

Fusion de décisions dédiée à la surveillance des systèmes complexes

Khaoula TIDRIRI

Teodor TIPLICA

Nizar Chatti et Sylvain Verron

LARIS Laboratoire Angevin de Recherche en Ingénierie des Systèmes
49000 Angers, France

21 Juin 2018



Contenu

1. Introduction générale
2. Fusion de décisions pour le diagnostic
3. Conclusion

Sommaire

1. Introduction générale
2. Fusion de décisions pour le diagnostic
3. Conclusion

Contexte

Systemes de plus en plus complexes.

Surveillance

Ensemble des actions mises en oeuvre qui permettent de déterminer l'état d'un système physique, en **déTECTANT**, en **DIAGNOSTIQUANT** et en **PRÉDISANT** des défauts qui peuvent survenir lors de son fonctionnement.

2 approches classiques: Modèle et Données

- Chaque approche a ses propres avantages et inconvénients.
- Intérêt croissant pour l'intégration d'approches et la fusion de décisions.

Contexte

Systemes de plus en plus complexes.

Surveillance

Ensemble des actions mises en oeuvre qui permettent de déterminer l'état d'un système physique, en **détectant**, en **diagnostiquant** et en **prédisant** des défauts qui peuvent survenir lors de son fonctionnement.

2 approches classiques: Modèle et Données

- Chaque approche a ses propres avantages et inconvénients.
- Intérêt croissant pour l'intégration d'approches et la fusion de décisions.

Contexte

Systemes de plus en plus complexes.

Surveillance

Ensemble des actions mises en oeuvre qui permettent de déterminer l'état d'un système physique, en **détectant**, en **diagnostiquant** et en **prédisant** des défauts qui peuvent survenir lors de son fonctionnement.

2 approches classiques: Modèle et Données

- Chaque approche a ses propres avantages et inconvénients.
- Intérêt croissant pour l'intégration d'approches et la fusion de décisions.

Problématique

Problématique

Détection, diagnostic et pronostic de défauts dans les systèmes complexes avec une méthodologie basée sur la fusion de décisions.

- L'objectif principal est de proposer une approche générique d'intégration de diverses méthodes de surveillance, dont la performance serait meilleure que celles des méthodes individuelles la composant.

Sommaire

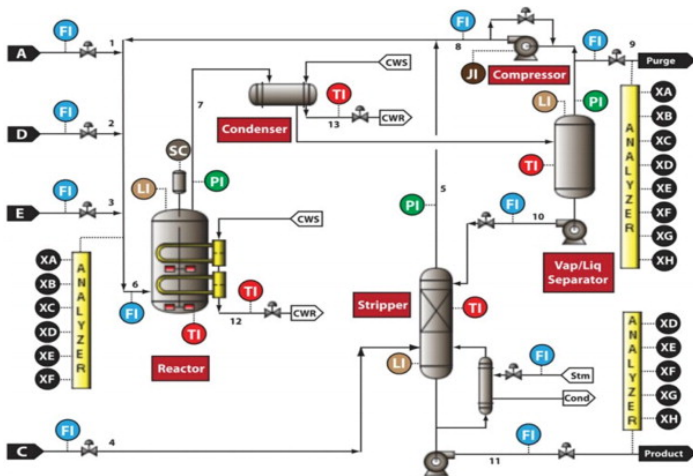
1. Introduction générale

2. Fusion de décisions pour le diagnostic

- Evaluation des performances individuelles
- Stratégie de diagnostic et apprentissage
- Fusion des décisions

3. Conclusion

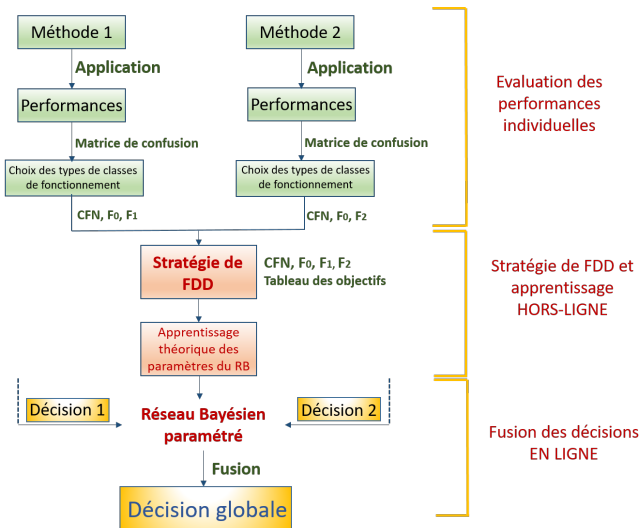
Application: le TEP



Les défauts du TEP

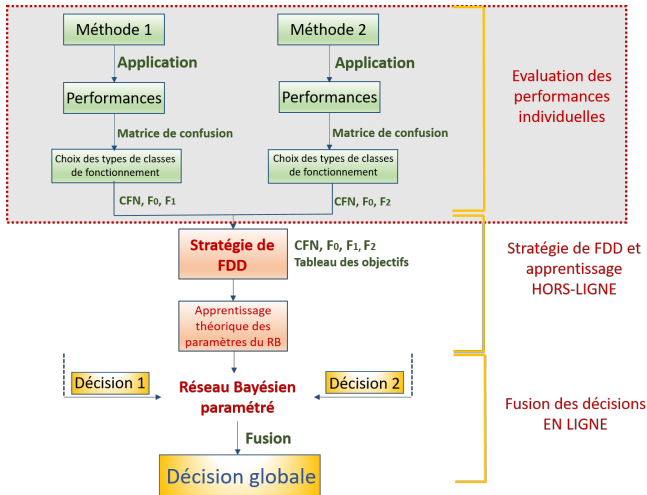
Faute	Description	Type
S_1	Ratio d'alimentation A/C	Saut
S_2	Composition en B	Saut
S_3	Température d'alimentation en D	Saut
S_4	Température d'entrée du refroidissement liquide au réacteur	Saut
S_5	Température d'entrée du refroidissement liquide au condenseur	Saut
S_6	Baisse d'alimentation en A	Saut
S_7	Perte de pression de l'alimentation en C	Saut
S_8	Composition d'alimentation en A, B et C	Variation aléatoire
S_9	Température d'alimentation en D	Variation aléatoire
S_{10}	Température d'alimentation en C	Variation aléatoire
S_{11}	Température d'entrée du refroidissement liquide au réacteur	Variation aléatoire
S_{12}	Température d'entrée du refroidissement liquide au condenseur	Variation aléatoire
S_{13}	Cinétiques des réactions	Dérive lente
S_{14}	Vanne du refroidissement liquide au réacteur	Bloquée
S_{15}	Vanne du refroidissement liquide au condenseur	Bloquée

Démarche méthodologique

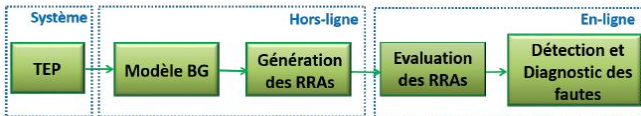




Evaluation des performances individuelles



Diagnostic du TEP par une méthode à base de modèle



	<i>CFN</i>	S_1	S_2	S_5	S_6	S_7	S_8	S_{12}	S_{13}
<i>CFN</i>	99.74	0	0	0	0.13	0	0	0.13	0
S_1	10.83	89.17	0	0	0	0	0	0	0
S_2	4.20	0	0	0	0	1.4	0.38	1.02	93
S_5	2.93	0	0	96.56	0	0	0.38	0.13	0
S_6	1.66	0	0	0	98.09	0	0	0.25	0
S_7	0	0	0	0	0	100	0	0	0
S_8	0.13	0	0	0.13	0	0	99.74	0	0
S_{12}	0.25	0	0	0	0	0.25	0	99.5	0
S_{13}	0	0	0	0	0	0	0	0	100

Diagnostic du TEP par une méthode à base de données

Analyse discriminante

Technique statistique de classification supervisée qui repose sur la règle de Bayes pour prédire la classe d'une nouvelle observation.

	<i>CFN</i>	S_1	S_2	S_5	S_6	S_7	S_8	S_{12}	S_{13}
<i>CFN</i>	78.98	0	0	3.57	0	0	5.22	12.23	0
S_1	0.25	99.75	0	0	0	0	0	0	0
S_2	1.91	0	98.09	0	0	0	0	0	0
S_5	2.42	0	0	96.69	0	0	0.25	0.64	0
S_6	0	0	0	0	100	0	0	0	0
S_7	0	0	0	0	0	100	0	0	0
S_8	33.12	0.51	0	1.40	0	0	30.70	32.23	2.04
S_{12}	31.34	0	0	9.04	0	0	12.99	42.29	4.33
S_{13}	14.65	0	0	1.53	0	0	22.42	30.03	31.34

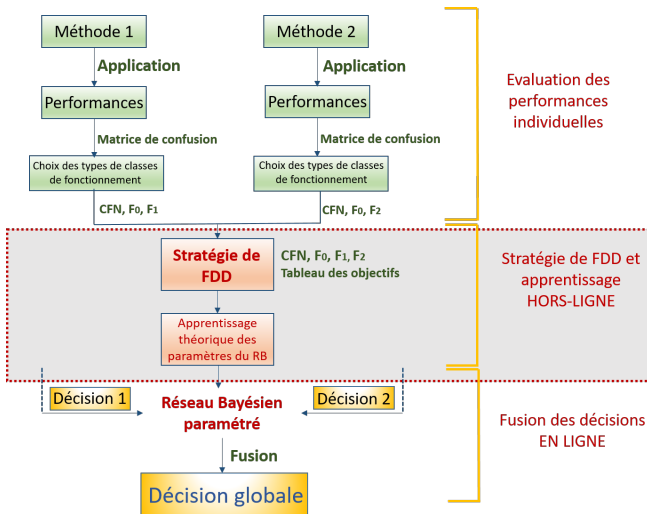
Comparaison des performances individuelles

D1	CFN	S ₁	S ₂	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈	S ₁₂	S ₁₃
CFN	99.74	0	0	0	0.13	0	0	0.13	0
S ₁	10.83	89.17	0	0	0	0	0	0	0
S ₂	4.20	0	0	0	0	1.4	0.38	1.02	93
S ₅	2.93	0	0	96.56	0	0	0.38	0.13	0
S ₆	1.66	0	0	0	98.09	0	0	0.25	0
S ₇	0	0	0	0	0	100	0	0	0
S ₈	0.13	0	0	0.13	0	0	99.74	0	0
S ₁₂	0.25	0	0	0	0	0.25	0	99.5	0
S ₁₃	0	0	0	0	0	0	0	0	100

D2	CFN	S ₁	S ₂	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈	S ₁₂	S ₁₃
CFN	78.98	0	0	3.57	0	0	5.22	12.23	0
S ₁	0.25	99.75	0	0	0	0	0	0	0
S ₂	1.91	0	98.09	0	0	0	0	0	0
S ₅	2.42	0	0	96.69	0	0	0.25	0.64	0
S ₆	0	0	0	0	100	0	0	0	0
S ₇	0	0	0	0	0	100	0	0	0
S ₈	33.12	0.51	0	1.40	0	0	30.70	32.23	2.04
S ₁₂	31.34	0	0	9.04	0	0	12.99	42.29	4.33
S ₁₃	14.65	0	0	1.53	0	0	22.42	30.03	31.34

- $F_1 = \{CFN, S_8, S_{12}, S_{13}\}$
- $F_2 = \{S_1, S_2, S_6\}$
- $F_0 = \{S_5, S_7\}$

Démarche méthodologique



Stratégie de diagnostic

$d_2 \backslash d_1$	CFN	F_0	F_1
CFN	1. CFN	4. $CFN; F_0$	7. F_1
F_0	2. $CFN; F_0$	5. F_0	8. $F_1; F_1 \cap F_0$
F_2	3. F_2	6. $F_2; F_2 \cap F_0$	9. $F_1 \cap F_2$

- Objectif 1 : Si $d_1 = \{CFN\}$ et $d_2 = \{CFN\}$, alors la décision globale est unique et immédiate: $d = \{CFN\}$.
- Objectif 2 : Si $d_1 = \{CFN\}$ et $d_2 = \{F_0\}$, alors la décision globale n'est pas unique et les deux possibilités sont
 - $d = \{CFN\}$ pour une stratégie FAR ou
 - $d = \{F_0\}$ pour une stratégie FDR.
- Objectif 3 : Si $d_1 = \{CFN\}$ et $d_2 = \{F_2\}$, alors la décision globale est unique et immédiate: $d = \{F_2\}$.

Stratégie de diagnostic

$d_2 \backslash d_1$	CFN	F_0	F_1
CFN	1. CFN	4. $CFN; F_0$	7. F_1
F_0	2. $CFN; F_0$	5. F_0	8. $F_1; F_1 \cap F_0$
F_2	3. F_2	6. $F_2; F_2 \cap F_0$	9. $F_1 \cap F_2$

- Objectif 1 : Si $d_1 = \{CFN\}$ et $d_2 = \{CFN\}$, alors la décision globale est unique et immédiate: $d = \{CFN\}$.
- Objectif 2 : Si $d_1 = \{CFN\}$ et $d_2 = \{F_0\}$, alors la décision globale n'est pas unique et les deux possibilités sont
 - $d = \{CFN\}$ pour une stratégie FAR ou
 - $d = \{F_0\}$ pour une stratégie FDR.
- Objectif 3 : Si $d_1 = \{CFN\}$ et $d_2 = \{F_2\}$, alors la décision globale est unique et immédiate: $d = \{F_2\}$.

Stratégie de diagnostic

$d_2 \backslash d_1$	CFN	F_0	F_1
CFN	1. CFN	4. $CFN; F_0$	7. F_1
F_0	2. $CFN; F_0$	5. F_0	8. $F_1; F_1 \cap F_0$
F_2	3. F_2	6. $F_2; F_2 \cap F_0$	9. $F_1 \cap F_2$

- Objectif 1 : Si $d_1 = \{CFN\}$ et $d_2 = \{CFN\}$, alors la décision globale est unique et immédiate: $d = \{CFN\}$.
- Objectif 2 : Si $d_1 = \{CFN\}$ et $d_2 = \{F_0\}$, alors la décision globale n'est pas unique et les deux possibilités sont
 - $d = \{CFN\}$ pour une stratégie **FAR** ou
 - $d = \{F_0\}$ pour une stratégie **FDR**.
- Objectif 3 : Si $d_1 = \{CFN\}$ et $d_2 = \{F_2\}$, alors la décision globale est unique et immédiate: $d = \{F_2\}$.

Stratégie de diagnostic

$d_2 \backslash d_1$	CFN	F_0	F_1
CFN	1. CFN	4. $CFN; F_0$	7. F_1
F_0	2. $CFN; F_0$	5. F_0	8. $F_1; F_1 \cap F_0$
F_2	3. F_2	6. $F_2; F_2 \cap F_0$	9. $F_1 \cap F_2$

- Objectif 1 : Si $d_1 = \{CFN\}$ et $d_2 = \{CFN\}$, alors la décision globale est unique et immédiate: $d = \{CFN\}$.
- Objectif 2 : Si $d_1 = \{CFN\}$ et $d_2 = \{F_0\}$, alors la décision globale n'est pas unique et les deux possibilités sont
 - $d = \{CFN\}$ pour une stratégie **FAR** ou
 - $d = \{F_0\}$ pour une stratégie **FDR**.
- Objectif 3 : Si $d_1 = \{CFN\}$ et $d_2 = \{F_2\}$, alors la décision globale est unique et immédiate: $d = \{F_2\}$.

Stratégie de diagnostic

$d_2 \backslash d_1$	CFN	F_0	F_1
CFN	1. CFN	4. $CFN; F_0$	7. F_1
F_0	2. $CFN; F_0$	5. F_0	8. $F_1; F_1 \cap F_0$
F_2	3. F_2	6. $F_2; F_2 \cap F_0$	9. $F_1 \cap F_2$

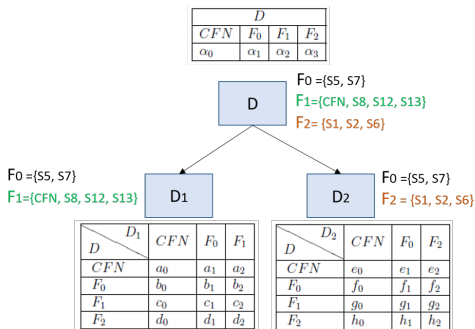
- Objectif 1 : Si $d_1 = \{CFN\}$ et $d_2 = \{CFN\}$, alors la décision globale est unique et immédiate: $d = \{CFN\}$.
- Objectif 2 : Si $d_1 = \{CFN\}$ et $d_2 = \{F_0\}$, alors la décision globale n'est pas unique et les deux possibilités sont
 - $d = \{CFN\}$ pour une stratégie **FAR** ou
 - $d = \{F_0\}$ pour une stratégie **FDR**.
- Objectif 3 : Si $d_1 = \{CFN\}$ et $d_2 = \{F_2\}$, alors la décision globale est unique et immédiate: $d = \{F_2\}$.

Stratégie de diagnostic

$d_2 \backslash d_1$	CFN	F_0	F_1
CFN	1. CFN	4. $CFN; F_0$	7. F_1
F_0	2. $CFN; F_0$	5. F_0	8. $F_1; F_1 \cap F_0$
F_2	3. F_2	6. $F_2; F_2 \cap F_0$	9. $F_1 \cap F_2$

- Objectif 1 : Si $d_1 = \{CFN\}$ et $d_2 = \{CFN\}$, alors la décision globale est unique et immédiate: $d = \{CFN\}$.
- Objectif 2 : Si $d_1 = \{CFN\}$ et $d_2 = \{F_0\}$, alors la décision globale n'est pas unique et les deux possibilités sont
 - $d = \{CFN\}$ pour une stratégie **FAR** ou
 - $d = \{F_0\}$ pour une stratégie **FDR**.
- Objectif 3 : Si $d_1 = \{CFN\}$ et $d_2 = \{F_2\}$, alors la décision globale est unique et immédiate: $d = \{F_2\}$.

Cadre de fusion



Règle de décision: maximum a posteriori.

Déterminer les valeurs de ces paramètres afin de respecter les objectifs de diagnostic.

Développement des objectifs

L'objectif 1 indique que si $d_1 = \{CFN\}$ et $d_2 = \{CFN\}$, alors la décision globale est : $d = \{CFN\}$.

$$\left\{ \begin{array}{l} P(D = CFN/D_1 = CFN \cap D_2 = CFN) > P(D = CFN) \\ P(D = CFN/D_1 = CFN \cap D_2 = CFN) > P(D = F_i/D_1 = CFN \cap D_2 = CFN), \\ \quad i \in \{0, 1, 2\} \end{array} \right.$$

- Critère 1 : La première inégalité est développée comme il suit :

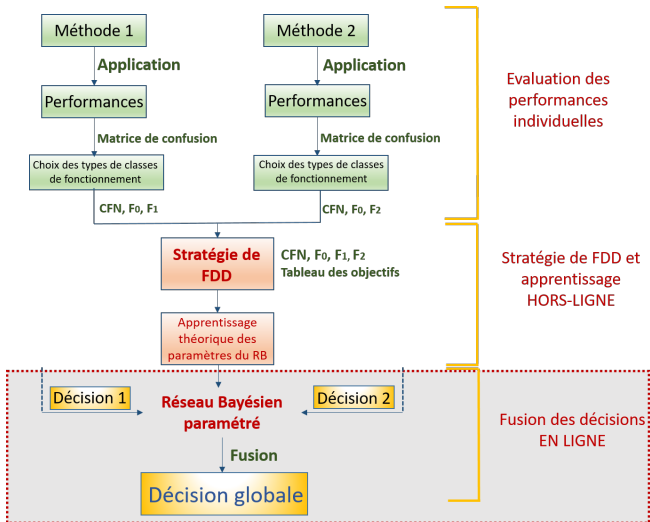
$$\begin{aligned} & P(D = CFN/D_1 = CFN \cap D_2 = CFN) > P(D = CFN) \\ \Leftrightarrow & \frac{P(D_1=CFN/D_2=CFN \cap D=CFN)P(D_2=CFN/D=CFN)P(D=CFN)}{P(D_1=CFN/D_2=CFN)P(D_2=CFN)} > P(D = CFN) \\ \Leftrightarrow & \frac{P(D_1=CFN/D=CFN)P(D_2=CFN/D=CFN)}{P(D_1=CFN/D_2=CFN)P(D_2=CFN)} > 1 \\ \Leftrightarrow & \frac{\alpha_0^2}{[\sum P(D_1=CFN/D_2=CFN \cap D=d_i)P(D=d_i)] [\sum P(D_2=CFN/D=d_i)P(D=d_i)]} > 1 \\ \Leftrightarrow & \frac{\alpha_0^2}{\alpha_0^2(a_0+b_0+c_0+d_0)^2} > 1 \\ \Leftrightarrow & \frac{\alpha_0}{\alpha_0(a_0+b_0+c_0+d_0)} > 1 \end{aligned}$$

Loi de Bayes

**Indépendance
Conditionnelle**

Marginalisation

Démarche méthodologique



Résultats de la fusion

	Methode 1	Methode 2	Fusion (Stratégie FAR)	Fusion (Stratégie FDR)
FDR	85.38	74.86	98.11	98.23
FAR	0.26	21.02	0.13	0.26

	<i>RN</i>	<i>SVM</i>	<i>ACP</i>	<i>RN</i>	<i>RB</i>	<i>BG</i>	<i>BG + AD</i>	<i>AD</i>	<i>Fusion_{FAR}</i>	<i>Fusion_{FDR}</i>
<i>S</i> ₁	81	87.19	87.19	98	97.5	89.04	89.17	99.75	95.29	95.54
<i>S</i> ₂	82	85.83	87.5	99	98.13	72.10	0	98.09	94.40	94.40
<i>S</i> ₅	73	57.60	4.06	98	98	83.18	96.56	96.69	95.92	96.69
<i>S</i> ₆	84	78.85	90.21	100	100	90.32	98.09	100	100	100
<i>S</i> ₇	82	88.85	89.69	100	100	82.17	100	100	100	100
<i>S</i> ₈	45	32.19	85	60	97	83.57	99.75	30.70	99.75	99.74
<i>S</i> ₁₂	22	50.21	85.83	44	99.25	73.76	99.49	42.29	99.5	99.5
<i>S</i> ₁₃	16	21.46	69.06	34	76.38	70.70	100	31.34	100	100
FDR	60.63	62.77	74.82	79.13	95.78	80.61	85.38	74.86	98.11	98.23

Sommaire

1. Introduction générale
2. Fusion de décisions pour le diagnostic
3. Conclusion

Conclusion

Contributions de la présentation

- Démarche méthodologique de fusion de décisions, basée sur la théorie Bayésienne.
- Adaptation de cette méthodologie à la détection et au diagnostic.
- Application de l'approche proposée à un système complexe de grande taille : le TEP

Autres contributions de la thèse

- Adaptation de cette méthodologie au pronostic.
- Application de l'approche proposée à un ensemble de turboréacteurs à double flux.

Perspectives

- Extension à N méthodes.
- Automatisation de la procédure.

Conclusion

Contributions de la présentation

- Démarche méthodologique de fusion de décisions, basée sur la théorie Bayésienne.
- Adaptation de cette méthodologie à la détection et au diagnostic.
- Application de l'approche proposée à un système complexe de grande taille : le TEP

Autres contributions de la thèse

- Adaptation de cette méthodologie au pronostic.
- Application de l'approche proposée à un ensemble de turboréacteurs à double flux.

Perspectives

- Extension à N méthodes.
- Automatisation de la procédure.

Conclusion

Contributions de la présentation

- Démarche méthodologique de fusion de décisions, basée sur la théorie Bayésienne.
- Adaptation de cette méthodologie à la détection et au diagnostic.
- Application de l'approche proposée à un système complexe de grande taille : le TEP

Autres contributions de la thèse

- Adaptation de cette méthodologie au pronostic.
- Application de l'approche proposée à un ensemble de turboréacteurs à double flux.

Perspectives

- Extension à N méthodes.
- Automatisation de la procédure.

Conclusion

Contributions de la présentation

- Démarche méthodologique de fusion de décisions, basée sur la théorie Bayésienne.
- Adaptation de cette méthodologie à la détection et au diagnostic.
- Application de l'approche proposée à un système complexe de grande taille : le TEP

Autres contributions de la thèse

- Adaptation de cette méthodologie au pronostic.
- Application de l'approche proposée à un ensemble de turboréacteurs à double flux.

Perspectives

- Extension à N méthodes.
- Automatisation de la procédure.

Conclusion

Contributions de la présentation

- Démarche méthodologique de fusion de décisions, basée sur la théorie Bayésienne.
- Adaptation de cette méthodologie à la détection et au diagnostic.
- Application de l'approche proposée à un système complexe de grande taille : le TEP

Autres contributions de la thèse

- Adaptation de cette méthodologie au pronostic.
- Application de l'approche proposée à un ensemble de turboréacteurs à double flux.

Perspectives

- Extension à N méthodes.
- Automatisation de la procédure.

Conclusion

Contributions de la présentation

- Démarche méthodologique de fusion de décisions, basée sur la théorie Bayésienne.
- Adaptation de cette méthodologie à la détection et au diagnostic.
- Application de l'approche proposée à un système complexe de grande taille : le TEP

Autres contributions de la thèse

- Adaptation de cette méthodologie au pronostic.
- Application de l'approche proposée à un ensemble de turboréacteurs à double flux.

Perspectives

- Extension à N méthodes.
- Automatisation de la procédure.

Conclusion

Contributions de la présentation

- Démarche méthodologique de fusion de décisions, basée sur la théorie Bayésienne.
- Adaptation de cette méthodologie à la détection et au diagnostic.
- Application de l'approche proposée à un système complexe de grande taille : le TEP

Autres contributions de la thèse

- Adaptation de cette méthodologie au pronostic.
- Application de l'approche proposée à un ensemble de turboréacteurs à double flux.

Perspectives

- Extension à N méthodes.
- Automatisation de la procédure.

Conclusion

Contributions de la présentation

- Démarche méthodologique de fusion de décisions, basée sur la théorie Bayésienne.
- Adaptation de cette méthodologie à la détection et au diagnostic.
- Application de l'approche proposée à un système complexe de grande taille : le TEP

Autres contributions de la thèse

- Adaptation de cette méthodologie au pronostic.
- Application de l'approche proposée à un ensemble de turboréacteurs à double flux.

Perspectives

- Extension à N méthodes.
- Automatisation de la procédure.

Valorisation du travail de recherche

Articles dans des revues répertoriées (3)

- [R1]: **Tidiri, K.**, Chatti, N., Verron, S., Tiplica, T. (2016). Bridging data-driven and model-based approaches for process fault diagnosis and health monitoring: A review of researches and future challenges. **Annual Reviews in Control**, 42, 63 – 81. (IF = 2.627)
- [R2]: **Tidiri, K.**, Tiplica, T., Chatti, N., Verron, S. (2018). A Generic Framework for Decision Fusion in Fault Detection and Diagnosis. **Journal of Engineering Applications of Artificial Intelligence**, 71, 73 – 86. (IF = 2.894)
- [R3]: **Tidiri, K.**, Chatti, N., Verron, S., Tiplica, T. (2018). Model-based Fault Detection and Diagnosis of Complex Chemical Processes: A case study of the Tennessee Eastman Process. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering**. (IF = 1.420)

Conférences internationales avec actes et comités de lecture (4)

- [C1]: **Tidiri, K.**, Chatti, N., Verron, S., Tiplica, T. A Bond Graph Modeling for Health Monitoring and Diagnosis of the Tennessee Eastman Process. In: **IEEE International Conference on Control, Decision and Information Technologies**. 05/04/2017, Barcelone p. 6. **Spain**.
- [C2]: **Tidiri, K.**, Chatti, N., Verron, S., Tiplica, T. A New Hybrid Approach for Fault Detection and Diagnosis. In: **IFAC 2017 World Congress**. 12/07/2017, Toulouse. **France**.
- [C3]: **Tidiri, K.**, Chatti, N., Verron, S., Tiplica, T. Generic Framework for Hybrid Fault Diagnosis and Health Monitoring of the Tennessee Eastman Process. In: **International Conference on Control, Automation and Systems**. 18/10/2017, Jeju. **South Korea**.
- [C4]: **Tidiri, K.**, Tiplica, T. Chatti, N., Verron, S. A New Multi-Objective Decision-Making Approach Applied to the Tennessee Eastman Process. In: **10th IFAC Symposium on Fault Detection, Supervision and Safety for Technical Processes, SAFEPROCESS 2018**. 29/08/2018, Warsaw. **Poland**.

Conférences nationales (2)

- [C5]: **Tidiri, K.**, Chatti, N., Verron, S., Tiplica, T. Intégration de modèles quantitatifs et qualitatifs pour le diagnostic de systèmes dynamiques. **17èmes Journées Doctorales**. 04/05/2017, **Nantes**, France.
- [C6]: **Tidiri, K.**, Chatti, N., Verron, S., Tiplica, T. Fusion de décisions dédiée à la surveillance des systèmes complexes. **Réunion du GT S3 (Sûreté-Surveillance-Supervision)** . 29/03/2018, **Paris**, France.