



CENTRE NATIONAL
DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

MEMOIRE DE SYNTHESE DES ACTIVITES DE RECHERCHE ET D'ENCADREMENT

CONTRIBUTION A LA SURVEILLANCE DES SYSTEMES DE PRODUCTION EN UTILISANT L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

DANIEL RACOCEANU

MAITRE DE CONFERENCES

UNIVERSITE DE FRANCHE COMTE

LABORATOIRE D'AUTOMATIQUE DE BESANÇON

UMR CNRS 6596, 25, RUE ALAIN SAVARY, 25000 BESANÇON

janvier 2006

TABLE DES MATIERES

1	CURRICULUM VITAE	1
2	EQUIPE DE RECHERCHE.....	2
3	THEMATIQUE DE LA THESE D'UNIVERSITE	3
3.1	RESUME DE LA THESE	3
3.2	PUBLICATIONS LIEES A LA THESE D'UNIVERSITE	4
4	EXPOSE DES RECHERCHES REALISEES AU COURS DE LA PERIODE POST-DOCTORALE	5
4.1	THEMATIQUES DE RECHERCHE	5
4.1.1	<i>Préambule</i>	5
4.1.2	<i>Télemaintenance, e-maintenance, surveillance intelligente</i>	5
4.2	DEMARCHES DE RECHERCHE ET POINTS MARQUANTS DES TRAVAUX DE RECHERCHE.....	6
5	PERSPECTIVES DE RECHERCHE.....	10
6	INSERTION DANS L'EQUIPE DE RECHERCHE.....	11
6.1	ROLE PERSONNEL JOUE AU SEIN DE L'EQUIPE	11
6.2	COLLABORATIONS INDUSTRIELLES ET CONTRATS DE RECHERCHE	11
6.3	COLLABORATION NATIONALES ET INTERNATIONALES ET INSERTION DANS DES RESEAUX INTERNATIONAUX.....	12
6.4	ORGANISATION DE MANIFESTATIONS SCIENTIFIQUES	13
7	ENCADREMENT ET CO-ENCADREMENT D'ETUDIANTS	14
7.1	CO-ENCADREMENT DE THESES.....	14
7.1.1	<i>Thèses soutenues</i>	14
7.1.2	<i>Thèses en cours de préparation</i>	15
7.2	ENCADREMENT DE STAGES DEA ET MASTER RECHERCHE.....	15
7.3	ENCADREMENT DE PROJETS ET STAGES LIES A LA RECHERCHE	17
8	PARTICIPATION A DES TACHES ADMINISTRATIVES D'INTERET COLLECTIF, A L'ACTIVITE D'ENSEIGNEMENT ET EXPERIENCE EN ENTREPRISE.....	18
8.1	RESUME DES ACTIVITES D'ENSEIGNEMENT	18
8.2	EXPERIENCE EN ENTREPRISE.....	19
8.3	RESUME DES RESPONSABILITES SCIENTIFIQUES, COLLECTIVES ET ADMINISTRATIVES	19
9	LISTE DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES	20
9.1	REVUES INTERNATIONALES AVEC COMITE DE LECTURE	20
9.2	CONFERENCES SUR INVITATION PERSONNELLE.....	20
9.3	COMMUNICATIONS A DES CONGRES INTERNATIONAUX AVEC COMITE DE LECTURE ET PUBLICATION DES ACTES.....	21
9.4	COMMUNICATIONS A DES CONGRES NATIONAUX OU A AUDIENCE FRANCOPHONES AVEC COMITE DE LECTURE ET PUBLICATION DES ACTES	22
9.5	COMMUNICATION DANS LE CADRE DE GROUPES DE TRAVAIL ET COLLOQUES NATIONAUX	23
9.6	RAPPORTS DE CONTRATS DE RECHERCHE	23
9.7	RAPPORTS DE RECHERCHE PROJET EUROPEEN	23
9.8	COMMUNICATIONS DIVERSES	24
9.8.1	<i>Diffusion des connaissances :</i>	24
9.8.2	<i>Rapports internes :</i>	24

1 CURRICULUM VITAE

Identité *Monsieur RACOCEANU Daniel*
Né le 11 juin 1968
Nationalité française

Emplois universitaires

Depuis 1999 *Maître de Conférences à l'UFR des Sciences et Techniques de l'Université de Franche-Comté, chercheur au Laboratoire d'Automatique de Besançon – UMR CNRS 6596*

1994-1996 *Attaché temporaire d'enseignement et de recherche dans les départements organisation et gestion de la production et génie télécommunication réseaux de l'IUT de Belfort - Montbéliard, Université de Franche-Comté*

1993-1994 *Enseignant vacataire dans le département OGP de l'IUT de Belfort - Montbéliard, Université de Franche-Comté*

Doctorat

1997 *Thèse de doctorat en Automatique et Informatique à l'Université de Franche-Comté*
Intitulée : « Contribution à la modélisation et à l'analyse des Chaînes de Markov à échelles de temps et échelles de pondérations multiples. Application à la gestion d'un système hydro-énergétique EDF »
Soutenue le 10 janvier 1997 au Laboratoire de Mécanique et Productique de l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Belfort.
Mention « Très honorable avec les félicitations du jury »
Directeur scientifique : Prof. A. El Moudni (ENIBe – puis UTBM), actuellement directeur du laboratoire SET (Systèmes et Transport) de l'UTBM.
Jury : Prof. Lj T. Grujic (ENIBe – puis UTBM - président du jury), Prof. I. Zambettakis (Institut Universitaire de Technologie - Univ. Paul Sabatier - Toulouse III - rapporteur), Prof. G. L. Gissinger (Université de Haute Alsace - ESSAIM Mulhouse - rapporteur), Prof G. Draghici (Université Polytechnique de Timisoara – rapporteur), Prof. J-M. Henrioud (Université de Franche-Comté), Prof. N. Zerhouni (ENIBe – UTBM - ENSMM), Prof. M. Ferney (ENIBe - UTBM), M. J. Mesnier (responsable exploitation EDF).

Autres diplômes universitaires obtenus

1993 *DEA en Automatique et Productique, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Belfort, major de promotion, mention « Très bien »*

1992 *Diplôme d'Ingénieur en Génie Mécanique et Productique – option Mécatronique, Ecole Polytechnique de Timisoara.*

Emplois dans le secteur privé

1998-1999 *Responsable d'affaires, Alstom Gaz Turbines / General Electric France, Belfort, Concepteur et fabricant de turbines à gaz, CA : 1,2 Md€, 1800 personnes.*

1997-1998 *Responsable logistique - ordonnancement, Gaussin S.A., Héricourt, concepteur et fabricant d'automoteurs industriels, systèmes spéciaux de manutention pour l'industrie, les ports et aéroports. CA : 10 M€, 78 personnes*

2 EQUIPE DE RECHERCHE

Depuis ma nomination en tant que maître de conférences à l'Université de Franche-Comté en septembre 1999, je suis chercheur au sein du Laboratoire d'Automatique de Besançon (LAB), Unité Mixte de Recherche du CNRS 6596, dans le groupe « conception et commande des systèmes de production », rattaché à l'équipe « ingénierie de maintenance et e-maintenance ».

Le Laboratoire d'Automatique de Besançon fait partie de l'Ecole Doctorale Sciences Physiques pour l'Ingénieur et Microtechniques de l'Université de Franche-Comté.

Avis du Professeur Alain BOURJAULT, Directeur du Laboratoire d'Automatique de Besançon

Signature

Avis du Professeur Eric LANTZ, Directeur de l'Ecole Doctorale Sciences Physiques pour l'Ingénieur et Microtechniques de l'Université de Franche-Comté.

Signature

3 THEMATIQUE DE LA THESE D'UNIVERSITE

Je suis titulaire d'un doctorat en Automatique et Informatique à l'Université de Franche-Comté. Le rapport de thèse de doctorat s'intitule :

« Contribution à la modélisation et à l'analyse des Chaînes de Markov à échelles de temps et échelles de pondérations multiples. Application à la gestion d'un système hydro-énergétique EDF »

La thèse a été soutenue le 10 janvier 1997 au Laboratoire de Mécanique et Productique de l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Belfort, avec la mention *« Très Honorable avec les Félicitations du Jury »*

3.1 RESUME DE LA THESE

Les travaux qui ont fait l'objet de mon mémoire de thèse d'université, constituent une contribution à la simplification des systèmes stochastiques représentés par des chaînes de Markov.

Après la décomposition d'une chaîne de Markov en classes d'états communicants, seules les classes finales ergodiques présentent un intérêt pour l'étude de l'évolution du système. Selon le critère de communication des états, chacune de ces classes constitue une chaîne de Markov irréductible. L'équation fondamentale d'une chaîne de Markov a une structure similaire à celle d'une équation d'état d'un système dynamique discret. Cette similitude apparaît dans les formes de l'équation et des solutions. Ceci nous a permis d'adapter les techniques de perturbations singulières pour la simplification des chaînes de Markov de grande dimension.

Nous avons ainsi défini la propriété de double échelle de temps d'une chaîne de Markov irréductible ergodique. L'application des perturbations singulières sur ces modèles a permis l'obtention d'un sous-système lent contenant le spectre dominant de la matrice de transition initiale. Ce sous-système conserve l'essentiel des caractéristiques probabilistes de la chaîne de Markov d'origine. La résolution de la chaîne de Markov est ainsi ramenée à la résolution de sa partie lente stochastique.

Les probabilités d'état d'une chaîne de Markov ergodique tendent vers des valeurs finies non nulles. Lorsque ces valeurs limites peuvent être regroupées en deux groupes de grandeurs différentes, il nous a paru intéressant d'introduire une technique de simplification basée sur la notion de pondération des probabilités. Dans ce sens, nous avons introduit une nouvelle définition concernant la propriété de double échelle de pondération et une méthode de découplage qui lui est associée. Celle-ci permet d'avoir deux sous-systèmes découplés : un sous-système à probabilités fortes et un sous-système à probabilités faibles.

L'utilisation conjointe de l'échelle de temps et de l'échelle de pondération nous a permis le développement d'une nouvelle méthode de réduction de la chaîne de Markov qui consiste à éliminer les états faibles et rapides du système. Le modèle réduit ainsi obtenu garde les états les plus importants de la chaîne de Markov et présente la propriété de stochasticité.

La détermination des lois de commande des chaînes de Markov à commande a ensuite été développée, en particulier sur la classe des chaînes de Markov bilinéaires. La commande de ce type de systèmes a été étudiée sous deux approches. Dans la première, la définition de la double échelle de temps des chaînes de Markov à commande conduit à l'application des perturbations singulières. Dans la seconde, la propriété de double échelle de pondération – redéfinie dans le cas des chaînes de Markov à commande – permet de généraliser le découplage en régime permanent.

Dans le but d'appliquer l'ensemble des techniques développées, nous avons étudié un système hydro-énergétique situé sur le cours du Doubs en Franche-Comté. Dans un premier temps, nous avons identifié et modélisé le système du point de vue énergétique et du point de vue de la gestion des ressources d'eau. Le modèle retenu présente la forme d'une chaîne de Markov à commande de grande dimension. Vu l'évolution asymptotique différente des variables obtenues, nous avons mis en évidence la double échelle de pondération des modèles de chaque barrage, en retenant uniquement les sous-systèmes forts. Avec ces sous-systèmes d'ordre réduit, nous avons construit le modèle global sur lequel nous avons effectué le calcul de la commande optimale servant à une gestion quasi-optimale du système hydro-énergétique étudié.

Mots clés : Chaînes de Markov, Chaînes de Markov à Commande, Ergodicité, Systèmes Bilinéaires, Perturbations Singulières, Double Echelle de Temps/Pondération, Systèmes hydro-énergétiques.

3.2 PUBLICATIONS LIEES A LA THESE D'UNIVERSITE

Revue internationale avec comité de lecture

D. Racocceanu, A. El Moudni, S. Zerhouni, M. Ferney, ON A NEW METHOD OF MARKOV CHAIN REDUCTION, revue Journal of Mathematical Modelling of Systems, vol. 1, n° 3, octobre 1995.

D. Racocceanu, A. El Moudni, S. Zerhouni, M. Ferney, A SINGULAR PERTURBATION APPROACH TO MODELLING AND RESOLUTION OF MARKOV CHAINS, revue SAMS – System Analysis Modelling Simulation, vol. 15, 1994.

Communications à des congrès internationaux avec comité de lecture et publication des actes

Racocceanu D., Zerhouni N., USE OF SINGULAR PERTURBATIONS FOR THE REDUCTION OF MANUFACTURING SYSTEM MODELS, congrès IFAC-MCPL-2000, 2nd IFAC Conference on Management and Control of Production and Logistics, Grenoble, France, 5-8 juillet 2000.

D. Racocceanu, A. El Moudni, S. Zerhouni, M. Ferney, A DISCRETE SINGULAR PERTURBATION APPROACH TO MODELING AND CONTROL OF BILINEAR MARKOV DECISION PROCESSES, congrès IFAC "Singular solutions and perturbations in control system" – SSPCS-97, Pereslavl – Zalessky, Russie, 7-11 juillet 1997.

D. Racocceanu, A. El Moudni, M. Ferney, S. Zerhouni, A NEAR OPTIMAL CONTROL OF MARKOV CHAINS USING DISCRETE SINGULAR PERTURBATIONS IN THE CASE OF FIRST ORDER POLYNOMIAL CONTROL. TERMINAL PROBLEMS, congrès IMACS-SAS'95, Berlin, Allemagne, 27-29 juin 1995.

D. Racocceanu, A. El Moudni, S. Zerhouni, M. Ferney, USE OF AN HOMOGRAPHIC TRANSFORMATION JOINTLY TO THE SINGULAR PERTURBATION FOR THE STUDY OF MARKOV CHAINS. APPLICATION TO THE OPERATIONAL SAFETY STUDY, IEEE International Conference on Robotics and Automation, San Diego, USA, 8-13 mai 1994.

D. Racocceanu, A. El Moudni, S. Zerhouni, M. Ferney, A MARKOV CHAIN SINGULAR PERTURBATION RESOLUTION, congrès 1-Mathmod Vienna, Vienne, Autriche, 2-4 février 1994.

Rapports de projet industriel lié à la thèse d'université

- Projet EDF – exploitation hydro énergétique Jura-Morvan

D. Racocceanu, J. Mesnier (responsable d'exploitation EDF), Commande quasi-optimale pour la gestion du système hydro-énergétique Jura-Morvan, rapport pour le compte d'EDF Energie Est, avril 1996.

Méthodologie de gestion du système hydro-énergétique en utilisant une politique quasi-optimale obtenue par simplification du modèle markovien associé à l'étude des ressources d'eau. Comparaison de la méthode de commande globale avec la commande décentralisée, calculée au niveau de chaque barrage du système.

D. Racocceanu, J. Mesnier (responsable d'exploitation EDF), Processus de diffusion stochastique appliqué à la gestion des ressources d'eau des barrages du Chatelot, Refrain et Vaufrey du système hydro-énergétique Jura-Morvan, rapport pour le compte d'EDF Energie Est, septembre 1995.

Analyse statistique des apports d'eau pour une période de 3 ans. Prédiction des valeurs des apports d'eau à l'aide d'un processus de diffusion stochastique. Choix de la durée associée au calcul des moyennes mobiles. Graphes de prédiction.

4 EXPOSE DES RECHERCHES REALISEES AU COURS DE LA PERIODE POST-DOCTORALE

4.1 THEMATIQUES DE RECHERCHE

4.1.1 PREAMBULE

Mon recrutement au Laboratoire d'Automatique de Besançon en 1999 avait pour but de renforcer le groupe productique et de participer à la création et à l'organisation dans ce laboratoire d'une activité autour de la e-maintenance et plus particulièrement la maintenance intelligente. Ces domaines émergeaient alors au plan national, d'autre pays comme les Etats-Unis et le Japon ayant enregistré déjà quelques initiatives dans ce sens.

A titre d'exemple, nous pouvons citer le programme de l'armée américaine, intitulé MIMOSA¹ qui développe et encourage l'adoption de standards ouverts d'information pour les opérations et pour la maintenance dans les systèmes de production, les flottes (maritimes, aériennes, ...) et les installations. Un autre exemple important sur le plan international est constitué par le centre IMS² de coopération industrie/université autour de la maintenance, crée sous l'égide du National Science Foundation³, avec la participation d'Universités comme celle de Wisconsin – Milwaukee et de Michigan et d'un nombre important d'industriels de marque (Automation, Intel, Harley-Davidson, We Energies, General Motors, United Technologies, USPS, Hitachi).

En ce qui concerne le Japon, le sujet semble constituer actuellement un enjeu national pour les industriels et pour l'état. A titre d'exemple, à Waseda University⁴ un projet industriel intitulé « Development of New Maintenance Technologies and Web based Services : Construction of a Virtual Community for Next Generation Maintenance » a comme finalité (en collaboration avec la compagnie d'électricité ASAKI), la capitalisation de l'expertise en diagnostic et maintenance, face aux évolutions démographiques dans les entreprises (sauvegarde du savoir-faire).

Dans ce contexte, la création au Laboratoire d'Automatique de Besançon d'une équipe de recherche dans le domaine de *l'ingénierie de maintenance et la e-maintenance* a été favorisée par un environnement national et international à forte connotation NTIC (Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication), marqué au niveau national par la création en automne 2000 du pôle Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication (STIC) du CNRS.

4.1.2 TELEMANTENANCE, E-MAINTENANCE, SURVEILLANCE INTELLIGENTE

La maintenance à longterm a été « l'enfant pauvre » des stratégies industrielles. Mise à part quelques secteurs comme l'aéronautique, les raffineries, le nucléaire et l'espace qui – soumis à des contraintes très strictes de sécurité – ont été obligés de prendre à bras le corps ce problème depuis longtemps, l'industrie des biens de consommation se « réveille » depuis peu, en trouvant dans cette fonction une source nouvelle de profit et d'optimisation des moyens de productions existants, dans un contexte économique très exigeant, dans lequel les entreprises européennes se voient contraintes d'exploiter les moindres niches technologiques et organisationnelles afin de rester compétitives.

Dans cet environnement industriel, les contraintes de coûts de réalisation technologique, l'accessibilité des sites et la répartition géographique, obligent à distribuer les données ou les traitements de maintenance. Les accès sont donc distants, donnant ainsi lieu à la *télémaintenance*. Par définition, la télémaintenance (anglais : *remote maintenance*) représente la maintenance d'une unité fonctionnelle, assurée par télécommunication directe entre cette unité et un centre spécialisé.

La télémaintenance s'impose progressivement pour toutes les machines ou les chaînes de production pilotées par un microprocesseur : celui-ci concentre en effet toutes les informations provenant des multiples capteurs nécessaires au contrôle du processus et il peut être facilement interrogé à distance. Il est également

¹ [Machinery Information Management Open Systems Alliance](http://mimosa.org/) - MIMOSA : <http://mimosa.org/>

² Center for Intelligent Maintenance Systems - IMS : <http://wumrc.engin.umich.edu/ims/>

³ National Science Foundation – NSF : <http://www.nsf.gov/>

⁴ Waseda University, Graduate School of Information, Production and Systems - <http://www.waseda.ac.jp/index-e.html>

possible depuis le point de contrôle de modifier les paramètres de réglage ainsi que les programmes qui le pilotent.

Depuis l'émergence des Technologies de l'Information et de la Communication (TIC), les concepts de la télémaintenance ont évolué pour aboutir à la *e-maintenance*. La e-maintenance intègre le principe de base de la télémaintenance, en lui associant une dimension forte, constituée par la *coopération* au niveau des informations, des connaissances mais aussi des hommes, des services (ingénierie, exploitation, maintenance, sûreté, achats, comptabilité, ...) et des sociétés (client / fournisseur, inter fournisseurs, inter clients, ...).

Le développement actuel des TIC, facilite la mise en place d'une vraie stratégie de e-maintenance. Ceci a provoqué une évolution importante de l'organisation des entreprises. Celles-ci ont tendance soit à externaliser la fonction maintenance pour mieux se concentrer sur leur activité principale, soit à passer de la maintenance classique à la maintenance à distance et en temps réel – un enjeu important, au centre duquel la surveillance joue un rôle majeur, surtout dans un contexte correspondant à une intelligence (hier centralisée) actuellement de plus en plus répartie.

Par ailleurs, dans le domaine du contrôle industriel, de la surveillance et des automatismes, la tendance actuelle est à la migration de l'intelligence vers le bas (capteurs et actionneurs intelligents). Les composantes du système de surveillance se caractérisent ainsi par une autonomie de plus en plus importante, en travaillant dans des systèmes distribués et en intégrant souvent une intelligence embarquée.

D'une importance capitale dans la maintenance industrielle – aussi bien dans sa dimension conditionnelle, prévisionnelle, que du point de vue d'un retour d'expérience efficace, structuré et systématique, indispensable à la sûreté de fonctionnement –, la surveillance prend ainsi une dimension stratégique. En effet, dans le contexte actuel d'évolution des systèmes de production automatisés et de la maintenance moderne, le rôle de la surveillance industrielle évolue en acquérant une dimension dynamique voir même prédictive, grâce à la possibilité d'exploiter l'intelligence répartie dans le système concerné, afin d'en extraire en temps réel un maximum d'informations élaborées et d'augmenter la réactivité du système de surveillance.

Les sujets abordés dans nos différents partenariats (partenariats industriels et universitaires, contrats de recherche, projets nationaux et européens) autour des problématiques de la maintenance, ont mis en évidence la nécessité de mettre au point des outils de surveillance flexibles, faciles à initialiser, configurer et reconfigurer, capables de prendre en compte l'expérience humaine, le raisonnement imprécis et de mettre à jour leurs informations en temps réel pour une efficacité optimale. Dans ce contexte, nos travaux de recherche se sont orientés essentiellement vers la détection dynamique des défauts, le diagnostic et le pronostic - problématiques qui constituent le verrou technologique du métier. Du point de vue scientifique, l'apprentissage dynamique et la formalisation du raisonnement humain incertain nous ont orienté naturellement vers des techniques innovantes de l'intelligence artificielle, comme les réseaux de neurones dynamiques, les réseaux de Petri flous et les systèmes neuro-flous. Par ailleurs, le prototypage des concepts développés, a été marqué par un souci permanent d'intégration dans une démarche de type e-maintenance.

4.2 DEMARCHE DE RECHERCHE ET POINTS MARQUANTS DES TRAVAUX DE RECHERCHE

Le point de départ des travaux de l'axe « *surveillance à l'aide des techniques de l'intelligence artificielle* » a été marqué par des premiers tests de surveillance effectués avec le support technique d'IBM par l'intermédiaire de son partenaire français Silicon Recognition, qui nous a mis à disposition une carte électronique neuronale de type ZISC (Zero Instruction Set Computer). Ces tests de surveillance neuronale nous ont menés à la conclusion que la structure neuronale utilisée manque d'un certain « dynamisme », lui permettant d'effectuer la distinction entre une vraie et une fausse alarme, ainsi que de donner un caractère prédictif aux classifications effectuées. Ce constat nous a fortement inspiré dans l'orientation des travaux de thèse de M. Ryad Zemouri (Zemouri, 2003) vers la conception et la mise au point de techniques neuronales dynamiques pour la surveillance.

Basée sur un état de l'art exhaustif des réseaux de neurones dynamiques existants et sur une étude comparative des différentes structures neuronales susceptibles d'offrir une solution de surveillance dynamique, cette étude nous a permis de mettre au point un nouveau modèle neuro-temporel tout aussi simple que performant (Figure 1 a), que nous avons baptisé *RRFR – Réseau Récurrent à Base de Fonctions Radiales* (en anglais *RRBF – Recurrent Radial Basis Function*) [IEEE-ETFA, 2001],[IFAC, 2002]. Afin d'optimiser la structure et d'évaluer les performances de ce nouveau réseau, nous avons mené une étude basée sur trois applications-type de surveillance dynamique :

- *reconnaissance de séquences temporelles* (reconnaissance de séquences booléennes d'un système à événements discrets et reconnaissance de séquences réelles), avec des retombées concernant la

détection précoce de paliers de dégradation, l'identification et l'élimination de fausses alarmes, la reconnaissance des séquences d'évènements discrets [JESA, 2003] et la détection du type de collision d'un bras de robot⁵

- *prédiction de séquences temporelles pour le pronostic* (prédiction de la série temporelle de Mackey-Glass⁶, prédiction des paramètres d'un four à gaz - *Box-Jenkins Furnace Data*⁷), débouchant sur la mise au point d'un algorithme de *k-moyennes renforcé*, par utilisation de la technique *fuzzy min-max*
- *reproduction de séquences temporelles* (reproduction d'une séquence finie de la série chaotique Mackey-Glass, apprentissage d'une trajectoire de commande) [EEAI, 2003].

En se basant sur une approche de généralisation locale, caractéristique aux réseaux à base de fonctions radiales, le RRFR est capable d'effectuer un apprentissage en ligne. Ce type de système est opérationnel dans une application de surveillance où les informations sur le système (modes connus) sont limités [IEEE-ICRA, 2002]. L'apprentissage en ligne permet d'enrichir cette base de connaissances au fur et à mesure, sans pour autant « oublier » les informations mémorisées précédemment. Ceci n'était pas du tout envisageable avec des réseaux de neurones « classiques » de type PMC (Perceptron Multi-Couches).

Par ailleurs, en utilisant une cascade de neurones dynamiques, une structure spécifique de RRFR a été adaptée au pronostic. Elle offre à notre outil une capacité supplémentaire d'anticipation, très intéressante dans ce domaine d'utilisation [RIA, 2003].

Afin de positionner notre outil parmi les outils neuronaux dynamiques existants, nous avons mené une étude comparative basée sur les différentes structures de réseaux de neurones dynamiques [RIA, 2005]. Cette étude montre que, dans le domaine de la surveillance dynamique, le RRFR est plus performant que tous les autres réseaux de neurones dynamiques sélectionnés (DGNN, R2BF, TDNN, ...).

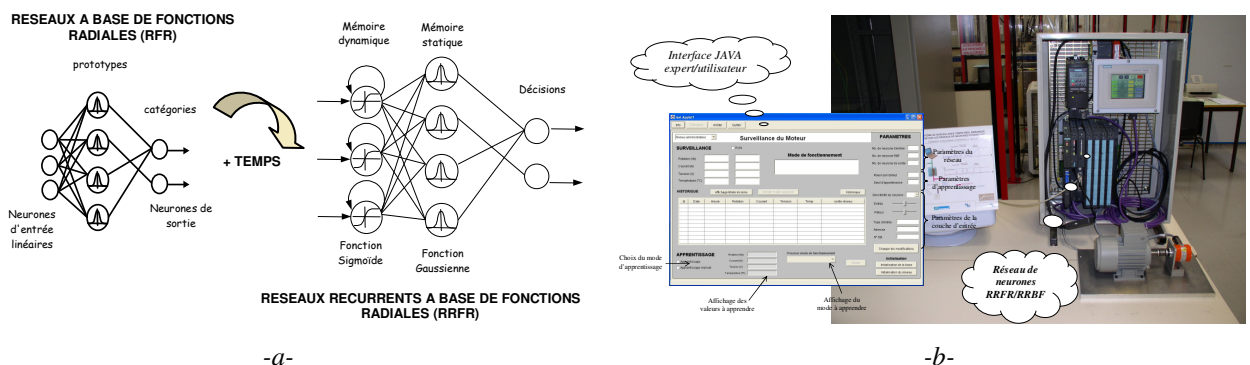


Figure 1 a - Principe du RRFR/RRBF, b - Prototype de surveillance temps réel avec apprentissage distant.

Une retombée importante de nos travaux de recherche dans le domaine des réseaux de neurones dynamiques, est constituée par l'exploitation industrielle du RRFR en collaboration avec une SSII bisontine : Avenisy Ingénierie, qui a menée à la construction d'un prototype et au dépôt d'un brevet d'invention intitulé : «*Système de surveillance temps-réel basé sur les réseaux de neurones dynamiques, accessible à distance par un serveur web*»⁸. L'objet de cette exploitation industrielle est constitué par le développement – dans l'unité centrale d'un automate programmable – d'un système de surveillance temps-réel basé sur les réseaux de neurones dynamiques RRFR. Le réseau de neurones a été programmé en langage automate (en occurrence Step7) et les programmes d'apprentissage à distance des nouveaux modes de fonctionnement du système surveillé, en langage Java (Figure 1 b). De cette manière, une première application de type e-maintenance a vu le jour au LAB, par la séparation du système surveillé, système de surveillance temps réel et de l'interface (HMI) utilisateur et/ou expert – permettant la validation distante des nouveaux modes enregistrés par le système

⁵ Application construite à partir des données réelles du benchmark « Robot Execution Failures » disponibles sur le serveur de l'Université de Californie (Camarinha-Matos et al., 1996) - The UCI KDD Archive [http://kdd.ics.uci.edu]. Irvine, CA: University of California, Department of Information and Computer Science.

⁶ Base de données disponible sur le serveur du groupe de travail IEEE Working Group on Data Modeling Benchmarks, http://neural.cs.nthu.edu.tw/jang/benchmark/ - (Mackey et al., 1977)

⁷ Benchmark disponible sur le site du IEEE Neural Network Council : <http://neural.cs.nthu.edu.tw/jang/benchmark>

⁸ Auteurs : D. Racocanu, R. Zemouri, N. Zerhouni, R. Labourier, dépositaires du brevet : ENSMM (50%) et Avenisy (50%), date de dépôt du brevet : 30 septembre 2002, numéro d'enregistrement : 021 2205. Ce brevet est actuellement en cours de réactualisation avec la société Avenisy, dans une nouvelle optique marketing.

de surveillance neuronal. Le prototype mis au point a fait l'objet d'une présentation dans le cadre du salon MICRONORA 2002 à Besançon (le plus important salon technologique de la région).

Une problématique importante du transfert des prototypes de recherche vers l'industrie est constituée par la possibilité d'effectuer une acquisition d'informations fiable, la plus complète possible et surtout, dans des formats connus par les professionnels de la maintenance. Dans cet ordre d'idées, l'exploitation des Arbres de Défaillance et de Dégradations (ADD) nous a paru une problématique intéressante et surtout importante pour l'industrie. En effet, lors d'une réunion commune du groupe de recherche sur les réseaux de Petri et l'Institut pour la Maîtrise des Risques et la Sécurité de Fonctionnement (octobre 2000), il est apparu que la recherche de causes d'une défaillance sur un ADD est une problématique scientifique d'actualité, encore pas très bien maîtrisée ni par les industriels, ni par les chercheurs.

Après un DEA (Pross, 2001) sur le sujet des ADD et de la propagation des dégradations, le travail de thèse de Mme. Eugenia Minca (Minca, 2004) a été orienté vers l'utilisation des réseaux de Petri flous (RdPF) pour la modélisation et l'analyse des dégradations et des défaillances d'un système de production. L'utilisation de la logique floue dans une structure de type RdPF induite par un ADD, ouvre une piste intéressante, permettant de suivre l'évolution dynamique des dégradations de tous les événements indésirables d'un système. Ceci permet la mise au point d'algorithmes plus raffinés (Minca, 2003) de surveillance de la propagation des dégradations d'un système de production. En effet, la logique floue permet la quantification d'un état intermédiaire d'évolution de ces dégradations, entre le fonctionnement normal (état 0 de la valeur de dégradation floue) et la panne complète (état 1 de cette même valeur floue) avec une finesse qui ne serait pas possible dans la logique classique. Par conséquent, cette nouvelle manière de surveiller les dégradations, nous permet de transformer l'ADD classique, d'un outil de diagnostic, en un outil dynamique (en occurrence le RdPF) de pronostic.

Dans le travail de thèse de Mme. Minca, l'aspect systémique a été privilégié [SIC, 2002], [SCI, 2002]. La modélisation du système de production surveillé se fait par un réseau de Petri temporel à objets. Un mécanisme de type *chien de garde* intervient pour la détection directe et transmet par la suite les informations de dégradation floues à un réseau de Petri temporel flou pour la surveillance (RdPFS) dérivé de l'ADD, modélisant la propagation des dégradations du système [IEEE-ICRA, 2003] (Figure 2 a). Enfin, cet outil donne la possibilité de contrôler les événements critiques, en émettant – si nécessaire – des signaux de déclenchement d'actions de maintenance (reprise). Nous obtenons ainsi une modélisation homogène des différentes parties d'un système de maintenance : le système (RdP Temporel à Objets), le système de surveillance dynamique (RdPFS) et le système de Maintenance (Reprise) (Système Expert Flou – RdP Flou pour la maintenance – RdPFM). Cette approche constitue une configuration se prêtant à l'utilisation en e-maintenance, en offrant – par l'intermédiaire des signaux de synchronisation – la possibilité de coordonner les différents sites et les différentes fonctions. Ces signaux de synchronisation entre plusieurs modèles RdP ont fait l'objet d'un travail de DEA préalable (Addouche, 2001), marqué par une publication dans un congrès de très bon niveau [IEEE-ICRA, 2002].

Un prototype de plate-forme de e-maintenance a été réalisée à partir de ces concepts. La partie concernée par les RdP flous a été prototypée en Labview, en liaison distante avec la plate-forme flexible du LAB via une acquisition OPC utilisant un client programmé en Visual Basic (Figure 2 b).

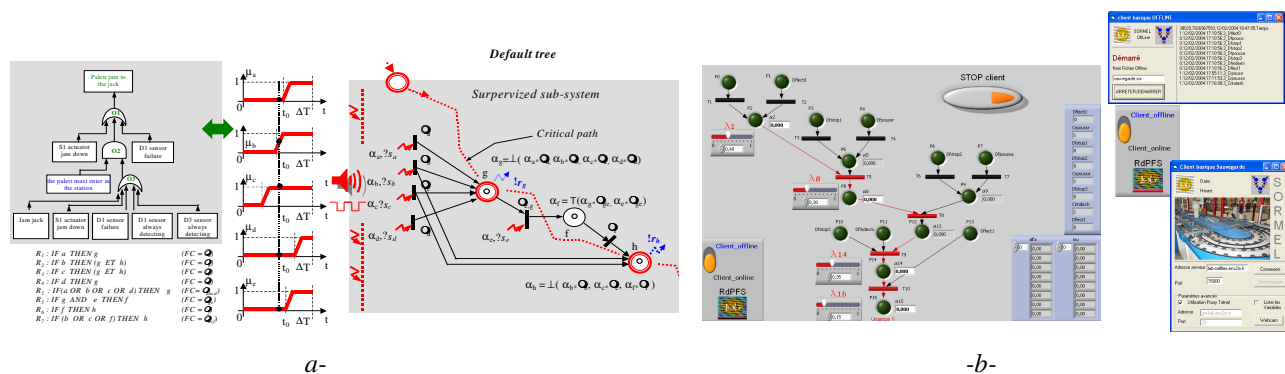


Figure 2 a - Principe du RdPFS, b - Prototype du système de surveillance dynamique distante.

Pour faire la jonction entre les techniques floues et les réseaux de neurones, Nous nous sommes intéressés par la suite aux systèmes neuro-flous. Après avoir lancé durant deux années consécutives, une étude DEA sur les réseaux neuro-flous (Ouldyahia, 2001), (Djaffar, 2002), cet outil avant-gardiste nous a paru très intéressant de part la possibilité d'intégrer l'expertise humaine et la traçabilité (due à la modélisation des règles floues) avec la tolérance aux fautes et l'apprentissage flexible (du à sa structure neuronale dynamique RRFR) [IAI, 2003-b].

Après un état de l'art exhaustif de l'ensemble des techniques de diagnostic par intelligence artificielle (Monnin, 2004), [IEEE RAM 2004], nous avons focalisé nos travaux sur l'aspect abductif de la recherche de cause comme caractéristique essentielle du diagnostic, en prenant en compte les contraintes exigées pour un bon outil de diagnostic (facilité de modélisation, prise en compte de l'incertain, généricité, validation des résultats).

La thèse de M. Nicolas Palluat reprend donc les principes du neuro-flou pour en faire un outil d'aide au diagnostic et au pronostic. Cet outil se compose de deux parties [IMS, 2004] : une partie neuronale dynamique (de type RRFR) pour la détection dynamique de symptômes de dégradation et une partie neuro-floue pour l'approche abductive de recherche des causes associées à ces symptômes (diagnostic), avec leurs degrés de crédibilité associés (Figure 3 a). Actuellement, nous sommes en phase de test et validation des algorithmes d'apprentissage dynamiques associés à ce nouvel outil intégré.

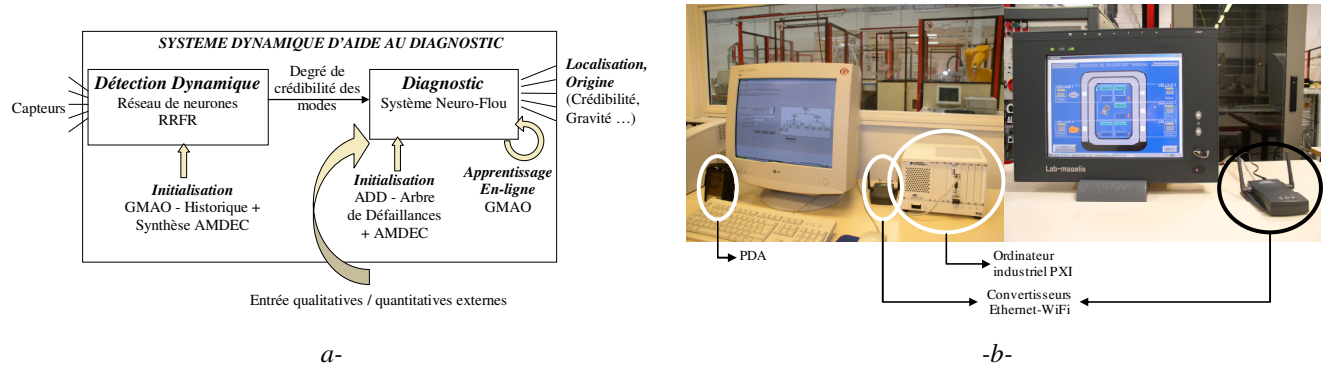


Figure 3 a-Principe de l'outil neuro-flou d'aide au diagnostic, b- Prototype Labview de surveillance neuro-floue avec lien Wifi vers la supervision.

Afin de dynamiser ce projet scientifique, nous avons profité de l'opportunité du projet de recherche européen PROTEUS⁹ du programme ITEA¹⁰ pour développer ces concepts dans un cadre international, en utilisant des langages de spécification et des contraintes environnementales génériques. La démarche UML a ainsi été adoptée pour cadrer l'outil, en définissant les utilisateurs (clients), les cas d'utilisation souhaités (configuration, initialisation, génération d'alarmes, diagnostic, mise à jour de la configuration et des paramètres), la définition des différentes classes d'analyse nécessaires et la spécification des interactions entre ces classes [IFAC, 2005]. Notre contribution dans le Work Package « Diagnosis Aid System » de PROTEUS a donné lieu à trois rapports - [PROTEUS-D2.1, 2003], [PROTEUS-D2.2, 2003], [PROTEUS-D2.3, 2004] ainsi qu'à une publication collective [IEEE-MechRob, 2004] qui traite de la mise en place d'un méta-outil d'aide au diagnostic, intégré à l'ensemble de la plate-forme de e-maintenance PROTEUS.

Suite aux spécifications UML de l'outil, un projet ANVAR [ANVAR, 2004] a été consacré au développement d'un prototype de système dynamique d'aide à la surveillance travaillant à partir de l'ensemble des données industrielles d'un système de production (arbre de défaillances, AMDEC, GMAO, ...). Le prototype (Figure 3 b) utilise le langage Labview (National Instrument) et un système embarqué de type carte FPGA (système PXI - NI). L'initialisation de l'outil se fait à partir de l'ADD et de l'AMDEC (même incomplets) ainsi que de l'historique GMAO disponible. L'apprentissage en-ligne utilise les informations venant des capteurs et des nouveaux événements enregistrés par la GMAO. Enfin, le système de surveillance obtenu se prête à une mise à jour rapide de la configuration, afin de prendre en compte des modes nouveaux de fonctionnement/défaillance. Sur le plan du diagnostic, l'outil a la possibilité de fournir (à tout client léger ou opérateur humain connecté au système) des informations de type localisation de la défaillance et origine de la défaillance, avec le degré de pertinence associé.

A partir d'essais comparatifs de diagnostic par le neuro-flou et les réseaux de Petri flous [IFAC-MCPL, 2004], le travail d'Amine Ghernaut concerne une approche duale maintenance-qualité, basée sur une application développée en collaboration avec Cegelec [Pentom, 2005]. Cette approche traite l'intégration des résultats des mesures des produits – aux cotés des autres informations machine et outil – pour élaborer une aide au diagnostic complète, en utilisant une approche abductive de recherche de cause [GI, 2005] basée sur les réseaux de Petri flous de type « fuzzy belief Petri nets ». Ce type de réseaux semblent très prometteurs en ce qui concerne la formalisation de la recherche de causes – problématique fondamentale du diagnostic et du pronostic.

⁹ PROTEUS a generic platform for e-maintenance (plate-forme générique de e-maintenance) - <http://www.proteus-iteaproject.com>

¹⁰ Information Technology for European Advancement.

5 PERSPECTIVES DE RECHERCHE

Comme nous l'avons déjà précisé précédemment, les systèmes mécatroniques modernes sont caractérisés par une décentralisation marquée de l'intelligence au niveau de l'action, dans une configuration souvent répartie. Dans ce contexte et vu les activités menées dans le domaine de la surveillance par intelligence artificielle, je souhaiterais aborder à l'avenir des problématiques liées aux *réseaux de capteurs intelligents*, en intégrant des tendances technologiques liés aux connecteurs intelligents (« smart connectors ») basés sur le multiplexage et sur les courants porteurs, afin de réduire le volume de câblage, des points de connexion et afin de mieux prendre en considération les contraintes de sûreté de fonctionnement de ce type de réseaux, contraintes qui – dans un avenir très proche - seront vraisemblablement déterminantes.

Cette problématique fait intervenir des concepts liés à :

- l'intelligence artificielle,
- la fusion de capteurs,
- les technologies de l'information et de la communication ainsi que
- les problématiques du temps réel comme :
 - o le déterminisme des réponses sur le réseau,
 - o la sûreté de fonctionnement des réseaux de capteurs,
 - o la flexibilité,
 - o l'ouverture,

dans un contexte technologique orienté de plus en plus vers la miniaturisation des composants, miniaturisation qui pose des problèmes d'intégration de ces capteurs dans les modules décentralisés.

Dans un contexte régional de création d'un pôle de compétitivité « microtechniques » en Franche-Comté, la problématique de la fabrication des microsystèmes est une problématique présentant un intérêt croissant. En effet, de nombreux prototypes de microsystèmes sont proposés en phase de prototype, avec une création liée à une manière plutôt artisanale, tout à fait compréhensible – vu les technologies innovantes utilisées -, mais qui ne se prête pas à une commercialisation de ces produits. De ce fait, l'étude des microsystèmes de production semble être un domaine porteur et permettant de garder des emplois européens – souvent menacés par la délocalisation.

Dans le domaine de la « micro productique » - domaine abordé depuis 2002 au LAB – je considère pouvoir apporter ma contribution sur des sujets liés à la *surveillance et la sûreté de fonctionnement des microsystèmes de production*. Dans ce sens, il serait nécessaire :

- d'identifier les verrous du micro monde par rapport à une action de type surveillance (détection, diagnostic, pronostic, ...)
- définir les bases d'une approche systémiques dans la surveillance des microsystèmes de production
- utilisation des approches IA ou des approches mixtes (de type boîte grise - modélisation + IA) pour la surveillance des microsystèmes de production

Enfin, le *diagnostic à partir de l'imagerie médicale en utilisant les techniques de l'intelligence artificielle* (correspondant au sujet de ma demande en délégation au laboratoire IPAL – Image Processing and Application Lab – FRE CNRS 2339 Singapour) me semble un domaine où mes compétences en recherche (surveillance par IA) et en enseignement (traitement de l'image) peuvent se donner la main pour aborder une thématique nouvelle, présentant un grand intérêt dans le domaine du biomédical, dans lequel la France et en particulier la Franche-Comté sont bien engagées depuis un certain nombre d'années. Sur ce sujet, quelques points me semblent incontournables :

- utilisation conjointe des techniques de traitement de l'image et du diagnostic par imagerie médicale
- mise en œuvre de techniques de l'intelligence artificielle permettant l'apprentissage par expérience médicale et la formalisation de raisonnements approximatifs pour l'aide au diagnostic/pronostic.

6 INSERTION DANS L'EQUIPE DE RECHERCHE

6.1 ROLE PERSONNEL JOUE AU SEIN DE L'EQUIPE

Dès mon arrivée en 1999 au Laboratoire d'Automatique de Besançon, j'ai apporté ma contribution active œuvré pour la création et le développement d'une équipe de recherche en ingénierie de maintenance et e-maintenance. Formée en 2000, cette équipe (composée actuellement de 4 enseignants-chercheurs et 2 ingénieurs) travaille sous la responsabilité du Professeur Zerhouni de l'Ecole Nationale Supérieure de Mécaniques et Microtechniques (ENSM) de Besançon et présente un bilan extrêmement intéressant en terme de projets (1 projet européen, 1 projet RNRT, 2 contrats de recherche DCN, projets dans le cadre d'instituts régionaux de recherche et de transfert, 1 projet ANVAR et plusieurs projets subventionnés par la région), de publications (env. 10 revues et 30 conférences internationales) et de soutenance de thèses (4 thèses soutenues).

En ce qui me concerne, je suis en charge de l'axe « surveillance par intelligence artificielle » de cette équipe, axe dans laquelle 2 thèses ont été soutenues : R. Zemouri en 2003 et E. Minca en 2004, et 2 thèses sont en cours de finalisation (soutenances prévues fin 2005 – début 2006). Dans l'objectif d'initier des nouvelles directions de recherche et d'approfondir certains des concepts abordés dans l'axe, j'ai par ailleurs encadré et co-encadré un nombre de 15 stages DEA-Master Recherche.

Enfin, je suis co-responsable de la plate-forme de e-maintenance, plate-forme qui a servi de test pour le projet européen Proteus et les différents contrats de recherche de l'équipe.

6.2 COLLABORATIONS INDUSTRIELLES ET CONTRATS DE RECHERCHE

Au début de notre activité dans l'axe, les stages DEA de R. Zemouri (Zemouri, 2000) et de J. Kaabi (Kaabi, 2001) ont eu comme sujet l'amélioration de l'organisation de la maintenance ainsi que la mise en place d'une maintenance préventive systématique dans l'unité de ferrage de PSA PEUGEOT CITROËN à Sochaux [IEEE-ICRA, 2001],[SIMI, 2001],[C2I, 2002]. Pour marquer notre collaboration avec PSA, nous avons co-rédigé en collaboration avec le responsable du service maintenance PSA, M. Stéphane Durand, un article publié dans le 4^{ème} Congrès International du Génie Industriel [GI, 2001], ainsi qu'un article de revue [RISPM, 2003].

En ce qui concerne les applications de télémaintenance et e-maintenance, en 2001 j'ai initié une collaborations avec la société Predict S.A. par l'intermédiaire de son PDG – Jean-Baptiste LEGER. Cette collaboration a eu pour objet la mise en place d'une plate-forme de e-maintenance au LAB, afin d'effectuer des premiers test d'intégration de nos différents algorithmes de surveillance (Montroig, 2003). Cette plate-forme est en liaison web avec un système flexible de production. Ceci nous permet d'aborder nos problématiques à partir de repères industriels concrets, et de communiquer nos résultats plus facilement. Dans ce sens, la plate-forme de e-maintenance du LAB a constitué la base de développement du démonstrateur du projet européen PROTEUS. Plusieurs démonstrations du projet, dans ses différentes phases de développement ont été effectuées à distance, à l'occasion de deux symposiums du projet européen PROTEUS à Leuven (Belgique) et Séville (Espagne) ainsi que dans le cadre du salon MICRONORA 2004 à Besançon.

Il est à noter que la collaboration avec Predict s'est prolongé actuellement dans le cadre du projet DCN¹¹.

Toujours sur le plan des collaborations industrielles, j'ai été à l'origine de la collaboration avec la société bisontine AVENSY Ingénierie, collaboration qui a permis l'exploitation industrielle de notre outil neuronal dynamique RRFR. Suite logique de cette collaboration, une étude du marché a été effectuée dans le domaine de la construction des machines outils, afin de déterminer l'intérêt des industriels régionaux de cette branche, par rapport à un système de surveillance intelligent basé sur notre concept neuronal dynamique.

Dans la même dynamique sur le plan régional, en partenariat avec le Laboratoire d'Informatique de Franche-Comté (LIFC – FRE CNRS 2661), l'INRIA et des entreprises comme Cegelec-Belfort, Schneider, Nipson-Belfort, notre équipe est à l'origine d'un projet de TélMaintenance industrielle coopérative SYMPATIC¹² mis en œuvre dans le cadre de l'ISTI (Institut des Sciences et Technologies de l'Information). Ce projet a permis de constituer un capital savoir-faire très utile, exploité dans différents autres projets ou propositions de projets.

¹¹ DCN – Division des Constructions Navales

¹² SYMPATIC – SYstème d'aide à la décision pour la gestion intégrée des fonctions de Maintenance et Production à l'Aide des Technologies de l'Information et de la Communication

Sur le plan national, j'ai participé aux négociations qui ont mené en 2004 au contrat NEMOSYS¹³ avec la Division des Constructions Navales. Ce projet a été piloté par notre équipe au sein de l'Institut de Productique de Besançon, en impliquant des partenaires industriels - professionnels de la e-maintenance ainsi qu'un ensemble de laboratoires spécialisés dans ce domaine, regroupés dans le groupe de travail MACOD (modélisation et optimisation de la MAintenance COopérative et Distribuée) du GdR MACS (Modélisation, Analyse et Conduite des Systèmes dynamiques). NEMOSYS constitue une pré-étude destinée à évaluer - en terme d'impact et de retombées commerciales et stratégiques - l'opportunité de la mise en place d'une plateforme de e-maintenance dans le domaine militaire naval. Cet avant projet a comporté un volet formation, dans lequel je suis intervenu autour des problématiques de surveillance par intelligence artificielle [DCN, 2004]. Le succès de cette première partie du projet nous a mené à une suite, dans laquelle, nous sommes partie prenante d'un projet de plus grande envergure, faisant partie des projets stratégiques impliquant l'ensemble de la DCN.

En ce qui concerne nos projets innovants, nous pouvons souligner que l'agence française de l'innovation - ANVAR a soutenu un de nos projets durant l'année 2004. Ce projet d'innovation concerne la conception et le prototypage d'un système de surveillance dynamique embarqué et d'aide au diagnostic d'un centre d'usinage à grande vitesse de CEGELEC [ANVAR, 2004] et a donné lieu à deux publications [IMS, 2004], [IFAC, 2005].

6.3 COLLABORATION NATIONALES ET INTERNATIONALES ET INSERTION DANS DES RESEAUX INTERNATIONAUX

Une première contribution à mettre à l'actif de notre équipe est la participation à l'élaboration d'un projet de recherche en collaboration avec l'Université Valahia de Targoviste en Roumanie et Dacia-Renault Roumanie. C'est dans le cadre de ce projet, soutenu par l'ambassade de France à Bucarest, que notre laboratoire accueille actuellement deux thèses en co-tutelle dont une (Minca, 2004) soutenue en septembre 2004.

Ces co-encadrements avec la Roumanie s'inscrivent dans une coopération plus vaste, comprenant la mise en place d'une formation de type master européen en mécatronique et des échanges de type Erasmus, échanges dont je suis le responsable au niveau de mon département à l'UFR Sciences. Des interventions au niveau master ont ainsi déjà eu lieu en 2002 et en 2005 par des collègues du Groupe Automatique et Productique (GAP) de l'UFR Sciences. En parallèle avec ces actions, mais toujours avec l'Université Valahia de Targoviste, des nouvelles collaborations avec des industriels franco-roumains ont été initiées, notamment avec Schneider-Roumanie, autour de l'utilisation de l'IA. Ces collaborations ont comme premier résultat, la proposition d'un nouveau dossier de thèse en co-tutelle auprès de l'Ambassade de France à Bucarest.

Toujours concernant la Roumanie, un projet de type *Leonardo da Vinci*¹⁴ d'échange et collaboration des enseignants-chercheurs a été approuvé avec l'Université Polytechnique de Timisoara, dans le domaine du diagnostic et de la e-maintenance. L'objectif est, là aussi, la cristallisation d'un pôle de recherche autour des problématiques de la maintenance et plus généralement de la productique. Dans ce contexte, au mois de mai 2005, nous avons accueilli 2 enseignants-chercheurs de l'Université « Politehnica » de Timisoara pour un échange autour d'applications concrètes de diagnostic par imagerie infrarouge et de e-maintenance.

Les contacts avec la Roumanie se sont concrétisés aussi par une conférence plénière sur invitation personnelle [C2I-plen, 2002] à la Conférence Internationale d'Ingénierie Intégrée organisée par l'Université « Politehnica ». Cet événement marque l'aboutissement de plus de 10 années de collaborations, depuis ma sortie des bancs de cette prestigieuse Université et mon passage à l'ENI de Belfort jusqu'à mon arrivée à l'Université de Besançon.

En élargissant le spectre des relations internationales, le co-encadrement de la thèse de M. Amine Ghernaut s'inscrit dans une dynamique de coopération entre la France et les pays du Maghreb, coopération marquée par le projet CORUS¹⁵ sur la maîtrise à distance des installations industrielles par télémaintenance et télédiagnostic, projet initié et piloté par le Professeur N. Zerhouni.

¹³ NEMOSYS – Naval e-maintenance oriented system – la e-maintenance appliqué à un système naval de défense de la DCN – Division des Constructions Navales. Projet piloté par l'Institut de Productique de Besançon, regroupant autour de lui un consortium comprenant six universités et deux sociétés prestataires de services spécialisées dans la e-maintenance

¹⁴ LEONARDO DA VINCI - Leonardo da Vinci RO/2004/93019/EX – Trainers in diagnosis and e-maintenance – 2004/05

¹⁵ Projet CORUS : France-Algérie/Maroc/Tunisie, projet intitulé : Maîtrise à distance de la sûreté des installations industrielles par télémaintenance et télédiagnostic, projet n° : 02 212 210 211 006

Enfin, notre équipe participe de façon active au niveau national dans le cadre du groupe de recherche en productique GdR MACS. Au sein de ce groupement de recherche CNRS, nous comptons parmi les initiateurs d'un groupe de travail MACOD regroupant la communauté scientifique française qui s'intéresse à la maintenance collaborative distribuée et à la e-maintenance. Nous avons ainsi présenté et discuté nos premiers résultats de recherche [GRP-ASSF, 2002] , [GdR-MACS/MACOD, 2003] et [GdR-MACS/MACOD-AMOEP, 2005] afin de positionner nos travaux au sein de cette communauté et d'ouvrir la voie à d'éventuelles nouvelles collaborations. Actuellement, nous participons à la rédaction d'un ouvrage commun au sein de MACOD sur le sujet de la e-maintenance.

Le projet majeur auquel a participé l'équipe *ingénierie de maintenance et e-maintenance* du LAB sur le plan international est sans aucun doute le projet européen PROTEUS du cadre FP5 Integrated Project du programme ITEA (ITEA s'inscrit dans les projets EUREKA « stratégiques » ayant pour finalité l'innovation). Le défi technologique majeur de ce projet - labellisé en octobre 2002 pour une durée de 30 mois - est le développement d'une plate-forme de e-maintenance intégrant l'accès à des outils et des sources d'information qui ne communiquent pas naturellement entre eux.

Le projet PROTEUS regroupe des partenaires industriels et universitaires français, allemands et belges et se propose d'étudier la conception, les spécifications techniques et le prototypage d'une plate-forme générique de e-maintenance utilisable pour l'implémentation de centres de maintenance basés sur le web. Cette collaboration à l'échelle européenne fait intervenir des partenaires industriels prestigieux comme CEGELEC (France et Allemagne), SCHEIDER (France et Allemagne), AKN Eisenbahn AG (Allemagne) ainsi que des partenaires universitaires reconnus comme les laboratoires français LORIA et LIP6, l'Université Technique de Munich et l'Institut de Recherche IFAK en Allemagne.

Pour finir, je voudrais mentionner que notre équipe de recherche entretient des contacts et compte des membres de l'Association Française des Ingénieurs de Maintenance (AFIM), de l'Association Française de l'Intelligence Artificielle (AFIA) et de l'Institut de Sûreté de Fonctionnement (ISDF).

6.4 ORGANISATION DE MANIFESTATIONS SCIENTIFIQUES

En tant que membre du groupe productique du LAB, la présence de l'Institut de Productique dans le paysage industriel local a constitué un atout important. Dans ce cadre, j'ai participé et je participe à l'organisation de journées techniques autour de mes problématiques de recherche :

- « Sûreté de fonctionnement des systèmes de production », 4 mai 2000, Institut de Productique
- « De l'ingénierie de maintenance à l'e-maintenance : réalités industrielles », 22 mai 2003, CDM Montbéliard¹⁶
- « Les atouts de la e-maintenance pour la performance industrielle », 19 mai 2005, Cegelec Belfort

Dans le cadre de la journée du 19 mai 2005 notamment, j'effectuerai une présentation de synthèse sur les techniques de l'intelligence artificielle appliquées au diagnostic et au pronostic [IP, 2005].

Toujours dans ce contexte de diffusion de l'information auprès des entreprises régionales, deux articles parus dans le mensuel « En Direct - Productique » traite des sujets issus de la recherche et susceptibles de donner lieu à des exploitations industrielles. J'ai ainsi co-édité 2 communications : une première autour de notre collaboration avec la société Avenisy dans le domaine de la surveillance par réseaux de neurones dynamiques [EDP, 2004] et une deuxième autour de nos travaux pour le compte du projet NEMOSYS [EDP, 2005].

Un certain nombre d'autres tâches d'organisation de différentes communications scientifiques ont fait partie de mon activité. Je peux énumérer ainsi mes actions en tant que :

- membre du comité d'organisation de Mecatronics'01 - 5th Franco-Japanese Congress , Besançon, 9-11 oct. 2001
- membre du comité d'organisation du congrès annuel du Club E.E.A, Besançon, 14-16 mai 2003
- membre du comité scientifique du congrès Pentom 2005 - 2^{ème} édition du colloque international francophone « Performance et Nouvelles Technologies en Maintenance », Marrakech, Maroc, 18 - 20 avril 2005
- président de la session « Fault Diagnosis and Maintenance » IEEE Conference on Robotics, Automation and Mechatronics (IEEE RAM 2004), Singapour, 1-3 décembre 2004.

En ce qui concerne la relecture d'articles, j'ai été sollicité pour relire une quinzaine d'articles pour les revues et les conférences suivantes : *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, *JESA - Journal Européen des Systèmes Automatisés*, *PENTOM 2005 : Performances et Nouvelles Technologies en Maintenance* et le 6^{ème} Congrès international du Génie Industriel

¹⁶Centre de Développement du Multimédia de Montbéliard

7 ENCADREMENT ET CO-ENCADREMENT D'ETUDIANTS

Dans le cadre de mes travaux de recherche au LAB et la mise en place de l'équipe « *ingénierie de maintenance et e-maintenance* », j'encadre et je travaille actuellement avec deux doctorants, après avoir co-encadré deux thèses soutenues en 2003 et respectivement 2004. Il est à noter que j'ai élaboré et rédigé tous les sujets de ces thèses, sujets validés par le Professeur N. Zerhouni. Par ailleurs, les deux doctorants co-encadrés ayant soutenu leur thèse, sont actuellement maîtres de conférences : l'un au CNAM et l'autre à l'Université Valahia de Targoviste, en Roumanie.

Enfin, depuis 1999, j'ai encadré et co-encadré un nombre de 15 stages DEA–MASTER Recherche (moyenne entre 2 et 3 stages d'initiation à la recherche encadrés par an). Ces travaux ont eu comme objectif d'initier des nouvelles directions de recherche dans l'axe et d'approfondir certains concepts abordés. Mis à part l'impact sur la dynamique globale de recherche de l'équipe et du laboratoire, ces travaux ont mené directement à un nombre de 3 communications à des congrès internationaux prestigieux [IFAC-MCPL, 2004], [IEEE-RAM, 2004], [IEEE-ICRA, 2002] et de 2 communications à des congrès internationaux à audience francophone [IAI, 2003 – a et b]. Par ailleurs, la grande majorité des stagiaires encadrés sont actuellement ingénieurs, doctorants ou titulaires d'un doctorat.

7.1 CO-ENCADREMENT DE THESES

7.1.1 THESES SOUTENUES

Les 3 titulaires des doctorats co-encadrés soutenus sont actuellement maîtres de conférences pour E. Minca et R. Zemouri et respectivement post-doctorant pour N. Palluat :

(Zemouri, 2003) R. Zemouri - « *Contribution à la surveillance des systèmes de production à l'aide des réseaux de neurones dynamiques : Application à la e-maintenance* »

thèse commencée en octobre 2000, **soutenue le 28 novembre 2003**

Jury : A. Bourjault (président), D. Hammad (rapporteur), D. Noyes (rapporteur), J-M. Faure, **D. Racoceanu**, N. Zerhouni, R. Labourier (PDG Avenisy Ingénierie - industriel invité)

mention très honorable (au LAB, la mention THFJ n'est plus en vigueur depuis octobre 2003)

financement : allocation ministère de la Recherche

taux d'encadrement : 50% (co-encadrement avec N. Zerhouni 50%)

situation actuelle du diplômé : docteur de l'Université de Franche-Comté et maître de conférences au CNAM Paris - chercheur au LURPA Cachan

(Minca, 2004) E. Minca - « *Contribution à la surveillance des systèmes de production à l'aide des réseaux de Petri flous : Application à la e-maintenance* »

thèse commencée en octobre 2001 et **soutenue le 24 septembre 2004**

Jury : I. Cucui (président), C. Sibertin-Blanc (rap.), V. Manzu (rapp.), A. Dorin, **D. Racoceanu**, N. Zerhouni, J. Cardoso (invité).

mention très honorable,

thèse de doctorat en co-tutelle, Université de Franche-Comté - Université Valahia de Targoviste, Roumanie,

financement – Ambassade de France en Roumanie

taux d'encadrement : 50% (co-encadrement avec N. Zerhouni 30% et D. Alexandru – Université Valahia de Targoviste, Roumanie 20%)

situation actuelle de la diplômée : docteur de l'Université de Franche-Comté et maître de conférences à l'Université Valahia de Targoviste (Roumanie)

N. Palluat - « *Méthodologie de surveillance dynamique à l'aide des réseaux neuro-flous temporels* »

thèse commencée en octobre 2002 et **soutenue le 12 janvier 2006**

Jury : C. Chu (président), P. Brézillon (rapp.), B. Ould-Bouamama (rapp.), A. Bourjault, J-M. Olive, **D. Racoceanu**, N. Zerhouni, J-B Leger (PDG Predict - industriel invité).

mention très honorable,

financement : allocation ministère de la Recherche

taux d'encadrement : 60% (co-encadrement avec N. Zerhouni 40%)

situation actuelle de la diplômée : docteur de l'Université de Franche-Comté, post-doc à l'Université Fédérale Santa Catarina, Florianópolis (Brésil)

7.1.2 THESES EN COURS DE PREPARATION

A. Ghernaut - « Aide au diagnostic des systèmes mécatroniques en utilisant une approche duale maintenance-qualité. Application chez Cegelec France »

thèse de doctorat d'état commencée en 2003, soutenance prévue octobre 2006

financement : bourse de coopération algéro-française, département de mécanique, faculté des sciences de l'ingénieur, université de Tlemcen-Algérie, en collaboration avec le LAB.(Besançon)

taux d'encadrement : 60% (co-encadrement avec N. Zerhouni 40%)

O. Vasile (épouse Dragomir) - « Optimisation des systèmes de surveillance, contrôle et sécurité dans les bâtiments industriels à l'aide des algorithmes de l'intelligence artificielle »

thèse de doctorat en co-tutelle avec l'Université Valahia de Targoviste (habilitée par l'Université Polytechnique de Bucarest), Roumanie, commencée en octobre 2005

financement : Ambassade de France en Roumanie.

taux d'encadrement : 40% (co-encadrement avec N. Zerhouni 30% et S. Iliescu – Université Polytechnique de Bucarest, Roumanie 30%)

7.2 ENCADREMENT DE STAGES DEA ET MASTER RECHERCHE

Il est à remarquer que parmi les stagiaires DEA / M2R encadrés, 3 sont actuellement docteurs (1 maître de conférences, 1 post-doc, 1 ATER), 7 doctorants et 3 ingénieurs :

(Zemouri, 2000) R. Zemouri, *Modélisation et simplification des processus stochastiques : application à l'optimisation de la maintenance chez PSA Peugeot Citroën*, DEA IAP (Informatique, Automatique et Productique) de l'Université de Franche-Comté, septembre 2000

taux d'encadrement : 50% (co-encadrement avec N. Zerhouni 50%)

situation actuelle du diplômé : docteur de l'Université de Franche-Comté et maître de conférences au CNAM Paris - chercheur au LURPA Cachan

N. Addouche, *Modélisation et Evaluation des Performances d'un Système de Production intégrant la Télémaintenance Corrective et Préventive*, DEA IAP de l'Université de Franche-Comté, septembre 2001

taux d'encadrement : 50% (co-encadrement avec N. Zerhouni 50%)

situation actuelle de la diplômée : doctorant à l'INPG (Grenoble)

(Ouldyahia, 2001) N. S. Ouldyahia, *Diagnostic des systèmes de production en utilisant les réseaux de neurones. Introduction au neuro-flou*, DEA IAP de l'Université de Franche-Comté, septembre 2001

taux d'encadrement : 100%

situation actuelle de la diplômée : doctorant à l'UTT (Troyes)

(Kaabi, 2001) J. Kaabi, *Maintenance prédictive systématique basée sur la fiabilité. Application pour la gestion des pinces à souder robotisées chez PSA Peugeot Citroën Sochaux*, DEA IAP, septembre 2001

taux d'encadrement : 50% (co-encadrement avec N. Zerhouni 50%)

situation actuelle de la diplômée : docteur de l'UFC (LAB). ATER à l'Ecole des Mines de Nancy

(Pross, 2001) S. Pross, *Propagation des incertitudes dans un arbre de défaillances. Application au système flexible du LAB dans le cadre de la plate-forme de télémaintenance associée*, DEA IAP, septembre 2001

taux d'encadrement : 100%

■ *situation actuelle de la diplômée : ingénieur d'affaires – Electricité Industrielle de l'Est - Mulhouse*

N. Palluat, *Méthodologies neuronales de diagnostic des défaillances. Intégration des procédures neuronales dans la plate-forme de télémaintenance du LAB*, DEA IAP de l'Université de Franche-Comté, septembre 2002

■ *taux d'encadrement : 70% (co-encadrement avec N. Zerhouni 30%)*

■ *situation actuelle du diplômé : docteur de l'Université de Franche-Comté, post-doctorat à l'Université Fédérale Santa Catarina, Florianópolis, Brésil*

A.D. Djouak, *Etude d'un multicapteur distribué à base de réseaux de neurones et de traitement de l'image*, DEA IAP de l'Université de Franche-Comté, septembre 2002

■ *taux d'encadrement : 100%*

■ *situation actuelle du diplômé : doctorant au CEMIF, Evry Val d'Essonne*

(Djaffar, 2002) O.A. Djaffar, *Utilisation des réseaux neuro-flous pour le pronostic industriel*, DEA IAP de l'Université de Franche-Comté, septembre 2002

■ *taux d'encadrement : 100%*

■ *situation actuelle du diplômé : doctorant au Laboratoire MIPS, ESSEAIM, Université de Haute Alsace*

S. Ouaret, *Conception et programmation Java d'une interface de surveillance en ligne via Internet à l'aide d'un automate Schneider avec coupleur serveur web. Application à la reconnaissance des séquences d'évènements discrets*, DEA IAP de l'Université de Franche-Comté, septembre 2003

■ *taux d'encadrement : 100%*

■ *situation actuelle du diplômé : Etudes doctorales à Montréal, Québec, Canada*

H. Sefiane, *Mise au point d'un algorithme et développement d'un prototype de superviseur pour la surveillance et la commande des systèmes flexibles de production en utilisant les réseaux de Petri flous et le langage Java*, DEA IAP de l'Université de Franche-Comté, septembre 2003

■ *taux d'encadrement : 100%*

■ *situation actuelle du diplômé : doctorant au laboratoire LAMIH-UMR 8530, Université de Valenciennes*

(Montroig, 2003) T. Montroig, *E-maintenance. Etude générique des plates-formes de e-maintenance distribuées. Application : prototypage du démonstrateur de e-maintenance du LAB dans le cadre du projet européen Proteus*, DEA IAP de l'Université de Franche-Comté, septembre 2003

■ *taux d'encadrement : 50% (co-encadrement avec N. Zerhouni 50%)*

■ *situation actuelle du diplômé : ingénieur Cegelec S.A. France*

M. Monnin, *Diagnostic et pronostic industriel en utilisant les techniques de l'intelligence artificielle. Application à la plate-forme de e-maintenance du LAB*, DEA IAP de l'Université de Franche-Comté, juin 2004

■ *taux d'encadrement : 80% (co-encadrement avec N. Zerhouni 20%)*

■ *situation actuelle du diplômé : doctorant bourse DGA au laboratoire LAMIH-UMR 8530 – Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis*

J. Xu, *Utilisation des réseaux de neurones dynamiques pour la e-maintenance. Instrumentation d'une maquette de surveillance temps réel*, DEA IAP de l'Université de Franche-Comté, septembre 2004

■ *taux d'encadrement : 100%*

H. Wei, *Arbre de défaillance flou*, Master Recherche Mécatronique, date prévisionnelle de fin : septembre 2005

■ *taux d'encadrement : 100%*

S. Brust, *Détection de défauts en utilisant les techniques neuronales dynamiques. Prototypage en Labview*, Master Recherche Mécatronique, mai 2005.

■ *taux d'encadrement : 100%*

■ *situation actuelle : ingénieur R&D, DaimlerChrysler AG, Allemagne.*

7.3 ENCADREMENT DE PROJETS ET STAGES LIES A LA RECHERCHE

Etant donné mon expérience industrielle, depuis mon arrivée à l'UFR Sciences je n'ai pas hésité à m'impliquer – à chaque fois que le besoin s'en est fait sentir – dans l'encadrement de projets de différents niveaux, le suivi de stagiaires et d'apprentis. Dans ce sens, je peux énumérer les activités suivantes :

- 1999-2004 Encadrement de projets de binômes d'étudiants de DESS PA (200h de projet par étudiant, un ou deux binômes par an). Exemple de projet DESS PA sur un sujet lié à la recherche :
- *Intégration d'une solution de surveillance temps réel neuronale dans une solution globale de surveillance à distance des systèmes de production, basée sur la plate-forme AQUIVUS et un module MSP, Avensy, 2003-2004*
- 2004-2005 Encadrement de projets de binômes d'étudiants de Master Mécatronique (MMT) 2^{ème} année parcours Professionnel (100h de projet par étudiant, deux binômes). Exemple de sujet :
- *Etude d'une solution de maintenance préventive concernant l'industrie de la machine-outil, Avensy, 2004-2005*
- 1999-2004 Encadrement de projets de maîtrise EEA (un ou deux par an) au LAB (binôme ou trinôme d'étudiants, 80h étudiant par projet réparties d'octobre à avril) sur des sujets liés à la recherche :
- *Supervision du système flexible de production du LAB (2000-2001),*
 - *Configuration d'un système de Télémaintenance (2001-2002),*
 - *Etude d'un système de surveillance en ligne basé sur le principe des réseaux de neurones : modélisation en VHDL du RBF et respectivement du RRBf (2001-2002 et 2002-2003)*
 - *Programmation Java d'une interface de surveillance en ligne via Internet à l'aide d'un automate SIEMENS avec coupleur serveur web (2002-2003)*
 - *Création d'une base de connaissances des défaillances sur le système flexible du LAB (2003-2004).*
- 2000-2003 Encadrement de 3 projets de fin d'étude ENSMM (Ecole Nationale Supérieure de Mécanique et Microtechniques de Besançon) sur des sujets liés à la recherche. Exemple de sujets :
- *Télémaintenance et diagnostic préventif, société Predict, Nancy (2001-2002) ,*
 - *Système de surveillance temps réel basé sur les réseaux de neurones dynamiques, accessibles à distance par un serveur web, développement du prototype et étude du marché, Avensy (2002-2003).*

8 PARTICIPATION A DES TACHES ADMINISTRATIVES D'INTERET COLLECTIF, A L'ACTIVITE D'ENSEIGNEMENT ET EXPERIENCE EN ENTREPRISE

8.1 RESUME DES ACTIVITES D'ENSEIGNEMENT

Depuis mon arrivée à l'UFR des Sciences et Techniques de Besançon en septembre 1999, j'effectue mon enseignement au sein du Groupe Automatique et Productique (GAP) de l'UFR Sciences et Techniques de Besançon. Ce service d'enseignement fédère les enseignements dans les domaines de l'automatique, la productique, la robotique, la vision et l'informatique industrielle.

Ainsi, depuis septembre 1999, le service d'enseignement que j'effectue se répartit sur le deuxième et troisième cycle universitaire, en formation initiale, mais également en formation continue (formation pour la DCN – Division des Constructions Navales, année 2004/2005), essentiellement en productique, informatique industrielle, vision, automatique et intelligence artificielle, aussi bien en cours, qu'en TD et en TP, sans oublier bien évidemment l'encadrement des projets industriels.

Les disciplines enseignées et les filières concernées sont résumées ci-après :

-  *Productique (systèmes à événements discrets, simulation de flux, implantation, maintenance, fiabilité, diagnostic) :*
 - *Maîtrise EEA, option Automatique et Productique*
 - *IUP SAPIAA (Systèmes Automatisés de Production pour les Industries Agro-Alimentaires), 3^{ème} année*
 - *Licence professionnelle GPI (Gestion de la Production Industrielle) option logistique industrielle, 3^{ème} année*
 - *Licence professionnelle GPI (Gestion de la Production Industrielle) option gestion de production intégrée, 3^{ème} année*
 - *Master Recherche MT (Mécatronique), 2^{ème} année*
-  *Informatique Industrielle :*
 - *IUP GMI (Génie Mathématique et Informatique), 3^{ème} année*
 - *Maîtrise EEA, tronc commun*
 - *Master Professionnel MT (Mécatronique), 1^{ère} année*
 - *Master Professionnel ELO (Electronique et Optique), 1^{ère} année*
-  *Vision :*
 - *DESS PA (Productique Appliquée)*
 - *DESS SMTII (Systèmes de Mesure, de Test et d'Imagerie Industriels)*
 - *Master Professionnel MT (Mécatronique), 2^{ème} année*
 - *Master Professionnel ELO (Electronique et Optique), 2^{ème} année*
 - *IUP SAPIAA (Systèmes Automatisés de Production pour les Industries Agro-Alimentaires), 3^{ème} année*
-  *Automatique :*
 - *Maîtrise EEA, option Automatique et Productique*
-  *Intelligence artificielle :*
 - *Ecole doctorale Sciences Physiques pour l'Ingénieur et Microtechniques*
 - *Master Recherche MT (Mécatronique), 2^{ème} année*
-  *Encadrement de projets en productique et vision :*
 - *DESS PA*
 - *Master Professionnel MT (Mécatronique), 2^{ème} année*
 - *Maîtrise EEA*
 - *Licence EEA,*
 - *Licence professionnelle GPI*
-  *Tutorat pédagogique - apprentis formation par alternance :*
 - *IUP SAPIAA*

Mise à part mon expérience professionnelle industrielle, mes activités pédagogiques actuelles me permettent d'être en contact avec le secteur industriel par le biais de l'encadrement de projets et de stages (DESS, Maîtrise, Master Professionnel, Licence Professionnelle), et d'étudiants en contrat d'apprentissage (IUP SAPIAA).

8.2 EXPERIENCE EN ENTREPRISE

Avant mon arrivé en tant que maître de conférences, j'ai été employé durant 3 ans comme ingénieur dans deux structures différentes du secteur privé (une PME et une grande entreprise), qui m'ont permis de découvrir des organisations différentes et de développer des compétences, essentiellement organisationnelles.

- 1997-1998 Responsable logistique - ordonnancement, Gaussin S.A., Héricourt, concepteur et fabricant d'automoteurs industriels, systèmes spéciaux de manutention pour l'industrie, les ports et aéroports. CA : 10 M€, 78 personnes
- Responsable transports internes / internationaux
 - Responsable des flux d'entrée, sortie et des flux internes de l'entreprise
 - Responsable planning – ordonnancement
 - Pilote du groupe Qualité Fournisseurs dans le cadre de la démarche de certification ISO 9002
 - Pilote GPAO – Production (mise en place du système et suivi)
 - Contact direct avec la clientèle, les fournisseurs
 - Supervision BM, Achats, Magasin, Expéditions et rôle de liaison entre tous les services de l'entreprise.
 - Encadrement de 5 personnes
- 1998-1999 Responsable d'affaires, Alstom Gaz Turbines / General-Electric France, Belfort, concepteur et fabricant de turbines à gaz, CA : 1,2 Md€, 1800 personnes.
- Responsabilité financière de 5 affaires de turbines gaz
 - Coordination des services concernés par le projet (réunions de lancement, réunions techniques, ...)
 - Veiller au respect du planning, du budget et des particularités techniques de chaque affaire
 - Contact avec le client
 - Rapport périodique (réunions d'affaires) auprès de la hiérarchie interne (chef de service)

8.3 RESUME DES RESPONSABILITES SCIENTIFIQUES, COLLECTIVES ET ADMINISTRATIVES

- Membre élu du conseil du laboratoire depuis le 1^{er} janvier 2000
- Membre suppléant de la commission de spécialistes de 61^{ème} section Université de Franche-Comté entre 2000 et 2004
- A partir de 2004 - Responsable de la gestion des projets industriels d'innovation de 2^{ème} année de Master Mécatronique Professionnel (100h de projet par étudiant sur une problématique industrielle réelle, à la demande et avec l'implication des entreprises).
- A partir de 2004 - Responsable au sein du Groupe Automatique et Productique du module découverte EEA dans le cadre du semestre d'intégration dans le monde universitaire et d'orientation dit STARTER et notamment du STARTER ST (Sciences et Techniques).
- La mise en place du LMD à l'UFR Science – mis à part l'élaboration et la proposition de programmes nouveaux - s'est accompagnée de certaines responsabilités nouvelles, associées à ce nouveau mode de gestion de l'enseignement supérieur. C'est ainsi que je fais partie de la commission de recrutement et de la commission de validation d'acquis du master mécatronique.
- Entre septembre 1999 et août 2004, j'ai assuré la responsabilité de l'option Automatique et Productique de la maîtrise EEA de l'UFR Sciences.
- Pour finir, je suis le responsable de deux projets d'échange et de collaboration : Erasmus (2005/2005 et 2006/2007) entre l'Université de Franche-Comté et l'Université « Valahia » de Targoviste, ainsi que Leonardo Da Vinci avec l'Université « Politehnica » de Timisoara.

9 LISTE DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

L'ensemble des publications ci-dessous correspondent à la période post-doctorale de mon activité.

9.1 REVUES INTERNATIONALES AVEC COMITE DE LECTURE

- [CiI, 2006] N. Palluat, **D. Racocceanu**, N. Zerhouni, A NEURO-FUZZY MONITORING SYSTEM. APPLICATION TO FLEXIBLE PRODUCTION SYSTEMS, *Computers in Industry*, Ed. Elsevier Science, vol 4, avril 2006.
- [RIA, 2005] N. Palluat, **D. Racocceanu**, N. Zerhouni, UTILISATION DES RESEAUX DE NEURONES TEMPORELS POUR LE PRONOSTIC ET LA SURVEILLANCE DYNAMIQUE. ETUDE COMPARATIVE DE TROIS RESEAUX DE NEURONES RECURRENTS, *Revue des sciences et technologies de l'information - RSTI, série Revue d'intelligence artificielle - RIA*, n°6/2005.
- [EEAI, 2003] R. Zemouri, **D. Racocceanu**, N. Zerhouni, RECURRENT RADIAL BASIS FUNCTION NETWORK FOR TIME-SERIES PREDICTION, *Engineering Applications of Artificial Intelligence, The International Journal of Intelligent Real-Time Automation, journal IFAC - the International Federation of Automatic Control*, ed. Elsevier Science, vol. 16, Issue 5-6, pp.453-463, 2003.
- [JESA, 2003] R. Zemouri, **D. Racocceanu**, N. Zerhouni, RESEAUX DE NEURONES RECURRENTS A FONCTIONS DE BASE RADIALES. APPLICATION A LA SURVEILLANCE DYNAMIQUE, *JESA – Journal Européen des Systèmes Automatisés*, vol. 37 – n° 1/2003, pp. 49-81.
- [RIA, 2002] R. Zemouri, **D. Racocceanu**, N. Zerhouni, RESEAUX DE NEURONES RECURRENTS A FONCTIONS DE BASE RADIALES. APPLICATION AU PRONOSTIC, *Revue des sciences et technologies de l'information - RSTI, série Revue d'intelligence artificielle- RIA*, vol. 16, n° 13/2002, pp. 307-338, ISBN : 2-7462-0568-8, Ed. Hermes – Lavoisier, Paris, 2002.
- [SIC, 2002] E. Minca, **D. Racocceanu**, N. Zerhouni, MONITORING SYSTEMS MODELING AND ANALYSIS USING FUZZY PETRI NETS, *Studies in Informatics and Control Journal*, vol. 11, n°4, décembre 2002.
- [RISPM, 2003] R. Zemouri, **D. Racocceanu**, N. Zerhouni, S. Durand, UTILISATION CONJOINTE DES TECHNIQUES DE MODELISATION ANALYTIQUE ET DE SIMULATION POUR L'EVALUATION DES PERFORMANCES EN L'OPTIMISATION DE L'ORGANISATION D'UN SERVICE DE MAINTENANCE, *International Journal of Mechanical Production System Engineering*, n° 7, décembre 2003.

9.2 CONFERENCES SUR INVITATION PERSONNELLE

- [C2I-plen, 2002] **D. Racocceanu**, RESEAUX DE NEURONES TEMPORELS. APPLICATION A LA MAINTENANCE PREVENTIVE ET A LA TELEMANTENANCE, *Conférence plénière, Conférence Internationale d'Ingénierie Intégrée - C2I 2002*, Timisoara, Roumanie, 25-26 avril 2002.
- [Tsingua Univ., 2005] **D. Racocceanu**, N. Zerhouni, DYNAMIC MONITORING SYSTEMS USING RECURRENT NEURAL NETWORKS AND NEURO-FUZZY SYSTEMS. NEMOSYS PROJECT, *Présentation devant les membres du département Intelligence Artificielle de l'Université Tsingua de Pékin, Chine*, 17 octobre 2005.
- [NUS, 2005] **D. Racocceanu**, MONITORING APPROACH USING RECURRENT RADIAL BASIS FUNCTION NEURAL NETWORKS AND NEURO-FUZZY SYSTEMS, *Présentation des travaux devant les membres du département recherche d'information de la Faculté d'Informatique de l'Université Nationale de Singapour*, 7 décembre 2005.

9.3 COMMUNICATIONS A DES CONGRES INTERNATIONAUX AVEC COMITE DE LECTURE ET PUBLICATION DES ACTES

- [CIRAS, 2005] **D. Racoreanu**, N. Palluat, *DYNAMIC NEURO-FUZZY SYSTEM FOR DIAGNOSIS AID, The Third International Conference on Computational Intelligence, Robotics and Autonomous Systems - CIRAS 2005, Singapour, 13-16 décembre 2005.*
- [IEEE ICNN&B, 2005] **D. Racoreanu**, N. Zerhouni, *Monitoring Approach Using Recurrent Radial Basis Function Neural Networks and Neuro-Fuzzy Systems, 2005 International Conference on Neural Networks and Brain - IEEE ICNN&B'05, Pékin, Chine, 13-15 octobre 2005.*
- [IFAC, 2005] N. Palluat, **D. Racoreanu**, N. Zerhouni, *AN UML MODELING OF A NEURO-FUZZY MONITORING SYSTEM, 16th IFAC World Congress Prague, République Tchèque, 4-8 juillet 2005.*
- [IFAC-MCPL, 2004] M. Monnin, N. Palluat, **D. Racoreanu**, N. Zerhouni, *DIAGNOSIS METHODS USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE. APPLICATION OF FUZZY PETRI NETS AND NEURO-FUZZY SYSTEMS, IFAC MCPL 2004 – Third Conference on Management and Control of Production and Logistics, Santiago, Chili, 3-5 novembre 2004.*
- [IEEE-RAM, 2004] M. Monnin, **D. Racoreanu**, N. Zerhouni, *OVERVIEW ON DIAGNOSIS METHODS USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE, IEEE Conference on Robotics, Automation and Mechatronics (IEEE RAM 2004), Singapour, 1-3 décembre, 2004.*
- [IEEE-MechRob, 2004] *PROTEUS ITEA European Project WP2 TEAM (L. Déchamp, A. Dutech, T. Montroig, X. Qian, **D. Racoreanu**, I. Rasovska, P. Brézillon, F. Charpillat, J-Y. Jaffray, N. Moine, B. Morello, S. Müller, G. Nguengang, N. Palluat, L. Pelissier), ON THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR PROGNOSIS AND DIAGNOSIS IN THE PROTEUS E-MAINTENANCE PLATFORM, IEEE Mechatronics & Robotics 2004, Aachen, Germany, E-Maintenance Special Session, September 13-15, 2004.*
- [DX, 2004] R. Zemouri, **D. Racoreanu**, N. Zerhouni, *COUPLING THE DYNAMIC MEMORY WITH THE STATIC MEMORY OF A NEURAL NETWORK FOR THE DIAGNOSIS BY PATTERN RECOGNITION, DX-2004, 15th International Workshop on Principles of Diagnosis, Carcassonne, France, 23-25 juin 2004.*
- [IMS, 2004] N. Palluat, **D. Racoreanu**, N. Zerhouni, *DIAGNOSIS USING NEURO-FUZZY SYSTEMS, Intelligent Maintenance System - IMS 2004, 14-15 juillet 2004, Arles, France.*
- [IEEE-ICRA, 2003] E. Minca, **D. Racoreanu**, N. Zerhouni, *FUZZY LOGIC PETRI NETS FOR MONITORING SYSTEMS MODELING, Proc. of the 2003 IEEE International Conference on Robotics & Automation, ICRA'2003, 12-17 mai 2003, Taipei, Taiwan.*
- [IFAC, 2002] R. Zemouri, **D. Racoreanu**, N. Zerhouni, *APPLICATION OF THE DYNAMIC RBF NETWORK IN A MONITORING PROBLEM OF THE PRODUCTION SYSTEMS, IFAC 2002, Barcelone, Espagne, 21-26 juillet 2002.*
- [SCI, 2002] E. Minca, **D. Racoreanu**, N. Zerhouni, I. Brezeanu, *FUZZY BASED PETRI NETS FOR THE PRODUCTION SYSTEMS DIAGNOSIS, 6th World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics SCI 2002, Orlando, USA, 14-18 juillet 2002.*
- [IEEE-WCCI, 2002] R. Zemouri, **D. Racoreanu**, N. Zerhouni, *FROM THE SPHERICAL TO AN ELLIPTIC FORM OF THE DYNAMIC RBF NEURAL NETWORK INFLUENCE FIELD, 2002 IEEE World Congress on Computational Intelligence, International Joint Conference on Neural Networks, IEEE-WCCI/IJCNN2002, USA, 12-17 mai 2002.*
- [IEEE-ICRA, 2002] **D. Racoreanu**, N. Zerhouni, N. Addouche, *MODULAR MODELING AND ANALYSIS OF A DISTRIBUTED PRODUCTION SYSTEM WITH DISTANT SPECIALISED MAINTENANCE, IEEE ICRA 2002, Washington, USA, 11-15 mai 2002.*

- [IEEE-ETFA, 2001] R. Zemouri, **D. Racocceanu**, N. Zerhouni, *THE RRBF DYNAMIC REPRESENTATION OF TIME IN RADIAL BASIS FUNCTION NETWORK*, Proc. Of the 8th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation – IEEE ETFA'2001, vol 2, pp. 737-740, Antibes Juan-Les-Pins, France, 15-18 octobre 2001.
- [IEEE-ICRA, 2001] R. Zemouri, **D. Racocceanu**, N. Zerhouni, *A PETRI NETS GRAPHIC METHOD OF REDUCTION USING BIRTH-DEATH PROCESSES*, Proc. of the 2001 IEEE International Conference on Robotics and Automation, ICRA'2001, pp 46-51, Séoul, Corée, 21-26 mai 2001 (Best paper Award finalist)

9.4 COMMUNICATIONS A DES CONGRES NATIONAUX OU A AUDIENCE FRANCOPHONES AVEC COMITE DE LECTURE ET PUBLICATION DES ACTES

- [GI, 2005] A. Ghernaut, **D. Racocceanu**, N. Zerhouni, *APPROCHE ABDUCTIVE UTILISANT LES RESEAUX DE PETRI FLOUS POUR LE DIAGNOSTIC ET LA QUALITE DES SYSTEMES MECATRONIQUES*, 6^{ème} Congrès international du Génie Industriel, 7-10 juin 2005, Besançon, France.
- [PENTOM, 2005] A. Ghernaut, **D. Racocceanu**, N. Zerhouni, *APPROCHE DUALE MAINTENANCE-QUALITE POUR LA SURVEILLANCE DES SYSTEMES MECATRONIQUES*, PENTOM 2005 : Performances et Nouvelles Technologies en Maintenance, 18-21 Avril 2005, Marrakech, Maroc.
- [CIFA, 2004] R. Zemouri, **D. Racocceanu**, N. Zerhouni, *RESEAU RRFR POUR LA SURVEILLANCE DYNAMIQUE : APPLICATION EN E-MAINTENANCE*, CIFA-2004, Conférence Internationale Francophone d'Automatique, Douz, Tunisie, 22-24 novembre 2004
- [IAI, 2003-a] Djouak Amar, **Racocceanu Daniel**, Zerhouni Nouredine, *ETUDE D'UN MULTICAPTEUR INTELLIGENT A BASE DE RESEAUX DE NEURONES*, 4^{ème} Conférence Internationale sur l'Automatisation Industrielle, 9-11 juin 2003, Montréal, Canada.
- [IAI, 2003-b] **Racocceanu Daniel**, Djaffar Ould Abdeslam, *RESEAUX NEURO-FLOUS POUR LA SURVEILLANCE DES SYSTEMES*, 4^{ème} Conférence Internationale sur l'Automatisation Industrielle, 9-11 juin 2003, Montréal, Canada.
- [PENTOM, 2003] E. Minca, **D. Racocceanu**, N. Zerhouni, *APPROCHE DE SUPERVISION PAR RESAUX DE PETRI FLOUS*, Congrès PENTOM 2003 « Performance et Nouvelles Technologies en Maintenance » - , Valenciennes, 19-21 mars 2003.
- [QUALITA, 2003] E. Minca, **D. Racocceanu**, N. Zerhouni, *APPROCHE TEMPORELLE FLOUE POUR LA SURVEILLANCE*, Congrès QUALITA 2003, Nancy, 11-13 mars 2003.
- [ENSET, 2002] R. Zemouri, N. Zerhouni, **D. Racocceanu**, *APPLICATION DES RESEAUX RBF RECURRENTS (RRBF) A UN PROBLEME DE SURVEILLANCE*, Proc. of the International Conference on Mechanical Engineering, SIGMA'02, pp. 355-360, 28-29 avril 2002, ENSET, Oran, Algérie.
- [C2I, 2002] J. Khaabi, **D. Racocceanu**, N. Zerhouni, *ELABORATION D'UNE POLITIQUE DE MAINTENANCE PREVENTIVE POUR LA GESTION D'UN PARC DE PINCES A SOUDER ROBOTISEES*, Conférence Internationale d'Ingénierie Intégrée - C2I 2002, Timisoara, Roumanie, 25-26 avril 2002.
- [GI, 2001] R. Zemouri, **D. Racocceanu**, N. Zerhouni, S. Durand, *SIMULATION ET EVALUATION DES PERFORMANCES D'UN ATELIER DE MAINTENANCE*, Actes du 4^{ème} Congrès International du Génie Industriel, vol II, pp. 649-661, Marseille, France, 12-15 juin 2001.
- [SIMI, 2001] R. Zemouri, **D. Racocceanu** et N. Zerhouni, *EVALUATION DES PERFORMANCES D'UN ATELIER DE MAINTENANCE DE PEUGEOT CITROËN AUTOMOBILES, SITE DE SOCHAUX- FRANCE*, Symposium International sur la Maintenance Industrielle, SIMI 2001, Alger, Algérie, 21-23 janvier 2001.

9.5 COMMUNICATION DANS LE CADRE DE GROUPES DE TRAVAIL ET COLLOQUES NATIONAUX

[IP, 2005] **D. Racoreanu**, *Diagnostic et pronostic à l'aide des techniques de l'intelligence artificielle, communication dans le cadre de la journée technique organisée par l'Institut de Productique de Besançon, intitulée : « Les atouts de la e-maintenance pour la performance industrielle », Cegelec S.A., Belfort, 19 mai 2005.*

[GdR-MACS/MACOD-AMOEP, 2005]

A. Ghernaut, **D. Racoreanu**, N. Zerhouni, *Surveillance des systèmes mécatroniques par une approche maintenance – qualité, réunion commune aux GTs MACOD (maintenance coopérative distribuée) et AMOEP (évaluation de performances), journées du GdR MACS, Clermont-Ferrand, France, 30 mars -1^{er} avril 2005.*

[GdR-MACS/MACOD, 2003]

R. Zemouri, **D. Racoreanu**, N. Zerhouni, *Contribution à la surveillance des systèmes de production à l'aide des réseaux de neurones dynamiques : Application à la e-maintenance, journées du GdR MACS, Bordeaux, France, 16-17 octobre 2003.*

[NSI, 2002] R. Zemouri, **D. Racoreanu**, N. Zerhouni, *PREDICTION DES SERIES TEMPORELLES PAR LE RESEAU RECURRENT RADIAL BASIS FUNCTION, XI^{èmes} JOURNÉES NEUROSCIENCES et SCIENCES de L'INGÉNIEUR, NSI'2002 - parrainée par le Club EEA, L'Agelonde, La Londe Les Maures (Var), France, 15-18 septembre 2002.*

[GRP-ASSF, 2002] R. Zemouri, **D. Racoreanu**, N. Zerhouni, *APPLICATION DES RESEAUX DE NEURONES RECURRENTS (RRBF) A LA DETECTION DYNAMIQUE DE DEGRADATIONS, Réunion du GRP – Groupement de Recherche en Productique, groupe de travail ASSF - Automatisation et Systèmes Sûrs de Fonctionnement, Grenoble, 21-22 mars 2002.*

9.6 RAPPORTS DE CONTRATS DE RECHERCHE

Rapports de recherche et rapports de formation développés dans le cadre du projet **NEMOSYS** (Naval E-Maintenance Oriented SYstem) pour le compte de la **DCN** – Division des Constructions Navales :

[DCN, 2004] **D. Racoreanu**, *Techniques d'Intelligence artificielle pour la surveillance industrielle (Intervention de 3 heures), rapport de formation du personnel de la société DCN (Division des Constructions Navales) dans le cadre du contrat DCN – LAB : séance 3/3 du 15-16 décembre 2004. Session : Techniques et Technologies de la e-Maintenance, section : Techniques pour les processus « Métier » de la e-Maintenance.*

[DCN, 2005] **D. Racoreanu**, N. Palluat, *Système de surveillance dynamique embarquée et d'aide distante au diagnostic, rapport pour le compte de la Division des Constructions Navales - DCN, référence LAB-DCN-DR01, 26 janvier 2005.*

Rapports de recherche **ANVAR** :

[ANVAR, 2004] N. Palluat, **D. Racoreanu**, *Conception et prototypage d'un système de surveillance dynamique embarqué et d'aide au diagnostic d'un centre d'usinage à grande vitesse, Rapport ANVAR – aide aux jeunes pour l'innovation, ANVAR Besançon, décembre 2004.*

9.7 RAPPORTS DE RECHERCHE PROJET EUROPEEN

Rapports établis dans le cadre du projet européen ITEA (Information Technology for European Advancement) – **PROTEUS** (plate-forme de e-maintenance) :

[PROTEUS-D2.1, 2003]

Delivrable 2.1.- 4 juillet 2003 - PROTEUS-D-211-LORIA-030704 – State of the art on Artificial Intelligence and decision-making (134 pages)

[PROTEUS-D2.2, 2003]

Delivrable 2.2.- 8 décembre 2003 - PROTEUS-D-221- IML - 08122003 – Specification of Knowledge based Methods for Corrective and Predictive Maintenance (114 pages)

[PROTEUS-D2.3, 2004]

Delivrable 2.3.- 28 juillet 2004 - PROTEUS-D-23-all 28072004(3) – Specification of the decision tool (214 pages)

9.8 COMMUNICATIONS DIVERSES

9.8.1 DIFFUSION DES CONNAISSANCES :

*[EDP, 2005] N. Zerhouni, B. Morello, C. Varnier, **D. Racocceanu**, LES ACTIVITES DE E-MAINTENANCE A L'INSTITUT DE PRODUCTIQUE – « Mieux vaut prévenir que guérir » à l'aide des technologies de l'internet et des techniques d'intelligence artificielle, revue « En Direct Productique », Université de Franche-Comté, Institut de Productique, n°192, février 2005*

*[EDP, 2004] N. Zerhouni, **D. Racocceanu**, R. Labourier, UN SYSTÈME DE E-MAINTENANCE FONDÉ SUR LES RÉSEAUX DE NEURONES DYNAMIQUES - Premier né de la collaboration entre le laboratoire d'Automatique de Besançon et la société AVENSY INGÉNIERIE, revue « En Direct Productique », Université de Franche-Comté, Institut de Productique, n°187, 1^{ère} page, septembre 2004*

9.8.2 RAPPORTS INTERNES :

*[IUT, 1995] **D. Racocceanu**, Programme de gestion du système flexible industriel d'assemblage de l'IUT de Belfort, rapport pour le compte de l'IUT de Belfort, avril 1995.*

*[IUT, 1994] **D. Racocceanu**, Etude des paramètres de fonctionnement du système flexible de l'IUT de Belfort sur le logiciel Siman/Arena, rapport pour le compte de l'IUT de Belfort, octobre 1994.*