

Rapport INRIA 1994 — Programme 5
Filtrage et Identification des Systèmes
Dynamiques Stochastiques

PROJET MEFISTO

3 mai 1995

PROJET MEFISTO

Filtrage et Identification des Systèmes Dynamiques Stochastiques

Localisation : *Sophia-Antipolis*

Mots-clés : algorithme d'optimisation (6, 9), analyse asymptotique (4), analyse numérique (1, 6), approximation (1, 6, 9), automatique non linéaire (1), calcul scientifique (6, 9), calculateur parallèle (6, 9), classification automatique (7), commande stochastique (1, 6, 7), différence finie (6), équation aux dérivées partielles (7), équation aux dérivées partielles stochastiques (1), équation différentielle stochastique (1, 7), estimation paramétrique (1), filtrage non linéaire (1, 3, 4, 6, 9), inéquation variationnelle (7), processus stochastique (1), recuit simulé (7), réseau neuro-mimétique (7), simulation de système mécanique (8), stabilisation de système bilinéaire (6), traitement d'image (7), traitement du signal (1), trajectographie (6, 9).

1 Composition de l'équipe

Responsable scientifique

Fabien Campillo, chargé de recherche, INRIA.

Conseiller scientifique

Étienne Pardoux, professeur, Université de Provence.

Secrétariat

Ephie Deriche

Magali Martin, jusqu'en septembre 1994.

Ingénieur expert

Rivo Rakotozafy, jusqu'en février 1994.

Chercheur post-doctorant

Meir Griniasty, jusqu'à octobre 1994.

Chercheurs doctorants

Frédéric Cérou, boursier MESR puis INRIA, Université de Provence.

Marc Joannides, boursier INRIA, Université de Provence. Jusqu'en septembre 1994.

Abdoulaye Traoré, boursier INRIA et du gouvernement Sénégalais, Université de Provence.

Stagiaires

Hervé Bernier, ESSI, Université de Nice Sophia Antipolis.

Sami Rekik, DESS d'Ingénierie Mathématique, Université de Provence.

Matio Robinson, DEA de Mathématique Appliquée, Université de Provence.

2 Présentation du projet

Le but du projet est l'étude et le traitement des systèmes dynamiques non linéaires stochastiques — en particulier dans le cas partiellement observé —, ainsi que leurs applications industrielles.

Nous nous intéressons notamment à la simulation des processus stochastiques, à l'estimation (filtrage non linéaire), à l'identification paramétrique, aux tests de rupture de modèles, à l'étude de la stabilité et la détection d'instabilités, et à la commande. Enfin, une étude portant sur les réseaux de neurones vient de débiter au sein du projet.

Notre activité comporte un volet théorique, un volet algorithmique et réalisation de logiciels, et un volet applications (dans le cadre de contrats).

Partie théorique. Nous avons obtenu ces dernières années des résultats en particulier sur le filtrage non linéaire avec petit bruit d'observation et depuis peu, le comportement en "temps long", sur le maximum de vraisemblance pour des processus partiellement

observés, sur la discrétisation des équations différentielles et aux dérivées partielles stochastiques.

Partie algorithmique et logiciels. Nous réalisons le logiciel ZPB de résolution de problèmes de filtrage. Nos efforts portent sur l'implémentation algorithmique sur architectures parallèles mais également sur des architectures classiques dans le but de mieux diffuser nos outils dans la communauté industrielle.

Partie applications. Nos activités actuelles consistent à appliquer les techniques de filtrage non linéaire à la trajectographie passive (en collaboration avec le CERDSM) et à l'estimation de la position et de l'attitude d'engins sous-marins remorqués (collaboration avec IFREMER).

Fabien Campillo mène une action en vue de la création d'un nouveau projet (SySDyS).

3 Actions de recherche

3.1 Filtrage non linéaire

Il s'agit de l'activité centrale du projet. Jusqu'à présent nous avons surtout analysé le comportement du filtre dans le cadre de l'asymptotique "petit bruit". Cette année nous nous sommes engagés dans l'asymptotique "temps long". Cette dernière, quoique plus naturelle, demande des efforts d'analyse plus importants. Il existe encore peu de résultats dans ce domaine qui est pourtant d'une importance cruciale dans la pratique. Il s'agit par exemple, du problème de convergence du filtre — *dans quel cas la loi conditionnelle se concentre-t-elle sur la position réelle de l'état ?* —, ou de celui de l'oubli de la condition initiale — *dans quel cas le filtre "oublie-t-il" des mesures erronées passées ou une mauvaise initialisation ?*

Un autre point important en pratique est celui du traitement des observations dites "parfaites" (non bruitées). Jusqu'à récemment, il n'existait aucune réponse à ce problème.

Concernant la mise en œuvre numérique, nous avons fait le point sur les possibilités actuellement offertes par les architectures parallèles ; maintenant que les algorithmes sont mieux maîtrisés nous nous intéressons

également à leur implémentation sur des architectures classiques (qui ont gagné en puissance et en capacité mémoire).

3.1.1 Filtrage non linéaire avec observations parfaites

Participant : Marc Joannides

Collaboration avec François LeGland (projet AS, centre de Rennes).

On s'est intéressé au filtrage non-linéaire des systèmes avec observations parfaites (non-bruitées) en temps discret.

Il s'agit d'un problème singulier : ayant observé

$$z_n = h(X_{t_n}) ,$$

la distribution de probabilité conditionnelle $\mu_n(dx)$ de l'état X_{t_n} est supportée par l'ensemble de niveau

$$M_n = \{x \in \mathbb{R}^m : h(x) = z_n\} .$$

Si l'observation z_n est une valeur régulière de l'application h , cet ensemble est une variété différentielle, et sous des hypothèses raisonnables on sait donner une expression de la densité de μ_n par rapport à la mesure canonique λ_n sur la variété différentiable M_n . Il s'agit d'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 l'application h .

3.1.2 Comportement en temps long du filtre non linéaire

Participants : Fabien Campillo, Frédéric Cérou, Étienne Pardoux, Matio Robinson

Comportement en temps long d'un système sans bruit de dynamique

Pour un problème donné, un moyen naturel de "mesurer" l'efficacité du filtrage consiste à étudier la concentration de la loi conditionnelle dans un voisinage arbitraire de la vraie position (aléatoire, et évoluant au cours du temps) lorsque le temps croît vers $+\infty$. Le peu de résultats existant sur ce sujet nécessitent généralement une hypothèse d'ergodicité

sur l'équation d'état. Nous avons donc choisi de traiter le cas particulier suivant :

$$\begin{cases} dX_t &= b(X_t) dt \\ dY_t &= h(X_t) dt + dW_t \end{cases}$$

X_0 étant un vecteur aléatoire de loi donnée et W_t un Wiener standard. Bien qu'il puisse sembler très simple, ce modèle reste utilisable pour certaines applications réelles (trajectographie passive par exemple), et n'est pas non plus dénué d'intérêts théoriques. Dans le cadre défini ci-dessus, pouvons-nous montrer des résultats de concentration de la loi conditionnelle sous des hypothèses qui, quoiqu'assez restrictives, peuvent être vues comme relatives à l'observabilité du système, et ne font pas du tout intervenir la notion d'ergodicité ?

Plus précisément, notons par Φ_t le flot associé à l'équation d'état. On va considérer des hypothèses du genre :

$$\|\Phi_t(x_1) - \Phi_t(x_2)\| \leq \alpha_t \|x_1 - x_2\|$$

et

$$V_t \|x_1 - x_2\|^2 \leq \int_0^t \|h(\Phi_s(x_1)) - h(\Phi_s(x_2))\|^2 ds \leq C V_t \|x_1 - x_2\|^2$$

uniformément en x_1 et x_2 , pour certaines fonctions positives V et α , et une constante $C > 0$. Alors si les observations sont "suffisamment bonnes", c'est à dire

$$\frac{V_t}{\alpha_t^2} \longrightarrow +\infty \quad t \longrightarrow +\infty$$

on a alors la concentration voulue (au sens de la convergence en probabilité).

On montre également comment obtenir des résultats de divergence lorsque ces hypothèses ne sont pas vérifiées, et comment étendre le résultat de convergence lorsque la dynamique est linéaire, les observations n'étant pertinentes que sur le sous espace instable (voir [12]).

Oubli de la condition initiale

Il s'agit de répondre à la question suivante, posée par H.J. Kushner : dans quels cas le filtre non linéaire oublie-t-il sa condition initiale, quand $t \rightarrow \infty$? L'importance de cette question tient au fait qu'en pratique la condition initiale est souvent choisie de façon très arbitraire.

Une première réponse positive à été obtenue l'année dernière par Daniel Ocone (Rutgers University, USA) et Étienne Pardoux dans le cas où le processus non observé est ergodique.

Pour le cas non ergodique, avec une observation “de bonne qualité”, on conjecture, d'après les résultats connus dans le cas linéaire gaussien, que l'oubli de la condition initiale se produit. Nous avons cette année, et dans un premier temps seulement à l'aide de simulation, pu confirmer cette conjecture.

3.1.3 Filtrage petit bruit

Participant : Étienne Pardoux

Ce travail, effectué dans le cadre de la thèse d'Anne Gégout (Université de Provence), sous la direction d'Étienne Pardoux, a porté sur le filtrage petit bruit dans le cas où la dimension de l'observation est inférieure à celle du signal. On propose d'utiliser un filtre approché en dimension finie couplé avec une équation de Zakai en dimension d'espace réduite. On a obtenu une estimation précise de l'écart au filtre optimal.

3.1.4 Approximation en filtrage non-linéaire

Participants : Hervé Bernier, Frédéric Cérou, Fabien Campillo

Collaboration avec François LeGland (projet AS, centre de Rennes) — Zhang Huilong (CEREMAB, Université de Bordeaux).

Cette année notre activité s'est plus particulièrement centrée sur l'application en trajectographie passive (voir § Actions industrielles).

Durant les années précédentes nous avons développés des méthodes d'approximation (méthodes particulaire et cellulaire) adaptées aux calculateurs exploitant le parallélisme de données (CM200, MASPAR etc.). Ceux-ci sont également adaptés aux méthodes plus classiques (différences finies) que nous avons également utilisées. Tout en poursuivant le développement et la mise en œuvre de ces méthodes sur des supercalculateurs, nous nous intéressons maintenant au “portage” de ces algorithmes sur des calculateurs plus classiques.

Dans cette optique Zhang Huilong poursuit, avec notre soutien, son étude de la discrétisation de l'équation de Zakai par méthode multigrille

(FAC). Le but est de développer en **C++** un logiciel capable de traiter un nombre de niveaux de grilles quelconques.

3.2 Stabilisation

Participants : Fabien Campillo, Étienne Pardoux, Abdoulaye Traoré

Collaboration avec Patrick Florchinger (Université de Metz).

On considère le système

$$dX_t = [AX_t + Bu(X_t)] dt + \sum_{k=1}^r [A_k X_t + B_k u(X_t)] \circ dW_t^k ,$$

où $u(\cdot)$ est un contrôle linéaire. La stabilité d'un tel système est directement liée à son exposant de Lyapounov. Le but ici est de déterminer les conditions sur le système qui assurent l'existence d'un contrôle en boucle fermée linéaire stabilisant, et éventuellement de calculer une telle loi de contrôle. L'étude porte actuellement sur le comportement et la mise en œuvre de l'algorithme de gradient stochastique permettant de minimiser cet exposant de Lyapounov (voir [11]).

3.3 EDS rétrogrades, lien avec les EDP et les problèmes de contrôle

Participant : Étienne Pardoux

On a principalement travaillé sur le cas des EDS rétrogrades réfléchies dans le cas scalaire, et des EDS rétrogrades avec Brownien et Poisson. On a développé la méthodologie du lien avec les EDP au sens solution viscosité, et la preuve de l'unicité de la solution viscosité des systèmes d'EDP considérés. Dans le cas EDSR réfléchies, le problème aux dérivées partielles associé est un problème d'EDP avec obstacle (i.e. une "inéquation variationnelle d'évolution"). Dans le cas de coefficients convexes, on obtient aussi que la solution de l'EDSR est la fonction de valeur d'un problème de contrôle stochastique, c'est à dire que l'EDP associée est une équation de Hamilton–Jacobi–Bellmann. Dans le cas avec obstacle, cela généralise le résultat bien connu que l'équation de HJB associée à un problème de temps d'arrêt optimal est une inéquation variationnelle (cf. par exemple un des livres de Bensoussan–Lions).

3.4 Réseaux de neurones

Participants : Fabien Campillo, Meir Griniasty, Sami Rekik

Travail effectué en collaboration avec Josiane Zerubia (projet Pastis).

Nous avons considéré une application de la mécanique statistique et plus spécifiquement de la théorie du champ moyen, à des problèmes d'optimisation (traitement d'image et classification, machine de Boltzmann).

Dans le cadre du traitement d'image nous décrivons un cadre théorique général pour des algorithmes qui adaptent *tous* leurs paramètres au cours de la restauration de l'image bruitée. La procédure adaptative est fondée sur une approche "champ moyen", également connue sous le nom de "recuit déterministe", et qui s'apparente à la "machine de Boltzmann déterministe". L'algorithme requiert moins de temps de calcul que celui de recuit simulé. Nous l'avons testé sur plusieurs architectures et comparé les performances obtenues.

Un problème plus simple est celui de la classification : Il s'agit de regrouper par classe un ensemble donné de points. Nous proposons un algorithme analogue à celui de restauration d'image qui extrait les classes sans connaissance a priori de leur nombre.

Dans le cadre de la machine de Boltzmann déterministe, nous avons considéré un algorithme modifié où les corrélations sont présent en compte comme une première correction de l'approche par champ moyen simple (voir [13]).

Meir Griniasty a poursuivi des recherches, entreprises auparavant, concernant le comportement d'applications non linéaires chaotiques avec couplage global. Il s'est plus particulièrement intéressé à l'effet combiné des termes de couplage qui tend à synchroniser l'application, et à leur nature inhérente chaotique qui tend à les désynchroniser.

4 Actions industrielles

4.1 Navigation d'un engin sous-marin remorqué

Participants : Marc Joannides, Rivo Rakotozafy

Contrat de Recherche IFREMER / INRIA no 92 2 320442. Collaboration avec Gilbert Damy IFREMER (Brest DITI/GO/SOM) — François LeGland (projet AS, centre de Rennes).

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 du système câble + engin est utilisé pour en déduire des mesures de la vitesse de l'engin.

En collaboration avec François LeGland (projet AS, centre de Rennes), le travail a porté cette année sur une première mise-en-œuvre de la procédure d'hybridation, à partir de données simulées (voir [7, 14]).

4.2 Trajectographie passive

Participants : Fabien Campillo, Frédéric Céro, Hervé Bernier

Collaboration avec François LeGland (projet AS, centre de Rennes) — Claude Jauffret (CREDSM, DCAN Toulon).

Il s'agit d'estimer la position et la vitesse d'un bâtiment (bruiteur) se déplaçant suivant un mouvement rectiligne uniforme, à l'aide de mesures d'angles effectuées par un second bâtiment (porteur). Même dans le cas de mesures parfaites, ce système est inobservable tant que le porteur se déplace lui aussi suivant un mouvement rectiligne uniforme.

Nous avons effectué des essais comparatifs de performance sur différentes calculateurs parallèles et vectorielle : la CM200 et la KSR de l'INRIA, le CRAY de l'IMT (Marseille), la CM500 du Minnesota Supercomputer Center (voir [10]). Nous nous sommes également intéressés au problème d'optimisation de manœuvre du bâtiment porteur. Cette approche, contrairement à la déterministe classique "d'observabilité", tient compte du cadre statistique du problème.

Enfin nous menons en collaboration avec le CERDSM le portage de nos algorithmes (a priori développés pour des architectures parallèles) sur des machines traditionnelles (séquentielles). Un logiciel — PARTICLE TMA 2D — a été enregistré à l'APP.

5 Actions nationales et internationales

5.1 Activités internationales

5.1.1 Organisation de conférences

- Étienne Pardoux a organisé un Congrès au CIRM (Marseille), du 30 mai au 3 juin sur les *Équations aux dérivées partielles stochastiques*.
- Étienne Pardoux a organisé une École CIMPA-CIMI-UNESCO, sur *Calcul stochastique et application en finance*, Pékin, 12–30 septembre 1994.

5.1.2 Comités de rédaction

- Étienne Pardoux est membre du comité de rédaction des revues *Stochastics* et *Annals of Probability*.
- Étienne Pardoux est membre l'IUF et président du groupe MAS de la SMAI.

5.1.3 Actions européennes

Le projet, en collaboration avec François LeGland (projet AS, centre de Rennes), participe au réseau européen Science intitulé *EDP Stochastiques et Champs Aléatoires* — financement du séjour à l'IRISA de Richard Sowers, et au réseau européen HCM intitulé *Statistical Inference for Stochastic Processes* — exposés aux deux premiers workshops du réseau (réunion de travail, Paris, 26–28 janvier ; workshop *Stochastics and Finance*, Berlin, 9–10 septembre).

Marc Joannides effectue son service national à l'Imperial College (financement IFREMER et Imperial College). Outre la poursuite de l'étude pour l'IFREMER, il s'intéresse à la propagation de la chaleur dans un milieu unidimensionnel (demi-droite) dont une extrémité est soumise à des impulsions thermiques à des instants inconnus. On cherche à retrouver les instants d'impulsion, connaissant le profil de température de la demi-droite à un instant final.

5.2 Activités nationales

5.2.1 Organisations de séminaires

Séminaire sur les réseaux de neurones. Organisé en commun avec Josiane Zerubia (projet PASTIS). Meir Griniasty y a donné une série d'exposé sur la physique statistique et les réseaux de neurones.

Principaux invités : Jeanny Herault (INPG/TIRF), Marc Van Hulle (Université de Louvain), Jean-Pierre Nadal (Laboratoire de physique statistique, ENS), Philippe Kerlirzin (LCR/Thomson), Gérard Dreyfus (ESPCI, Paris), Jérôme Lacaille (ENS, Cachan), Jean Bullier (INSERM), Michel Weinfeld (École Polytechnique), Laurent Hérault (LETI, CEA), Marc Van Hulle (Université de Louvain), Marc Sigelle (Télécom, Paris), Dominique Béroule (LIMSI-CNRS, Orsay).

6 Diffusion des résultats

6.1 Formation

6.1.1 Enseignement universitaire

Processus de diffusion et EDP DEA de Mathématiques, Université de Provence, 25 h, Étienne Pardoux.

Analyse des modèles de transport École polytechnique, Majeure de 1ère année, 7 h, Étienne Pardoux.

Introduction au filtrage non linéaire Université de Nice–Sophia Antipolis, ESSI troisième année, 15 h, Fabien Campillo.

Processus de diffusion et application en mathématiques financières Université de Provence, DEA de Mathématiques appliquées, 25 h, Fabien Campillo.

6.1.2 Autres enseignements

Processus de diffusion École d'été en Chine, Beijing), nom de l'organisation (CIMPA), nombre d'heures, 7 h, Étienne Pardoux.

Applications scientifiques de la Connection Machine Formation CNRS, Luminy (Marseille), 5–8 avril 1994, Fabien Campillo.

Utilisation du calcul parallèle Formation CEA Cadarache, 8 juin, Fabien Campillo.

6.1.3 Thèses

Etienne Pardoux a participé à deux jurys d'habilitation (dont une fois comme rapporteur) ainsi qu'à deux jurys de thèse. Il est enfin rapporteur d'une thèse soutenue à l'École Polytechnique.

Le projet est équipé d'accueil de doctorants pour la formation de Mathématiques Appliquées de l'Université de Provence.

6.1.4 Stages

- *Hervé Bernier*. «Optimisation de manœuvre en trajectographie passive». – Rapport de fin d'étude, ESSI, Université de Nice Sophia Antipolis, 1994.
- *Sami Rekik*. «Application d'algorithmes neuronaux au problème de voyageur de commerce». – Rapport de DESS d'Ingénierie Mathématique, Université de Provence, 1994.
- *Matio Robinson*. «Filtrage non linéaire en temps discret et oubli de la condition initiale». – Rapport de DEA de Mathématiques Appliquées, Université de Provence, 1994.

7 Publications

Articles et chapitres de livre

- [1] W. BALLY, I. GYÖNGY, E. PARDOUX, «White noise driven parabolic SPDs with measurable drift», *Journal of Functional Analysis* 120, 1994, p. 484-510.
- [2] M. JAMES, F. LE GLAND, «Consistent parameter estimation for partially observed diffusions with small noise», *Applied Mathematics & Optimization*, (accepté pour publication).
- [3] P. MILHEIRO DE OLIVEIRA, «Approximate filters for a nonlinear discrete time filtering problem with small observation noise», *Stochastics and Stochastics Reports* 46, 1, 1994, p. 1-24.
- [4] D. NUALART, E. PARDOUX, «Markov field properties of solutions of white noise driven quasilinear parabolic SPDs», *Stochastics* 48, 1994, p. 17-44.

- [5] E. PARDOUX, S. PENG, «Backward doubly stochastic differential equations and systems of quasilinear SPDs», *Probability Theory and Related Fields* 98, 1994, p. 209–227.
- [6] E. PARDOUX, R. WILLIAMS, «Symmetric reflected diffusions», *Annales de l'Institut Henri Poincaré, Probabilités et Statistiques* 30, 1994, p. 13–62.

Communications à des congrès, colloques, etc.

- [7] G. DAMY, M. JOANNIDES, F. LE GLAND, M. PRÉVOSTO, R. RAKOTOZAFY, «Integrated short term navigation of a towed underwater body», in: *Proceedings of OCEANS 94, Brest 1994, III*, IEEE, p. 577–582, septembre 1994.

Cours polycopiés

- [8] F. CAMPILLO, F. LE GLAND, *Introduction au filtrage non linéaire et à la trajectographie passive*, Essi, Université de Nice Sophia Antipolis, 1994.
- [9] F. CAMPILLO, *Processus de diffusion et estimation paramétrique*, Université de Provence, DEA de Mathématiques Appliquées, 1994.

Rapports de recherche et publications internes

- [10] H. BERNIER, F. CAMPILLO, F. CÉROU, F. LE GLAND, R. RAKOTOZAFY, «Parallélisme de données et filtrage non linéaire – Analyse de performance», *Rapport Technique n°0167*, INRIA, novembre 1994.
- [11] F. CAMPILLO, A. TRAORE, «Lyapunov exponents of controlled SDE's and stabilizability property : Some examples», *Rapport de Recherche n°2397*, INRIA, novembre 1994.
- [12] F. CÉROU, «Long time asymptotics for some dynamical noise free non linear filtering problems», *Rapport de recherche*, INRIA, décembre 1994.
- [13] M. GRINIASTY, «Autonomous algorithm for image restauration», *Rapport de Recherche n°2405*, INRIA, novembre 1994.
- [14] F. LE GLAND, M. JOANNIDES, «Navigation intégrée d'un engin sous-marin remorqué», *Rapport Final, Contrat de Recherche 92-2-320442*, IFREMER, 1994.

8 Abstract

The Mefisto project developed numerical methods and algorithms for the study of non linear dynamical systems, possibly partially observed. This year, we studied the following points :

- long-time behavior of the non linear filter,
- nonlinear filtering with perfect observations,
- approximation methods for the non linear filter,
- stabilizability of non linear systems,
- backward stochastic differential equation and applications.

A favorite field of application of non linear filtering is the identification of a mobile trajectory, using noisy measurements. A contract with IFREMER is concerned with integrated navigation of a towed body. The project is involved in various European (HCM, Science) and international activities.

Table des matières

1	Composition de l'équipe	1
2	Présentation du projet	2
3	Actions de recherche	3
3.1	Filtrage non linéaire	3
3.1.1	Filtrage non linéaire avec observations parfaites . .	3
3.1.2	Comportement en temps long du filtre non linéaire	4
3.1.3	Filtrage petit bruit	6
3.1.4	Approximation en filtrage non-linéaire	6
3.2	Stabilisation	6
3.3	EDS rétrogrades, lien avec les EDP et les problèmes de contrôle	7
3.4	Réseaux de neurones	7
4	Actions industrielles	8
4.1	Navigation d'un engin sous-marin remorqué	8
4.2	Trajectographie passive	9
5	Actions nationales et internationales	9
5.1	Activités internationales	9
5.1.1	Organisation de conférences	9
5.1.2	Comités de rédaction	10
5.1.3	Actions européennes	10
5.2	Activités nationales	10
5.2.1	Organisations de séminaires	10
6	Diffusion des résultats	11
6.1	Formation	11
6.1.1	Enseignement universitaire	11
6.1.2	Autres enseignements	11

Rapport d'activité INRIA 1994 — Annexe technique

6.1.3	Thèses	11
6.1.4	Stages	12
7	Publications	12
8	Abstract	13