

Rapport INRIA 1994 — Programme 5

Automatique et signal

Projet AS

3 mai 1995

Projet AS

Automatique et signal

Localisation : *Rennes*

Mots-clés : analyse multirésolution (1, 16), approximation (5), AS (1), calibration (13), décodage acoustico-phonétique (1), détection de sources (13), détection décentralisée (13), diagnostic (1, 5), extraction de données (13), localisation de sources (13), modèle markovien (16), modélisation de système dynamique (1, 5), ondelettes (1, 16), poursuite de trajectoire (13), reconnaissance de la parole (1, 16), surveillance de système dynamique (1, 5), synthèse de diagramme de rayonnement (13), système adaptatif (1, 5), traitement d'antenne (1, 13), traitement du signal (1), trajectographie (13).

1 Composition de l'équipe

Responsable scientifique

Bernard Delyon, CR Inria

Secrétaire

Huguette Béchu, AA Inria

Personnel Inria

Albert Benveniste, DR
Anatoli Iouditski, CR
François Le Gland, DR
Qinghua Zhang, CR

Personnel Ura 227

Michèle Basseville, DR, CNRS
Jean-Pierre Le Cadre, CR, CNRS
Jean-Jacques Fuchs, professeur, université de Rennes 1
Annie Morin, maître de conférences, université de Rennes 1

Chercheurs doctorants

Frédéric Baldit, Ater Insa jusqu'au 1^{er} novembre 1994
Nelly Suaudeau, bourse MESR jusqu'au 30 juin 1994
Eric Fabre, BDI CNRS-Région jusqu'au 30 septembre 1994,
puis bourse Inria
Gaël Mathis, bourse MESR jusqu'au 30 septembre 1994
Hervé Chuberre, bourse MESR jusqu'au 30 septembre 1994,
Ater Ensat Lannion depuis le 1^{er} octobre 1994
Olivier Trémois, bourse DCN
Jean-Michel Fleuriault, assistant moniteur normalien
Claire Cussenot, bourse MESR
Hervé Gauvrit, bourse DCN à partir du 1^{er} octobre 1994

Personnel invité

Igor Nikiforov, chercheur Inria jusqu'au 30 juin 1994
Pierre-Yves Glorennec, maître de conférences Insa

2 Présentation générale et objectifs

Le projet Automatique et Signal, dix-huit ans après

L'année 1994 a été celle du passage de témoin de A. Benveniste à B. Delyon pour la conduite du projet AS. Ce paragraphe a pour objet de rappeler les grandes lignes et les évolutions des années 1976–1994. Initialisé par Gabriel Ruget, le thème des **systèmes adaptatifs** est né dans le projet dès 1976, et n'a cessé d'y rester central. Central, mais sous diverses formes et avec des applications variées.

En 1976 étaient initialisées des recherches en commande adaptative, approximation stochastique et identification, et détection de ruptures dans les modèles. Les études sur la commande adaptative sont arrêtées vers 1985, suivant une tendance générale dans la communauté vis-à-vis de ce sujet. Les deux autres thèmes sont toujours centraux et actifs, avec d'importantes contributions théoriques.

Parmi les applications, nous ne mentionnerons que les principales. Robotique et image prennent dès le début des années 1980, leur essor propre, avec la création de deux groupes indépendants. Les systèmes de transmission en télécommunications (égalisation, boucles de phase) seront étudiés de 1976 à 1985. La parole, étudiée d'abord sous l'angle du codage, le sera dans un but de segmentation, puis de reconnaissance, et cette activité partira à Toulouse en septembre 1991. Par ailleurs, le thème de la surveillance et du diagnostic des systèmes et procédés industriels représentant un effort de longue haleine est très actif.

Outre les aspects de nature probabiliste ou statistique, l'étude des **modèles** a retenu une part croissante de nos efforts : modèles de signaux vectoriels pour le traitement d'antennes passives, la localisation de sources et la poursuite de cibles, mais aussi pour la mécanique des vibrations, autre secteur applicatif important. Plus récemment, modèles pour le traitement du signal multirésolution.

Quelques nouveaux sont venus, plus récemment, agrémenter ce spectacle, qui dessineront peut-être les orientations futures du projet. Filtrage et estimation dans les systèmes non-linéaires stochastiques. Identification non paramétrique par ondelettes, qui renouvelle profondément le thème de l'identification et ouvre la porte à d'autres applications. Et un nouveau regard sur les modèles discrets et hybrides : décision décentralisée, et aussi la coopération avec le projet EP-ATR sur le Langage synchrone SIGNAL qui débouche sur SIGNALEA, sorte de version temporelle de la théorie de l'évidence de Dempster et Shafer en intelligence artificielle ; avec à la clé un élargissement de notre champ d'action à des systèmes hybrides.

2.1 Systèmes adaptatifs et application à la modélisation et la surveillance de systèmes dynamiques

Les activités fondamentales sur les systèmes adaptatifs se poursuivent (accélération d'algorithmes, identification boîte noire de systèmes non linéaires, réseaux de neurones et réseaux d'ondelettes). En particulier, les travaux sont conduits dans la lignée de D. Donoho et D. Picard sur l'obtention de schémas optimaux d'identification à l'aide d'ondelettes. En parallèle et en collaboration avec cette activité de modélisation et d'identification, la surveillance prend une part importante dans les activités du projet. Il est à souligner que, alors que la demande de recherche dans le domaine de la surveillance est grandissante dans l'industrie, il s'agit

d'un thème peu couvert dans la communauté académique. Plus particulièrement, le projet AS étudie la surveillance de procédés industriels complexes, et notamment l'apport des outils numériques généraux précédemment développés pour cette surveillance et leur articulation avec des outils de type symbolique dans l'organisation générale des traitements à effectuer dans un système d'aide à la conduite temps réel.

Une collaboration a également été établie avec P.Y. Glorennec, enseignant-chercheur à l'Insa qui travaille dans le domaine de la modélisation floue.

2.2 Systèmes de détection et de localisation

Ces travaux concernent principalement l'acoustique sous-marine et le traitement des signaux temporels issus d'une antenne, un réseau de capteurs. Il s'agit donc de données spatio-temporelles. Deux thèmes principaux sont abordés dans ce contexte. L'un correspond au problème de la détection et de la localisation de sources en bande étroite et correspond à des extensions des techniques d'estimation spectrale. L'autre thème est lié à l'utilisation des sorties (temporelles) des traitements spatiaux à des fins d'association de données (pistage), d'extraction et de localisation. L'ensemble de ces travaux font l'objet d'une convention de recherche avec le CERDSM (Direction des constructions navales). Dans le cadre du groupement scientifique antenne-radar (GSAR) associant le laboratoire Structures rayonnantes de l'université de Rennes 1 ainsi que des partenaires industriels (Thomson et Dassault, notamment) des travaux se poursuivent dans notre projet dans le domaine de la synthèse de diagrammes de rayonnement d'antenne réseau plane ou conforme.

2.3 Reconnaissance de la parole

Il s'agit, en collaboration avec l'université du Mans, de valider l'usage des ondelettes dans des algorithmes de détection de plosion. Une étude statistique, prenant en compte le contexte, a été menée.

2.4 Ondelettes et analyse de signaux multirésolution

L'objectif est le développement d'outils statistiques pour le traitement multirésolution de signaux aléatoires. Les deux applications visées sont la reconnaissance de formes multirésolution et la fusion d'informations

en provenance de capteurs de résolutions différentes. Une approche entièrement nouvelle a été développée autour de la notion de champ aléatoire gaussien sur un arbre homogène, avec une étude approfondie de la théorie des systèmes associée. Des algorithmes de filtrage et de lissage ont été mis au point pour ces modèles. Pour l'essentiel, le projet coopère étroitement sur ce thème avec le MIT dans le cadre d'un accord NSF/Inria (voir actions internationales). Une coopération est en cours avec Schlumberger (EPS-Clamart).

2.5 Systèmes différentiels stochastiques

Il s'agit d'un nouveau thème, consécutif à l'arrivée en septembre 1993 dans le projet AS de F. Le Gland, en provenance du projet Mefisto (centre de Sophia-Antipolis). La principale originalité est qu'on s'intéresse à des systèmes en temps continu, dont l'évolution est décrite par une équation différentielle (voire une équation aux dérivées partielles) stochastique. Cette activité comporte également une composante modélisation et simulation numérique. En revanche, la problématique est tout-à-fait comparable avec celle que l'on trouve dans les autres thèmes du projet AS : on s'intéresse à l'estimation d'état (filtrage, lissage, etc.), au contrôle optimal, à l'identification ou à la détection, etc. Parmi les applications en cours, on peut citer la navigation à court terme d'un engin sous-marin remorqué, en collaboration avec Ifremer à Brest.

2.6 Participation aux travaux sur le langage Signal

Une modélisation générale des systèmes hybrides déterministes/stochastiques a été développée en collaboration avec B. Levy (UC Davis). Cette modélisation permet une construction modulaire des systèmes. Les concepts d'estimation Bayésienne s'étendent à ces systèmes. Cette étude s'intègre dans la réalisation du langage SIGNalea en collaboration avec le projet EP-ATR.

3 Actions de recherche

3.1 Systèmes adaptatifs, modélisation et surveillance de systèmes dynamiques

3.1.1 Systèmes adaptatifs

Participants : Bernard Delyon, Anatoli Iouditski

De nouvelles perspectives pour l'étude des algorithmes de gradient stochastique se sont ouvertes avec la mise au point d'un résultat de convergence déterministe qui permet de traiter facilement les cas les plus généraux d'algorithmes, y compris ceux dont l'ensemble limite n'est pas constitué d'un seul point mais peut être une variété. Ces algorithmes sont de la forme

$$\theta_n = \theta_{n-1} + \gamma_n h(\theta_{n-1} + \delta_n) + \gamma_n e_n + \gamma_n r_n$$

où r_n et δ_n tendent vers 0 et la série de terme général $\gamma_n e_n$ est sommable. Cette forme particulièrement générale (par la présence du terme δ_n) facilite considérablement entre autres l'étude des algorithmes à dynamique markovienne. On peut également utiliser directement les résultats obtenus pour prouver la convergence de la méthode d'accélération de Polyak-Ruppert.

L'étude des algorithmes de poursuite à gain adapté s'est poursuivie dans le cadre d'une collaboration avec l'équipe Temis. Il s'agissait d'estimer plusieurs mouvements différents localisés en divers endroits d'une image, en l'occurrence mouvements de nuage dans des images satellitaires. Les mouvements étant estimés indépendamment les uns des autres, la difficulté du problème est de trouver les meilleures fenêtres d'estimation pour chaque mouvement. Il y a là un problème de compromis entre biais (fenêtre trop grande) et variance (fenêtre trop petite) extrêmement général qui a pu être résolu de manière très encourageante par un algorithme nouveau, utilisé par ailleurs en estimation par ondelettes. Ce type d'approche est bien sûr également adaptable à la poursuite de paramètres variant dans le temps.

3.1.2 Approximation en ondelettes

Participants : Albert Benveniste, Bernard Delyon, Anatoli Iouditski, Qinghua Zhang

On cherche à identifier une fonction inconnue à partir d'observation de ses valeurs, éventuellement bruitées, en un nombre fini de points. La décomposition en ondelettes offre un outil d'analyse et permet la réalisation de cet objectif ; on obtient alors des algorithmes non linéaires optimaux dont la mise en œuvre est d'un coût raisonnable. Dans ce but, deux types d'ondelettes peuvent être utilisées : les ondelettes orthogonales qui sont associées à des algorithmes plus coûteux permettant de traiter des problèmes de dimensions plus élevées.

Les algorithmes d'identification par ondelettes orthogonales se réalisent par une première étape d'estimation des coefficients d'ondelettes puis par une seconde qui consiste à mettre à zéro ceux qui sont inférieurs à un certain seuil (dépendant de l'échelle). On étudie d'abord le premier problème d'estimation des coefficients d'ondelettes en supposant que des observations discrètes non-bruitées de la fonction inconnue sont disponibles. On considère différents schémas d'observation : le schéma régulier (où les observations sont disponibles sur une grille régulière) et deux schémas aléatoires non réguliers. On propose alors des algorithmes rapides de décomposition de la fonction en ondelettes pour les différents schémas d'observation. On démontre que ces algorithmes sont optimaux en un certain sens. Ensuite, en revenant au cas bruité, on donne des manières adaptatives d'estimer de bons seuils de troncature (les seuils théoriques dépendent de la régularité de la fonction à estimer et sont introuvables en pratique). On propose un algorithme de seuillage adaptatif, dans lequel le paramètre de seuillage est estimé à chaque niveau de résolution à partir des données disponibles. On démontre que cet algorithme atteint une vitesse de convergence minimax sur les classes de fonctions intéressantes.

Les algorithmes d'identification par ondelettes non-orthogonales cherchent à modéliser des mesures observées avec une famille d'ondelettes adaptatives. Cette structure de modèle boîte noire ressemble à celle des réseaux de neurones, ce qui a inspiré son appellation **réseaux d'ondelettes**. Etant donné un ensemble de mesures observées, on cherche à identifier son modèle en l'optimisant non seulement par rapport aux coefficients d'ondelettes, mais aussi par rapport aux paramètres de

translation et de dilatation des ondelettes. Pour résoudre ce problème d'optimisation non linéaire, dans une première étape on part d'une famille d'ondelettes régulièrement distribuées sur une grille dont le pas dépend du nombre d'observations et de leur écart ; on ne sélectionne parmi cette famille que les ondelettes utiles en un certain sens pour modéliser les mesures observées. Dans la deuxième étape, si nécessaire, une procédure d'optimisation du type quasi-Newton peut être appliquée pour raffiner le résultat de la première étape. La nature creuse des données, s'il y a lieu, est prise en compte pour remédier à l'explosion de dimensions. Des études préliminaires ont été menées pour utiliser ce type de modèles dans la surveillance de procédés, en conjonction avec la démarche générale de surveillance développée à l'Irisa (cf. Surveillance de procédés industriels). Bien que cette surveillance ne permette pas le diagnostic de pannes à cause du manque de signification physique du modèle, le résultat est encourageant pour jouer un rôle d'alarme globale de surveillance.

3.1.3 Logique floue

Participant : Pierre-Yves Glorennec

Dans le cadre des activités de l'équipe, la logique floue a été considérée comme un complément des ondelettes ou des réseaux de neurones pour l'identification et la commande de systèmes non linéaires et mise en parallèle avec ces derniers dans cette perspective.

La logique floue trouve pleinement sa justification quand il est utile d'exploiter une connaissance a priori exprimée par des règles linguistiques. Une règle floue est exprimée sous la forme *SI telle situation ALORS telle conclusion*. Mais si plusieurs experts peuvent s'accorder sur l'énoncé d'une règle, ils peuvent diverger sur l'appréciation de la situation et sur le dosage de la conclusion. L'expérience, sous la forme de données numériques, permet alors d'affiner la connaissance; c'est l'apprentissage, qui, à la différence d'autres techniques, doit maintenir la sémantique des règles.

Dans l'apprentissage supervisé, l'erreur de modélisation est connue et est utilisée pour modifier les paramètres du système flou. Les premiers algorithmes étaient des descentes de gradient, qui ont deux désavantages :

1. nécessité d'une la relation d'entrée/sortie dérivable,

2. perte de la sémantique associée aux sous ensembles flous.

On s'intéresse à des algorithmes d'optimisation sous contraintes, permettant d'éviter ces deux inconvénients. Le travail a aussi porté sur des méthodes dites de renforcement, dans lesquelles le seul feedback disponible est un signal d'erreur qualitatif (booléen ou scalaire) éventuellement retardé. Cette situation intervient fréquemment dans des problèmes de commande, où la qualité d'une suite de commande est observée indirectement, parfois avec retard, en considérant les sorties du système commandé. Cette approche permet d'aborder plus simplement différents types de problèmes, avec pour avantages :

1. souplesse de la maintenance,
2. adaptabilité à des conditions changeantes,
3. respect des contraintes du temps réel.

Des applications sont actuellement en cours, comme par exemple, la commande prédictive floue d'un plancher chauffant, le contrôle de la glycémie chez les diabétiques, la maîtrise de l'ambiance dans des bâtiments d'élevage, la commande d'un pont roulant.

L'intérêt de cette recherche pour le projet se situe dans la possibilité de traiter des problèmes d'estimation non-paramétrique dans un cadre où l'utilisateur peut, par le biais des règles, introduire des connaissances a priori.

3.1.4 Surveillance de procédés industriels

Participants: Michèle Basseville, Albert Benveniste, Qinghua Zhang, Gaël Mathis, Claire Cussenot

Le projet a élaboré les années passées une **démarche générale de surveillance/diagnostic** d'installations industrielles pour la maintenance conditionnelle, basée sur la surveillance en continu de l'évolution du système (machine ou structure ou procédé) considéré, afin de prévenir d'un dysfonctionnement avant qu'il n'arrive. Le principe essentiel consiste en la détection précoce et le diagnostic de déviations faibles – mais néanmoins significatives – par rapport à une caractérisation de l'installation ou du système en ambiance de travail normale (sans excitation artificielle, ni ralentissement, ni arrêt). Cette démarche permet, pour une large classe de modèles, la conception systématique des algorithmes à partir de la donnée de la structure du modèle – issu de la

physique ou non – adéquat pour le système surveillé. Cette construction résulte de TCL (théorèmes-limite centraux, ou principes d'invariance) qui permettent de transformer pratiquement tout problème de détection en un unique – et simple – problème de test portant sur la moyenne d'un vecteur Gaussien. Par conséquent, ces tests sont de fait des formes quadratiques de transformations non-linéaires des signaux observés. Il est à noter que cette démarche générale inclut l'étude et la qualification du positionnement optimal des jeux de capteurs nécessaires à la surveillance, le critère quantitatif étant tout simplement la puissance (au sens statistique) des tests ainsi construits. G. Mathis dans sa thèse a étudié le caractère sous-optimal de ces tests, qui ne sont optimaux que parmi les tests travaillant sur les transformées des mesures considérées.

Les **deux principaux exemples** d'applications que nous avons traités et qui illustrent la pertinence de cette démarche sont la mécanique des vibrations et les turbines à gaz. Pour ce qui est du premier exemple, nous avons étudié la surveillance, en ambiance de travail habituelle, des vibrations des plateformes offshore et des groupes turbo-alternateurs, en collaboration avec Ifremer et EDF respectivement. Le problème est de séparer dans les mesures les non-stationnarités de l'excitation (sans intérêt pour la surveillance) des non-stationnarités faibles de la structure ou de la machine. Dans cet exemple, le modèle est un modèle dynamique linéaire, à savoir la partie AR d'un modèle ARMA dont la partie MA est non-stationnaire ; il découle naturellement de l'équation fondamentale de la mécanique. Une industrialisation partielle de l'algorithmique de surveillance des vibrations a été réalisée (Asi/Dataid), et des efforts sont toujours portés actuellement par l'équipe pour une industrialisation complète.

Le deuxième exemple concerne la surveillance des chambres de combustion des turbines à gaz, et a été traité en collaboration avec Alcatel/Althom - Recherche (Marcoussis) et European-Gas-Turbines SA (Belfort). Dans ce cas de thermodynamique, le modèle est un modèle statique et non-linéaire, il représente les phénomènes de combustion et de diffusion des gaz de manière simplifiée. G. Mathis a proposé d'une part des algorithmes de détection permettant d'assurer une bonne robustesse aux changements de mode de fonctionnement – dont les effets sur le modèle sont assez tangibles ! – tout en garantissant la détection de pannes d'amplitude spécifiée, et d'autre part, des algorithmes de diagnostic efficaces et moins conservateurs que les techniques min -

max de découplage statistique. Est actuellement en cours la réalisation effective par European-Gas-Turbines SA d'un prototype de système de surveillance et de maintenance préventive des turbines à gaz intégrant les algorithmes développés par l'équipe. Cette opération de transfert nous a amenés à fournir des algorithmes où le réglage des paramètres est automatisé, et à rédiger un document de vulgarisation des méthodes.

Les **perspectives de recherche** concernent à la fois des aspects méthodologiques, le traitement de nouvelles applications, et des aspects d'implémentation et de transfert. Sur le plan méthodologique, nous étudions des extensions de notre démarche générale à des modélisations d'autres types, d'une part les réseaux de neurones ou d'ondelettes (3.1.2) qui sont intéressants pour la surveillance lorsqu'aucun modèle physique n'est disponible, et d'autre part les modèles hybrides numérique/symbolique introduits dans SIGNALEA (3.5) dont on espère qu'ils nous permettront d'intégrer les connaissances issues des analyses de risque en fiabilité dans les algorithmes de diagnostic. Les travaux sur le diagnostic proprement dit vont se poursuivre, y compris pour les aspects temps-réel (3.1.4). Enfin on étudiera l'apport potentiel d'autres travaux (quasi-vraisemblances de Heyde et MacLeish) visant la construction de détecteurs conceptuellement du même type (formes quadratiques de transformations non-linéaires des signaux observés).

Sur le plan des applications, nous commençons l'étude de la pertinence de notre démarche générale pour la conception d'une algorithmique de surveillance/diagnostic pour l'ensemble *moteur + pot catalytique + sondes*, en collaboration avec le projet Sosso du Centre de Rocquencourt (M. Sorine, S. Li) dans le cadre d'un contrat Inria/Renault ; ceci constitue le sujet de thèse de C. Cussenot. D'autre part, l'équipe est partie prenante d'un contrat établi par le projet Pampa dans le cadre des consultations thématiques informelles de France Télécom/CNET, et concernant le diagnostic dans les réseaux de télécommunication.

Enfin, concernant les aspects logiciels, outre le transfert des logiciels de surveillance des vibrations mentionné plus haut, on recherche un cadre approprié pour le développement d'un outil générique de surveillance/diagnostic. L'idée en est la conception d'une boîte-à-outils logicielle associée à la démarche générale de surveillance développée à l'Irisa et permettant le prototypage aisé des algorithmes pertinents pour une application donnée.

3.1.5 Détection et diagnostic en-ligne

Participant : Igor Nikiforov

Le problème du diagnostic en-ligne est encore largement ouvert du point de vue statistique mathématique, tant pour la définition des critères d'optimalité pertinents que pour la conception d'algorithmes de décision (détection et isolation) séquentiels optimaux. I.-V. Nikiforov a généralisé l'algorithme de base obtenu en 1993 au cas des critères de performances statistiques suivants : retard moyen de détection/isolation, durées moyennes avant une fausse alarme et probabilité d'isolation erronée. Il a su montrer l'optimalité asymptotique au sens des grandes déviations pour cette classe d'algorithmes et a comparé deux stratégies optimales : séquentielle et non-séquentielle. Ces résultats sont applicables aux suites indépendantes et aux modèles de type régression, séries temporelles avec sauts additifs.

3.1.6 Systèmes différentiels stochastiques

Participants : François Le Gland

En collaboration avec Marc Joannides (chercheur doctorant dans le projet Mefisto, centre de Sophia-Antipolis), on s'est intéressé au filtrage non-linéaire des systèmes avec observations parfaites (non-bruitées) en temps discret. Compte-tenu que les observations sont non-bruitées, il apparaît une singularité dans les équations habituelles du filtrage non-linéaire. Si l'observation z_n est une valeur régulière de la fonction d'observation, on sait donner une expression de la loi conditionnelle de l'état X_n , par une application simple des formules de l'aire et de la co-aire en théorie de la mesure géométrique. On a aussi obtenu ces résultats par une approche asymptotique, reposant sur la formule asymptotique de Laplace. Cette approche permet également d'obtenir une réponse dans certains cas où l'observation z_n est une valeur singulière de la fonction d'observation.

En collaboration avec Richard Sowers (NSF post-doctoral fellow à University of Maryland, puis à Northwestern University), on a étudié l'erreur trajectorielle (au sens p.s.) pour l'approximation de type prédicteur-correcteur d'une certaine classe d'équations aux dérivées partielles (EDP) stochastiques, du type de celle rencontrée dans le filtrage des processus de diffusions avec bruits corrélés. La méthode utilise les résultats obte-

nus récemment par Richard Sowers sur le comportement asymptotique en temps petit de la solution de l'EDP stochastique considérée.

En collaboration avec Bernard Hanzon et Damiano Brigo (respectivement professeur associé et chercheur doctorant à Vrije Universiteit, Amsterdam), on a étudié une nouvelle classe de filtres non-linéaires approchés, appelés **filtres projetés**, qui semble très prometteuse au vu des résultats de simulation obtenus, et qui repose sur l'approche rationnelle suivante. On se donne (de façon *a priori* pour l'instant) une famille paramétrée de densités de probabilité, qui définit une sous-variété différentielle M de dimension finie. L'algorithme consiste à projeter les champs de vecteurs régissant l'évolution de la densité de probabilité conditionnelle, sur la sous-variété M . Par opposition à une méthode classique de projection sur une base d'éléments finis, qui se traduit par un grand nombre de paramètres, on s'est intéressé à la projection sur la famille exponentielle $EP(p)$ avec des coefficients polynomiaux de degré inférieur ou égal à p . Lors de son séjour à l'Irisa, Damiano Brigo a traité le problème du senseur cubique, pour lequel on a choisi la famille $EP(6)$. Les développements prévus concernent le choix adaptatif de la sous-variété différentielle M (par exemple le choix du degré p), et une mise en œuvre numérique efficace.

3.2 Traitements d'antenne et algorithmique associée

Les travaux se poursuivent dans ce domaine dans le projet avec deux thèses soutenues cette année. La tendance est à la prise en compte de modèles de propagation plus réalistes et à l'étude des problèmes d'extraction/association de données, de détection et de tests de modèles.

La collaboration avec le laboratoire Structures rayonnantes de l'université de Rennes 1 continue à se mettre en place dans le cadre de travaux communs du groupement scientifique antenne-radar .

3.2.1 Analyse spatio-temporelle de sources mobiles

Participants : Jean-Pierre Le Cadre, Olivier Trémois

Les études, dans ce domaine, ont été surtout consacrées aux problèmes de trajectographie passive (dans le cadre de la convention CERDSM/CNRS). On peut ainsi noter l'étude des méthodes de trajectographie passive multiplateformes, des problèmes d'observabilité associés

et enfin une formulation explicite des performances statistiques de ces méthodes.

Un autre volet de cette étude concerne les sources manœuvrantes. En effet, les méthodes habituelles de trajectographie supposent que le bruiteur est en mouvement rectiligne uniforme, cette hypothèse est loin d'être valide en pratique. Aussi, avons nous considéré que le modèle cinématique de la source peut être décrit par une chaîne de Markov dans l'espace des positions-vitesses. Cette approche présente l'inconvénient (surtout calculatoire) de nécessiter une discrétisation (qui pourrait être rendue adaptative) de l'espace des positions-vitesses mais présente le grand intérêt de permettre l'utilisation de méthodes exhaustives rapides de recherche du maximum de vraisemblance (du type Viterbi). L'estimation de la chaîne la plus vraisemblable fournit une estimation de la trajectoire de la source.

On voit cependant que le problème essentiel de ce type d'approche est l'optimisation des manœuvres de l'observateur. Il s'agit d'un problème de commande d'un processus markovien partiellement observable (l'état n'est pas directement observable). La discrétisation de l'espace des états, la nature de la fonctionnelle de coût induisent des difficultés essentielles tant théoriques que calculatoires. Il a, néanmoins, été possible d'obtenir des résultats satisfaisants. L'extension de ce type d'approche aux problèmes d'extraction de pistes est en cours.

3.2.2 Détection décentralisée

Participants : Frédéric Baldit, Jean-Pierre Le Cadre

L'activité menée en détection décentralisée (DD) porte à la fois sur la synthèse des résultats théoriques accumulés dans la littérature depuis une dizaine d'années, sur des aspects pratiques de réalisation d'architectures de DD (mise en œuvre d'algorithmes d'optimisation adaptés à ces architectures) et sur le développement d'outils théoriques permettant de mesurer les performances relatives des architectures centralisées et décentralisées. Par rapport à d'autres approches (théories de l'évidence, de l'orientation, ...), ce travail se caractérise par la volonté d'approcher le problème de la fusion d'informations en adoptant le cadre général de la théorie statistique de la décision et en explorant les difficultés inhérentes aux contraintes de décentralisation des traitements et de coopération entre plusieurs décideurs.

La détection décentralisée, telle qu'elle est envisagée, concerne l'étude des problèmes de détection pour lesquels est abandonnée l'hypothèse de centralisation des observations. On considère que les observations sont localement quantifiées par des processeurs ayant en charge l'envoi d'un meilleur résumé de leur observation personnelle à un détecteur final.

L'objectif de ce travail est de montrer jusqu'à quel point on est capable d'identifier les règles de traitements décentralisés et de présenter des méthodes pratiques d'optimisation de ces systèmes. En utilisant les travaux de Z.B. Tang, on démontre la faisabilité de la DD en formulant un problème de DD (comportant plusieurs dizaines de décideurs) sous forme d'un problème de commande optimale.

3.2.3 Méthodes de déconvolution en traitement d'antenne

Participants : Jean-Jacques Fuchs, Hervé Chuberre

Il s'agit de la suite des travaux menés dans ce domaine dans le cadre de la convention avec le CERDSM.

La principale méthode mise en œuvre actuellement pour détecter et localiser des sources acoustiques est la formation de voies. L'idée est de remettre en phase les signaux issus d'une direction (d'une source ponctuelle) reçus sur les différents capteurs. Cette opération réalise un filtrage spatial dont l'objectif est d'isoler au mieux la contribution de la direction visée. La qualité de ce filtrage est limitée par l'ouverture de l'antenne et des sources sonores occupant les directions voisines ne peuvent être distinguées. L'approche proposée consiste à améliorer considérablement cette opération en tenant explicitement compte de la réponse impulsionnelle du filtre et en appliquant une méthode du type déconvolution. Cette approche est basée sur les propriétés des voies. Elle est complétée par un algorithme de détection du nombre de sources.

L'ensemble constitue une méthode originale et complète de détection/localisation de sources sonores dont la mise en œuvre sur les systèmes sonar actuels ne devrait pas poser de difficultés insurmontables.

3.2.4 Synthèse de diagramme de rayonnement

Participants : Jean-Jacques Fuchs, Jean-Michel Fleuriault

La phase de familiarisation avec les techniques de synthèse de filtres numériques et de diagrammes de rayonnement des antennes/réseaux

est maintenant terminée. Le problème de base est évidemment un problème d'optimisation sous contraintes. L'optimisation se fait par rapport aux excitations complexes à appliquer aux éléments rayonnants et les contraintes traduisent le gabarit réel (module du champ électro-magnétique) à synthétiser. Dans certains cas simples, on peut se ramener à un problème convexe et nous avons regardé les méthodes par points intérieurs qui peuvent alors s'appliquer. Pour des problèmes non convexes, on constate qu'un certain nombre de méthodes *ad hoc* ont été développées mais que l'étude de la convergence n'est jamais considérée.

De manière générale, le problème de base du nombre de capteurs nécessaire pour réaliser un gabarit donné n'est jamais abordé. Dans bon nombre de cas la symétrie du réseau d'éléments rayonnants et/ou du gabarit à synthétiser permet de restreindre le domaine à considérer pour l'optimisation. Nous nous sommes intéressés à cet aspect qui n'est que rarement évoqué. Les travaux futurs vont concerner les points suivants : robustesse par rapport aux solutions et à la géométrie de l'antenne, recherche d'une bonne initialisation, réseaux conformés (épousant la forme du support). Ces travaux sont réalisés en collaboration avec le laboratoire Structures rayonnantes de l'université de Rennes 1 dans le cadre du GSAR.

3.3 Reconnaissance de parole

Utilisation de méthodes statistiques pour la reconnaissance d'occlusives

Participant : Annie Morin

Ce travail a été mené en collaboration avec F. Malbos de l'université du Mans. Le burst des occlusives sourdes est caractérisé par des variables issues d'une décomposition en ondelettes. Une première analyse discriminante permet de sélectionner les variables importantes de la reconnaissance en général et dans des contextes différents, c'est-à-dire en tenant des comptes des phonèmes suivant l'occlusive. La méthode de localisation de la barre d'explosion développée par François Malbos fournit aussi des fausses détections. Les outils de reconnaissance utilisés sont exclusivement des arbres de segmentation et des arbres de décision binaires. Les performances du système de reconnaissance sont très significativement améliorées en tenant compte du contexte.

3.4 Ondelettes et analyse multirésolution de signaux aléatoires

Participants : Eric Fabre, Albert Benveniste

Cette année a vu l'obtention par Eric Fabre de résultats importants. Il a considéré le modèle de systèmes multirésolution introduit par A. Benveniste, R. Nikoukhah et A. Willsky. De tels systèmes concernent des signaux définis simultanément à toutes les échelles, chaque échelle s'obtenant en gardant un indice sur deux de l'échelle immédiatement plus fine. L'ensemble d'indices est ainsi un arbre dyadique \mathcal{T} . On s'intéresse à des modèles de signaux sur \mathcal{T} , Markoviens en échelle : si X_n désigne le signal à l'échelle n , et X_{n+1} est le signal à l'échelle suivante (plus fine), on passe de X_n à X_{n+1} en :

1. interpolant X_n par insertion d'un zéro entre deux échantillons successifs,
2. filtrant le résultat par deux filtres $H^*(Z)$ et $G^*(Z)$, où (H^*, G^*) est l'adjoint d'une paire de filtres QMF associée à des ondelettes orthogonales,
3. multipliant les deux résultats, ponctuellement, par deux matrices A et B ,
4. ajoutant ces deux composantes et perturbant le tout d'un bruit blanc d'état.

Ces modèles linéaires fournissent d'excellents modèles de fractales aléatoires, dont la régularité, au sein d'une échelle donnée, dépend de la régularité de l'ondelette sous-jacente à la paire QMF . Les signaux ainsi produits sont Markoviens en échelle, ce sont aussi des champs Markoviens ponctuels, mais à condition de rajouter à l'arbre \mathcal{T} des branches qui en font un graphe avec de nombreux cycles (sauf si $H^*(Z) = 1$ et $G^*(Z) = z$, cas trivial où l'ondelette est celle de Haar).

Eric Fabre a construit, pour ces modèles, des algorithmes d'estimation de l'état et de lissage (généralisations du filtre de Kalman) efficaces. Noter que la structure de champ Markovien sur un graphe est très défavorable à l'obtention de bons algorithmes. Eric Fabre les a obtenus par une exploitation fine des propriétés d'orthogonalité de la paire $QMF(H^*, G^*)$. Ce résultat est applicable à la fusion de capteurs multirésolution, et est appliqué dans le cadre d'un contrat avec Schlumberger-EPS, Clamart.

3.5 Modélisation modulaire de systèmes stochastiques

Participants : Albert Benveniste, Eric Fabre

L'objet de cette étude menée en coopération avec B.-C. Lévy de l'université de Californie à Davis, est de construire une classe de modèles de systèmes hybrides de type stochastique/déterministe, pour laquelle on dispose d'une notion simple et universelle de composition ; puis on cherche à y résoudre les problèmes standards, à savoir simulation et filtrage ou estimation d'états cachés. En 1993, A. Benveniste, B.-C. Lévy et R. Nikoukhah (projet Meta 2 de Rocquencourt) avaient rempli ce programme pour le cas linéaire-Gaussien.

Cette année, des résultats importants ont été obtenus pour le cas de systèmes non dynamiques, mais par ailleurs généraux. Un tel système est modélisé par une contrainte $\mathcal{C}(X, W)$ reliant des variables **visibles** X et **cachées** W . Les W sont des variables aléatoires, c'est-à-dire munies d'une loi de probabilité $P(dw)$. L'absence de W permet d'obtenir comme cas particuliers des systèmes déterministes définis par des contraintes. Le cas où la contrainte est $X = W$ donne des systèmes stochastiques classiques. Le cas général est un hybride. La composition de deux tels systèmes est très simple : on prend la conjonction des contraintes et le produit des probabilités. L'interaction a alors lieu par le sous-ensemble (éventuellement vide) des variables **visibles** partagées par les deux systèmes. A un système composite $\parallel_i P_i$ est associé un **graphe** qui code les interactions entre ses composantes.

On a défini des algorithmes pour la simulation ou l'estimation Bayésienne ou au maximum de vraisemblance qui sont incrémentaux, ou plus précisément **locaux** au sens de ce graphe. Nous avons, grâce à une rencontre au MIT avec A.-P. Dempster, compris que cette théorie a des liens de parenté avec la théorie de l'évidence de Dempster et Shafer en statistiques et intelligence artificielle.

Ces études se prolongent dans la conception du système SIGNalea au sein du projet EP-ATR. SIGNalea est une extension du modèle précédent aux systèmes dynamiques multi-horloges au sens de SIGNAL. L'objectif de tout ceci est de rendre, grâce à une approche programmation graphique, les outils de l'estimation accessibles aux ingénieurs pour le diagnostic ou l'évaluation de performance.

4 Actions industrielles

4.1 Surveillance de l'intégrité du (D)GPS

Participant : Igor Nikiforov

Contrat de recherche Inria/Sercel, n°1-93 C 129 00 31 301 17 2

Les systèmes de navigation par satellite du type GPS (Global Positioning System) ou DGPS (Differential GPS) constituent un marché important au niveau mondial, dans lequel la Société Sercel a une part significative. L'objectif de cette étude est la surveillance de l'intégrité des mesures GPS, et surtout DGPS, telles qu'utilisées dans les systèmes d'exploitation de ces mesures mis en œuvre par la Société Sercel. Les résultats obtenus sont les suivants : la synthèse de l'algorithme de surveillance de l'intégrité (détection, isolation et reconfiguration) des mesures GPS - DGPS ; la synthèse de l'algorithme de détection de la disparition de la panne ; la simulation de l'algorithme de la surveillance de l'intégrité pour des mesures GPS - DGPS réelles et une panne simulée.

4.2 Sécurité et intégrité des systèmes de navigation hybrides futurs

Participant : Igor Nikiforov

Contrat de recherche Inria/Sagem, n°1 94 C 053 00 31 301 01 2

Après une phase de course à l'amélioration de la précision, les systèmes de navigation des avions sont entrés dans une nouvelle phase : la recherche de l'intégrité. Le contrôle de l'intégrité est une fonction système qui doit être prise en compte dès la conception. Cette fonction s'appuie sur l'architecture matérielle et logicielle du système. Pour permettre une détection et une identification rapide des dysfonctionnements dès leur apparition, le contrôle de l'intégrité est réparti à tous les niveaux d'élaboration des données de la navigation. A chaque sous-fonction correspond un module de contrôle d'intégrité chargé de surveiller son bon fonctionnement. L'objectif de cette étude est la surveillance de l'intégrité des systèmes de navigation hybrides multi-capteurs (inertie, baro-altimètre, GPS, radar, etc.) futurs. Les résultats obtenus sont les suivants : définition des principes généraux des tests de **détection** et **isolation** de pannes du système de navigation ; définition de l'architecture logicielle pour l'intégrité des systèmes de navigation hybride multi-capteurs ; es-

timination des difficultés d'implantation de l'architecture définie ci-dessus (charge de calcul, complexité des algorithmes, etc.) ; évaluation sur un exemple (un accéléromètre, un baro-altimètre et une radiosonde) de l'algorithme de détection/isolation de l'algorithme χ^2 -Cusum.

4.3 Surveillance de la consommation d'électricité

Participants : Albert Benveniste, Bernard Delyon

Contrat de recherche Inria/EDF n°1 93 C 285 00 31 301 01 1 accompagnant une convention Cifre. Marc Bons effectue sa thèse à EDF/Clamart. L'objectif est l'estimation détaillée de la consommation d'électricité des particuliers, avec identification des sources de cette consommation (chauffage, équipements électro-ménagers divers, etc.). Les mesures prises sont les puissances active et réactive au compteur, et des modèles de machine à état fini seront utilisés dans le cadre de techniques de type HMM.

4.4 Traitement du signal multirésolution : application au traitement de diagraphies en géophysique

Participants : Albert Benveniste, Eric Fabre

Contrat de recherche Inria/CNRS/Schlumberger EPS Clamart n°519 345 L'objet de ce contrat est la résolution d'un problème inverse pour un outil de diagraphie comportant des capteurs à des résolutions différentes. Le problème a été résolu sous la forme d'un filtre de Kalman étendu pour les modèles sur les arbres définis à la section 3.4. Le modèle Markovien en échelle sert d'a priori régularisant, il est choisi pour sa nature fractale.

4.5 Navigation d'un engin sous-marin remorqué

Participant : François Le Gland

Contrat de recherche Ifremer/Inria, n°92 2 320 442

Le sujet porte sur la navigation précise à court terme d'un engin sous-marin remorqué, dans le cadre d'une expérience de sonar synthétique. Il s'agit d'hybrider les mesures fournies par une centrale inertielle à bord de l'engin, avec les mesures de la position du navire de surface, fournies par le système GPS. Un modèle numérique de système câble + engin est utilisé pour en déduire des mesures de la vitesse de l'engin.

Dans le cadre de la thèse de Marc Joannides (chercheur doctorant dans le projet Mefisto, centre de Sophia-Antipolis), le travail a porté cette année sur une première mise en œuvre de la procédure d'hybridation, à partir de données simulées.

4.6 Groupement scientifique antenne-radar (GSAR)

Responsable scientifique : Jean-Jacques Fuchs

Deux projets soutenus par la Dret sont en cours de réalisation dans le cadre de ce groupement associant des partenaires universitaires et industriels. La maîtrise d'œuvre de ces projets est assurée par le laboratoire Structures rayonnantes de l'université de Rennes 1. Ils comportent d'importants volets concernant le calcul scientifique lié à la résolution des équations de la physique, la réalisation de prototypes et les expérimentations.

L'Irisa intervient surtout dans le projet Antennes large bande à bipolarisation en apportant son savoir faire dans les domaines de l'algorithmique et de l'optimisation, et développe en collaboration avec ses partenaires des outils de calcul et d'évaluation des impédances actives et des diagrammes de rayonnement de réseaux finis phasés. L'accent est surtout mis actuellement sur des algorithmes de synthèse de diagramme de rayonnement prenant en compte le couplage.

4.7 Traitement d'antennes

Responsables : Jean-Pierre Le Cadre, Jean-Jacques Fuchs

Convention triannuelle CERDSM/Irisa, (université de Rennes 1), n°90 48 603 029

Cette convention porte sur l'ensemble des sujets traités actuellement en acoustique sous-marine.

5 Actions nationales et internationales

5.1 Actions internationales

M. Basseville est éditeur associé pour la revue *Automatica*.

A. Iouditski est éditeur associé pour la revue *IEEE Transactions on Information Theory*.

A. Benveniste est *Associate Editor At Large* pour la revue *IEEE Transactions on Automatic Control*.

A. Benveniste est membre du Comité Editorial des revues *Int. J. of Adaptive Control and Signal Processing*, *Int J. of Discrete Event and Dynamical Systems* et *Proceedings of the IEEE*.

A. Morin est membre du comité de coordination de programme de la 50^{ème} session de l'ISS qui doit avoir lieu à Pékin en 1995.

Une coopération NSF/Inria regroupe le MIT (A.-S. Willsky), l'université de Californie à Davis (B.-C. Lévy), et les projets AS, EP-ATR, Meta-2, Temis. Parmi les thèmes annoncés figurent le traitement du signal multirésolution et les systèmes à événements discrets.

Les membres de l'équipe participent à un réseau du programme européen Science intitulé ERNSI (European Research Network in System Identification). Ce réseau regroupe sept équipes de recherche européennes et a obtenu un financement sur trois ans (débutant le 1^{er} juillet 1992). J.-J. Fuchs s'occupe de la composante Irisa de ce réseau qui bénéficie également d'un contrat HCM (Human Capital Mobility). Les thèmes concernent surtout les systèmes et l'identification pour la surveillance.

5.2 Actions nationales

GdR *Traitement du signal et image* : J.-P. Le Cadre est responsable du groupe de travail antennes et M. Basseville fait également partie de la direction du GdR. Le projet participe largement à ce GdR.

A. Benveniste est président du conseil scientifique de la *Collaboration CAO Automatique*, pôle 4 du GdR Automatique, (voir également le projet EP-ATR de P. Le Guernic).

A. Morin est secrétaire générale de la Société de statistique de Paris et à ce titre directrice de la publication du journal de la SSP.

Asu, *Association pour la statistique et ses utilisations* : A. Morin est responsable du groupe enseignement.

6 Diffusion des résultats

Actions d'enseignement

Le projet intervient de façon importante dans le DEA-STIR (Signal, Télécommunications, Images, Radar) de l'UFR-SPM de l'université de Rennes 1 qui est associé au DEA informatique de l'Ifsic dans une école doctorale commune intitulée Sciences pour l'Ingénieur . Le projet bénéficie en retour d'un flux régulier de thésards et de bourses MESR.

Annie Morin participe à des actions de formation continue à l'ENSAE sur le thème Contrôle statistique de la qualité . En 1994, ses interventions ont porté notamment sur une formation aux plans d'expérience pour les ingénieurs d'Alcatel (fibres optiques) et une formation plus générale à la maîtrise statistique des procédés.

A. Jouditsky enseigne les Algorithmes d'estimation en DEA de Rennes 1, et donne un cours d'Estimation minimax à l'ENSAE.

7 Publications

Thèses

- [1] F. BALDIT, *Détection décentralisée : théorie pratique des architectures arborescentes*, thèse de doctorat, université de Rennes 1, juillet 1994.
- [2] H. CHUBERRE, *Localisation de sources par formation de voies : une approche de type déconvolution*, thèse de doctorat, université de Rennes 1, septembre 1994.
- [3] E. FABRE, *Traitement du signal multirésolution*, thèse de doctorat, université de Rennes 1, décembre 1994.
- [4] G. MATHIS, *Surveillance des turbines gaz*, thèse de doctorat, université de Rennes 1, septembre 1994.

Articles et chapitres de livre

- [5] F. BALDIT, J. LE CADRE, «Détection décentralisé. Critère de Neyman-Pearson sur des architectures arborescentes», *Traitement du Signal*, 1995, numéro spécial : Fusion des données.
- [6] A. BENVENISTE, R. NIKOUKHAH, A. WILLSKY, «Multiscale system theory», *IEEE Transactions on Circuits and Systems I (FTA)* 39, 1, janvier 1994, p. 2-15.

- [7] K. CHOU, A. WILLSKY, A. BENVENISTE, «Multiscale recursive estimation, data fusion and regularization», *IEEE Transactions on Automatic Control* 39, 3, mars 1994, p. 464-478.
- [8] B. CLAUS, G. CHARTIER, «Multiscale signal processing : isotropic random fields on homogeneous trees», *IEEE Trans. on Circuits and Systems. (ADSP)* 41, 8, août 1994.
- [9] B. DELYON, A. JUDITSKY, «Asymptotical study of parameter tracking algorithms», *SIAM Journal on Control and Optimization*, 1994, à paraître.
- [10] J. FUCHS, H. CHUBERRE, «A deconvolution approach to source localization», *IEEE Transactions on Signal Processing* 42, 6, juin 1994, p. 1462-1470.
- [11] J. FUCHS, «Multiscale identification of real sinusoids in noise», *Automatica* 30, 1, janvier 1994, p. 147-155, Special issue on Statistical Methods on Signal Processing and Control.
- [12] P. GLORENNEC, «A new reinforcement learning algorithm for optimization of a fuzzy rule base», *Proc. of EUFIT'93*, septembre 1993, Aachen, Germany.
- [13] P. GLORENNEC, «Constrained optimization of membership functions using evolutionary programming», *Proc. of FUBEST'94*, septembre 1994, Sofia.
- [14] M. JAMES, F. LE GLAND, «Consistent parameter estimation for partially observed diffusions with small noise», *Applied Mathematics and Optimization*, 1994, accepté pour publication.
- [15] A. JUDITSKI, B. DELYON, A. BENVENISTE, «Accuracy analysis for wavelet networks», *IEEE Transactions on Neural Networks*, 1994, accepté pour publication.
- [16] A. JUDITSKY, P. PRIOURET, «A robust algorithm for random parameter tracking», *IEEE Transactions on Automatic Control* 39, 6, juin 1994, p. 1211-1222.
- [17] J. LE CADRE, O. TRÉMOIS, «Properties and performance of extended target motion analysis», *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems* 31, 4, octobre 1996.
- [18] J. LE CADRE, O. ZUGMEYER, «A new approach to the estimation of source motion parameters - Part 2», *Signal Processing* 37, 1994, p. 425-435.
- [19] J. LE CADRE, «Estimation dynamique de la forme d'une antenne linéaire remorqué», *Traitement du Signal*, 1994, numéro spécial : Calibration d'antenne.

- [20] J. LE CADRE, «Etude des effets des incertitudes des positions des capteurs sur les bornes des positions des sources», *Traitement du Signal*, 1994, numéro spécial : Calibration d'antenne.
- [21] J. LE CADRE, «Modèles statistiques de front d'onde aléatoirement fluctuants», *Traitement du Signal*, 1994, numéro spécial : Calibration d'antenne.
- [22] J. LE CADRE, «Performance analysis of wavefront curvature methods for range estimation of a moving source», *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems* 31, 4, octobre 1995.
- [23] I. NIKIFOROV, «On first order optimality of a change detection algorithm in the vector case», *Avtomatika i Telemekhanika*, 1, 1994, p. 87–105, Automation and Remote Control.
- [24] I. NIKIFOROV, «A generalized change detection problem», *IEEE Transactions on Information Theory*, 1995, à paraître.
- [25] Q. ZHANG, M. BASSEVILLE, A. BENVENISTE, «Early warning of slight changes in systems», *Automatica* 30, 1, janvier 1994, p. 95–114, Special Issue on Statistical Methods in Signal Processing and Control.

Communications à des congrès, colloques, etc.

- [26] M. BASSEVILLE, A. BENVENISTE, G. MATHIS, Q. ZHANG, «Monitoring the combustion set of a gas turbine», *in : Ifac/Imacs Symp. on Fault Detection, Supervision and Safety for Technical Process*, Helsinki, Finlande, juin 1994. Safeprocess'94.
- [27] M. BASSEVILLE, A. BENVENISTE, Q. ZHANG, «Detection versus identification issues in fault detection/isolation for predictive maintenance», *in : 10th Ifac Symposium on Identification and System Parameter Estimation*, p. 4–6, Copenhague, juillet 1994.
- [28] H. CHUBERRE, J. FUCHS, «A deconvolution approach to moving sources localization», *in : Proceedings IEEE-Icassp*, 2, p. 349–352, Adélaïde, avril 1994.
- [29] H. CHUBERRE, J. FUCHS, «A deconvolution approach to moving sources localization», *in : 10th Ifac Symposium on Identification and System Parameter Estimation*, 1, p. 113–118, Copenhague, juillet 1994.
- [30] B. CLAUS, «Multiscale statistical modeling : isotropic processes on a homogeneous tree», *in : Wavelets and their applications*, J. Byrnes (éd.), *Proceedings of the Nato Asi, Wavelets and their Applications*, Il Ciocco, août 1994.
- [31] G. DAMY, M. JOANNIDES, F. LE GLAND, M. PREVOSTO, R. RAKOTZAFY, «Integrated short term navigation of a towed underwater body», *in : Proceedings IEEE-Oceans*, III, p. 577–582, Brest, septembre 1994.

- [32] P. DEBANNE, I. NIKIFOROV, «Contrôle d'intégrité dans les systèmes de navigation aéronautique», *in: Colloque Atma 94, Sécurité et Fiabilité dans les domaines maritime et aéronautique*, p. 75–88, Paris, avril 1994.
- [33] E. FABRE, A. BENVENISTE, «Regularization by multiscale models», *in: Sixth IEEE-DSP workshop*, Yosemite, octobre 1994.
- [34] J. FUCHS, «Array shape reconstruction for a nominally linear array», *in: IEEE-Icassp, 4*, p. 81–84, Adélaïde, avril 1994.
- [35] C. JAUFFRET, J. LE CADRE, O. TRÉMOIS, «Properties and performance of extended target motion analysis», *in: Asilomar conference*, Pacific Grove CA, novembre 1993.
- [36] A. JUDITSKI, Q. ZHANG, B. DELYON, P. GLORENNEC, A. BENVENISTE, «Wavelets in identification», *in: Ifac/Sysid'94*, Copenhague, juillet 1994. Egalement présenté au cours Otan.
- [37] A. JUDITSKY, «Wavelet estimators : adapting to unknown smoothness», *in: IMS Meeting*, juin 1994.
- [38] J. LE CADRE, O. TRÉMOIS, «Phase-only multidimensional spatio-temporal analysis for moving sources», *in: IEEE-Icassp 94*, Adélaïde, avril 1994.
- [39] B. LEVY, A. BENVENISTE, R. NIKOUKHAH, «High-level primitives for recursive maximum likelihood estimation», *in: 33rd IEEE-CDC*, Disneyland, décembre 1994.
- [40] A. MORIN, «Outils statistiques pour le contrôle de processus», *in: Journées d'électronique EEA*, Bordeaux, mars 1994.
- [41] A. MORIN, «Utilisation de la théorie des tests en contrôle de réception tests séquentiels», *in: Université d'été en statistique*, Rouen, août 1994.
- [42] I. NIKIFOROV, «On-line diagnosis of dynamic-stochastic system», *in: Ifac Symposium on Fault Detection, Supervision and Safety for Technical Processes, 1*, p. 311–316, Espoo, Finlande, juin 1994. Safeprocess'94.
- [43] I. NIKIFOROV, «Optimal diagnosis of changes in stochastic systems», *in: International Conference on Control'94*, p. 664–669, Coventry, UK, mars 1994.
- [44] I. NIKIFOROV, «Sequential optimal detection and isolation of faults in systems with random disturbances», *in: American Control Conference*, p. 1853–1857, Baltimore, USA, juillet 1994.
- [45] O. TRÉMOIS, J. LE CADRE, «Maneuvering target motion analysis using hidden Markov models», *in: IEEE-Icassp 94*, Adélaïde, avril 1994.
- [46] Q. ZHANG, «Using wavelets in nonparametric estimation», *in: 33rd IEEE-CDC*, Disneyland, décembre 1994.

Rapports de recherche et publications internes

- [47] A. BENVENISTE, B. LEVY, E. FABRE, P. LE GUERNIC, «A calculus of stochastic systems for the specification, simulation, and hidden state estimation of hybrid stochastic/nonstochastic systems», *publication interne n° 837*, Irisa, 1994, soumis pour publication à TCS.
- [48] H. CHUBERRE, J. FUCHS, «Déconvolution en sortie de formation de voies», *rapport de convention n°90 48 603 029*, CERDSM/université de Rennes 1, juin 1994, premier rapport d'avancement du thème 2, deuxième avenant de la convention.
- [49] C. CUSSENOT, L. ROYER, S. LI, M. SORINE, M. BASSEVILLE, «Modélisation et simulation de pannes sur l'ensemble moteur, pot, sondes», *rapport de synthèse pour Renault*, Irisa/Renault, 1994.
- [50] B. DELYON, A. JUDITSKY, «On the computation of wavelet coefficients», *publication interne n° 856*, Irisa, 1994.
- [51] B. DELYON, «A deterministic approach to stochastic approximation», *publication interne n° 789*, Irisa, 1994.
- [52] E. FABRE, A. BENVENISTE, «Régularisation de données de diagraphie par modèles multirésolution pour le HIP 200», *contrat de recherche n° 519 345*, Inria/CNRS/Schlumberger, 1994.
- [53] E. FABRE, «Lissage de processus markoviens sur un graphe», *publication interne n° 799*, Irisa, 1994.
- [54] E. FABRE, «New fast smoothers for multiscale systems», *publication interne n° 857*, Irisa, 1994.
- [55] J. FUCHS, «Déconvolution en sortie de formation de voies», *rapport de convention n°90 48 603 029*, CERDSM/université de Rennes 1, novembre 1994, deuxième rapport d'avancement du thème 2, deuxième avenant de la convention.
- [56] M. JOANNIDES, F. LE GLAND, «Estimation de la position d'un engin sous-marin remorqué», *contrat de recherche n°92 2 320 442*, Ifremer/Inria, 1994.
- [57] A. JUDITSKY, «Wavelet estimators : adapting to unknown smoothness», *publication interne n° 815*, Irisa, 1994.
- [58] I. NIKIFOROV, «Sécurité et intégrité des systèmes de navigation hybrides futurs», *rapport de convention*, Inria/Sagem, 1994.
- [59] I. NIKIFOROV, «Sequential optimal detection and isolation of faults in systems with random disturbances», *publication interne*, Irisa, 1994, soumis à *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*.
- [60] I. NIKIFOROV, «Surveillance de l'intégrité du (D) GPS», *rapport de convention*, Inria/Sercel, 1994.

- [61] O. TRÉMOIS, J. LE CADRE, «Poursuite de cibles manœuvrantes par modélisation markovienne», *rapport de convention n° C 92 48 603 029*, CERDSM/Irisa, juin 1994, premier rapport d'avancement du thème 1.
- [62] Q. ZHANG, «Wavelet network in nonparametric estimation», *publication interne n° 833*, Irisa, 1994.

8 Abstract

Real-time systems play a central role in industry. The development of related software uses signal and information processing, control, and monitoring algorithms. The study of such algorithms builds the core of the project research activity. Main topics are source location and tracking in array processing, monitoring and diagnostics of industrial plants, multiresolution signal processing and wavelets, adaptive systems and wavelet and neural networks.

Scientific Context:

- Adaptive systems, identification, wavelets and neurons
- Detection of abrupt changes and failures, monitoring and diagnostics of industrial plants
- Antenna and array processing
- Wavelets and multiresolution signal processing
- Cooperation with EP-ATR group about the Signal real-time programming language

Developments:

- Algorithms and software modules for vibration monitoring and in situ modal analysis in vibration mechanics
- Wavelet network

Table des matières

1	Composition de l'équipe	1
2	Présentation générale et objectifs	2
2.1	Systèmes adaptatifs et application à la modélisation et la surveillance de systèmes dynamiques	3
2.2	Systèmes de détection et de localisation	4
2.3	Reconnaissance de la parole	4
2.4	Ondelettes et analyse de signaux multirésolution	4
2.5	Systèmes différentiels stochastiques	5
2.6	Participation aux travaux sur le langage Signal	5
3	Actions de recherche	5
3.1	Systèmes adaptatifs, modélisation et surveillance de systèmes dynamiques	5
3.1.1	Systèmes adaptatifs	5
3.1.2	Approximation en ondelettes	6
3.1.3	Logique floue	8
3.1.4	Surveillance de procédés industriels	9
3.1.5	Détection et diagnostic en-ligne	11
3.1.6	Systèmes différentiels stochastiques	12
3.2	Traitements d'antenne et algorithmique associée	13
3.2.1	Analyse spatio-temporelle de sources mobiles	13
3.2.2	Détection décentralisée	14
3.2.3	Méthodes de déconvolution en traitement d'antenne	15
3.2.4	Synthèse de diagramme de rayonnement	15
3.3	Reconnaissance de parole	16
3.4	Ondelettes et analyse multirésolution de signaux aléatoires	16
3.5	Modélisation modulaire de systèmes stochastiques	17

4	Actions industrielles	18
4.1	Surveillance de l'intégrité du (D)GPS	18
4.2	Sécurité et intégrité des systèmes de navigation hybrides futurs	19
4.3	Surveillance de la consommation d'électricité	20
4.4	Traitement du signal multirésolution : application au traitement de diagraphies en géophysique	20
4.5	Navigation d'un engin sous-marin remorqué	20
4.6	Groupement scientifique antenne-radar (GSAR)	21
4.7	Traitement d'antennes	21
5	Actions nationales et internationales	21
5.1	Actions internationales	21
5.2	Actions nationales	22
6	Diffusion des résultats	22
7	Publications	23
8	Abstract	28