

## RAPPORT A DEUX ANS 2002-2004

### Analyse, modélisation et simulation de écoulements turbulents en bases d'ondelettes

Marie Farge  
CNRS, SPI, section 10  
LMD, ENS, Paris

### Résumé

Je suis chercheur CNRS rattachée au **département SPI** et à la **section 10**. Je travaille à l'Ecole Normale Supérieure (ENS) au **Laboratoire de Météorologie Dynamique (LMD)**, qui est une unité du département SDU. Ma spécialité est l'étude de la turbulence par expérimentation numérique et par l'analyse statistique de champs turbulents. J'ai introduit l'utilisation des **ondelettes** pour analyser, modéliser et calculer les écoulements turbulents, ce qui m'a conduite à développer la **méthode CVS (Coherent Vortex Simulation)**, dont l'objectif à long terme est de remplacer la méthode LES (Large Eddy Simulation) couramment utilisée pour calculer l'évolution de ces écoulements.

Ce programme de recherche se décompose en sept étapes :

- analyse en ondelettes des écoulements turbulents,
- extraction des tourbillons cohérents,
- compression des champs et des opérateurs,
- intégration des équations de Navier-Stokes en base d'ondelettes adaptative,
- modélisation de la turbulence,
- traitement des parois et des obstacles,
- validation de la méthode CVS.

Je le conduis dans le cadre de **l'équipe 'Ondelettes et Turbulence'** que j'anime au LMD-ENS. Je bénéficie de nombreuses collaborations, au niveau national (ESPCI-Paris, MSNM-Marseille, IRPHE-Marseille, SIRT-IPSL, LadHyX-Palaiseau, ECL-Lyon), européen (CNRS-DFG, CEA-Euratom, CEE-IHP) et international (Etats-Unis, Canada, Japon, Brésil, Singapour).

Mes thèmes de recherche actuels sont:

- mécanique des fluides numériques et méthode CVS,
- dynamique non linéaire des écoulements turbulents dans les fluides et les plasmas,
- écoulements géophysiques, stratifiés et en rotation, en présence de parois ou d'obstacles,
- transport et mélange de scalaires, passifs ou réactifs, et de particules par la turbulence,
- analyse statistique, traitement du signal, compression et débruitage en ondelettes.

[//wavelets.ens.fr](http://wavelets.ens.fr) et [//www.lmd.jussieu.fr](http://www.lmd.jussieu.fr) (équipe 'Ondelettes')

### Curriculum vitae

Née le 12 Mars 1953 à Paris

- 1971** Prix de l'ESRO (European Space Research Organization)
- 1973-1975** Département de Physique des Plasmas et de la Fusion Contrôlée, CEA, Fontenay-aux-Roses  
*Stagiaire CEA de longue durée*
- 1975-1977** Master of Science, Université de Stanford (Etats-Unis)  
*Boursière du Ministère des Affaires Etrangères, Assistante d'enseignement et de recherche, Stanford*
- 1977-1980** Doctorat de Troisième Cycle en Physique, Département de Physique de l'Energie, Université Paris VII  
*Boursière DGRST*
- 1980-1981** Postdoc, Université d'Harvard (Etats-Unis)  
*Boursière Fulbright*
- 1982-...** Laboratoire de Météorologie Dynamique, Ecole Normale Supérieure, Paris  
*Chargée de Recherche 2ème classe CNRS*
- 1985** Prix du Ministère des Affaires Etrangères du Japon
- 1987** Doctorat d'Etat en Mathématiques, Département de Mécanique, Université Paris VI  
*Chargée de Recherche 1ère classe CNRS*
- 1988** 3ème prix, Concours Seymour Cray

1989	‘Grand Prix du CNRS’, concours ‘La Recherche en action’, organisé à l’occasion du cinquantenaire du CNRS
1990	Consultante auprès du CTR (Center of Turbulence Research), NASA-Ames (Etats-Unis)
1990	2nd Prix, ‘Eighth Annual Fluid Mechanics Contest’, APS (American Physical Society)
1991-1992	Cours d’Infographie, Université Technologique de Compiègne à Sévenans
1991-1994	Consultante auprès de ‘Science et Tec’
1993	Prix ‘Poncelet’, Académie des Sciences
1994-1995	Professeur de Mathématiques, Chaire Sofia-Kovaleskaia, Université de Kaiserslautern (Allemagne) <i>Directeur de Recherche 2ième classe CNRS</i>
1997-...	Cours de traitement de signal en Fourier et ondelettes, CNRS-Formation-Entreprises
1998-...	Cours de turbulence, ENSTA (Ecole Nationale Supérieure des Sciences et Techniques Avancées)
2000	Consultante auprès du CTR (Center of Turbulence Research), NASA-Ames (Etats-Unis)
2001-...	Cours de simulation numérique, ESM2 (Ecole Supérieure de Mécanique de Marseille)
2004	Cours de mathématiques appliquées, Université de Californie, Santa Barbara (Etats-Unis)

---

## Programme de recherche

*Les références des articles correspondent à la liste donnée dans le fichier [farge-prod2005](#)*

L’avantage de la transformée en ondelettes par rapport à la transformée de Fourier, utilisée classiquement pour l’étude de la turbulence, tient au fait que les coefficients d’ondelettes préservent l’information locale contenue dans le signal, alors que celle-ci est

répartie sur l’ensemble des coefficients de Fourier, rendant impossible toute analyse spectrale locale et tout filtrage local, ce qui devient possible en ondelettes. En 1988 j’ai publié le premier article utilisant les ondelettes en mécanique des fluides (*CRAS, 1988*), en 1990 le premier la transformée en ondelettes continues bidimensionnelles (*IUTAM, 1990*), et en 1992 le premier utilisant la transformée en paquets d’ondelettes (*Fluid Dyn. Res., 1992*). J’ai publié la même année un **article de revue** présentant les différentes transformées en ondelettes et leurs applications pour l’étude des écoulements turbulents (*Ann. Rev. Fluid Mech., 1992*). Depuis je donne régulièrement des **cours sur les ondelettes** et les paquets d’ondelettes dans différentes universités en France et à l’étranger (Chine, Turquie, Pologne, Etats-Unis, Brésil, Allemagne), ainsi qu’à des dizaines de chercheurs travaillant soit pour l’état soit pour l’industrie, aussi bien en France qu’à l’étranger, ceci dans le cadre du Centre de Formation Permanente du CNRS à Gif-sur-Yvette. Je maintiens encore aujourd’hui une forte collaboration avec une partie des chercheurs travaillant sur les ondelettes, communauté qui compte aujourd’hui des dizaines de milliers de personnes à travers le monde. Je suis éditrice associée pour deux revues internationales consacrées aux ondelettes et suis en train de rédiger à la demande de Cambridge University Press, un **ouvrage intitulé 'Ondelettes et Turbulence'**.

Dans le cadre de l’équipe ‘Ondelettes et Turbulence’ que j’ai réunie et que j’anime, nous avons mis au point une technique d’**extraction des tourbillons cohérents** que l’on observe dans les écoulements turbulents, même à très grand nombre de Reynolds, tels ceux rencontrés dans l’atmosphère et les océans. Cette technique est basée sur la représentation en ondelettes du champ de vorticités et ne nécessite aucun paramètre ajustable. Nous l’avons appliquée à un grand nombre d’écoulements, aussi bien bidimensionnels (*Phys. Fluids, 99*) que tridimensionnels (*Phys. Rev. Let., 2001 et Phys. Fluids 2003*) mesurés en laboratoire ou calculés numériquement. Ces études nous ont conduit à remettre en cause l’idée selon laquelle les tourbillons cohérents correspondraient aux grandes échelles et les filaments de vorticités aux petites. Nous avons montré que tous deux sont multi-échelles, mais avec une pente spectrale plus forte pour les tourbillons que pour les filaments, ce qui confirme qu’il n’y a pas de trou spectral en turbulence, hypothèse qui est pourtant à la base de la majorité des modèles de turbulence. En nous appuyant sur ces résultats nous avons introduit une méthode originale de simulation numérique, appelée ‘**Coherent Vortex Simulation**’ (CVS), qui calcule l’évolution des écoulements turbulents dans une base d’ondelettes qui est adaptée à chaque pas de temps à la solution (*Flow, Turbulence and Combustion, 2001*). Le principe de la CVS est de ne calculer que l’évolution des coefficients d’ondelettes les plus forts, qui correspondent aux tourbillons cohérents pilotant la dynamique non linéaire, et d’éliminer à chaque pas de temps les coefficients d’ondelettes les plus faibles qui correspondent à la dissipation turbulente. Les indices des coefficients retenus, définis à la fois en position et en échelles, permettent de construire un maillage qui est automatiquement raffiné dans les régions de forts gradients qui se développent sous l’effet des interactions non linéaires. Ainsi la méthode CVS combine-t-elle une projection dans une base de fonctions, de type Eulérien, et une stratégie d’**adaptation de la grille de calcul, de type Lagrangien**. La méthode CVS présente l’avantage par rapport à la méthode LES (Large Eddy Simulation) de préserver toutes les échelles dynamiquement actives de l’écoulement, aussi petites soient-elles, à condition toutefois qu’elles restent bien localisées. Ce n’est pas le cas des filtres LES qui sont par définition des filtres passe-bas éliminant les structures de taille inférieure à l’échelle de coupure. Or, dans les réactions chimiques la stochiométrie n’est obtenue que localement à des échelles très petites, qui doivent donc être préservées par le filtre utilisé dans le modèle de turbulence. Nous avons étudié des écoulements turbulents bidimensionnels en présence d’espèces chimiques présentant différents types de réactions (binaires, auto-catalytiques, ou à

plusieurs étapes) pour quantifier l'efficacité du mélange (*Chem. Ing. Tech, 2002, Chem. Eng. Sci., 2003*). Nous avons montré dans le cas de l'approximation isotherme que le filtrage CVS préserve bien le taux de réactivité car le mélange est piloté par les tourbillons cohérents. De plus nous avons vérifié que l'écoulement résiduel éliminé par le filtrage CVS correspond à un bruit blanc Gaussien dont l'effet est purement diffusif (*Com. Nonlinear Sci. and Num. Simulation, 2003*). Nous prévoyons de généraliser cette étude au cas des écoulements turbulents tridimensionnels en présence de réactions chimiques et pensons que cette approche est très prometteuse pour les **applications en génie des procédés**.

Les méthodes numériques d'ordre élevé, telles les méthodes spectrales et les méthodes en ondelettes, sont beaucoup plus exactes que les méthodes d'ordre plus faible, en particulier les méthodes de différences finies ou de volumes finis, mais elles ne sont pas capables de traiter des géométries complexes, par exemple des parois de forme compliquée ou la présence d'obstacles. La résolution de cette difficulté serait un pas crucial pour la simulation et le contrôle des écoulements turbulents rencontrés dans les applications industrielles, car nous n'utilisons actuellement les méthodes spectrales que pour des écoulements non bornés ou dans des domaines de géométrie très simple. Nous avons proposé de lever cette obstruction en utilisant la méthode de **pénalisation en volume**, introduite en 1984 par Jean-Paul Caltagirone, qui immerge les régions solides et les régions fluides dans un domaine de calcul périodique en considérant l'ensemble solide-fluide comme un milieu poreux de perméabilité variable. Nous avons ainsi combiné la méthode CVS et la méthode de pénalisation en volume, que nous avons testées en traitant le cas de l'écoulement derrière un obstacle cylindrique à Reynolds 3000, pour lequel on retrouve une évolution similaire à celle calculée avec méthode vortex (*CRAS, 2000*). Nous avons également traité plusieurs écoulements bidimensionnels typiques, tel celui dans un réseau de tubes de type échangeur (*J. Fluids and Structures, 2004*), celui derrière une plaque avec riblet (*Bull. Amer. Phys. Soc., 2002*), ainsi que la collision d'un dipole de vorticités avec une paroi (*Adv. in Turbulence, 2004*). Nous allons poursuivre cette direction de recherche très prometteuse en la généralisant au cas des écoulements turbulents tridimensionnels, dans le but de traiter un grand nombre d'**écoulements météorologiques de type couche limite**, en particulier pour l'étude de la pollution urbaine à l'échelle des rues et divers problèmes environnementaux pour lesquels on pourra prendre en compte la topographie de façon détaillée.

---

## Résultats 2002-2004

### *Simulation numérique de la turbulence en base d'ondelettes adaptative: méthode CVS (Coherent Vortex Simulation)*

En collaboration avec Kai Schneider, professeur à l'Université de Provence, nous avons appliqué la méthode CVS pour calculer une couche de mélange bidimensionnelle qui se développe en temps et montré que son évolution est correctement prédite, ceci avec beaucoup moins de modes que si l'on utilise une méthode pseudo-spectrale classique (*CRAS, 2000*). En combinant la méthode CVS avec la pénalisation en volume, nous avons étudié l'écoulement bidimensionnel qui se développe dans le sillage d'un cylindre (*Appl. Comp. Harmonic Anal.,*

*2002*), et obtenu des évolutions temporelles de la traînée et de la portance similaires à celles calculées par Petros Koumoutsakos à l'aide d'une méthode vortex pour le même écoulement. En collaboration avec Giulio Pellegrino, qui fait sa thèse à l'Université de la Méditerranée sous notre direction, nous avons calculé par CVS une couche de mélange tridimensionnelle se développant en temps (*J. Fluid Mech, 2003, soumis*). Giulio Pellegrino a présenté ce résultat lors de la conférence annuelle de l'American Physical Society à Washington en 2000 (*Bull. Amer. Phys. Soc. 2000*).

### *Extraction en ondelettes des structures cohérentes dans les écoulements turbulents bidimensionnels : comparaison entre expériences numériques et expériences de laboratoire*

En collaboration avec Kai Schneider et Alexandre Azzalini, qui fait sa thèse à l'Université Paris VI sous notre direction, nous avons amélioré la méthode d'extraction des structures cohérentes en ondelettes grâce à une procédure itérative qui converge vers le seuil optimal (*Appl. Comput. Harm. Anal., 2003, accepté*). Nous avons appliqué cette méthode pour l'extraction d'un condensat de Bose-Einstein dans les champs de densité atomique mesurés au Laboratoire Kastler-Brossel de l'ENS et montré que le débruitage obtenu est optimal (*Note IPSL, 2004*). Nous avons également montré que pour les écoulements turbulents ce filtre définit bien une interface connexe séparant les coefficients d'ondelettes cohérents, qui sont calculés, et ceux incohérents, qui sont éliminés et dont l'effet est modélisé. C'est cette connexité de l'interface entre modes cohérents et modes incohérents qui nous permet de valider la stratégie d'adaptation de la base d'ondelettes sur laquelle repose la méthode CVS. Nous avons appliqué l'algorithme d'extraction des structures cohérentes et visualisé l'interface entre modes cohérents et incohérents à des champs de vorticités mesurés par PIV (Particule Image Velocimetry) dans une cuve en rotation au Centre de Dynamique Non Linéaire de l'Université du Texas à Austin (USA). Nous avons montré que la dynamique des structures cohérentes observées en laboratoire est semblable à celles extraites des écoulements turbulents bidimensionnels que nous avons calculés numériquement. J'ai présenté ces résultats lors de la dernière conférence annuelle de l'American Physical Society à Newark (*Bull. Amer. Phys. Soc, 2003*) et ils feront également l'objet d'une communication lors de la conférence IUTAM sur les vortex qui se tiendra à Kyoto en Octobre prochain (*IUTAM, 2004*).

### *Etude des propriétés de transport et de mélange des scalaires passifs ou réactifs ainsi que des particules dans les écoulements turbulents bidimensionnels*

En collaboration avec Kai Schneider et Carsten Beta, qui fait sa thèse à l'Université de Provence sous notre direction, nous étudions le rôle des tourbillons cohérents, extraits à l'aide du filtre CVS, sur les propriétés d'advection et de mélange de scalaires passifs ou réactifs, ainsi que des particules. Nous avons montré (*Com. Nonlinear Sci. and Num. Simulation, 2003*) que ceux-ci sont responsables de la diffusion anormale et gouvernent le taux de réaction chimique, ainsi que le transport des particules. Par contre l'écoulement résiduel incohérent donne lieu à une diffusion classique, et ne contribue au taux de réaction et au transport des particules que sous la forme d'une perturbation aléatoire Gaussienne. Ceci prouve *a posteriori* que le filtre CVS est pertinent du point de vue dynamique et que l'élimination de l'écoulement résiduel à chaque pas de temps modélise bien la viscosité turbulente. Nous avons également montré que l'écoulement cohérent présente les mêmes propriétés d'alignement entre les gradients de vorticités et la seconde direction principale du tenseur de déformation que l'écoulement total, ce qui n'est plus vrai pour l'écoulement

incohérent. Ceci nous apporte ainsi la preuve que le filtre CVS retient bien la cascade turbulente qui affecte toutes les échelles, alors que l'écoulement incohérent, qui est également multi-échelles, ne contribue pas à la cascade et joue un rôle purement diffusif. Nous avons étudié le couplage entre la dynamique turbulente et la chimie de différentes espèces présentant plusieurs types de réactions et montré que le filtrage CVS préserve bien le taux de réactivité dans tous les cas (*Chem. Ing. Tech., 2002, Chem. Eng. Sci., 2003*). Carsten Beta a présenté ces résultats lors de la dernière conférence annuelle de l'American Physical Society à Newark (*Bull. Amer. Phys. Soc. 2002*).

### *Caractérisation de l'intermittence et comparaison des filtrages LES et CVS*

En collaboration avec Kai Schneider et Nicholas Kevlahan, professeur à l'Université Mc Master (Canada), nous avons développé un ensemble de diagnostics permettant de quantifier l'intermittence dans les écoulements turbulents (*Les Houches, 2002, IPSL, 2002, World Scientific, 2004*). Nous avons en particulier montré que les fonctions de structure d'ordre  $p$  peuvent être vues comme des transformées en ondelettes utilisant une ondelette singulière (différence de deux Diracs) et sont par conséquent insensibles aux comportements en lois d'échelle des exposants d'ordre  $p$  si elles varient plus vite que  $p$ . Ceci explique pourquoi en turbulence 2D les fonctions de structures de la vitesse sont de mauvais estimateurs statistiques dès que les pentes spectrales sont supérieures à  $-3$ . Par contre l'analyse en ondelettes ne présente pas cette difficulté à condition que l'ondelette choisie soit suffisamment régulière. En collaboration avec Bartek Protasz de l'Université McMaster au Canada, nous avons montré que les propriétés d'alignement entre les gradients de vorticité et la seconde direction principale du tenseur de taux de déformation sont préservées par les contributions cohérentes. Nous avons ensuite comparé le filtrage CVS et le filtrage LES (Large Eddy Simulation) du point de vue de ces alignements et trouvé que le filtre CVS préserve bien ceux-ci, ce qui n'est pas le cas du filtre LES (*Phys. Rev. E, 2002*). Ce résultat prouve que le filtrage CVS rend mieux compte de la cascade turbulente que le filtre LES car il respecte bien les gradients qui sont essentiels pour le calcul des termes non linéaires.

### *Calcul des écoulements autour d'obstacles en combinant la méthode CVS et la méthode de pénalisation en volume*

En collaboration avec Nicholas Kevlahan et Kai Schneider, nous avons combiné la méthode de pénalisation en volume, proposée en 1984 par Jean-Paul Caltagirone, et la méthode CVS pour traiter le cas des écoulements en présence de parois ou d'obstacles. Cette pénalisation des équations de Navier-Stokes consiste à ajouter un terme de loi de Darcy à celles-ci, terme qui contient un masque décrivant les parois solides et rend compte du fait que le fluide est perméable tandis que le solide est imperméable (*Flow, Turbulence and Combustion, 2001*). En combinant les deux méthodes, nous avons calculé différents écoulements turbulents bidimensionnels : sillage d'un cylindre (*Appl. Comput. Harm. Anal., 2002*), sillage d'une plaque avec ou sans riblet (*Bull. Amer. Phys. Soc., 2002*), écoulement entre des parois ou dans un réseau de tubes (*J. Fluids and Structures, 2004*). En collaboration avec Alexandre Azzalini et Gaelle Perret, qui font tous deux leur thèse à l'Université de Paris VI sous notre direction, nous avons développé un code Saint-Venant pseudo-spectral dans lequel on pénalise les équations de l'eau peu profonde. Ces travaux ont pour but de généraliser la méthode de pénalisation en volume au cas des écoulements géophysiques, en commençant par les écoulements barotropes en rotation, afin d'étudier l'effet des ondes d'inertie-gravité et de la rotation sur l'émission tourbillonnaire dans les sillages que l'on rencontre dans l'atmosphère et les océans. Nous avons en particulier mis en évidence une

forte asymétrie entre les cyclones et les anticyclones due à la rotation du référentiel, résultat qui a été présenté par Gaelle Perret lors de la Conférence Annuelle de l'APS (American Physical Society) à Dallas en 2002 (*Bull. Amer. Phys. Soc., 2002*). Gaelle Perret a vérifié les résultats numériques ainsi obtenus avec des mesures de PIV (Particule Image Velocimetry) qu'elle a effectuées dans la cuve tournante de l'ENSTA à Palaiseau en collaboration avec Alexandre Stegner, chercheur du LMD avec lequel nous collaborons étroitement et qui co-encadre son travail de thèse. Elle a présenté ces comparaisons entre expérience numérique et expérience de laboratoire lors de la conférence internationale sur les écoulements en eau peu profonde qui s'est tenue à l'Université de Delft en Juin 2003 (*Symp. Shallow Flows, 2003*) et lors du colloque international Euromech sur les tourbillons qui s'est tenu à Paris en Septembre 2004.

### *Application des ondelettes à l'étude des écoulements turbulents tridimensionnels : étude dynamique et statistique des tubes de vorticité*

En collaboration avec Kai Schneider et Giulio Pellegrino, nous avons généralisé la méthode CVS au cas des champs vectoriels tridimensionnels (*Phys. Rev. Lett., 2001*). Nous avons montré qu'elle extrait mieux les tubes de vorticité que la méthode LES (Large Eddy Simulation), ceci en terme de taux de compression, ainsi que d'homogénéité, de Gaussianité et de décorrélation des composants éliminés qui doivent être modélisés statistiquement (*Phys. Fluids, 2003*). Nous avons aussi vérifié que les tubes de vorticité contribuent pour l'essentiel à l'hélicité, tandis que l'écoulement résiduel éliminé présente une hélicité négligeable, ce qui n'est pas le cas de l'écoulement à petite échelle éliminé par la méthode LES. Nous avons appliqué le filtre CVS à différents écoulements turbulents tridimensionnels incompressibles: homogènes et isotropes, à des couches de mélange tridimensionnelles pleinement développées, et à un jet turbulent tridimensionnel dans la tropopause atmosphérique (*IUTAM, 2002*). Pour ces différents écoulements tridimensionnels, dont le nombre de Reynolds basé sur la micro-échelle de Taylor est compris entre 150 et 200 (soit un nombre de Reynolds de  $4 \cdot 10^4$ ), nous avons montré que la contribution cohérente, qui est représentée par seulement 3% des modes, contient 99% de l'énergie et rend compte parfaitement de la PDF de la vitesse et du spectre d'énergie total, tandis que la contribution incohérente est Gaussienne et décorrélée pour la vitesse. Nous avons été invités au Japon par le Prof. Yukio Kaneda de l'université de Nagoya pour traiter les écoulements turbulents homogènes qu'il a calculés sur le 'Earth Simulator' jusqu'à une résolution  $4096^3$ , ce qui correspond à un nombre de Reynolds construit sur la micro-échelle de Taylor de 700 (soit un nombre de Reynolds de  $5 \cdot 10^5$ ). Cette étude nous permettra de mesurer comment le taux de compression obtenu par filtrage en ondelettes évolue quand la résolution et le nombre de Reynolds augmentent. Cette information est critique quant à la poursuite du développement de la méthode CVS.

### *Application des ondelettes à l'étude du transport turbulent dans les plasmas chauds de type Tokamak*

Les simulations de transport radial dans les Tokamaks, basées sur différents modèles de turbulence, font toutes apparaître qu'à côté d'un transport turbulent radial de type diffusif, il existe un transport purement convectif qui met en jeu de nombreuses échelles radiales. Ce type de transport peut rendre compte d'une partie non négligeable de la chaleur et de la matière transportée du plasma vers les parois du tokamak. En collaboration avec Kai Schneider et Pascal Devynck du CEA-Cadarache, dans le cadre d'un contrat CEA-EURATOM-ENS, nous appliquons les méthodes de traitement de signal que nous avons développées en ondelettes. Celles-ci nous permettent de quantifier l'intermittence dans les

signaux turbulents mesurés au bord des plasmas chauds produits dans les tokamaks et d'extraire les structures cohérentes, ceci pour étudier séparément les deux dynamiques en jeu, celle de transport convectif et celle du transport diffusif. Les résultats que nous avons obtenus à partir de signaux mesurés dans les Tokamaks Tore-Supra du CEA-Cadarache, Blaumann de Tromso (Norvège) et Castor de Prague (Tchéquie) ont fait l'objet de trois rapports CEA-EURATOM (CEA, 2003, CEA, 2002, CEA, 2001) et ont été présentés lors de la conférence annuelle de l'European Physical Society à Saint-Petersbourg en 2003 (Conf. *Controlled Fusion*, 2003) et à l'occasion du Belgium-France-Romania Workshop on 'Statistical Physics for Anomalous Transport in Plasmas' qui s'est tenu au CEA-Cadarache en Novembre 2003.

---

## Publications 2002-2004

### 10 articles dans des revues à comité de lecture :

Kai Schneider and Marie Farge, 2004  
Numerical simulation of the transient flow behaviour in tube bundles using a volume penalisation method  
*Journal of Fluids and Structures*, soumis

Olivier Roussel, Kai Schneider and Marie Farge, 2004  
Comparison between orthogonal and biorthogonal wavelet decomposition  
To extract coherent vortices out of 3D turbulent flows  
*Journal of Turbulence*, soumis

Kai Schneider, Marie Farge, Giulio Pellegrino and Michael Rogers, 2004  
CVS filtering of 3D turbulent mixing layers using orthogonal wavelets  
*J. Fluid Mech.*, en révision

Alexandre Azzalini, Marie Farge and Kai Schneider and Kai Schneider, 2004  
Nonlinear wavelet thresholding : A recursive method to determine the optimal denoising threshold  
*Applied Computational Harmonic Analysis*, accepté

Marie Farge, Kai Schneider, Giulio Pellegrino, Alan A. Wray and Robert S. Rogallo, 2003  
Coherent vortex extraction in 3D homogeneous isotropic turbulence: comparison between CVS and POD decompositions  
*Phys. Fluids*, 15 (10), 2886-2896

Carsten Beta, Kai Schneider and Marie Farge, 2003  
Wavelet filtering to study mixing in 2D isotropic turbulence  
*Comm. in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 8 (3-4), 537-545

Carsten Beta, Kai Schneider, Marie Farge and Henning Bockhorn, 2003  
Numerical studies of the mixing of passive and reactive scalars in two-dimensional turbulent flow using orthogonal wavelet filters

*Chem. Eng. Sci.*, 58,1463-1477

Kai Schneider and Marie Farge, 2002  
Adaptive wavelet simulation of a flow around an impulsively started cylinder using penalisation  
*Applied Computational Harmonic Analysis*, 12, 374-380

Bartosz Protas, Kai Schneider and Marie Farge, 2002  
Geometrical alignment properties in Fourier and wavelet filtered statistically stationary two-dimensional turbulence,  
*Phys. Rev. E*, 66, 4, 046307

Carsten Beta, Kai Schneider, Marie Farge and Henning Bockhorn, 2002  
Numerische Simulationen von Mischung und chemischer Reaktion mit Spektralverfahren unter Verwendung von Waveletfiltern,  
*Chemie Ingenieur Technik*, 74, 1441-1444

### 13 actes de colloques à comité de lecture :

Carsten Beta, Kai Schneider and Marie Farge, 2004  
Mixing in 2D isotropic turbulence: a numerical study using orthogonal wavelet filtering  
*Advances in Turbulence*, 10, 271-274

Kai Schneider and Marie Farge  
Coherent Vortex Simulation (CVS) of a flow past a NACA airfoil 32012 at Re=1000  
*Turbulence and Shear Flow Phenomena*, 4, soumis

Marie Farge, Alexandre Azzalini, Michele Caldoro and Kai Schneider, 2004  
Rotating shallow water flow in a cylindrical container: direct numerical simulation and extraction of coherent vortices  
*Advances in Turbulence*, 10, 826

Kai Schneider and Marie Farge, 2004  
Numerical simulation of the transient flow behaviour in tube bundles using a volume penalisation method  
*Conference on Flow Induced Vibration, Ecole Polytechnique, eds. E. de Langre and F. Axia, Ecole Polytechnique, 6-9th July 2004*, 2, 39-44

Kai Schneider and Marie Farge, 2004  
Coherent Vortex Simulation (CVS) of dipole-wall interaction using volume penalisation  
*Advances in Turbulence*, 10, 621-624

Kai Schneider and Marie Farge, 2004  
Direct numerical simulation of a 2D decaying turbulence in a circular domain  
*Advances in Turbulence*, 10, 83

Marie Farge, Alexandre Azzalini, Alex Mahalov, Basil Nicolaenko, Frank Tse, Giulio Pellegrino and Kai Schneider, 2003  
Vortex tubes in shear-stratified turbulence

*Tubes, Sheets and Singularities in Fluid Dynamics, Kluwer, 217-228*

Kai Schneider and Marie Farge, 2003  
Extraction of coherent vortex tubes in a 3D mixing layer  
*Tubes, Sheets and Singularities in Fluid Dynamics, Kluwer, 211-216*

Gaële Perret, Marie Farge, Alexandre Stegner, Alexandre Azzalini and Kai Schneider, 2003  
Rotating shallow water flow past an obstacle : numerical and laboratory experiments  
*International Symposium on Shallow Flows, TU Delft, 61-66*

Kai Schneider, Mickael Paget-Goy, Giulio Pellegrino, Alberto Verga and Marie Farge, 2003  
Direct Numerical Simulation of an impulsively started, or uniformly accelerated, plate at  $Re=9500$  using wavelet method with penalisation  
*Turbulence and Shear Flow Phenomena, 3, 407-412*

Pascal Devynck, Marie Farge, Kai Schneider, 2003  
Diffusive and convective parts of the turbulent flux in the SOL of Tokamaks  
*Controlled Fusion and Plasma Physics, 27 (A), 168-173*

Kai Schneider and Marie Farge, 2002  
Coherent Vortex Simulation (CVS) of an impulsively started cylinder at  $Reynolds=3000$  using an adaptive wavelet method with penalisation  
*Advances in Turbulence, 9, 471-474*

Giulio Pellegrino, Kai Schneider and Marie Farge, 2002  
Coherent Vortex Simulation of a three-dimensional temporally developing turbulent mixing layer  
*Advances in Turbulence, 9, 341-344*

### **7 communications à des congrès sans comité de lecture :**

Marie Farge, Michele Caldro, Alexandre Azzalini, Kai Schneider, Jori Ruppert-Felsot, Olivier Praud, Eran Sharon and Harry Swinney, 2003  
Nonlinear dynamics of coherent vortices in a rotating turbulent flow: comparison between numerical and laboratory experiments  
*Bull. Amer. Phys. Soc., 48 (10), 139*

Gaële Perret, Marie Farge, Alexandre Stegner, Alexandre Azzalini and Kai Schneider, 2003  
The effect of rotation on a shallow water flow past a cylinder: comparison between numerical and laboratory experiments  
*Bull. Amer. Phys. Soc., 48 (10), 139*

Jori Ruppert-Felsot, Olivier Praud, Eran Sharon, Harry Swinney, Michele Caldro, Marie Farge, Alexandre Azzalini and Kai Schneider, 2003  
Comparison between wavelet packets and wavelets for coherent vortex extraction in a rotating turbulent flow  
*Bull. Amer. Phys. Soc., 48 (10), 139*

Kai Schneider, Giulio Pellegrino, Marie Farge and Michael Rogers 2003  
CVS-filtered turbulent 3D mixing layers

*Bull. Amer. Phys. Soc., 48 (10), 153*

Carsten Beta, Kai Schneider and Marie Farge, 2003  
Study of mixing in two-dimensional turbulence  
*Bull. Amer. Phys. Soc., 48 (10), 186*

Marie Farge, Gaële Perret, Alexandre Azzalini and Kai Schneider, 2002  
Numerical simulation of rotating shallow water flow past a cylinder using spectral method and Brinkman penalisation  
*Bull. Amer. Phys. Soc., 47 (10), 58*

Kai Schneider, Mickael Paget-Goy, Giulio Pellegrino and Marie Farge, 2002  
Numerical simulation of an impulsively started plate with riblet at  $Re=9500$  using wavelet and Fourier methods with penalisation  
*Bull. Amer. Phys. Soc., 47 (10), 33*

### **3 chapîtres d'ouvrages :**

Kai Schneider, Marie Farge and Nicholas Kevlahan, 2004  
Spatial intermittency in turbulence: a wavelet approach  
*In honour of Dennis Sullivan, World Scientific, à paraître*

Kai Schneider, Marie Farge, 2002  
Coherent Vortex Simulation (CVS) of 2D bluff body flows using an adaptive wavelet method with penalisation  
*Numerical Flow Simulation III, 82, ed. E. H. Hirschel, Springer, 261-270*

Marie Farge and Kai Schneider, 2002  
Analyzing and computing turbulent flows using wavelets  
*Cours des Houches LXXIV, New trends in turbulence, ed. M. Lesieur, A. Yaglom and F. David, Springer, 453-503*

### **5 publications dans des revues sans comité de lecture :**

Alexandre Azzalini, Marie Farge and Kai Schneider, 2004  
A recursive algorithm for nonlinear wavelet thresholding : applications to signal and image processing  
*Note IPSL, 43, Mars 2004*

Marie Farge, Kai Schneider et Pascal Devynck, 2003  
Extraction des événements cohérents et estimation des flux de particules dans les signaux de plasma de bord à l'aide des ondelettes et des paquets d'ondelettes  
*Rapport interne, CEA-EURATOM, Cadarache, 1-47*

Marie Farge and Kai Schneider, 2002  
Analysing and compressing turbulent fields with wavelets  
*Note IPSL, n°20, April 2002*

Marie Farge, Kai Schneider et Pascal Devynck, 2002

Analyse en ondelettes de signaux de plasmas de bord, et extraction des événements cohérents  
*CEA-EURATOM, Cadarache, 1-77*

Marie Farge, Kai Schneider et Pascal Devynck, 2003  
Wavelet analysis and coherent structures extraction to study turbulent transport in confined hot plasmas  
*Rapport interne, CEA-EURATOM, Cadarache, 1-34*

---

### Conférences invitées dans des congrès et des écoles d'été 2002-2004

#### 20 conférences invitées :

IV Escola de Primavera de '*Transição e Turbulência*', Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (Brésil), 27 Septembre-1 Octobre 2004

IMS-IDR-CWAIP International Workshop on '*Data Representation*',  
Singapour, 16-20 Août 2004

International Conference on '*Wavelet theory and Applications : New Directions and Challenges*', Singapour, 10-14 Août 2004

International Summer School on '*Vortices : a Unifying Concept in Physics*',  
Cargèse, 5-16 Juillet 2004

2003 Belgium-France-Romania Conference on '*Statistical physics for anomalous transport in plasmas*', CEA-Cadarache, 3-14 Novembre 2003

International Workshop on '*Immersed Boundaries and Penalization methods for Vortex Flows*', Saint-Pierre-de-Chartreuse, 18-20 Septembre 2003

International Summer School on '*Advanced Computational Fluid Dynamics*',  
Autrans, 24 Août -5 Septembre 2003

International Workshop on '*Numerical and Analytical Methods in Solving Nonlinear PDEs*', CERMICS, Université de Marne-la-Vallée, 30 Juin -2 Juillet 2003

International Summer School on '*Mathematical Techniques and Tools for Data Analysis and Modelling of Intermittent Structures*', Burgers Center, Leyden (Hollande), 23-28 Juin 2003

International Workshop on '*Cooperative Analysis of Large Datasets in Turbulence*',  
Université Computense, Madrid, 23-24 Juin 2003

Colloque sur '*Méthodes Mathématiques pour le Traitement d'Images*',  
Université Paris VI, 17 Juin 2003

International Conference on '*Applicable Harmonic Analysis*',  
BIRS, Pacific Institute for Mathematical Sciences, Banff (Canada), 7-12 Juin 2003

Colloque sur '*Equations de Navier-Stokes*',  
Centre de Mathématique et d'Informatique, Université de Provence, Marseille, 27 Mars 2003

Journée CEA/CNRS/Universités, Cadarache, 12 et 13 Décembre 2002

Ecole d'Été sur '*Mathematical Methods in Image Processing*',  
Centre d'Été de Mathématiques et de Recherche Avancée en Calcul Scientifique (CEMRACS), Centre International de Rencontres Mathématiques (CIRM), Luminy, Marseille, 21 Juillet au 31 Août 2002

Workshop International sur '*Chaotic Transport and Complexity in Classical and Quantum Dynamics*', Carry-Le-Rouet, 24 au 28 Juin 2002,

Workshop International sur '*Navier-Stokes: Theory meets Simulations*',  
CMI, Université de Provence, Marseille, 24 Juin 2002

Ecole Internationale sur '*Turbulence: measurements and signals*',  
Cargèse, 13-25 Mai 2002

Workshop International CEE-TMR sur '*Wavelets and multiscale methods in numerical analysis and simulation*', Funchal (Portugal), 11-12 Mars 2002

Journée Franco-allemande sur '*Mécanique numérique de haute performance*',  
ESM2, Marseille, 25 Février 2002

---

### Encadrement de la recherche 2002-2004

#### Collaborateurs :

-Kai Schneider,  
*Professeur de Mathématiques Appliquées et de Mécanique, Université de Provence, Marseille,*  
*Professeur détaché auprès du CNRS-SPI à partir de Septembre 2004*  
-Bartek Protas,  
*Professeur de Mathématiques Appliquées, Mc Master University (Canada),*  
*Professeur invité CNRS-SPI, Septembre-Décembre 2003 et Mai-Juin 2004*  
-Horia Hangan,  
*Professeur de Mécanique, University of Western Ontario (Canada),*  
*Professeur invité ENS et ESPCI, Juillet-Novembre 2003 et Mars-Avril 2004*

### Thésards :

-Carsten Beta,

UER de Mécanique, Université d'Aix-Marseille I,  
codirigée avec Kai Schneider, 2003-...

-Gaele Perret,

UER de Mécanique, Université Paris VI,  
codirigée avec Alexandre Stegner, 2002-...

-Alexandre Azzalini,

UER de Mécanique, Université Paris VI,  
codirigée avec Kai Schneider, 1999-2004

-Giulio Pellegrino,

UER de Mécanique, Université d'Aix-Marseille II,  
codirigée avec Kai Schneider, 1999-2004

-Jorg Ziuber,

Institut für Chemische Technik, Universität de Karlsruhe (Allemagne),  
codirigée avec Henning Bockhorn et Kai Schneider, 1997-2003

Doctorat obtenu en 2003

### Post-doctorants :

-Olivier Roussel,

financé par le GDR Franco-allemand de Mécanique des Fluides Numériques, 2003

### Stagiaires :

-Claire Donnadieu,

stage de PPL, ENSTA, Avril à Juin 2003,  
coencadré avec Alexandre Stegner

-Michele Caldro,

stage de fin d'études, ENSTA et Politecnico di Milano, Mars à Octobre 2003  
Diplôme ENSTA et diplôme du Politecnico di Milano obtenus en 2004

-Thorben Kotzbacher,

Diplom Arbeit en mécanique, Université Technique de Berlin (Allemagne),  
Mars à Juillet 2002,

co-encadré avec Frank Thiele, Technische Universität, Berlin,  
diplôme obtenu en Septembre 2002

-Gaele Perret,

DEA en dynamiques des fluides et des transferts, Universités Paris VI et Paris XI,  
Avril à Juin 2002,

co-encadrée avec Alexandre Azzalini, LMD, Paris  
diplôme obtenu en Juin 2002 et 2<sup>ème</sup> du DEA

-Michele Caldro,

stage de PPL, 2<sup>ème</sup> année ENSTA, Paris, Avril à Juin 2002,  
Mars à Juin 2002, meilleure note de la promotion

-Antonio Merulla,

stage de PPL, 2<sup>ème</sup> année ENSTA, Paris, Avril à Juin 2002,  
Mars à Juin 2002, meilleur note de la promotion

-Mickael Paget-Goy,

stage de 2<sup>ème</sup> année ESM2, Marseille, Avril à Septembre 2002,  
co-encadré avec Kai Schneider, L3M, Marseille,

-Nishant Raizada,

stage de Master of Science, Indian Institute of Technology, Kanpur (Inde),  
Mai à Juillet 2002,

co-encadré avec Guillemette Caulliez, IRPHE-IOA, Marseille,  
Mai à Juillet 2002

---

## Enseignement 2002-2004

Tutorat de deux étudiantes Normaliennes du Magistère de 'Sciences de la Terre', ENS-Ulm :  
Claire Menesguen et Aline Govin.

### Cours donnés en 2004 : 78h C.M. + 20h T.D.

-20h de cours et 20h de T.D.

'Transformée de Fourier, transformées en ondelettes et en paquets d'ondelettes :  
applications au traitement de signal et au traitement d'image'

CNRS-Formation-Entreprises et Formation Permanente du CNRS-DR4,

Gif-sur-Yvette, Septembre 2004,

formation permanente destinée aux chercheurs de l'industrie et des laboratoires CNRS,  
niveau 3<sup>ème</sup> cycle

-4h de cours

Ecole Internationale de Printemps sur 'Transition et Turbulence', Université Fédérale du Rio  
Grande do Sul, Porto Alegre (Brésil), Octobre 2004

niveau 3<sup>ème</sup> cycle

-24h de cours

'Expérimentation numérique pour l'étude de la turbulence'

ENSTA, module de Dynamique des Fluides Numériques, Paris, Octobre à Décembre 2004,  
niveau 3<sup>ème</sup> cycle

-2h de cours

Ecole Internationale d'Été sur 'Vortices: a Unifying Concept in Physics', Cargèse, Juillet  
2004

niveau 3<sup>ème</sup> cycle,

-28h de cours

'Mécanique des fluides numérique'

EGIM, Marseille, Mars à Mai 2004

niveau 2<sup>nd</sup> cycle

### Cours donnés en 2003 : 98h C.M. et 40h T.D.

-20h de cours et 20h de T.D.

'Transformée de Fourier, transformées en ondelettes et en paquets d'ondelettes :  
applications au traitement de signal et au traitement d'image'

CNRS-Formation-Entreprises, Gif-sur-Yvette, Décembre 2003,

formation permanente destinée aux chercheurs de l'industrie et des laboratoires CNRS,  
niveau 3<sup>ème</sup> cycle

-24h de cours

*'Modélisation physique des écoulements turbulents incompressibles'*

ENSTA, module de Dynamique des Fluides Numériques, Paris, Novembre à Décembre 2003,  
niveau 3<sup>ème</sup> cycle

-20h de cours et 20h de T.D.

*'Transformée de Fourier, transformées en ondelettes et en paquets d'ondelettes : applications au traitement de signal et au traitement d'image'*

CNRS-Formation-Entreprises et Formation Permanente du CNRS-DR4,  
Gif-sur-Yvette, Septembre 2003,

formation permanente destinée aux chercheurs de l'industrie et des laboratoires CNRS,  
niveau 3<sup>ème</sup> cycle

-2h de cours

Ecole d'Eté Internationales sur *'Advanced Computational Fluid Dynamics'*, Autrans,  
niveau 3<sup>ème</sup> cycle,

-4h de cours

Ecole d'Eté Internationale sur *'Mathematical Techniques and Tools for Data Analysis and Modelling of Intermittent Structures'*, Burgers Center, Leyden, Juin 2003

niveau 3<sup>ème</sup> cycle,

-28h de cours

*'Expérimentation numérique en physique et en mécanique'*

EGIM, Marseille, Mars à Mai 2003

niveau 2<sup>nd</sup> cycle

### **Cours donnés en 2002 : 70h C.M. + 20h T.D.**

-24h de cours

*'Modélisation physique des écoulements turbulents incompressibles'*

ENSTA, module de Dynamique des Fluides Numériques, Novembre et Décembre 2002,  
niveau 3<sup>ème</sup> cycle

-3h de cours

International School on *'Turbulence: measurements and signals'*, Cargèse,

niveau 3<sup>ème</sup> cycle

-28h de cours

*'Expérimentation numérique en physique et en mécanique'*

ESM2, Marseille, Mars, avril et Mai 2002,

niveau 2<sup>nd</sup> cycle

-20h de cours et 20h de T.D.

*'Transformée de Fourier, transformées en ondelettes et en paquets d'ondelettes: théorie et applications en traitement de signal et traitement d'image'*

CNRS-Formation-Entreprises et Formation Permanente du CNRS-DR4,

Gif-sur-Yvette, Septembre 2002,

formation permanente destinée aux chercheurs de l'industrie et des laboratoires CNRS,  
niveau 3<sup>ème</sup> cycle

-2h de cours

Ecole Doctorale SMAE, Université Paris VI

Ateliers d'histoire et de philosophie des sciences

*'Modélisation de la turbulence'*

niveau 2<sup>nd</sup> cycle

## **Valorisation de la recherche 2002-2004**

Depuis 2001 je travaille pour le CEA-Cadarache dans le cadre d'un **contrat CEA-EURATOM-ENS** sur *'Analyse en ondelettes des signaux du Tokamak Tore Supra et extraction des structures cohérentes pour le transport turbulent dans les plasmas'*. Cette collaboration se poursuit et elle a donné lieu à plusieurs communications dans des conférences internationales sur la fusion contrôlée. De plus nous sommes en train de rédiger un article que nous allons soumettre au *'Journal of Plasma Physics'*.

Les cours que je donne tous les ans depuis 1997 dans le cadre de la **Formation Permanente du CNRS** et de **CNRS-Formation-Entreprises** sur *'Transformée de Fourier, transformées en ondelettes et en paquets d'ondelettes : applications au traitement de signal et au traitement d'image'* sont suivis par des chercheurs travaillant dans des laboratoires CNRS ou universitaires, mais surtout dans des entreprises industrielles, publiques ou privées, entre autres : *Solvay* (Belgique), *Centre National de Recherche sur le Papier* (Norvège), *Bosch Systèmes de Freinage*, *Institut Pasteur*, *Institut Curie*, *Dassault-Aviation*, *L'Oréal*, *Institut National de l'Audiovisuel*, *INRA*, *ONERA*, *CEA-Euratom*, *CNES*, *Thalès*, *Météo-France*, *CEA-DAM*, *Centre de Recherche des Ponts et Chaussée*, *CEMAGREF*, *Centre Technique de la Gendarmerie*, *IRD*, *Centre de Recherche de la Police Technique et Scientifique*. De tels cours contribuent à la diffusion auprès de l'industrie des méthodes que j'ai développées avec mes étudiants et collaborateurs, probablement de façon aussi efficace que le dépôt de brevet, tout en rapportant de l'argent au CNRS, ce qui est rarement le cas avec les brevets.

De mon expérience de la communauté développant la théorie et les applications des ondelettes, communauté à laquelle j'appartiens depuis ses débuts en 1984, j'ai observé que le dépôt de brevets par plusieurs de mes collègues a été contre-productif pour notre créativité scientifique. En effet, les échanges deviennent alors confidentiels (au moins pendant un certain temps) ce qui nuit à la confiance mutuelle entre nous, alors que celle-ci doit rester la base de notre collaboration. Je suis pour le dépôt de logiciel 'Open Source' et contre le dépôt de brevet, car ceci entrave la libre circulation des idées. De plus, le dépôt de brevet retarde la publication des articles et ne sert à rien étant donné que le CNRS n'est pas vraiment en mesure de poursuivre les entreprises qui utiliseraient indûment. Par contre je suis pour le dépôt de **logiciels 'Open Source'**, car il permet de protéger les codes et de les diffuser en toute sécurité. Faute de pouvoir disposer d'un ingénieur informaticien, ce que je demande depuis plusieurs années, je n'ai malheureusement pas encore pu le faire et me contente de donner mes codes sans la moindre garantie quant à l'usage qui en sera fait.

---

## **Diffusion et animation de la recherche 2002-2004**

### Au niveau national :

- Organisation du Colloquium de l'ENS sur 'La réforme de la recherche' avec Roger Fauroux, Jean-Jacques Salomon et Yves Farge, Paris, 27 Mai 2004
- Membre du groupe de travail de l'IPSL sur 'Statistiques et Climat' depuis sa création en 1999
- Membre du GDR 'Turbulence' depuis sa création en 1999

### Au niveau national à destination du grand public :

- Deux conférences sur 'A quoi servent les mathématiciennes et les mathématiciens?' dans le cadre de la journée 'Fête des Maths 2002: Ain Terre Maths', Lycée International de Ferney-Voltaire, 11 Mars 2004
- Deux conférences sur 'A quoi servent les maths?' dans le cadre de la journée 'Fête des Maths 2002: Ain Terre Maths', Lycée International de Ferney-Voltaire, 28 Mars 2002

### Au niveau international :

- Membre du comité de rédaction des journaux:  
*Applied and Computational Harmonic Analysis* publié par Elsevier,  
*Journal of Fourier Analysis and Application* publié par Birkhäuser
- Organisation du Colloque International Euromech n°454 sur 'LES, CVS and Vortex Methods to Study Turbulence', Centre International de Rencontres Mathématiques, Marseille, 14-16 Avril 2004,  
en collaboration avec Kai Schneider, Marseille
- Organisation de la Conférence Internationale sur 'Applicable Harmonic Analysis', BIRS, Pacific Institute for Mathematical Sciences, Banff (Canada), 7-12 Juin 2003,  
en collaboration avec Victor Wickerhauser, Saint-Louis (USA)
- Organisation du Workshop International sur 'Dynamical Systems and Statistical Mechanics for Transport and Mixing in Geophysical Flows', IPSL, 18-19 Décembre 2002
- Membre du programme européen CEE-TMR sur 'Wavelets and Multiscale Methods in Numerical Analysis and Simulation', depuis sa création en 1998, auquel participent les universités Paris VI, Grenoble, Marseille, Pavie et Turin (Italie), Aachen (Allemagne) et Valencia (Espagne)
- Membre du GDR Franco-allemand 'Computational Fluid Mechanics' depuis sa création en 1996, auquel participent plus de 30 laboratoires ou universités françaises et allemandes et co-financé par la DFG allemande et le CNRS-SPI

### Au niveau international à destination du grand public :

- Préparation de films et d'articles pour un CD sur la turbulence dans le cadre du projet 'Multimedia Fluid Mechanics' cofinancé par CUP (Cambridge University Press) et la NSF (National Science Foundation),
- Préparation d'une série de posters pour l'Année Mondiale de la Physique 'World Physical Year 2005' à la demande de l'APS (American Physical Society).

---

## Organisation de la recherche 2002-2004

Membre du Conseil Laboratoire du LMD, élue de 1999 à 2000, puis nommée de 2000 à 2002

Membre nommé du 'Fluid Dynamics Committee' de l'APS (American Physical Society)

### Contrats dont je suis responsable :

#### 2001-2004

Contrat CEA-Euratom-ENS sur 'Analyse en ondelettes des signaux du Tokamak Tore Supra et extraction des structures cohérentes pour le transport turbulent dans les plasmas chauds' en collaboration avec le Département de Physique des Plasmas et de la Fusion Contrôlée du CEA-Cadarache

#### 2002-2004

Contrat franco-allemand CNRS-DFG sur 'Numerical Simulation of Turbulent Flows in Complex Geometries using the CVS approach based on orthonormal wavelet decomposition', avec l'Institut de Génie Chimique de l'Université de Karlsruhe (Allemagne) et le Laboratoire de Modélisation et de Simulation Numérique en Mécanique de Marseille

### Contrats auxquels je participe :

#### 2002-2006

Contrat CEE-IHP sur 'Wavelets and Multiscale Methods in Numerical Analysis and Simulation', en collaboration avec les universités Paris VI, Grenoble, Marseille, Pavie et Turin (Italie), Aachen (Allemagne) et Valencia (Espagne)

#### 2002-2004

Contrat PATOM (Programme national ATmosphère et Ocean a Multi-echelles) sur 'Modulation hydrodynamique des vagues de courte longueur d'onde à la surface des océans' en collaboration avec Guillemette Caulliez de l'IRPHE-IOA, Marseille

#### 2003-2004

Contrat PATOM (Programme national ATmosphère et Ocean a Multi-echelles) sur 'Turbulence proche de la surface' en collaboration avec Philippe Drobniski, Service d'Aéronomie

---

## Place au sein du LMD et de l'IPSL

Je suis rattachée à la section 10 du département SPI et travaille au Laboratoire de Météorologie Dynamique (LMD) qui est une unité du département SDU. Le LMD est lui-même rattaché à l'Institut Pierre Simon Laplace (IPSL), qui regroupe plusieurs laboratoires étudiant la climatologie et les problèmes d'environnement. Je suis membre du conseil de laboratoire du LMD depuis 1999. Ma spécialité est l'étude des écoulements turbulents par simulation numérique. Mon apport principal à ce domaine de recherche a été l'introduction de la représentation en ondelettes pour l'analyse et le calcul des écoulements turbulents. J'ai participé au **développement de la théorie des ondelettes** dès ses débuts en 1984, ce qui reste une des expériences les plus enrichissantes de ma carrière scientifique, en particulier du point de vue de l'interdisciplinarité. En effet, la communauté

des chercheurs travaillant sur les ondelettes était à l'époque très petite, une vingtaine de personnes, et réunissait des physiciens théoriciens, des mathématiciens purs et appliqués, et des spécialistes du traitement de signal et d'images. A partir de 1987 nous nous réunissons plusieurs fois par an au CIRM (Centre International de Rencontres Mathématiques) à Marseille grâce au GDR 'Ondelettes', qui était financé par le département SPM du CNRS et la société Elf. Je maintiens une forte collaboration avec une partie des chercheurs travaillant sur ondelettes, communauté qui compte aujourd'hui des dizaines de milliers de personnes à travers le monde, et je suis éditeur dans les deux revues internationales consacrées aux ondelettes. Depuis deux ans je rédige à la demande de Cambridge University Press, et en collaboration avec Kai Schneider, un ouvrage intitulé 'Ondelettes et Turbulence'.

Le LMD n'est pour l'instant pas organisé en équipes (ce que je regrette) mais en thèmes, et j'y anime le thème '**Ondelettes**'. Plus d'une dizaine de chercheurs et de doctorants du LMD ont suivi le cours sur les ondelettes que je donne depuis 1997 dans le cadre de la formation permanente du CNRS. Je collabore avec le LMD-Polytechnique qui se trouve à Palaiseau pour analyser en ondelettes les signaux turbulents mesurés dans la couche limite atmosphérique par Philippe Drobinski et les chercheurs du SIRT-IPSL, programme pour lequel nous avons obtenu le soutien du **programme PATOM** (Programme Atmosphère, Terre, Océans Multi-échelles). J'ai invité Horia Hangan, un expérimentateur spécialiste de la couche limite atmosphérique et responsable d'une équipe au 'Davenport Boundary Wind Tunnel' à London, Ontario (Canada), à venir passer 6 mois en France, en collaboration avec Eduardo Wesfreid de l'ESPCI, et nous sommes en train d'écrire un article où nous comparons les mesures d'Horia Hangan à celles de Philippe Drobinski. Je participe aussi, depuis sa création en 1999 par Alain Chédin du LMD-Polytechnique, au **groupe de travail de l'IPSL sur 'Climat et Statistiques'**. En Décembre 2002 j'ai organisé à l'IPSL un workshop international CNRS-NSF sur '*Dynamical Systems and Statistical Mechanics Methods for Transport and Mixing in Geophysical Flows*'.

Depuis mon arrivée au LMD en 1981, j'ai développé un code pseudo-spectral intégrant les équations de Saint-Venant dans un référentiel en rotation, pour étudier en particulier les interactions entre les tourbillons géostrophiques et les ondes d'inertie-gravité en régime turbulent. En collaboration avec Kai Schneider et Alexandre Azzalini (doctorant en Mécanique, Université Paris VI), j'ai modifié ce code pour prendre en compte des parois et des obstacles solides, pouvant être de forme complexe, en utilisant la méthode de pénalisation en volume proposée par Jean-Paul Caltagirone. La validation de cette nouvelle version du code et la réalisation de plusieurs expériences numériques, dont les résultats sont comparés avec ceux des expériences de laboratoire effectuées par Alexandre Stegner du LMD-ENS dans la cuve tournante de l'ENSTA à Palaiseau, est l'objet de la thèse de Gaelle Perret (doctorante en Mécanique, Université Paris VI). Le **code 'Saint-Venant'** est à la disposition de tous les chercheurs du LMD qui souhaitent l'utiliser. Julien Le Sommer (doctorant en Sciences de l'Environnement, Université Paris VI) travaillant au LMD sous la direction de Vladimir Zeitlin est intéressé par cette offre. Le problème du rôle des ondes d'inertie-gravité et de la rotation, en présence ou non d'obstacles, intéresse plusieurs chercheurs du LMD, en particulier Alexandre Stegner, François Lott, Jean-Philippe Duvel, Hector Teitelbaum, François Vial et Vladimir Zeitlin.

---

## Moyens de recherche

J'ai au cours des 10 dernières années réuni et formé une dizaine de chercheurs, ayant entre 20 et 40 ans, qui développent les idées que j'ai proposées pour étudier la turbulence à l'aide des ondelettes. Nous fonctionnons en réseau entre Paris (LMD), Marseille (IRPHE et LMSNM), Karlsruhe (Institut für Chemische Technik, Universität Karlsruhe), Berlin (Fritz Haber Institut des Max Planck Gesellschaft) et Hamilton (Université McMaster) au Canada. Nous sommes en contact permanent par internet et par téléphone, nous nous rencontrons plusieurs fois par an et nous publions ensemble. Nous collaborons avec d'autres équipes aux Etats-Unis (Tempe, Stanford, Santa Barbara), au Canada (London, Ontario) et au Japon (Nagoya). Ces collaborations internationales ont grandement bénéficié de l'obtention régulière de postes de professeurs invités : Basil Nicolaenko (Tempe, USA, 3 mois en 1999, poste ENS), Nicholas Kevlahan (Hamilton, Canada, 3 mois en 2000, poste CNRS-SDU), Alex Mahalov (Tempe, USA, 3 mois en 2001, poste CNRS-SPI), Joel Ferziger (Stanford, USA, 1 mois en 2002, poste ENS), Bartek Protas (Hamilton, Canada, 6 mois en 2003 et 2004, poste CNRS-SPI) et Horia Hangan (London, Canada, 1 mois en 2004, poste ENS). Mon souhait est de **pérenniser cette équipe**, de lui donner des moyens de travail adéquats. Depuis 10 ans je reçois des offres d'universités à l'étranger, que j'ai été à plusieurs reprises tentée d'accepter, mais je préférerais d'abord explorer les différentes solutions possibles en France pour faire vivre cette équipe. C'est la raison pour laquelle je vais maintenant faire le point sur ce qui ne marche pas bien et qui pourrait être amélioré.

Je déplore depuis des années un **manque de soutien informatique** qui nuit au travail de mon équipe. Lors de l'exercice de prospective de 1996 du LMD j'écrivais : '*Nous ne pouvons poursuivre le programme de travail proposé ici que si l'activité informatique de notre équipe est coordonnée par un informaticien professionnel. Il est contre-productif de confier cette tâche à un chercheur, un thésard ou un stagiaire, car il faut avoir une bonne connaissance et une pratique des techniques d'atelier logiciel permettant d'organiser et de maintenir des bibliothèques de programmes et des bases de données. La mise à disposition d'un ingénieur informaticien me semble une condition sine qua non pour poursuivre notre activité d'expérimentation numérique. Si nous n'arrivons pas à obtenir ce soutien il nous faudra abandonner celle-ci et orienter notre travail vers des études plus théoriques qui s'appuieront sur des expérimentations numériques à haute résolution effectuées par d'autres équipes à l'étranger avec lesquelles nous développerons des collaborations.*' Malheureusement nous en sommes toujours au même point aujourd'hui et notre équipe doit se contenter, comme je le prévoyais, de traiter des résultats de turbulence tridimensionnelle calculés à l'étranger (NASA, ASU, Japon) et de donner nos codes pour que d'autres fassent les calculs à notre place (ce que nous avons déjà fait avec Bartek Protas au Canada, Basil Nicolaenko aux Etats-Unis et allons faire avec Yukio Kaneda au Japon).

LMD-ENS ne dispose que d'un informaticien (excellent mais employé seulement à mi-temps) pour s'occuper du réseau pour plus de 30 personnes, et d'un autre informaticien travaillant à plein temps sur le Modèle de Circulation Générale du LMD mais pas sur les codes de turbulence. Depuis 1981, date de mon arrivée au LMD, je n'ai été aidée qu'une seule fois par un informaticien, qui a fait les sorties graphiques pour un article, ce dont je l'ai remercié en le mettant co-auteur de mon premier article sur les ondelettes (*CRAS, 1988*). Si le travail de thèse d'un de mes doctorants a pris beaucoup de retard, c'est, entre autre, faute de soutien informatique adéquat, car il a dû convertir en Fortran 90 le code Saint-Venant que j'avais écrit en Fortran 77, ce pourquoi il n'était pas suffisamment qualifié en terme de méthode de travail en informatique. J'ai dû passer beaucoup de temps ensuite à tester et réorganiser ce code. J'ai aussi constitué une bibliothèque de programmes d'analyse et de filtrage en ondelettes (à 1, 2, 3, ...n dimensions, à la fois continues et orthogonales, écrits en Fortran, en C et en Matlab) que j'ai développée depuis 1988 avec mes étudiants. Ceci représente un savoir-faire précieux mais qui est en train de se perdre faute de

développements informatiques suffisants. Aussi longtemps que ce problème n'aura pas été résolu, je n'envisage pas de prendre de nouveaux étudiants en thèse car cela nuit trop à la qualité et à la pérennité de leur travail. C'est la raison pour laquelle je n'ai pas pris d'étudiant en stage de DEA cette année. Malgré nos moyens très limités nous arrivons encore à nous maintenir dans les premiers de notre domaine au niveau international, mais nous ne pourrions plus tenir ce rythme longtemps si le CNRS ne met pas à notre disposition un ingénieur informaticien.

Pour finir je voudrais aussi signaler que je n'ai **aucun crédit récurrent** et que depuis plus de 10 ans je finance les missions et les ordinateurs de mon équipe, ainsi que les vacances des stagiaires, grâce à des contrats. Depuis 2001 j'ai un contrat CEA-EURATOM de 6 K € /an pour traiter en ondelettes les signaux de différents Tokamaks européens, ceci en collaboration avec Kai Schneider de l'Université de Provence à Marseille. Toutefois ce contrat constitue un supplément de travail important (20% de notre temps) pour lequel nous ne pouvons pas demander d'aide à nos étudiants, étant donné que ce sujet n'a pas de rapport avec leur thèse. Nous recevons également 2 K € /an au titre du contrat franco-allemand CNRS-DFG sur la Mécanique des Fluides Numérique, ce qui nous permet de financer nos missions en Allemagne, mais là aussi nous devons effectuer le travail supplémentaire promis.

Comme beaucoup de chercheurs je travaille depuis de nombreuses années à la limite de mes possibilités en temps car je dois tout faire moi-même, faute de personne à qui déléguer, ce qui est épuisant, nuit à ma santé et à la qualité de mon travail. Au LMD-ENS nous n'avons qu'une secrétaire pour plus de 30 personnes, et pas de gestionnaire ni de comptable sur place, car nous dépendons de l'École Polytechnique et de la délégation régionale de Meudon. Il me semble urgent que le CNRS soutienne mieux ses directeurs de recherche en mettant à leur disposition plus d'ITA dans les laboratoires. Si ceci n'est pas possible, vu le peu de postes disponibles dans la fonction publique, un directeur de recherche devrait en ce cas avoir la possibilité de faire appel à des personnes sous contrat (de type CDI ou CDD renouvelable aussi longtemps que nécessaire), qu'il engagerait et paierait grâce à un crédit récurrent. La recherche exige de la concentration et du temps passé à réfléchir, à lire des articles, à travailler de nouvelles idées, à les discuter avec ses collègues. Or l'organisation actuelle du travail d'un chercheur concourt essentiellement à le détourner de cela, car il est submergé de courriers électroniques, de notes de services, de formulaires à remplir, de rapports à rédiger, de demandes de financement, dont le nombre augmente chaque jour. C'est l'évolution actuelle du métier, qui provient de la complexité de l'organisation de la recherche, et c'est la raison pour laquelle il devient urgent que le chercheur ait auprès de lui des ITA pour l'aider. Si le CNRS n'apporte pas un tel soutien à ses directeurs de recherche, autant changer leur titre, car, non seulement ils ne dirigent personne, mais ils n'arrivent même pas se diriger eux-mêmes vu la multiplicité des tâches qu'ils rencontrent au quotidien.

ou contactez Marie Farge :

**01-44-32-22-35**

**01-44-32-22-21**

*[farge@lmd.ens.fr](mailto:farge@lmd.ens.fr)*

---

---

Si vous souhaitez plus de renseignements, consultez :

**<http://wavelets.ens.fr>**  
**<http://www.lmd.jussieu.fr>**  
**(équipe 'Ondelettes')**