Institut National
Polytechnique de Lorraine

Département de formation doctorale en automatique

École doctorale IAEM Lorraine

Détection et Localisation de Défauts par Analyse en Composantes Principales

THÈSE

présentée et soutenue publiquement le 30 Juin 2003

pour l'obtention du

Doctorat de l'Institut National Polytechnique de Lorraine

(spécialité automatique et traitement numérique du signal)

par

HARKAT Mohamed-Faouzi

Composition du jury

Président :	M. Monsion	Professeur à l'Université de Bordeaux (LAP)
Rapporteurs :	G. Delaunay	Profeseur à l'Université de Reims
	T. Denoeux	Professeur à l'Université de Compiègne
Examinateurs :	A. Richard	Professeur à l'Université Henri Poincaré, Nancy
	J. Ragot	Professeur à l'INPL, Nancy (CRAN)
	G. Mourot	Ingénieur de recherche à l'INPL, Nancy (CRAN)
	D. Pearson	Professeur à l'IUT de Roanne, Université de St-Etienne

Centre de Recherche en Automatique de Nancy — UMR-CNRS 7039
2, Avenue de la Forêt de Haye 54516 Vandoeuvre-Lès-Nancy
Tél.(0)33 3 83 59 59 59 Fax. (0)33 3 83 59 59 49

BIBLIOTHEQUE DU CERIST

BIBLIOTHEQUE DU CERIST

Mis en page avec la classe thloria.

BIBLIOTHEQUE DU CERIST

À mes chers parents.

À ma femme et ma petite meriem.

BIBLIOTHEQUE DU CERIST

Remerciements

Les travaux présentés dans ce mémoire ont été réalisé au sein de l'équipe Diagnostic et Robustesse du Centre de Recherche en automatique de Nancy (UMR-CNRS 7039).

Je tiens à remercier Monsieur le Professeur José RAGOT pour sa constante disponibilité et ses précieux conseils qui ont permis à ce travail de voir le jour.

Mes remerciement vont à Gilles MOUROT pour son aide, sa disponibilité, ses judicieux conseils pendant toute la durée de ma thèse. Ses remarques m'ont été d'une grande utilité dans l'avancement des travaux.

Je remercie Messieurs les Professeurs Thierry DENOEUX et Georges DELAUNAY d'avoir accepté de rapporter mon mémoire et pour l'intérêt qu'ils ont bien voulu porter à ce travail. Leur lecture approfondie du mémoire, leurs remarques et interrogations judicieuses m'ont été très précieuses.

Mes remerciements s'adressent également à Messieur le Professeur Michel MONSION d'avoir accepté d'examiner ce travail et d'assurer la présidence du jury. Mes remerciements vont à Messieurs les Professeurs David William PEARSON et Alain RICHARD qui ont accepté d'examiner et de juger ce travail.

Je n'oublie pas dans mes remerciements tous les membres de l'équipe Diagnostic et Robustèsse du Centre de recherche en Automatique de Nancy pour la bonne ambiance qu'ils ont su faire régner au sein de l'équipe et tout particulièrement Marjorie Schwartz pour sa constante disponibilité.

Enfin, je ne saurais oublier de trop remercier mes parents pour leur soutien le long de ce parcours.

BIBLIOTHEQUE DU CERIST

BIBLIOTHEQUE DU CERIST

BIBLIOTHEQUE DU CERIST

Table des matières

Table des figures **ix**

Notations **xiii**

Chapitre 1 Introduction générale **1**

Chapitre 2 Analyse en Composantes Principales Linéaires **7**

2.1 Introduction 7
2.2 Principes de l'analyse en composantes principales 9
2.3 Identification du modèle ACP 14
2.3.1 Estimation des paramètres du modèle 14
2.3.2 Détermination de la structure du modèle 18
2.3.2.1 Critères Heuristiques 18
2.3.2.2 Critères de généralisation 19
2.3.2.3 Critère de validation croisée 19
2.3.2.4 Nombre de composantes pour une meilleure reconstruction . . . 20
2.3.3 Sélection de capteurs 25
2.4 Conclusion 28

Chapitre 3 Détection et localisation de défauts par ACP **33**

3.1 Introduction 33
3.2 Détection de défauts 35
3.2.1 Génération de résidus par estimation d'état 35
3.2.1.1 Statistique SPE 40
3.2.1.2 Statistique T^2 de Hotelling 42
3.2.1.3 Statistique SWE 43
3.2.1.4 Statistique combinée 44
3.2.1.5 Filtrage EWMA pour la détection 45
3.2.1.6 Statistique D proposée 49
3.2.2 Génération de résidus par estimation paramétrique 56
3.3 Localisation de défauts 59

3.3.1 Localisation par structuration des résidus 60
3.3.1.1 Structuration de résidus 61
3.3.1.2 Structuration des résidus avec l'ACP 62
3.3.1.3 Résidus structurés avec maximisation de la sensibilité aux défauts 63
3.3.2 Localisation utilisant un banc de modèles 69
3.3.2.1 Localisation par ACP partielles 70
3.3.2.2 Localisation par élimination 72
3.3.2.3 Localisation basée sur le principe de reconstruction 74
3.3.2.4 Conditions nécessaires et suffisantes pour la localisation par reconstruction 82
3.3.2.5 Localisation par reconstruction utilisant l'indice D_i 83
3.3.3 Localisation par calcul des contributions 85
3.3.4 Localisation de défauts multiples 92
3.4 Identification des caractéristiques du défaut 97
3.5 Conclusion 98

Chapitre 4 Analyse en composantes principales non linéaires (ACPNL) 101
4.1 Introduction 101
4.2 Analyse en composantes principales non linéaires 103
4.3 Méthode des Courbes Principales 104
4.3.1 Algorithme de calcul des courbes principales de Hastie 107
4.3.1.1 Etape de projection 107
4.3.1.2 Etape d'estimation 107
4.3.2 Algorithme de calcul des courbes principales de Verbeek 107
4.4 Approches neuronales de l'ACPNL 110
4.4.1 ACPNL par réseau à cinq couches 111
4.4.1.1 Apprentissage du réseau 112
4.4.2 ACPNL par optimisation des entrées du réseau (Input Training network) . 116
4.4.3 Réseaux à trois couches et courbes principales 117
4.4.4 Réseaux de fonctions à base radiale (RBF) 119
4.4.4.1 Réseau RBF avec maximisation de la variance de t 120
4.4.4.2 Approche combinant les courbes principales et les réseaux RBF . 123
4.4.4.3 Détermination du nombre de composantes non linéaires 124
4.5 Conclusion 129

Chapitre 5 Détection et localisation de défauts capteurs d'un RSQL 131
5.1 Introduction 131
5.2 Description du phénomène 132

BIBLIOTHEQUE DU CERIST

5.3 Description du réseau de surveillance de la qualité de l'air 133
5.4 Prétraitement des données 136
5.5 Application de l'ACP linéaire 139
5.6 Conclusion 151

Chapitre 6 Conclusions et Perspectives **159**
6.1 Conclusion 159
6.2 Perspectives 161

Références bibliographiques **163**

Bibliographie **165**

173

BIBLIOTHEQUE DU CERIST