



convertisseur
d'énergie
**Intégré
Intelligent**

29 janvier 2020 – comité de suivi

Classification non-supervisée pour la détection de défauts circuit ouvert des onduleurs

Thanh-Hung Pham, Sanda Lefteriu,
Stéphane Lecoeuche, Jean-François Beguin



1. Introduction

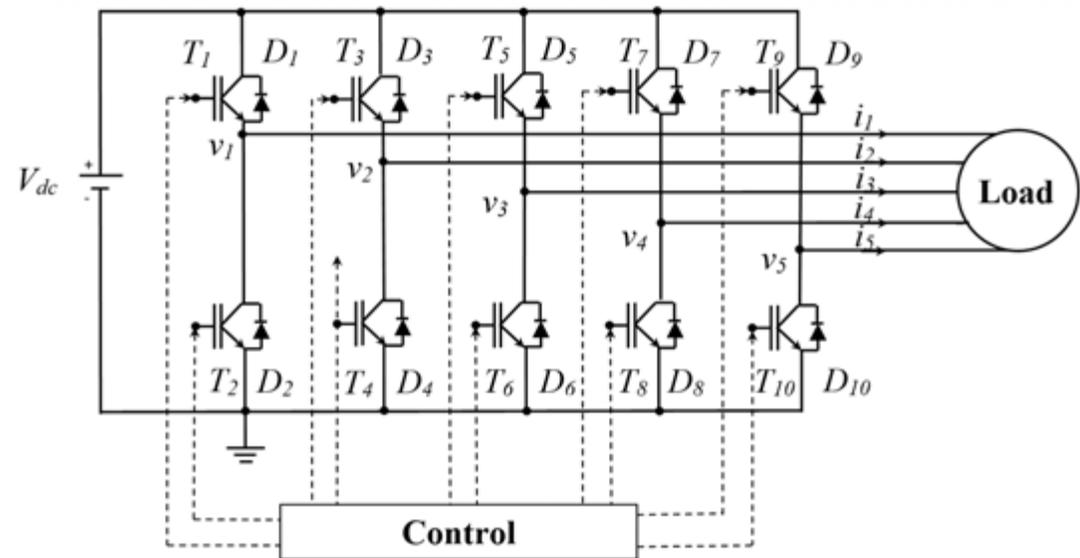
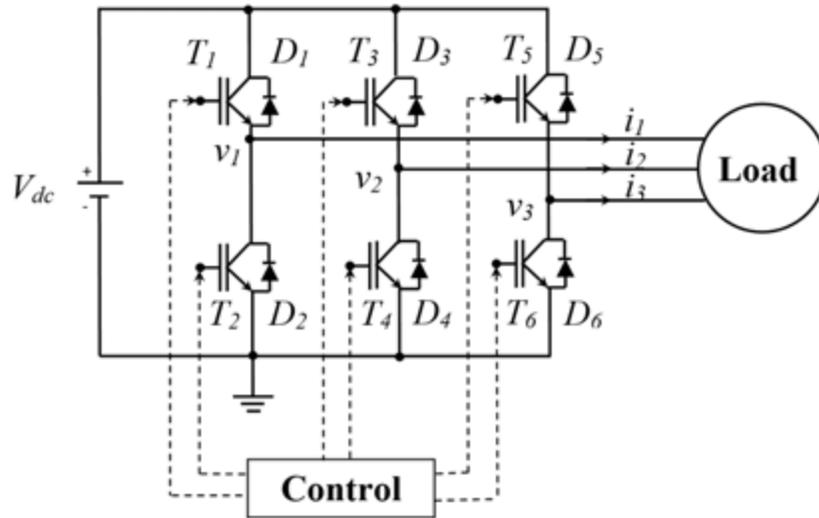
2. Méthode proposée

3. Données expérimentales

Systeme : onduleur polyphasé

Défaut : circuit ouvert singulier et double

Données : courants des phases



Approches :

- Basée sur le modèle (Poon et al. 2017)
- Basée sur le signal (Trabelsi et al. 2018)
- Basée sur les données
 - Analyse en composantes principales (Cai et al. 2017)
 - Machine à vecteurs de support (Delpha et al. 2018)
 - Réseau de neurones en mode supervisé (Xia et al. 2019)
 - «AUto-adaptive and Dynamical Clustering» (AUDyC) (Pham et al. 2019a,b)

Publications :

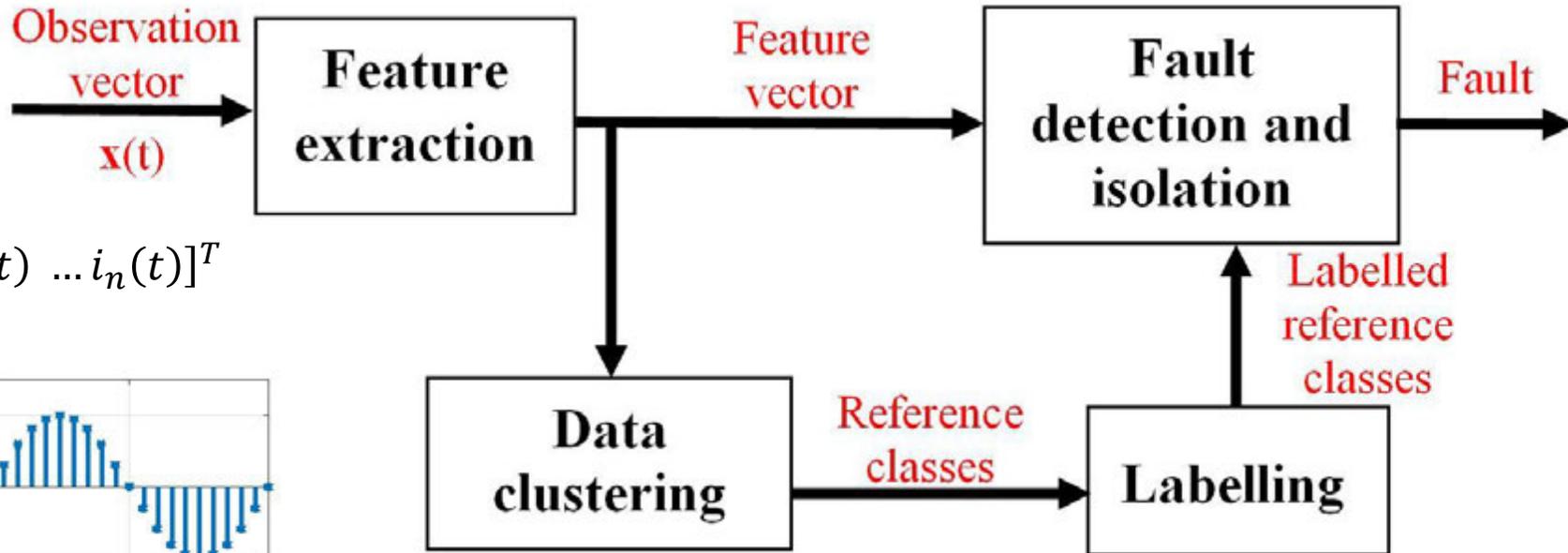
[Pham et al. 2019a] T.H. Pham, S. Lefteriu, C. Labarre, E. Duviella, S. Lecoeuche, Auto-adaptive and Dynamical Clustering for open-circuit fault diagnosis of power inverters, European Control Conference, IEEE, 2019, pp. 3298 - 3303.

[Pham et al. 2019b] T.H. Pham, S. Lefteriu, E. Duviella, S. Lecoeuche, Auto-adaptive and Dynamical Clustering for double open-circuit fault diagnosis of power inverters, 4th International Conference on Control and Fault-Tolerant Systems, IEEE, 2019, pp. 306 - 311.

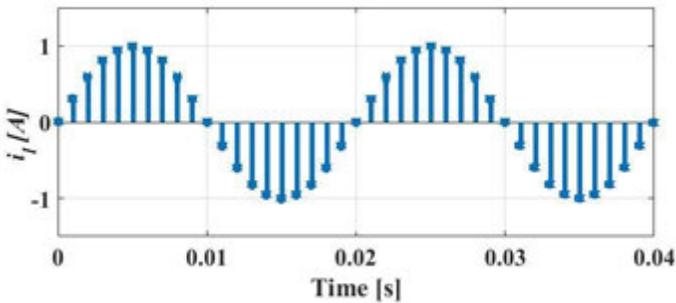
1. Introduction

2. Méthode proposée

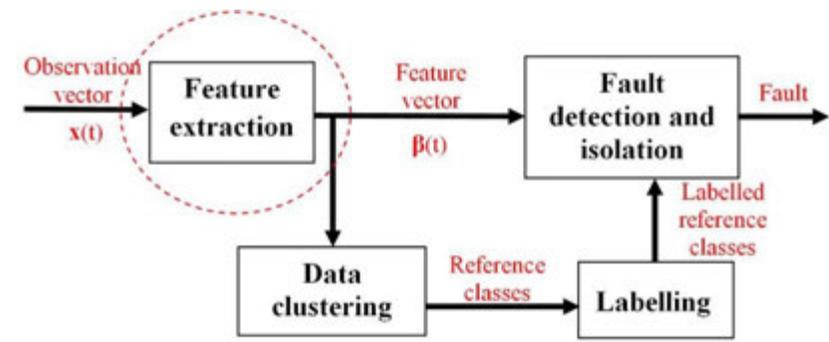
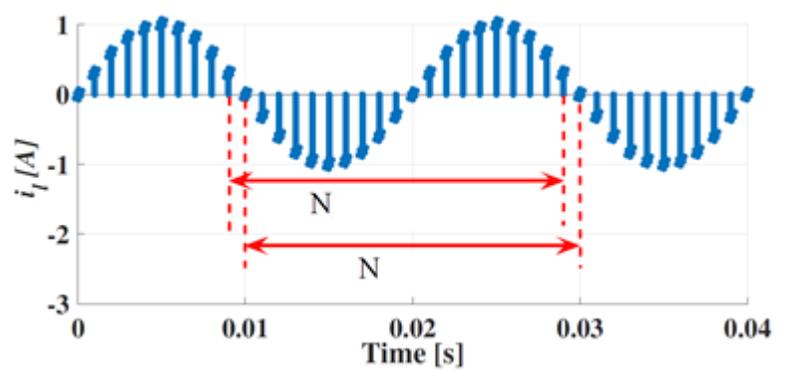
3. Données expérimentales



$$\mathbf{x}(t) = [i_1(t) \ i_2(t) \ \dots \ i_n(t)]^T$$



$i_1(t), \dots, i_n(t)$: courants des phases
 n : nombre de phases

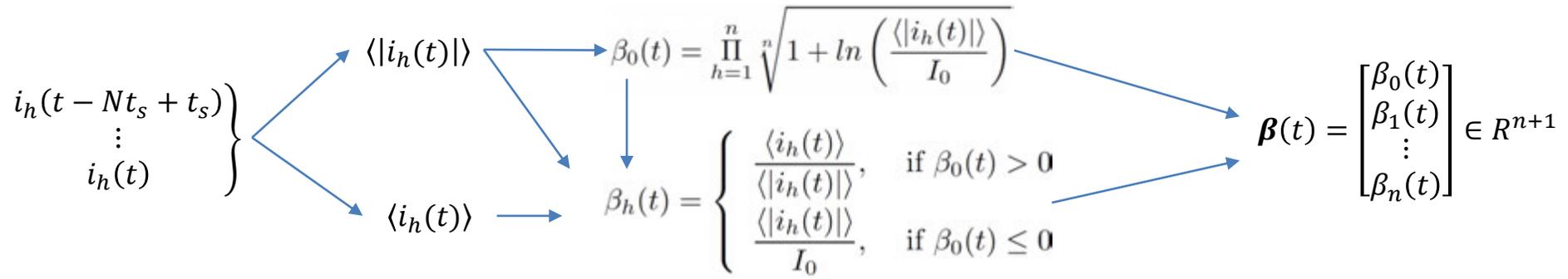


$$\mathbf{x}(t) = [i_1(t) \ i_2(t) \ \dots \ i_n(t)]^T$$

Courant

Variable caractéristique

Vecteur de caractéristiques

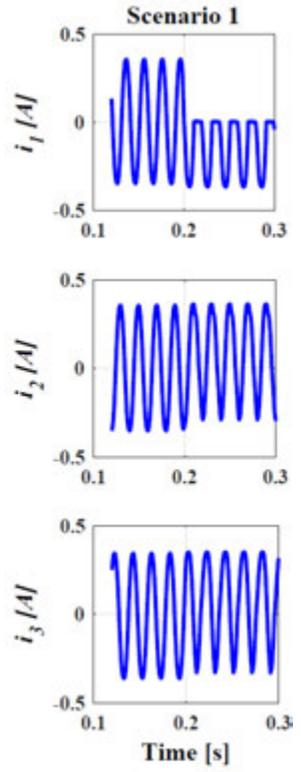
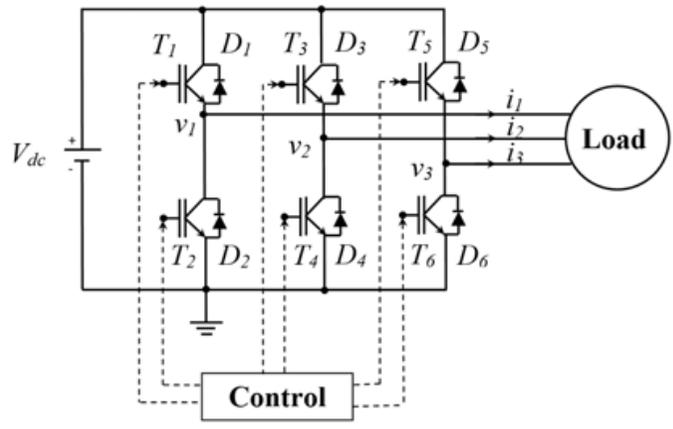


$i_h(t)$: courant de la phase h
 t_s : période d'échantillonnage
 N : nombre d'échantillons sur la période (fondamentale) du signal

I_0 : $\langle |i_h(t)| \rangle$ en mode normal
 n : nombre de phases

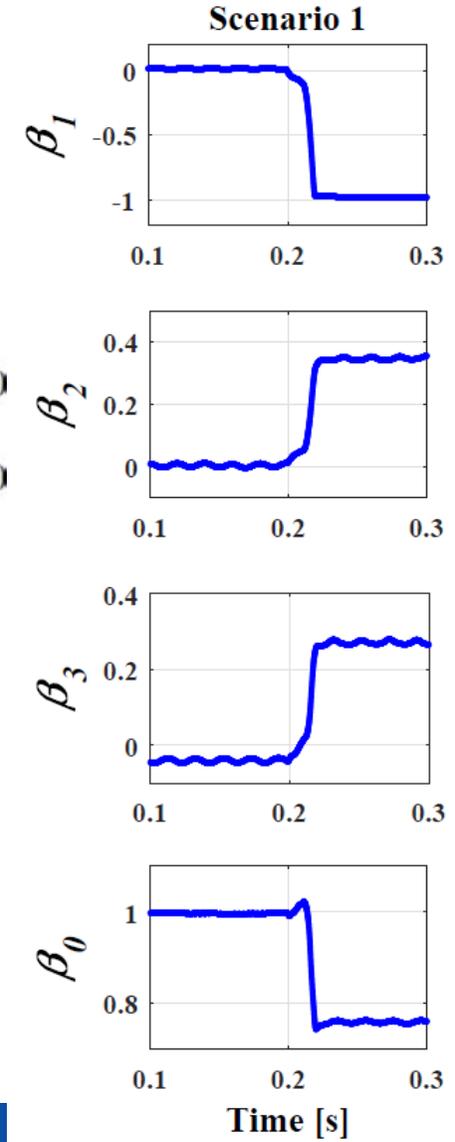
Exemple

- **Systeme** : Onduleur triphasé
- **Défaut** : T1 est ouvert



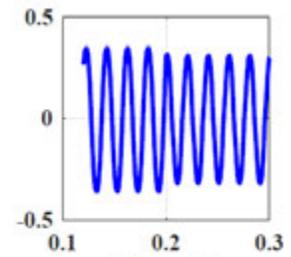
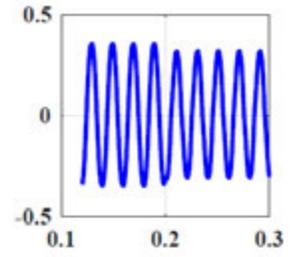
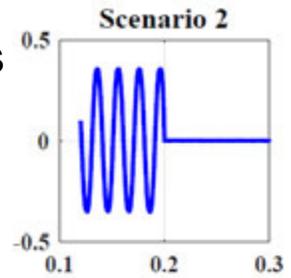
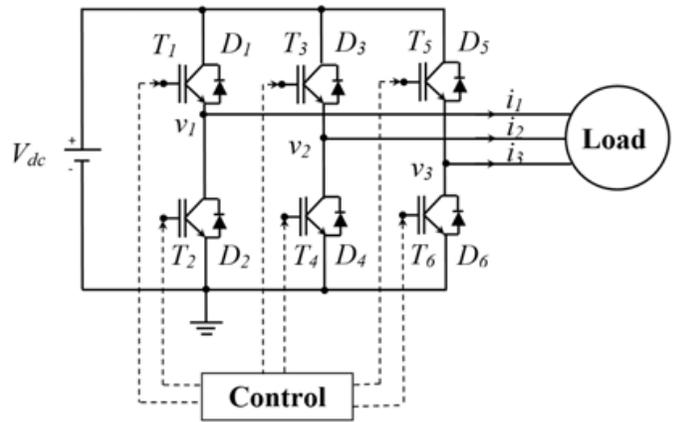
$$\beta_h(t) = \begin{cases} \frac{\langle i_h(t) \rangle}{\langle |i_h(t)| \rangle}, & \text{if } \beta_0(t) > 0 \\ \frac{\langle |i_h(t)| \rangle}{I_0}, & \text{if } \beta_0(t) \leq 0 \end{cases}$$

$$\beta_0(t) = \prod_{h=1}^n \sqrt[n]{1 + \ln\left(\frac{\langle |i_h(t)| \rangle}{I_0}\right)}$$

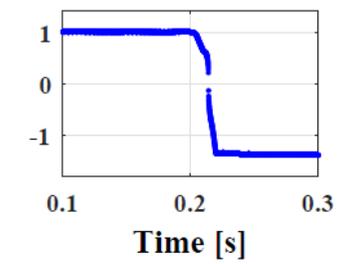
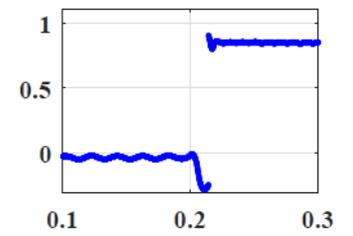
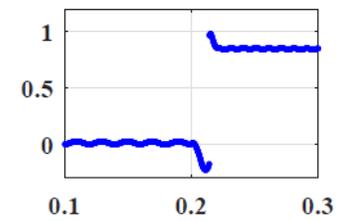
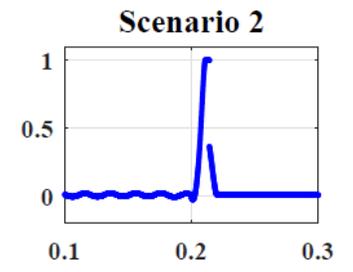


Exemple

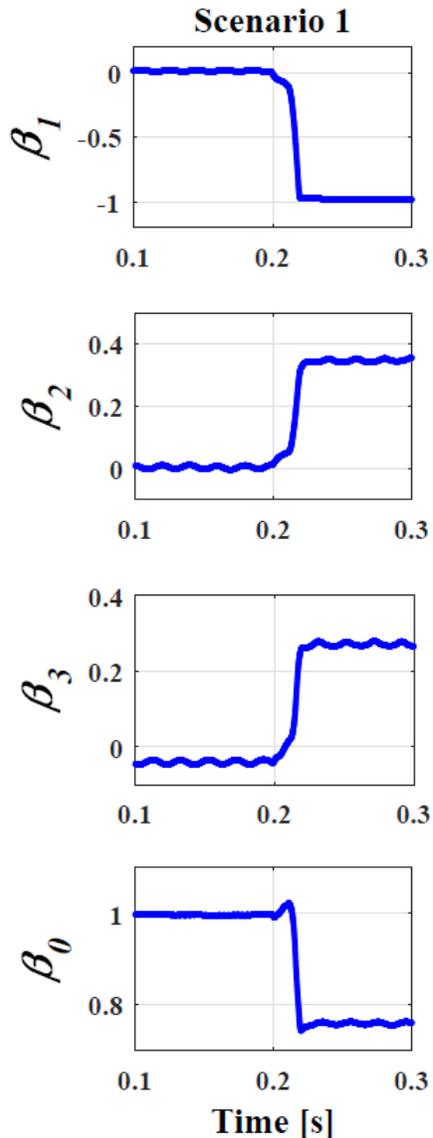
- **Systeme** : Onduleur triphasé
- **Défaut** : T1 et T2 sont ouverts



$$\beta_h(t) = \begin{cases} \frac{\langle i_h(t) \rangle}{\langle |i_h(t)| \rangle}, & \text{if } \beta_0(t) > 0 \\ \frac{\langle |i_h(t)| \rangle}{I_0}, & \text{if } \beta_0(t) \leq 0 \end{cases}$$



$$\beta_0(t) = \prod_{h=1}^n \sqrt[n]{1 + \ln \left(\frac{\langle |i_h(t)| \rangle}{I_0} \right)}$$



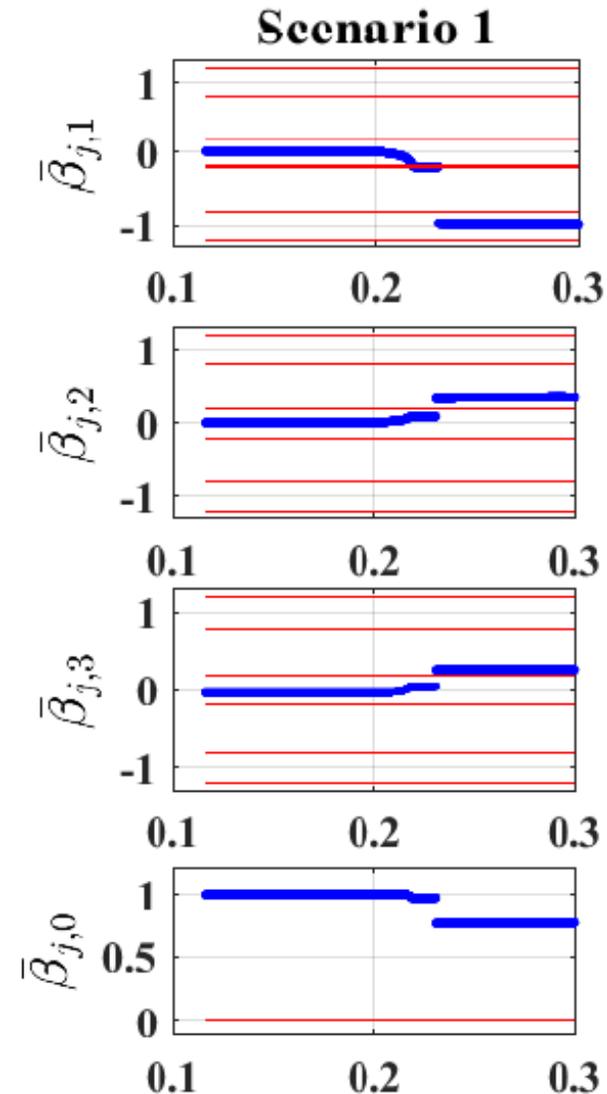
AUDyC : Auto-adaptive and Dynamical Clustering (Boubacar et al. 2005)

Avantage : identification des classes de donnée sans connaissances à-priori sur les défauts

Paramètres de la classe : centre, matrice de covariance, vecteurs de caractéristiques enregistrés

Exemple

- **Système** : Onduleur triphasé
- **Défaut** : T1 est ouvert



Défaut	Conditions
Aucun	$\bar{\beta}_0 > 0 \ \& \ \max_{m \in \{1, \dots, n\}} \bar{\beta}_m < \epsilon_l$
T_{2m-1}	$\bar{\beta}_0 > 0 \ \& \ \bar{\beta}_m + 1 \leq \epsilon_l \ \& \ \bar{\beta}_p \pm 1 > \epsilon_l$
T_{2m}	$\bar{\beta}_0 > 0 \ \& \ \bar{\beta}_m - 1 \leq \epsilon_l \ \& \ \bar{\beta}_p \pm 1 > \epsilon_l$

Exemple

- **Système** : Onduleur triphasé
- **Défaut** : T1 est ouvert
- **Paramètres** : $m = 1, \ \epsilon_l = 0,2$

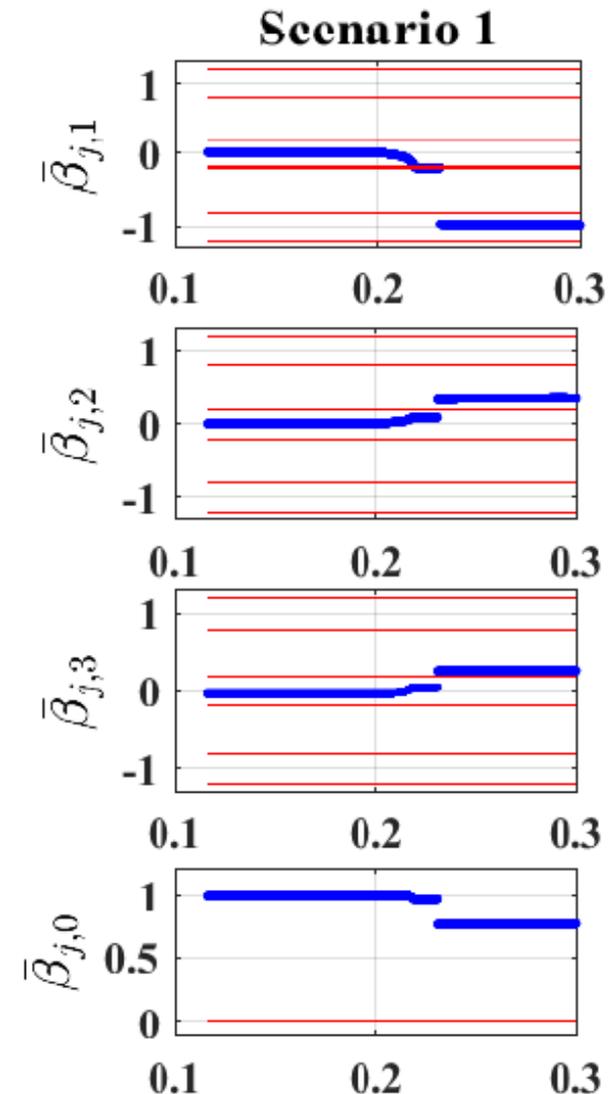
n : nombre de phase

m, p, q : indices de phase

ϵ_l : seuil choisi

$\bar{\beta}$: vecteur centre de la classe

$\bar{\beta}_{0,m,p,q}$: composants de $\bar{\beta}$

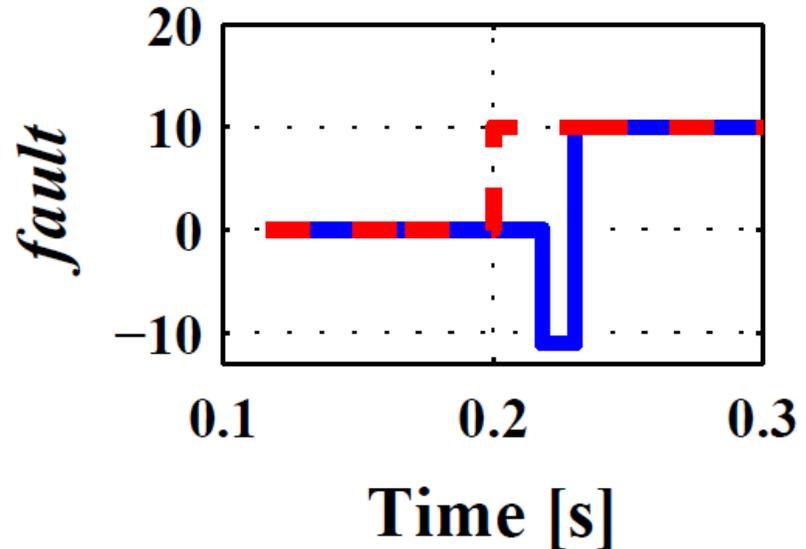
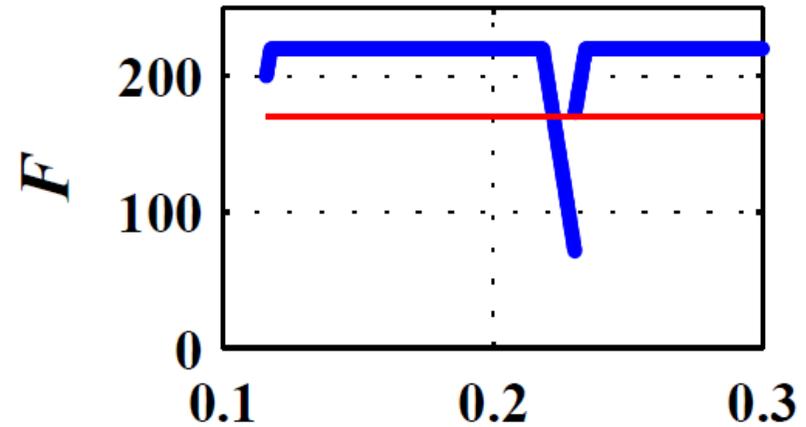


- N_f vecteurs de caractéristiques consécutives $\{\boldsymbol{\beta}(t - N_f t_s + t_s), \dots, \boldsymbol{\beta}(t)\}$
- Indicateur de défaut $F(t)$
- Détection et isolement de défaut $F(t) \geq F_f$

$N_f \in \mathbb{N}$: largeur choisi de la fenêtre glissant
 $\boldsymbol{\beta} \in \mathbb{R}^{n+1}$: vecteur de caractéristique
 $F_f \in \mathbb{N}$: seuil de défaut

Exemple

- **Système** : Onduleur triphasé
- **Défaut** : T1 est ouvert
- **Paramètre** : $N_f = 220, F_f = 170$

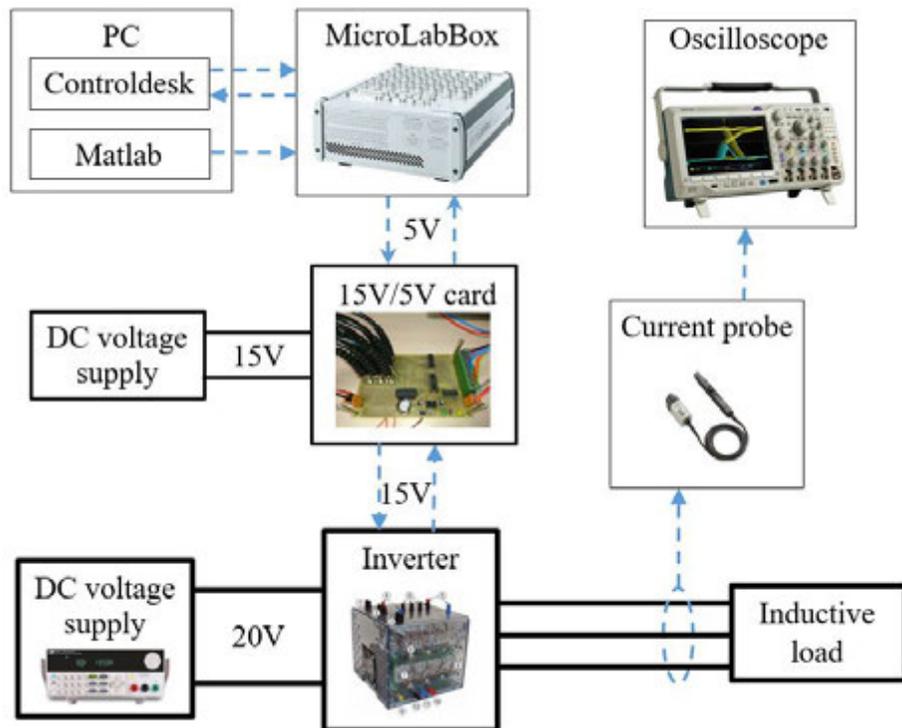


1. Introduction

2. Méthode proposée

3. Données expérimentales

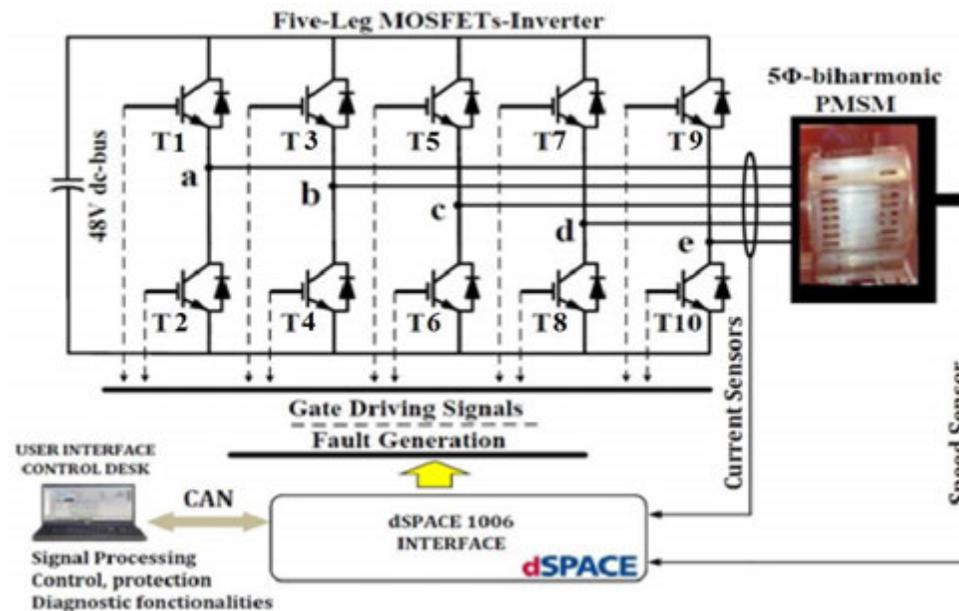
Systeme : onduleur 3-phases et charge inductive en boucle ouverte



Paramètres pour l'expérience	Unité	Quantité
Fréquence de signal	[Hz]	50
Fréquence de commutation	[kHz]	5
Tension du bus CC	[V]	20
Durée de la simulation	[s]	0,3
Période d'échantillonnage de donnée	[s]	8×10^{-5}

Scenario	1		2		3		4	
Temps [s]	0-0,2	0,2-0,3	0-0,2	0,2-0,3	0-0,2	0,2-0,3	0-0,2	0,2-0,3
Mode	normale	T1 ouvert	normale	T1 et T2 ouvert	normale	T1 et T3 ouvert	normale	T1 et T4 ouvert
Temps de détection [ms]		30,5		28,2		28,0		32,0

Système : onduleur 5-phases et moteur synchrone en boucle fermée (Tiago Dos Santos Moraes, Eric Semail, Ngac Ky Nguyen)



(Trabelsi et al. 2018)

Scénario	5					
Temps [s]	0 – 0,25	0,25 – 0,5	0,5 – 0,75	0,75 – 1	1 – 1,25	1,25 – 1,5
Mode	Normal	T4 ouvert	T3 ouvert	T2 ouvert	T1 ouvert	T3 et T4 ouvert
Temps de détection [ms]		24,8	31,9	25,0	31,8	27,9

Paramètres de l'algorithme	Quantité
Seuil de similarité, μ_{min}	0,61
Covariance initiale, σ	0,8
Cardinalité minimale d'une classe, N_{min}	150
Cardinalité maximale d'une classe, N_{max}	200
Seuil de l'étiquetage, ε_l	0.2
Largeur de la fenêtre glissante, N_f	220
Seuil de défaut, F_f	170

L'influence des paramètres sur le temps de détection sont étudiées dans (Pham et al.2019b).

Conclusion

- Une méthode basée sur les données est proposée pour la détection et isolement des défauts circuit-ouvert des onduleurs polyphasés
- La méthode est validée sur des données expérimentales
- Des conditions sur les paramètres de l'algorithme pour minimiser le temps de détection de défauts sont formulés

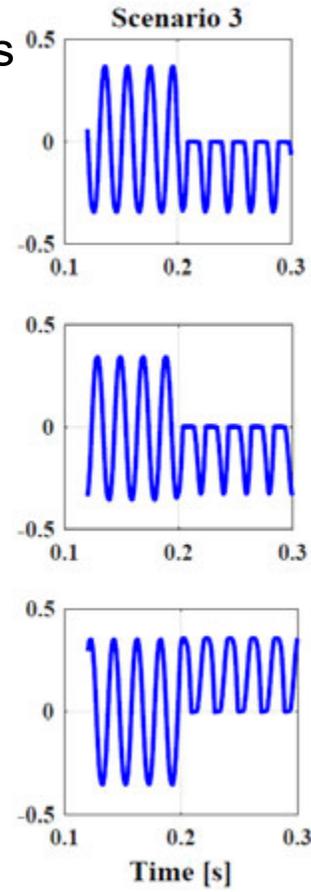
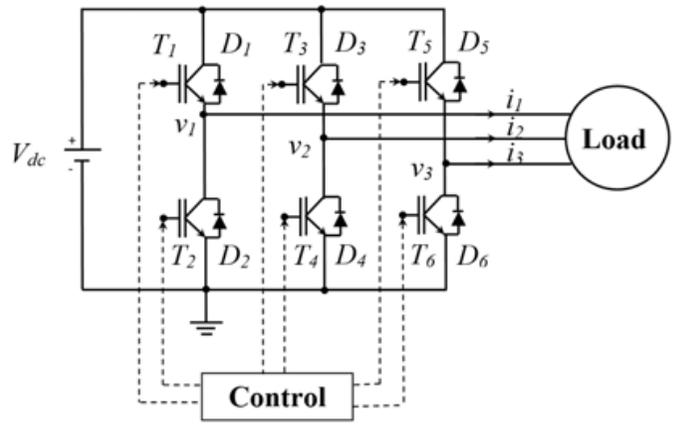
Pistes de réflexion

- Banc d'essai
- Implémentation de l'algorithme en temps réel
- Comparaison avec les méthodes dans l'état de l'art
- Evaluation de la précision et la complexité de la méthode

- [[Poon et al. 2017](#)] J. Poon, P. Jain, I. C. Konstantakopoulos, C. Spanos, S. K. Panda, and S. R. Sanders, “Model-based fault detection and identification for switching power converters”, IEEE Transaction on Power Electronics, 32(2): 1419 - 1430, February 2017.
- [[Trabelsi et al. 2018](#)] M. Trabelsi, E. Semail, and N. K. Nguyen, “Experimental investigation of inverter open-circuit fault diagnosis for bi-harmonic five-phase permanent magnet drive”, IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronic, 6(1): 339 – 351, March 2018.
- [[Cai et al. 2017](#)] B. Cai, Y. Zhao, H. Liu, and M. Xie, “A data-driven fault diagnosis methodology in three-phase inverters for PMSM drive systems”, IEEE Transactions on Power Electronics, 32(7): 5590 - 5600, July 2017.
- [[Delpha et al. 2018](#)] C. Delpha, D. Diallo, H. A. Samrout, N. Moubayed, “ Multiple incipient fault diagnosis in three-phase electrical systems using multivariate statistical signal processing”, Engineering Applications of Artificial Intelligence 73: 68 – 79, 2018.
- [[Xia et al. 2019](#)] Y. Xia, Y. Xu, and B. Gou, “ A Data-Driven Method for IGBT Open-Circuit Fault Diagnosis based on Hybrid Ensemble Learning and Sliding-Window Classification”, IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2019, accepted.
- [[Pham et al. 2019a](#)] T.H. Pham, S. Lefteriu, C. Labarre, E. Duviella, S. Lecoeuche, “Auto-adaptive and Dynamical Clustering for open-circuit fault diagnosis of power inverters”, European Control Conference, 3298 – 3303, 2019.
- [[Pham et al. 2019b](#)] T.H. Pham, S. Lefteriu, E. Duviella, S. Lecoeuche, “Auto-adaptive and Dynamical Clustering for double open-circuit fault diagnosis of power inverters”, 4th International Conference on Control and Fault-Tolerant Systems, 306 – 311, 2019.
- [[Boubacar et al. 2005](#)] H. A. Boubacar, S. Lecoeuche, and S. Maouche, “AUDyC neural network using a new gaussian densities merge mechanism”, Adaptive and Natural Computing Algorithms, 155 – 158, 2005.

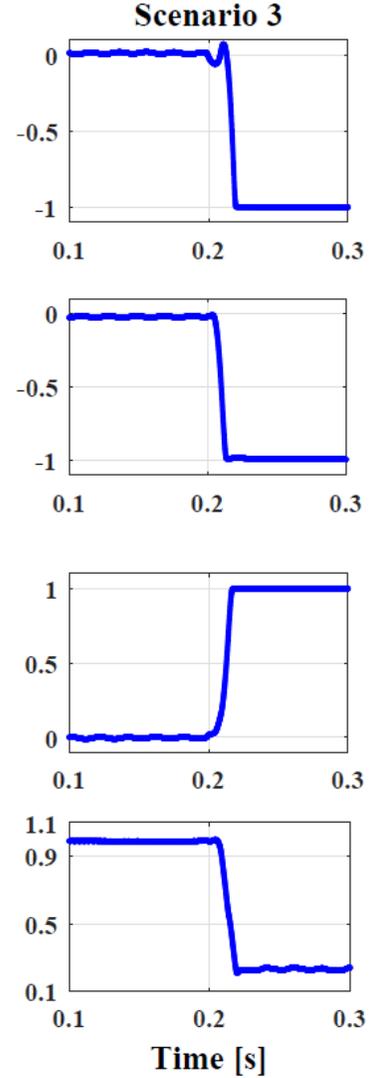
Exemple

- **Systeme** : Onduleur triphasé
- **Défaut** : T1 et T3 sont ouverts



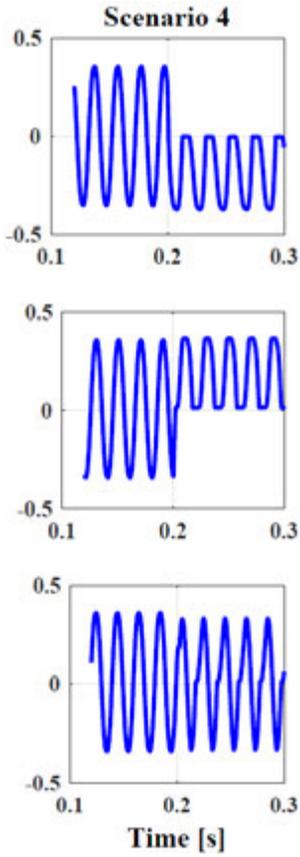
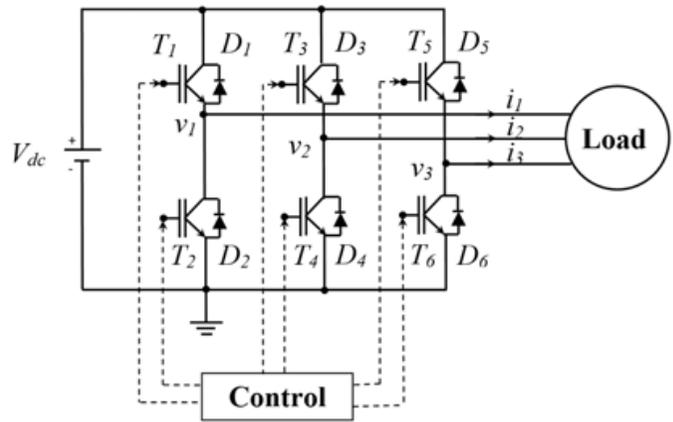
$$\beta_h(t) = \begin{cases} \frac{\langle i_h(t) \rangle}{\langle |i_h(t)| \rangle}, & \text{if } \beta_0(t) > 0 \\ \frac{\langle |i_h(t)| \rangle}{I_0}, & \text{if } \beta_0(t) \leq 0 \end{cases}$$

$$\beta_0(t) = \prod_{h=1}^n \sqrt[n]{1 + \ln \left(\frac{\langle |i_h(t)| \rangle}{I_0} \right)}$$



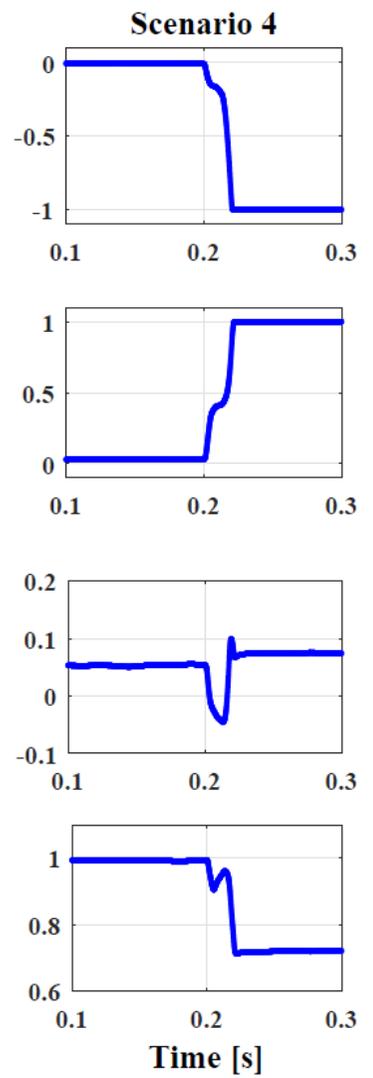
Exemple

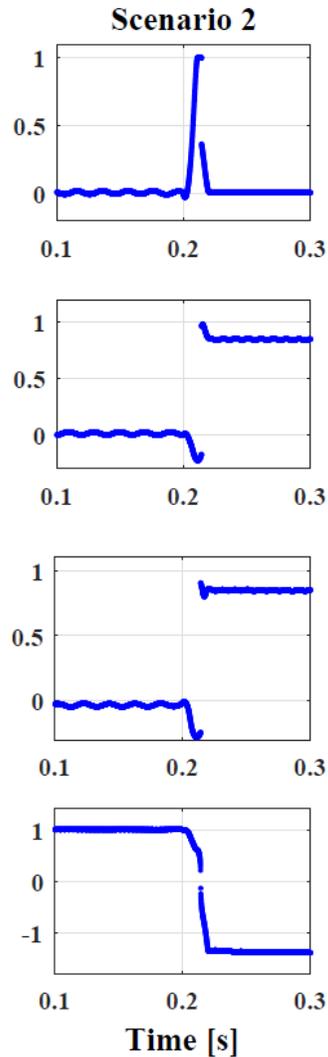
- **Système** : Onduleur triphasé
- **Défaut** : T1 et T4 sont ouverts



$$\beta_h(t) = \begin{cases} \frac{\langle i_h(t) \rangle}{\langle |i_h(t)| \rangle}, & \text{if } \beta_0(t) > 0 \\ \frac{\langle |i_h(t)| \rangle}{I_0}, & \text{if } \beta_0(t) \leq 0 \end{cases}$$

$$\beta_0(t) = \prod_{h=1}^n \sqrt{1 + \ln \left(\frac{\langle |i_h(t)| \rangle}{I_0} \right)}$$





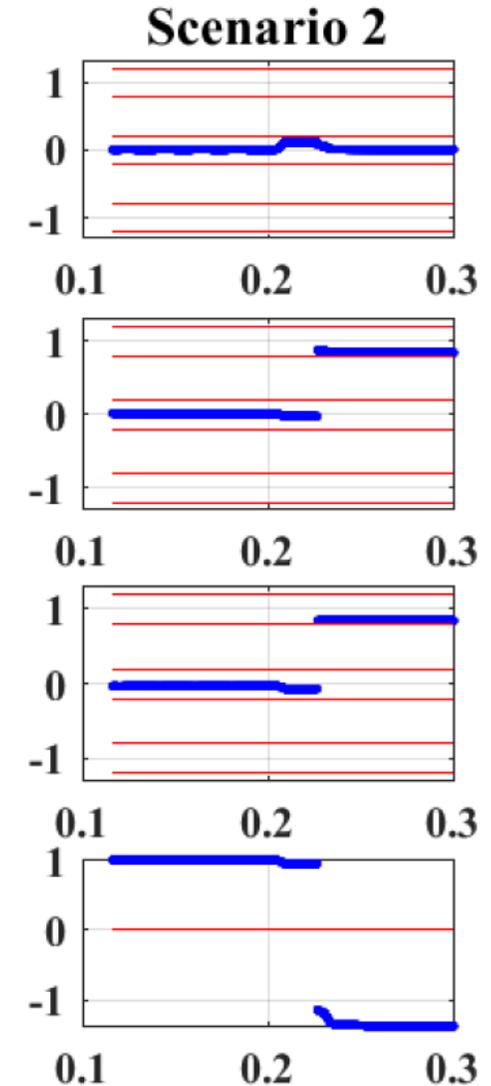
AUDyC : Auto-adaptive and Dynamical Clustering (Boubacar et al. 2005)

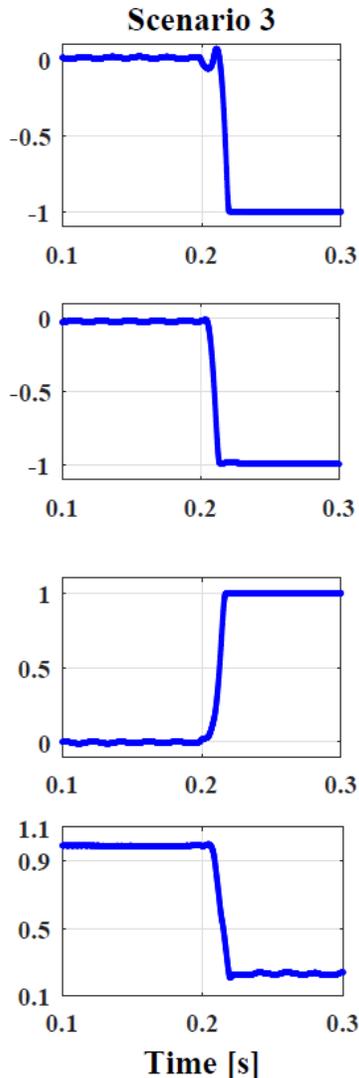
Avantage : identification des classes de donnée sans connaissances à-priori sur les défauts

Paramètres de la classe : centre, matrice de covariance, vecteurs de caractéristiques enregistrés

Exemple

- **Système** : Onduleur triphasé
- **Défaut** : T1 et T2 sont ouverts





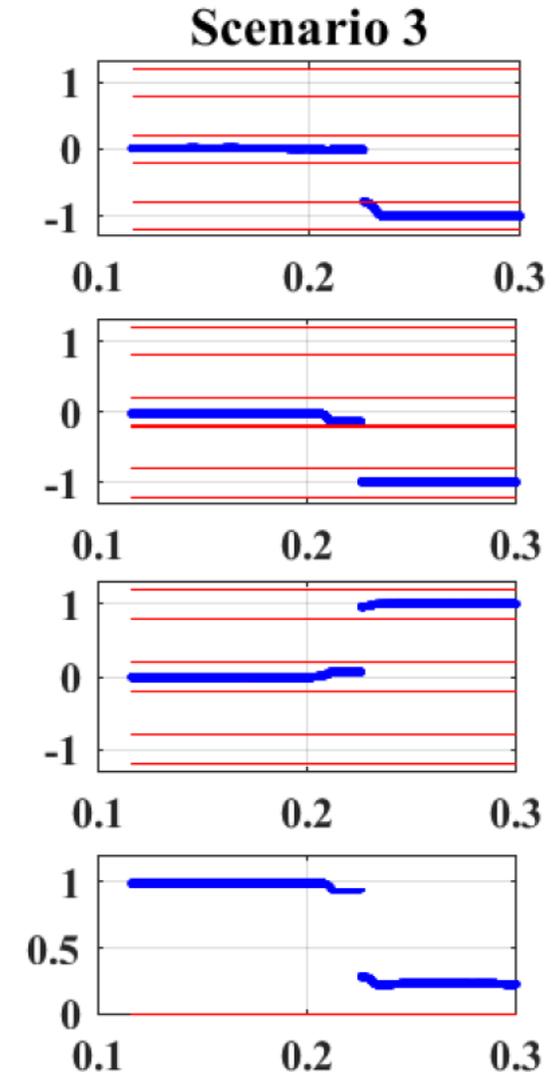
AUDyC : Auto-adaptive and Dynamical Clustering (Boubacar et al. 2005)

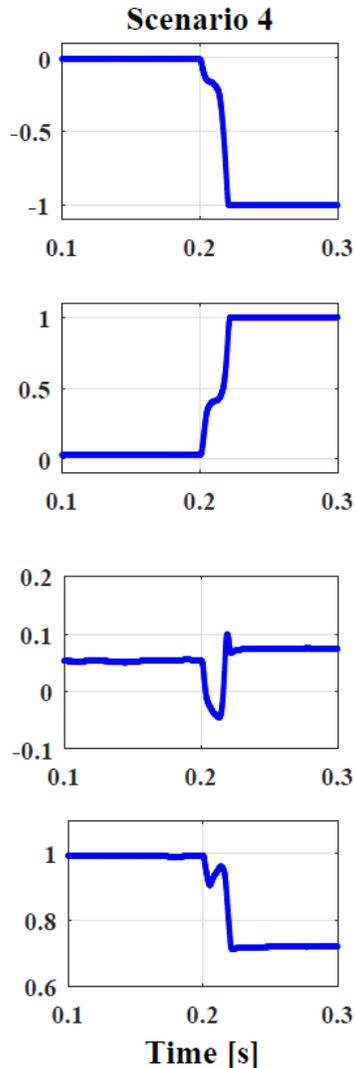
Avantage : identification des classes de donnée sans connaissances à-priori sur les défauts

Paramètres de la classe : centre, matrice de covariance, vecteurs de caractéristiques enregistrés

Exemple

- **Système** : Onduleur triphasé
- **Défaut** : T1 et T3 sont ouverts





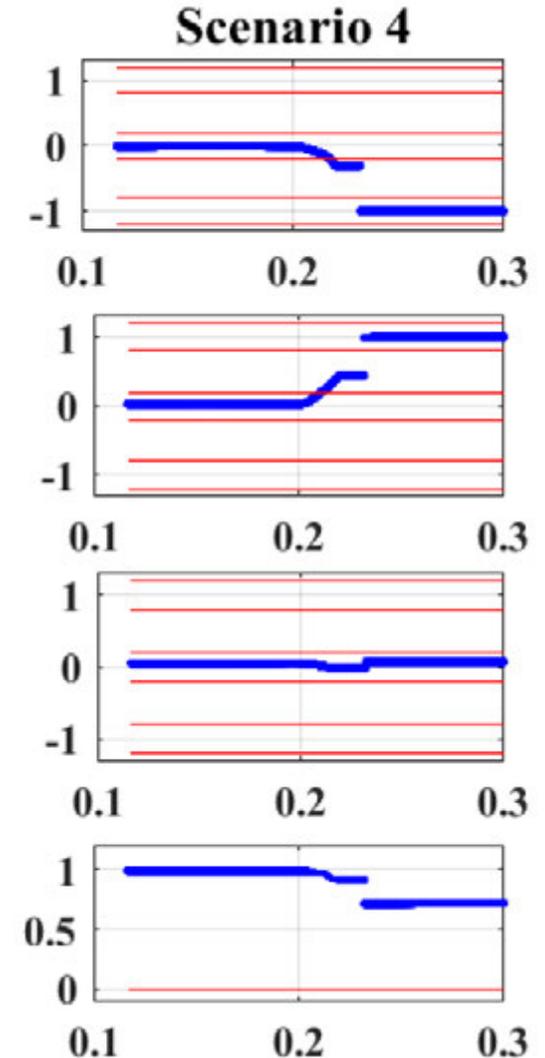
AUDyC : Auto-adaptive and Dynamical Clustering (Boubacar et al. 2005)

Avantage : identification des classes de donnée sans connaissances à-priori sur les défauts

Paramètres de la classe : centre, matrice de covariance, vecteurs de caractéristiques enregistrés

Exemple

- **Système** : Onduleur triphasé
- **Défaut** : T1 et T4 sont ouverts



Défaut	Conditions
Aucun	$\bar{\beta}_0 > 0 \ \& \ \max_{m \in \{1, \dots, n\}} \bar{\beta}_m < \epsilon_l$
$T_{2m-1} \ \& \ T_{2m}$	$\bar{\beta}_0 \leq 0 \ \& \ \bar{\beta}_m \leq \epsilon_l$

Exemple

- **Système** : Onduleur triphasé
- **Défaut** : T1 et T2 sont ouverts
- **Paramètres** : $m = 1, \ \epsilon_l = 0,2$

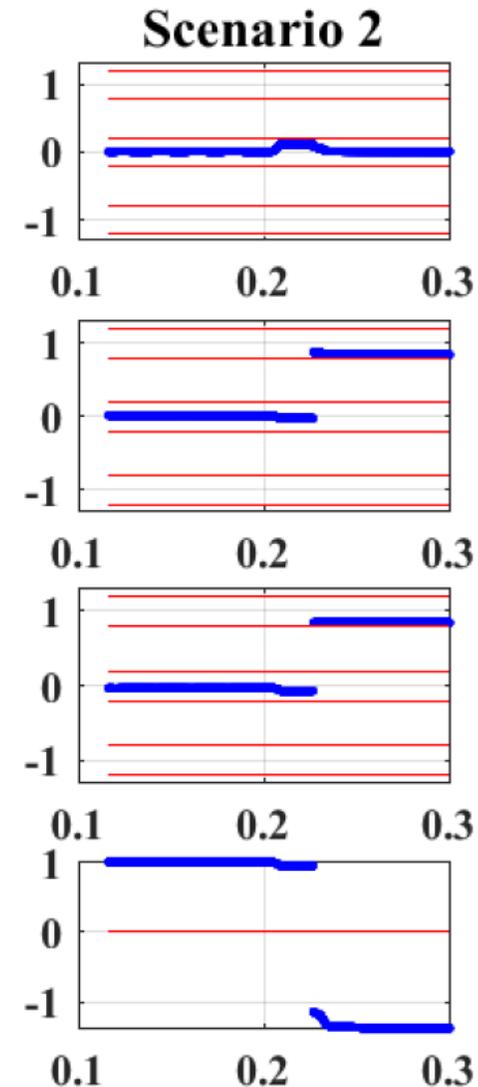
n : nombre de phase

m, p, q : indices de phase

ϵ_l : seuil choisi

$\bar{\beta}$: vecteur centre de la classe

$\bar{\beta}_{0,m,p,q}$: composants de $\bar{\beta}$



Défaut	Conditions
Aucun	$\bar{\beta}_0 > 0 \ \& \ \max_{m \in \{1, \dots, n\}} \bar{\beta}_m < \epsilon_l$
$T_{2m-1} \ \& \ T_{2p-1}$	$\bar{\beta}_0 > 0 \ \& \ \bar{\beta}_m + 1 \leq \epsilon_l \ \& \ \bar{\beta}_p + 1 \leq \epsilon_l \ \& \ \bar{\beta}_q - 1 \leq \epsilon_l$, if $n = 3$ $\bar{\beta}_0 > 0 \ \& \ \bar{\beta}_m + 1 \leq \epsilon_l \ \& \ \bar{\beta}_p + 1 \leq \epsilon_l \ \& \ \bar{\beta}_q \pm 1 > \epsilon_l$, if $n > 3$
$T_{2m} \ \& \ T_{2p}$	$\bar{\beta}_0 > 0 \ \& \ \bar{\beta}_m - 1 \leq \epsilon_l \ \& \ \bar{\beta}_p - 1 \leq \epsilon_l \ \& \ \bar{\beta}_q + 1 \leq \epsilon_l$, if $n = 3$ $\bar{\beta}_0 > 0 \ \& \ \bar{\beta}_m - 1 \leq \epsilon_l \ \& \ \bar{\beta}_p - 1 \leq \epsilon_l \ \& \ \bar{\beta}_q \pm 1 > \epsilon_l$, if $n > 3$

Exemple

- **Système** : Onduleur triphasé
- **Défaut** : T1 et T3 sont ouverts
- **Paramètres** : $m = 1, p=2, q=3, \epsilon_l=0,2$

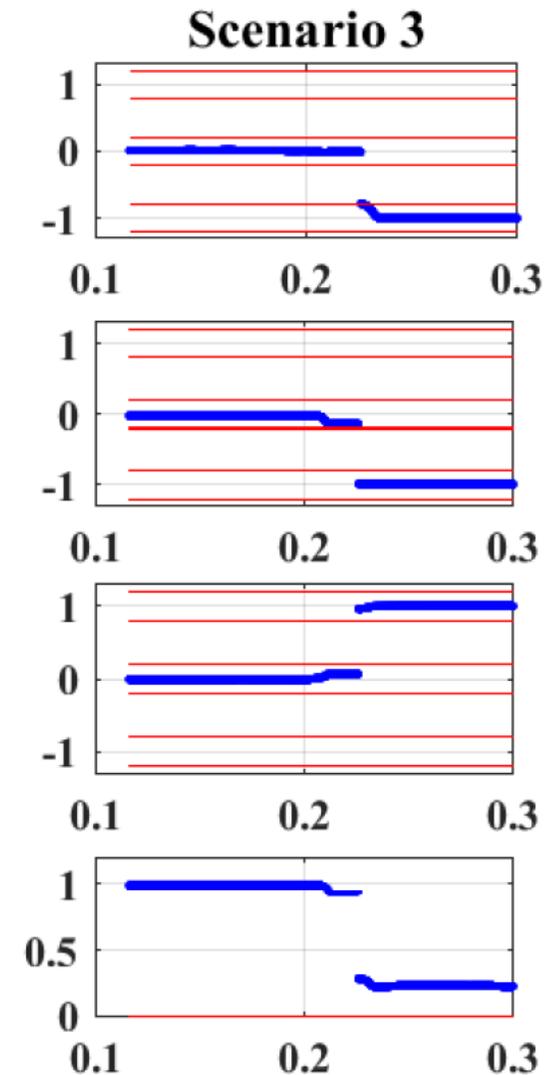
n : nombre de phase

m, p, q : indices de phase

ϵ_l : seuil choisi

$\bar{\beta}$: vecteur centre de la classe

$\bar{\beta}_{0,m,p,q}$: composants de $\bar{\beta}$



Défaut	Conditions
Aucun	$\bar{\beta}_0 > 0 \ \& \ \max_{m \in \{1, \dots, n\}} \bar{\beta}_m < \epsilon_l$
$T_{2m-1} \ \& \ T_{2p}$	$\bar{\beta}_0 > 0 \ \& \ \bar{\beta}_m + 1 \leq \epsilon_l \ \& \ \bar{\beta}_p - 1 \leq \epsilon_l \ \& \ \bar{\beta}_q \pm 1 > \epsilon_l$

Exemple

- **Système** : Onduleur triphasé
- **Défaut** : T1 et T4 sont ouverts
- **Paramètres** : $m = 1, p=2, q=3, \epsilon_l=0,2$

n : nombre de phase

m, p, q : indices de phase

ϵ_l : seuil choisi

$\bar{\beta}$: vecteur centre de la classe

$\bar{\beta}_{0,m,p,q}$: composants de $\bar{\beta}$

