



CENTRE NATIONAL  
DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

**CNRSFormation**

au service de l'Entreprise

**Méthodes d'optimisation :  
de la programmation  
linéaire aux algo-  
rithmes génétiques**

Responsable scientifique :  
Marc SCHËNAUER,  
Chargé de Recherche  
GIF sur Yvette (91)  
du 3 au 7 juin 1996

**Sur une nouvelle  
approche pour l'ana-  
lyse inélastique des  
structures**

Responsable scientifique :  
Joseph ZARKA  
Directeur de Recherche  
GIF sur Yvette (91)  
du 10 au 14 juin 1996

**Analyse des données  
quantitatives multidimensionnelles**

Responsable scientifique :  
Abdelkader ZIGHED  
Professeur  
VILLEURBANNE (69)  
du 17 au 21 juin 1996

**Conception optimisée  
intelligente des maté-  
riaux et des structures**

Responsable scientifique :  
Joseph ZARKA  
Directeur de Recherche  
GIF sur Yvette (91)  
du 17 au 21 juin 1996

Catalogue, programmes  
et inscriptions :

**CNRSFormation**

1 place Aristide Briand  
92195 Meudon cedex

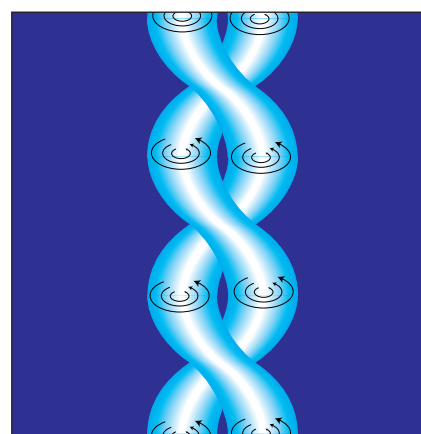
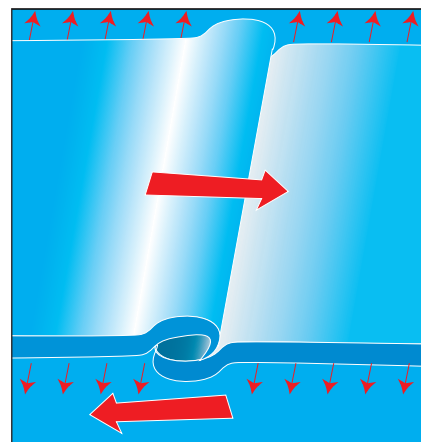
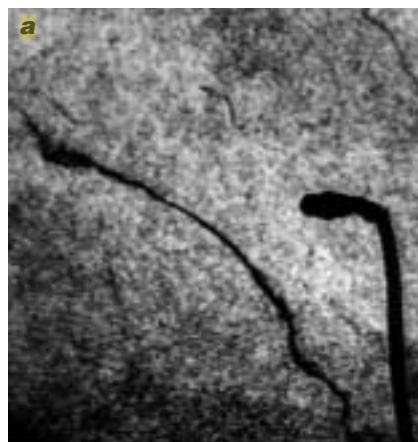
Tél. : (33.1) 45 07 56 72  
Fax : (33.1) 45 07 56 84

# Les tornades de la turbulence

**Les physiciens isolent les structures de basse pression d'un écoulement turbulent.**

**L**a turbulence? Un des mystères lancinants de la physique contemporaine : il faut les ordinateurs les plus puissants pour calculer finement l'écoulement de fluide dans des canalisations simples, alors que les principes de base, les équations de la mécanique des fluides, sont établis depuis plus d'un siècle. À l'École normale supérieure, Olivier Cadot, Stéphane Douady et Yves Couder utilisent de petites bulles pour explorer les écoulements fortement tur-

bulents. Le physicien russe Andrei Kolmogorov est l'auteur d'une théorie statistique de la turbulence où il prévoyait que l'énergie injectée dans un écoulement nourrissait des structures (des tourbillons, par exemple) de plus en plus petites, jusqu'à ce que la viscosité dissipe les petites structures formées. Cette théorie prévoit remarquablement la répartition de l'énergie observée entre les différentes échelles du mouvement ; elle forme le cœur de la théorie actuelle de



Deux photographies d'un écoulement turbulent (à gauche). En raison de l'éclairage arrière, les bulles apparaissent en noir sur un fond clair. Le plus intense des filaments de bulles est observé lorsqu'il se forme (a) et lors de sa déstabilisation en triple hélice, moins d'un dixième de seconde après (b). On note la présence d'autres filaments moins longs et moins intenses. On voit à droite des photographies le capteur de pression, relié par un connecteur dont le diamètre est égal à trois millimètres. À droite, on a représenté la formation (en haut) et la destruction (en bas) des filaments.

la turbulence. Toutefois elle ne dit rien sur les structures spatiales de l'écoulement ni sur les mécanismes de transfert d'énergie entre les structures. D'autre part, les expérimentateurs avaient remarqué, depuis longtemps, l'intermittence de la turbulence, qui se caractérise par des bouffées violentes d'activité dans des régions localisées de l'espace. Cette intermittence est inexpliquée par la théorie de Kolmogorov.

### DES EXPÉRIENCES AVEC DES BULLES

Expérimentalement on observe difficilement les structures caractéristiques de la turbulence. La superposition de mouvements incohérents à toutes les échelles n'est pas facile à concevoir, ni à voir. Cependant l'intérêt pour les structures turbulentes a été relancé par l'avènement des simulations sur ordinateur, qui permettent de voir et de revoir un écoulement simulé sous toutes les coutures. Une des grandeurs à laquelle les hydrodynamiciens s'intéressent le plus est la vorticité, qui est une mesure de la rotation des tourbillons sur eux-mêmes. Plusieurs simulations, depuis le travail de E. Siggia, à l'Université Cornell, ont montré que les régions où la vorticité est grande sont en forme de filaments : des tourbillons fins seraient concentrés dans les écoulements turbulents.

Ce sont ces structures que les physiciens de l'École normale supérieure ont voulu observer directement, dans un écoulement turbulent de laboratoire. Comme il n'existe aujourd'hui aucun moyen de visualiser la vorticité elle-même, ils se sont fondés sur les variations de pression associées : quand une baignoire se vide, un tourbillon intense se forme au-dessus de la bonde ; la zone déprimée, au cœur du tourbillon, révèle une diminution de la pression à cet endroit.

L'idée expérimentale était d'utiliser la migration de bulles. Dans de l'eau au repos, la pression hydrostatique est minimale à la surface : de petites bulles y migrent. Pour la même raison, dans un écoulement turbulent où la pression est hétérogène, les bulles migrent vers les régions de basse pression, qui sont ainsi spécifiquement marquées. C'est un procédé de visualisation classique des tourbillons stationnaires en hydrodynamique, mais dont on ne pensait pas qu'il fonctionnerait dans les écoulements violemment turbulents.

Dans les premières expériences de «coin de table», les bulles provenaient d'aspirine effervescente, placée dans un grand b cher muni de deux agitateurs. L'expérience s'est affinée : la turbulence est aujourd'hui crée dans un

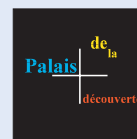
cylindre de 30 litres d'eau. Deux batteurs contrarotatifs, à chaque extrémité du cylindre, transforment cet appareil en une sorte de gros mixeur, où des microbulles sont injectées.

La plupart des bulles suivent l'écoulement, et restent dispersées, mais très transitoirement, on les voit ici et là se concentrer dans des régions en forme de filaments ; ce sont là les régions de basse pression. Ces filaments révèlent une dynamique propre : assez rectilignes quand ils se forment, ils se déstabilisent rapidement en formant une hélice, puis explosent. Un grand tourbillon moins intense subsiste là où le filament a disparu. Cette grande structure contient de nombreux petits filaments secondaires résiduels.

Après avoir observé, il faut mesurer. Un petit quartz piézoélectrique permet de mesurer la pression en un point de l'écoulement. De telles mesures ont été faites à Lyon, dans l'équipe de Stéphane Fauve, et à Paris. Les fluctuations de la pression, en fonction du temps, ont un aspect particulier, asymétrique : vers les hautes pressions, elles ont la répartition gaussienne qui est classique pour les phénomènes aléatoires, mais vers les basses pressions, on observe la superposition de fluctuations ordinaires, gaussiennes, et de fluctuations extraordinaires, plus rares, mais parfois dix fois plus intenses.

L'observation simultanée de l'écoulement montre que ces dépressions sont dues au passage sur le capteur des filaments précédemment décrits. D'autres mesures (de vitesse, par exemple) confirment le diagnostic : il existe, au sein des écoulements turbulents, des structures violentes qui ressemblent à de petites tornades localisées.

Il reste à comprendre le rôle de ces structures. On soupçonnait, depuis longtemps, que, dans les écoulements turbulents, un « tirement de la vorticité» jouait un rôle dans le transfert d'énergie d'échelle en échelle. Les observations sur la dynamique de formation des filaments semblent montrer que des couches de cisaillement (c'est-à-dire des surfaces entre les deux côtés desquelles la vitesse du fluide varie notablement) se forment à la périphérie d'un gros tourbillon. Cette couche est étirée (voir la figure en haut à droite) et cet étirement amplifie la vorticité, par le même mécanisme que celui qui augmente la vitesse de rotation d'une patineuse qui rapproche les bras du corps. L'enroulement de ces surfaces crée les filaments. Ceux-ci sont instables et explosent pour redonner à la fois un grand tourbillon et beaucoup de petites structures. L'ensemble de ces phénomènes expliquerait au moins une partie de l'intermittence de la turbulence. □



## POUR LA SCIENCE

VOUS INVITENT  
  L'ENREGISTREMENT  
PUBLIC  
DE L'ÉMISSION :  
L'IMPOSSIBLE

# Les impossibles en démographie humaine

avec  
**Hervé Lebras,**  
Directeur du Laboratoire  
de démographie historique  
**EHESS - CNRS**

LE SAMEDI 13 avril 1996  
  15 HEURES  
AU PALAIS DE LA DÉCOUVERTE  
SALLE DE CINÉMA  
AVENUE FRANKLIN D. ROOSEVELT  
75008 PARIS