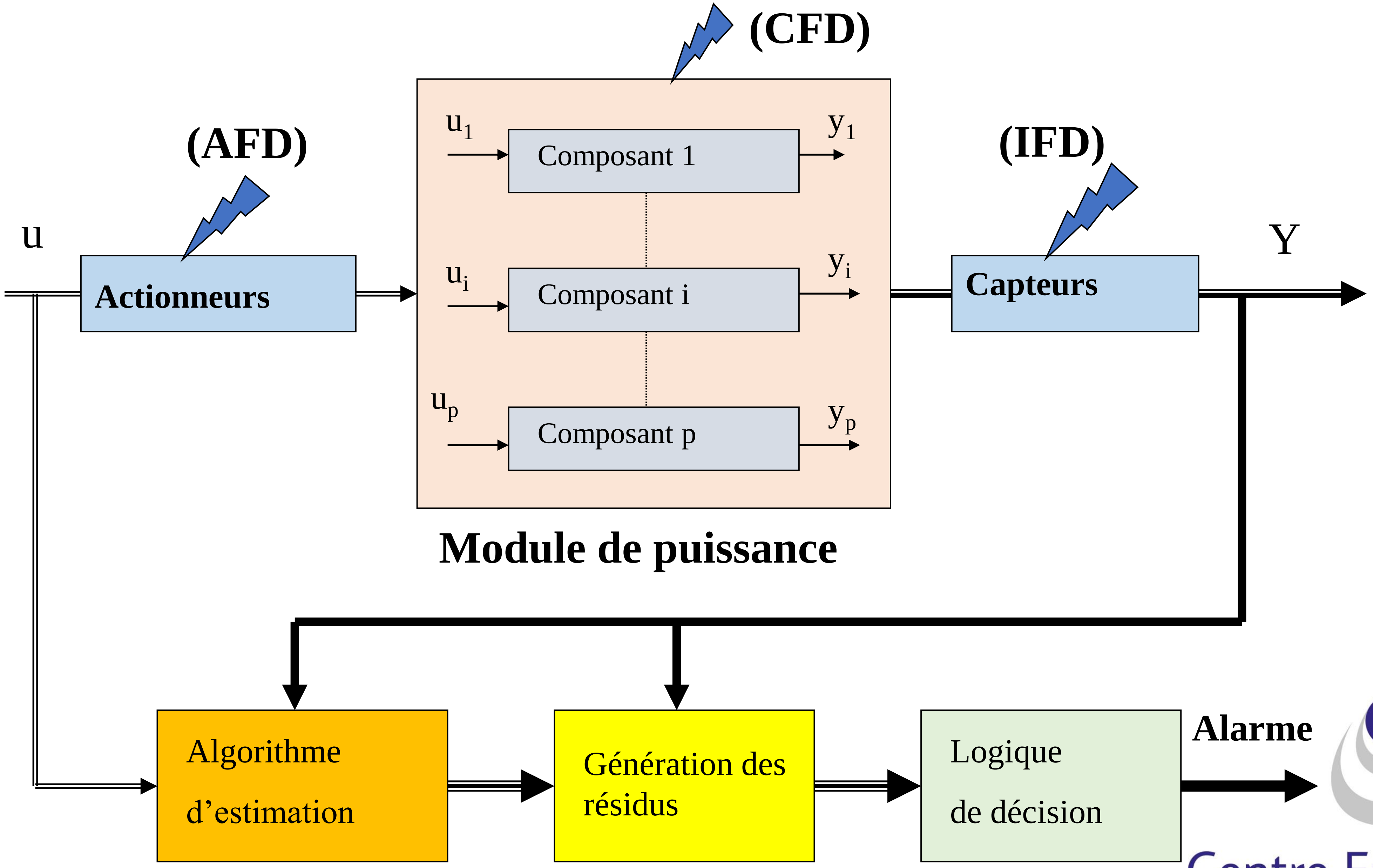
$$\begin{cases} \dot{z}^c(t) = diag(\xi) z^c(t) + \Omega(t) \tilde{B}_0 \tilde{U}(t) \\ \dot{z}^r(t) = diag(\xi) z^r(t) + |\Omega(t) \hat{E}(t, z^r(t), z^c(t))| \mathit{1} \\ x^c(t) = \Omega^{-1}(t) z^c(t), \quad x^r(t) = \Omega^{-1}(t) \diamond z^r(t) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \Omega(t) = diag(e^{-i\omega t})\nu, \ \Omega^{-1}(t) = \nu^{-1} diag(e^{i\omega t}) \\ \hat{E}(t, z^r(t), z^c(t)) = [-LF | \dots A_{f_i} \Omega^{-1}(t) z^c + B_{f_i} u(t) \dots | \dots A_{f_i} \Xi(t) \dots] \\ \Xi(t) = \Omega^{-1}(t) \Delta(z^r(t)) \ where \ \Delta(z^r(t)) = [diag((z^r)^R(t)), \ i.diag((z^r)^I(t))] \in \mathbb{C}^{3\times 6} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \underline{x}(t) = x^c(t) - x^r(t) \\ \overline{x}(t) = x^c(t) + x^r(t) \end{cases}$$

Centre Français Fiabilité

Architecture de Détection



Centre Français Fiabilité

Algorithme de détection

Entrées: $u(t) = E$, $y(t) = V_s$, L, C_e, ESR, R_{load}, d, F, $x^c(0)$, $x^r(0)$ | **Sortie**: res_{ave}

1. Calculer le gain de l'observateur L tel que $\tilde{A}_{f_0} = A_{f_0} - LC_f$ est $\mathbb{C}$-diagonalizable et stable.

2. Diagonalizer la matrice $\tilde{A}_{f_0}$ et calculer $\Omega(t) = diag(e^{-i\omega t})\nu$.

3. Calculer les dynamiques de l'observateur par intervalle:

$$\dot{z}^c(t) = diag(\xi)z^c(t) + \Omega(t)\tilde{B}_0\tilde{U}(t),$$
$$\dot{z}^r(t) = diag(\xi)z^r(t) + |\Omega(t)\hat{E}(t, z^r(t), z^c(t))|\mathbf{1}.$$

4. Déduire les bornes supérieure et inférieure de l'états:

$$\underline{x}(t) = x^c(t) - x^r(t) = \Omega^{-1}(t)z^c(t) - \Omega^{-1}(t) \diamond z^r(t),$$
$$\overline{x}(t) = x^c(t) + x^r(t) = \Omega^{-1}(t)z^c(t) + \Omega^{-1}(t) \diamond z^r(t).$$

5. Calculer le résidu par intervalle:

$$res(t) = \left| \begin{array}{ll} y(t) - \overline{x}(t) & \text{si } \; y(t) > \overline{x}(t), \\ y(t) - \underline{x}(t) & \text{si } \; y(t) < \underline{x}(t), \\ 0 & \text{sinon.} \end{array} \right.$$

6. Calculer le signal res_{ave}:

$$res_{ave} = \max_t \frac{1}{q} \sum_{k=1}^{q} res(k).$$

Le défaut est détecté si $res_{ave} \neq 0$ et il est isolé en examinant la pente du signal res_{ave}, puisque pour chaque défaut on a une pente différente.

Centre Français Fiabilité

Principaux résultats obtenus

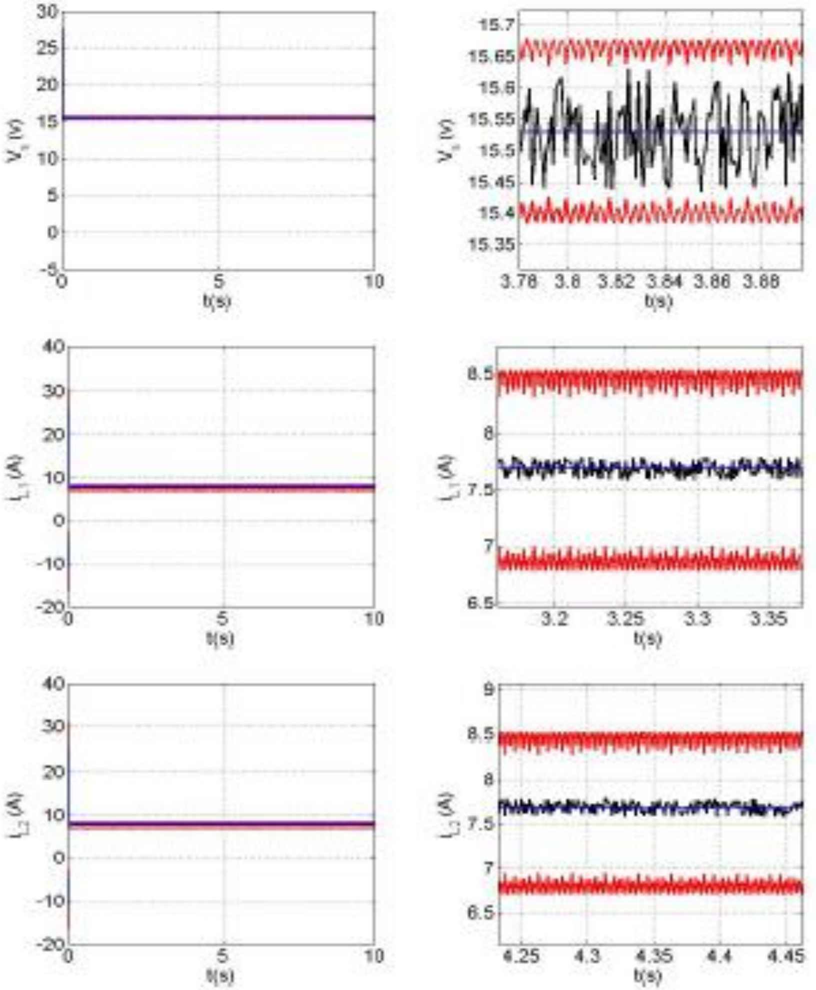


Fig. output vector and its bounds in fault-free case. Left: large view, Right: zoom. All plots: noise-free output vector (blue), noisy output vector (black) and its computed bounds $\underline{y}(t)$,$\overline{y}(t)$ (red).

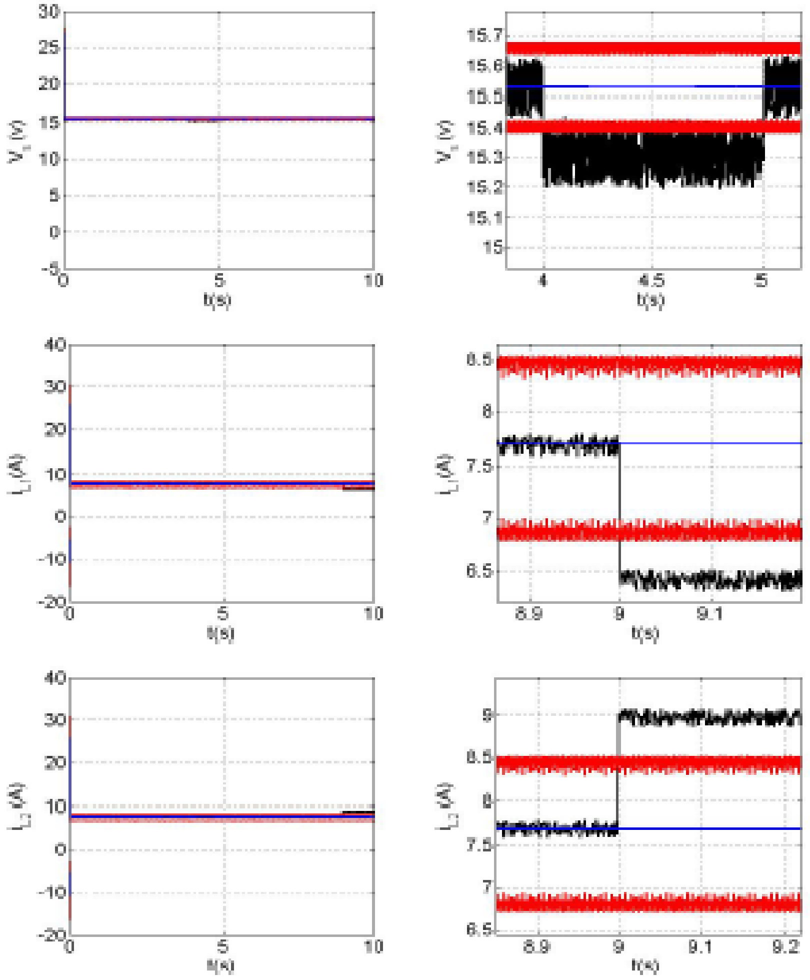
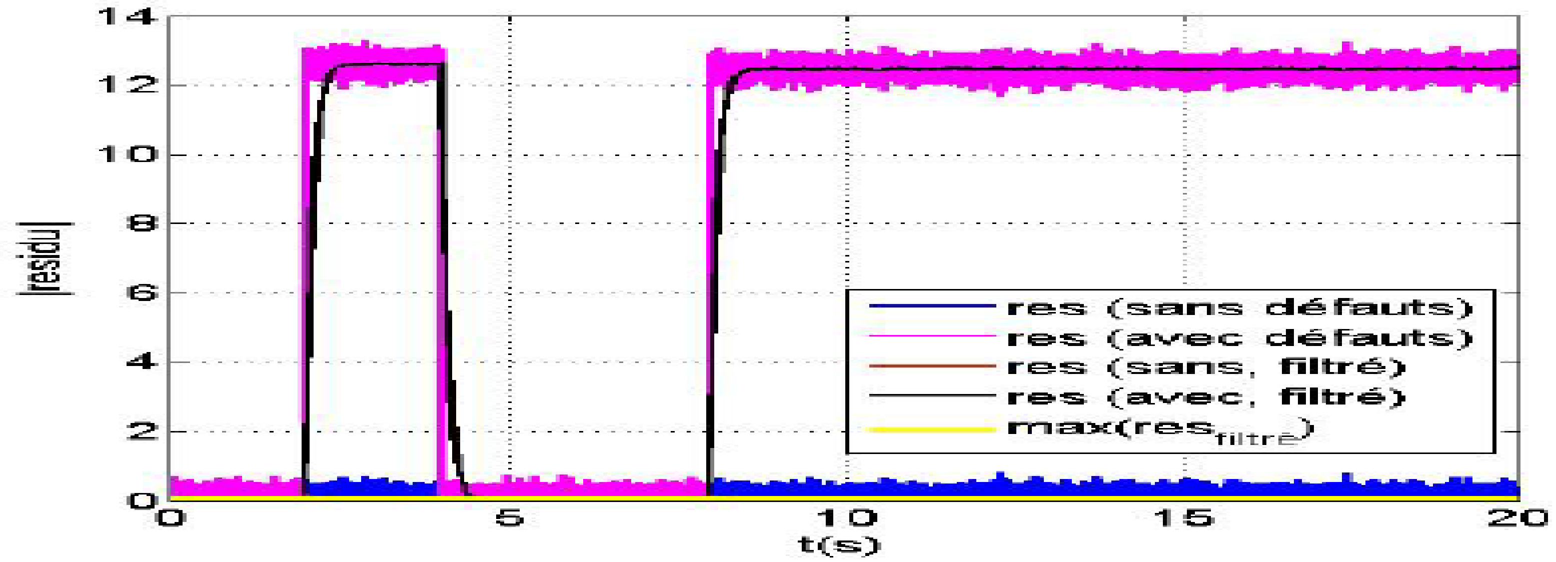
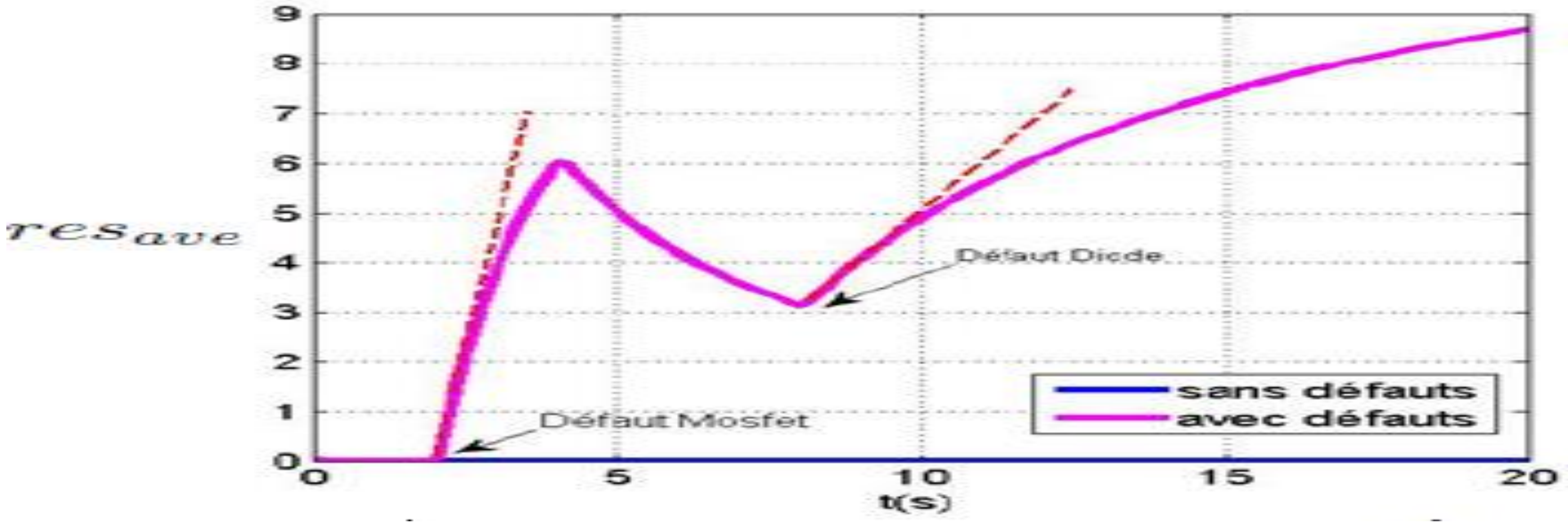


Fig. output vector and its bounds in faulty cases. Left: large view, Right: zoom around the time of fault occurrence. All plots: noise-free output vector (blue), noisy output vector (black) and its computed bounds $\underline{y}(t)$,$\overline{y}(t)$ (red).

Principaux résultats obtenus





Défaut Mosfet à t=2s et défaut diode à t=8s, pour les deux modèles

Centre Français Fiabilité

Conclusion & perspectives

❑ Conclusion

- Modélisation du Convertisseur DC-DC en tenant compte des incertitudes,
- Proposition d'une Méthodologie pour la détection et la localisation de défauts,
- Pas besoin de seuil, robustesse et faible temps de calcul.

❑ Perspectives

- Prendre en considération le courant de fuite du condensateur,
- Du diagnostic à la fiabilité: suivre la dégradation des composants du système en se basant sur les pentes de l'indicateur « res_{ave} »:

variation de pente → variation des paramètres du système au court du temps.

Centre Français Fiabilité