

# LA TECHNIQUE DES FLUIDES

La lettre d'information du Centre d'Etudes et de Recherches de Grenoble d'ACB

Juin 1994 - n° 4

## EDITORIAL

Toutes les entreprises sont actuellement confrontées à un environnement turbulent, avec souvent un manque de visibilité lié à la situation de crise. Dans ce contexte, il est nécessaire de développer une démarche stratégique permettant une plus grande réactivité et une bonne adaptation aux changements des conditions de marché.

Nos prestations d'études de process et d'essais de caractérisation de performances entrant souvent dans la définition ou la validation de projets, nous menons une importante action interne de réduction des délais pour mieux nous intégrer dans les plans de développement de nos clients.

Nous espérons ainsi que nous pourrons vous faire bénéficier de cette flexibilité vous permettant de mieux saisir les opportunités et de mieux consolider vos positions, en particulier dans la perspective d'une reprise annoncée de l'activité économique.

M. VISCONTI

## LE LOGICIEL CDBELIER 1.1 : UNE AIDE PUISSANTE POUR L'OPTIMISATION DE LA PROTECTION DES RESEAUX CONTRE LES COUPS DE BELIER.

D'utilisation aisée sur matériel informatique courant, CDBELIER 1.1 permet d'évaluer très rapidement les conséquences liées à un transitoire sur un réseau et de définir, dimensionner et optimiser les protections ou procédures d'exploitation à mettre en oeuvre.

CDBELIER 1.1 calcule les écoulements transitoires d'un liquide dans un réseau ramifié ou maillé de conduites et estime les surpressions causées par les coups de bélier.

Il permet d'analyser les risques provoqués par les écoulements transitoires et de déterminer et optimiser les dispositifs et/ou mesures antibélier à mettre en oeuvre pour protéger efficacement le circuit.

### Tous les composants hydrauliques classiques

Il prend en compte conduites, pertes de charge singulières, soupapes de sûreté, clapets anti-retour, régulateurs, vannes de manoeuvre, pompes, turbines, réservoirs antibélier, cheminées d'équilibre. Les conditions aux limites à pression ou à débit imposés sont traitées par le logiciel.

Le calcul de coup de bélier proprement dit est basé sur la méthode des caractéristiques.

### Un outil simple et aisé

CDBELIER 1.1 est un logiciel convivial, conçu pour le confort de l'utilisateur.

Ses fonctions permettent de réaliser facilement les tâches choisies, d'entrer de façon interactive les données nécessaires et de contrôler les résultats, qui seront présentés sur sorties graphiques en courbes de débit et pression en fonction du temps et sur listings par imprimante.

CDBELIER 1.1 est utilisable sur tout micro-ordinateur compatible PC fonctionnant sous système MS-DOS avec carte graphique minimale de type EGA.

## Sommaire :

- **Editorial** p 1
- **Info produit :** p 1  
Sortie du logiciel  
CDBELIER 1.1
- **En vedette :** p 2  
Les études de mélangeurs
- **Retombées de nos interventions chez nos clients :** p 3  
CEAT
- **On en parle dans la presse :** p 3  
Salon Industrie et Silence  
94  
Assurance qualité
- **Commercialisation du programme d'équilibrage EQUIL 2.0** p 3
- **L'agenda CERG des colloques et des salons** p 4
- **Les stages du CERG:** p 4  
Présentation du stage H3
- **Nouveau produit :** p 4  
Le banc Pertes de charge
- **A la découverte :** p 5  
Modélisation numérique des structures cavitantes
- **La communication du mois :** p 6  
Les techniques de visualisation (deuxième partie)

## LES ETUDES DE MELANGEURS : UNE APPLICATION AUX MELANGES DANS LES POTS DE PEINTURE

Le CERG a traité ce cas d'application avec un fournisseur industriel de l'automobile.

Le mélange optimal de la peinture est crucial en particulier dans les cas suivants :

- en fin de chaîne automatisée, lorsque des retouches s'avèrent nécessaires (la nuance de la couleur pouvant lentement varier entre le début et la fin d'une série);
- dans les centres de réparation de véhicules accidentés, lorsqu'il s'agit de retrouver la nuance exacte d'un coloris, correction faite de la variation de la couleur avec l'âge du véhicule et de l'ensoleillement (la correction sera différente dans le nord et dans le sud de la France, en Europe ou au Japon).

L'obtention d'une nuance donnée (il en existe près de 50 000 en France, 200 000 en Europe et 500 000 dans le monde) résulte du mélange de couleurs de base dites primaires dans des proportions appropriées. La précision pondérale nécessaire à l'obtention de la nuance est de l'ordre de 1/10 de gramme pour la préparation de pots de quelques kilogrammes (en général 1 à 5 kg).

Il convient donc, avant même d'obtenir la nuance recherchée avec la précision requise, que les peintures primaires soient parfaitement homogènes, ce qui n'est pas le cas quand ces pots restent stockés plusieurs semaines avant utilisation. En effet, le stockage provoque une décantation des pigments dans le vernis et le solvant, le phénomène étant accéléré pour les peintures métallisées, mica ou les nouvelles peintures.

### Dispositif utilisé pour l'étude expérimentale d'un mélangeur de peinture:

Le matériel utilisé est un prototype industriel, à l'échelle géométrique 1/1, avec les adaptations suivantes, qui permettent de procéder aux mesures et aux observations :

- un système d'entraînement du mélangeur assure une précision de 1% de la vitesse de rotation

et respecte une échelle de vitesses  $N_{\text{modèle}}/N_{\text{réel}}$  de 1/1;

- les pales étudiées sont à l'échelle 1/1 des dimensions réelles en tenant compte des techniques de fabrication, des facilités de mise en place et d'autres contraintes diverses;
- la viscosité des peintures analysées étant de l'ordre de 800 à 1000 centi-Stokes, on utilise un fluide de viscosité identique mais transparent pour permettre les visualisations, le fluide et la peinture ayant par ailleurs sensiblement la même densité;
- un système dérotateur à prisme tournant permet, par procédé optique, de rendre l'observateur et son appareil photo ou vidéo fictivement solidaires de l'axe de rotation de l'agitateur. On peut ainsi observer en continu les écoulements autour des pales en faisant abstraction du mouvement général de rotation de celles-ci.

### Les techniques de visualisation employées :

Les visualisations sont réalisées au moyen de paillettes d'aluminium réfléchissantes et particules en suspension dans le fluide.

L'association de particules de densité, de dimension et de couleur différentes est utilisée pour différencier le comportement de la partie légère (vernis, solvant) de la partie lourde (pigment), tous les mouvements étant suivis par caméra vidéo pour une analyse détaillée et chronométrée.

La visualisation par tranche lumineuse laser à balayage également utilisée permet, par rapport à la tranche lumineuse classique, d'obtenir une description du champ des vitesses dans le plan éclairé. Chaque particule, sur un cliché avec un temps de pose assez long, est éclairée en différentes positions

de sa trajectoire, à des intervalles de temps égaux dépendant de la fréquence de balayage du rayon laser. (Pour plus de détails sur la technique de visualisation, voir l'article en page 6).

### Contrôle final de l'efficacité de mélange:

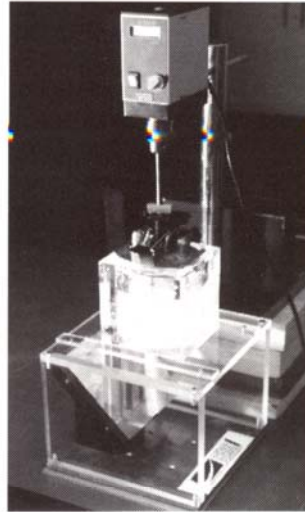
Pour analyser l'efficacité du mélange, deux types de contrôle sont réalisés sur peinture réelle :

- la détection au sédimomètre des éventuelles stratifications résiduelles dans le pot.

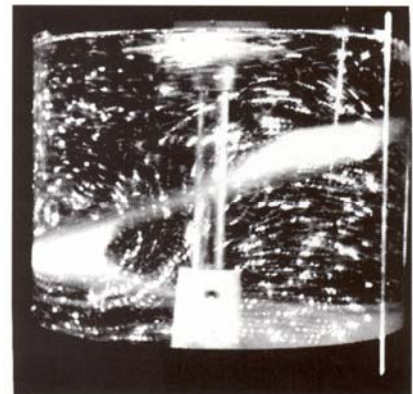
Ce dispositif permet de mesurer l'effort de pénétration d'un plongeur dans la peinture, effort qui varie avec la profondeur de pénétration et avec la nature des constituants rencontrés;

- le rendu de couleur obtenu avec différents échantillons de peinture du même pot.

En conclusion, ce type d'étude expérimentale permet d'optimiser les paramètres géométriques et fonctionnels des systèmes de mélange en fonction de leurs applications spécifiques. Il permet de tester un nombre important de variantes dans un laps de temps assez court par rapport à la démarche par tâtonnement sur le système réel.



Montage expérimental



Visualisation en avant du plan diamétral

## RETOMBEES DE NOS INTERVENTIONS CHEZ NOS CLIENTS

### Extension des performances d'un banc générateur de rafales

Le banc Windblast du Centre d'Essais Aéronautiques de Toulouse (CEAT) permet de générer des rafales d'air à des vitesses proches de la vitesse du son sur une section de 2,2 m de haut sur 1,2 m de large à partir de deux réservoirs de chacun 25 m<sup>3</sup> gonflés à 90 bars (soit environ 5 tonnes d'air représentant une énergie de 2500 mégajoules).

Ce banc permet de simuler en particulier les conditions rencontrées à bord des avions militaires

lors de la mise en oeuvre du siège éjectable ou du largage de leurs.

Initialement, la durée de la rafale était petite (0,3 sec), l'utilisation du banc étant limitée à des essais courts et transitoires.

Pour des essais longs, presque stationnaires, il était intéressant de pouvoir augmenter la durée de la rafale et d'utiliser au mieux les importantes capacités des réservoirs.

Des simulations par modèle mathématique ont montré qu'il était possible d'augmenter notablement la durée de la rafale (jusqu'à 10 secondes pour des rafales à 150 m/s et jusqu'à 3 secondes pour des rafales à 300 m/s) et de maintenir la vitesse constante, malgré la décroissance de la pression dans les réservoirs, en jouant sur l'ouverture des vannes de réglage. Ces résultats encourageants ont

incité le CEAT à décider une modification du banc de manière à accroître son champ d'exploitation.

Un logiciel, doté des fonctions suivantes, a été intégré au banc :

- prévision des conditions de fonctionnement du banc;
- contrôle de l'ouverture des vannes rapides.

Ce logiciel tient compte de l'évolution des conditions réservoirs de manière à maintenir la vitesse de rafale constante.

Des essais de recette ont confirmé les prévisions des performances requises avec une précision sur les paliers de vitesse supérieure à 2%.

De nouvelles possibilités d'utilisation s'ouvrent ainsi pour ce banc avec, pour l'avenir, l'extension à des rafales supersoniques.

## ON EN PARLE DANS LA PRESSE

### Salon Industries et Silence 94 : le CERG s'expose

Pour la seconde année, le CERG va participer au salon Industries et Silence (Ex Eurosilence), qui se tiendra du 8 au 10 juin 1994 au Parc des Expositions de la Porte de Versailles de Paris.

A cette occasion, nos ingénieurs présenteront aux visiteurs les prestations que le CERG propose dans le domaine des Bruits et des Vibrations : prestations d'étude, de mesure et de calcul.

### Assurance qualité

ACB a obtenu pour l'ensemble de ses établissements le renouvellement de l'attestation RAQ1 délivrée par le Service de Surveillance Industrielle de l'Armement (SIAR). Cette distinction est la manifestation de la reconnaissance par la Délégation Générale pour l'Armement (DGA), client majeur d'ACB, de l'efficacité du système d'assurance qualité qu'ACB a mis en place, en particulier, pour ce qui concerne le CERG, dans le domaine des études et essais.

Les exigences du RAQ1 sont équivalentes à celle du document AQAP1 de l'OTAN et seront, dans un très proche avenir, uniformisées avec la norme ISO 9000.

## SORTIE D'UN LOGICIEL D'ÉQUILIBRAGE DES MACHINES TOURNANTES

**EQUIL 2.0 est un outil simple, complet et doté de certaines fonctions exclusives, avec lequel vous réaliserez un travail de qualité.**

EQUIL 2.0 est un nouveau programme d'équilibrage dynamique de machines tournantes in situ, en 1 et 2 plans.

Il est le seul programme du marché à pouvoir prendre en compte plusieurs points et vitesses de fonctionnement. Il permet ainsi d'optimiser l'équilibrage en intégrant toutes les mesures et assure une aide à la décision par curseur graphique.

EQUIL fonctionne sur tout ordinateur de type PC doté au minimum d'une carte graphique EGA.

Il est disponible en deux versions:

- 1.0, version de base;
- 2.0, version plus complète, disposant de fonctionnalités exclusives comme la simulation des vibrations résiduelles et le calcul des raideurs de paliers.

Pour ces deux versions, EQUIL

permet de s'adapter à de multiples procédures d'équilibrage (destructif ou non, enlèvement, sens de rotation, etc ...).

Sur demande, il peut également être adapté à des applications particulières.

Les prochaines versions intégreront une saisie automatique des entrées à l'aide d'une carte d'acquisition installable dans votre PC.

EQUIL dispose d'une interface très simple et conviviale pour la saisie des données d'amplitudes et de phases. Des sorties graphiques de qualité assurent la visualisation des balourds et du degré de qualité d'équilibrage selon la norme ISO 1940/1.

EQUIL 2.0 a été testé sur plusieurs pompes et turbines et son apport a été déterminant dans la diminution des niveaux vibratoires.



## L'AGENDA "CERG" DES COLLOQUES ET DES SALONS

Date	Nom de la manifestation	Nom de la communication et des auteurs
8 au 10 juin 94 à Paris, Porte de Versailles	Salon INDUSTRIE ET SILENCE 94	Présence d'un stand ACB-CERG
2 au 5 mai 95 à Deauville	CAV'95 International Symposium on Cavitation	<p>"Tip clearance cavitation in the wake of static vanes" P. CHANTREL - R. LABORDE (CERG) - O. BOULON - M. MORY (LEGI)</p> <p>"Influence of nuclei injection on cavitation inception of confined turbulent jets" J. PAUCHET - J. WOILLEZ (CERG)</p> <p>"Venturi Nuclei Analyser: standard and special applications" B. GINDROZ (Bassin d'Essais des Carènes) - A. HELLION - S. LAVIGNE (CERG)</p> <p>"Measurements of the aggressivity of erosive cavitating flows at two different scales by a method of pits analysis" S. LAVIGNE - A. RETAILLEAU - J. WOILLEZ (CERG)</p>

### STAGES D'HYDRAULIQUE DU CENTRE DE FORMATION DU CERG :

#### Présentation du stage H3

##### Sujet :

Éléments de choix d'une pompe, d'analyse des phénomènes transitoires et des protections appropriées, régulation des écoulements en réseau.

##### Contenu :

- Pompes centrifuges, hélico-centrifuges et axiales : caractéristiques et performances,

cavitation (NPSH), couplage, adaptation aux circuits, installation et stations de pompage.

- Régimes transitoires d'écoulement en charge dans les circuits (coups de bélier) : lois fondamentales, épure de Bergeron, systèmes de protection. Démonstration sur banc et calcul sur programme informatique.
- Régulation des écoulements en

réseau.

- Mesures en hydraulique.
- Bruit et vibrations dans les circuits.
- Exercices d'application et travaux pratiques.

Pour tout renseignement complémentaire sur ce stage et sur les stages H1 et H2, contacter Hélène MALLEVAL.

### COMMERCIALISATION D'UN BANC DIDACTIQUE POUR RÉALISER DES DÉMONSTRATIONS SUR LES PERTES DE CHARGE HYDRAULIQUES.

Le banc *Pertes de charge* est constitué d'une boucle fermée comprenant deux circuits commutables (pertes de charge et vannes) grâce auxquels on peut procéder à l'ensemble des démonstrations nécessaires à la compréhension du phénomène de perte de charge.

Le circuit "pertes de charge" permet de réaliser :

- des mesures de débit par diaphragme et par venturi;
- des tracés de pertes de charge répartie et singulière;
- des tracés de ligne piézométrique et de ligne de charge.

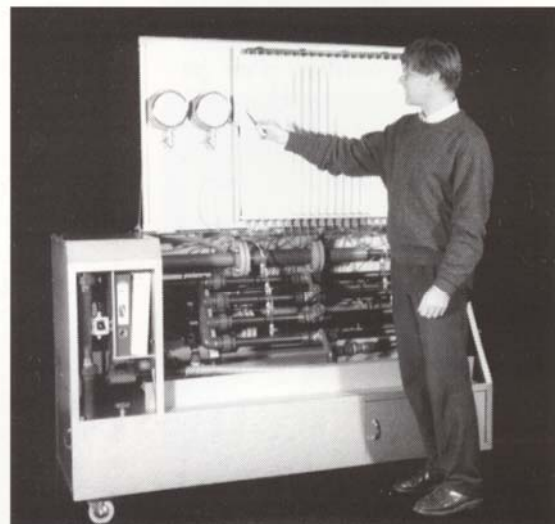
Le circuit "vannes" a pour objectif principal de mesurer et de tracer l'évolution du coefficient  $C_v$  de plusieurs types de vannes (boisseau sphérique, papillon, à opercule, à soupape).

Le banc *Pertes de charge* est mobile et facilement transportable (rangements, accessoires, documentation et tuyauteries).

On a cherché tout particulièrement à réduire son encombrement tout en permettant de réaliser des mesures intéressantes. Il présente les éléments de tuyauterie utilisés dans l'industrie et le bâtiment.

Le banc *Pertes de charge* fait partie d'un ensemble de bancs proposés par le CERG (surface libre, visualisation, pompe, cavitation et coups de bélier). Ces bancs ont été conçus pour réaliser

des démonstrations portant sur les applications fondamentales de l'hydraulique.



## MODELISATION NUMERIQUE DES STRUCTURES CAVITANTES

La cavitation est le phénomène de vaporisation d'un liquide sous l'effet d'une baisse locale de la pression, elle-même consécutive à la mise en vitesse de ce liquide. Les conséquences de son apparition sont en général néfastes. Elles se traduisent par la chute des rendements et des performances, par du bruit et surtout par de l'érosion. Ces deux derniers effets proviennent du mécanisme d'implosion (ou collapse) des cavités de vapeur qui se recondensent dans les régions de l'écoulement où la pression remonte. On observe que cette recondensation est globalement très rapide, typiquement de l'ordre d'une milliseconde, et qu'elle se produit avec une accélération constamment croissante jusqu'à la singularité du choc final correspondant à la disparition de la cavité. Ainsi, il est très difficile d'accéder expérimentalement à la déformation et surtout à la vitesse de déformation de ces cavités qui sont des paramètres dont la connaissance est essentielle pour mieux comprendre et donc pour mieux maîtriser ce phénomène. Le recours à la simulation numérique est donc une approche complémentaire de l'expérimentation indispensable pour ce type de recherche.

C'est pourquoi le CERG s'est engagé dans cette voie, en commençant par modéliser le comportement d'une bulle de vapeur initialement sphérique et placée proche d'une paroi. La présence de celle-ci introduit une rupture de symétrie qui se manifeste par l'apparition d'un jet rentrant à l'intérieur de la cavité comme le montre la figure 1. Ce

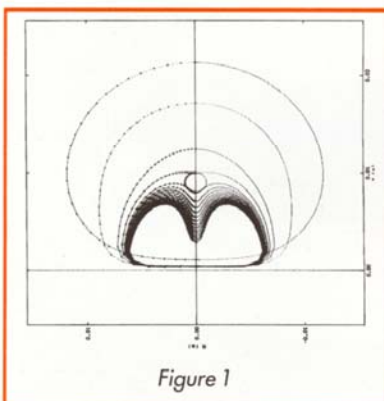


Figure 1

résultat confirme bien certaines observations obtenues à l'aide de la cinématographie rapide. Ces calculs permettent, de plus, de préciser la vitesse de ce jet qui dépasse souvent les 100 m/s, soit 360 km/h.

Ce modèle numérique a ensuite été étendu à des cavités axisymétriques situées sur l'axe d'un écoulement tourbillonnaire afin de simuler le cas d'un vortex cavitant qui correspond à l'une des situations à la fois les plus fréquentes et les plus érosives. Les formes des cavités ainsi obtenues sont des plus diverses en fonction des valeurs initiales des différents paramètres du calcul. La tendance générale est également conforme à l'observation expérimentale. Elle se traduit par un allongement de la cavité en forme de barreau qui a tendance à se scinder en plusieurs cavités indépendantes (figures 2 et 3).

L'apparition de ce fractionnement empêche actuellement de poursuivre le calcul et donc de simuler complètement la phase de collapse. Il est en effet nécessaire de prendre en compte ce phénomène au niveau de la modélisation. En outre, sa mise en oeuvre nécessite

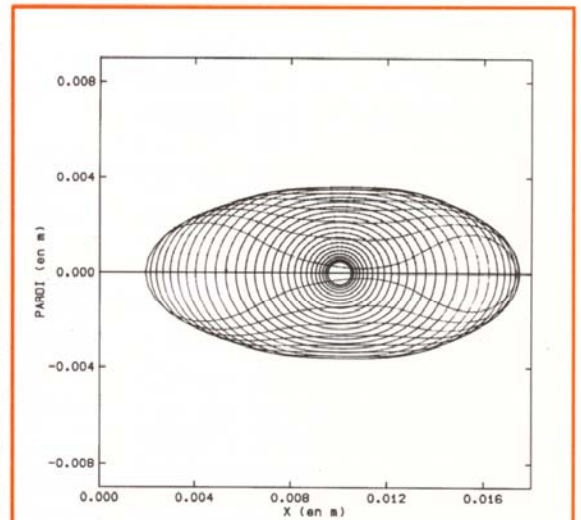


Figure 2

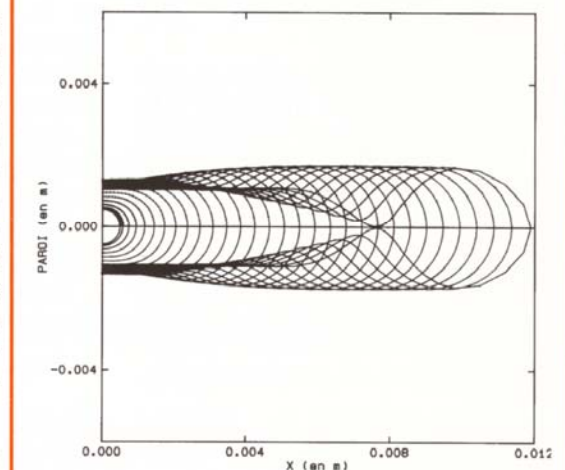


Figure 3

des capacités numériques accrues. Cette amélioration fait l'objet de l'étape suivante de ces travaux de recherche pour une meilleure connaissance de ces phénomènes.

**Si un article a retenu votre attention, ou si vous souhaitez en savoir plus sur nos activités, contactez Christine MARTI :**

par courrier à :  
ACB CERG  
Christine MARTI  
Rue Lavoisier  
38800 LE PONT DE CLAIX

par téléphone au :  
76.40.90.40



par fax au :  
76.98.08.81



à l'attention de C. MARTI

## LES TECHNIQUES DE VISUALISATION : DEUXIEME PARTIE

Dans le cadre du cycle d'articles consacrés aux techniques de visualisation, ont été traités lors du précédent numéro les moyens de mise en évidence des écoulements. Nous développerons ici les techniques d'éclairage et commencerons à aborder le problème de la prise de vue. Le prochain numéro clôturera ce cycle en traitant de la vidéo, du cinéma rapide, du cas des machines tournantes et des techniques de dépouillement des images.

### 2. Les techniques d'éclairage

Le choix d'une technique d'éclairage est extrêmement important car ce choix conditionne à lui seul le succès de l'opération de visualisation. Il faut choisir la nature de la lumière (artificielle, naturelle, couleur, ...), l'orientation par rapport au modèle (contre-jour, direct, ...), la forme de la source et les effets spéciaux.

La nature et l'orientation de la lumière sont choisies en fonction des critères classiques de photographie (température de couleur, reflets multiples des parois en plexiglas), mais aussi en fonction de la nature et de la taille des particules ou des filets colorés introduits dans le modèle. En effet, dans le cas de colorants, on peut être amené à choisir un éclairage de couleur qui augmente particulièrement le contraste. Dans le cas de particules, il faut prendre en compte les lois physiques de diffusion de la lumière et choisir le couple angle de prise de vue/angle d'éclairage donnant ici aussi le meilleur contraste.

La forme de la source de lumière est très importante.

Si l'on veut une vision globale de l'organisation de l'écoulement, on choisira d'éclairer uniformément l'ensemble du modèle.

Bien souvent, l'écoulement est fortement tridimensionnel et une prise de vue globale est inexploitable. On a alors recours à un éclairage en «tranche lumineuse». Ce dispositif permet la visualisation de l'écoulement par plans successifs (comme au scanner) : le modèle est plongé dans l'obscurité et seules les particules circulant dans le plan sont éclairées.

Le CERG a développé des systèmes de tranche lumineuse en lumière blanche de largeur réglable de 0,5 à 3 cm. Il utilise aussi un système commercialisé de tranche lumineuse laser utili-

sant une source laser argon et des miroirs mobiles permettant de faire balayer le faisceau sur une portion du modèle. L'effet de persistance rétinienne conduit à l'impression de tranche fixe. L'avantage du système est sa grande luminosité et sa faible épaisseur.

En prise de vue photographique, ce système permet, si l'on choisit un temps de pose suffisamment long vis à vis de la fréquence de balayage du faisceau, d'obtenir non plus un filet correspondant au bougé de la particule mais une succession de points lumineux correspondant aux différentes positions de la particule pour des balayages successifs du faisceau laser. Cette méthode rend possibles à la fois l'appréciation qualitative et la mesure quantitative des vitesses dans l'écoulement.

Dans le cas de phénomènes rapides ou instationnaires, la cavitation par exemple, on peut utiliser des flashes pour immobiliser le phénomène. Dans ce cas, on monte une chambre noire autour du modèle et on travaille en pose "T", la durée du flash déterminant le temps de pose. On peut aussi faire plusieurs photos successives sur le même négatif pour suivre l'évolution du phénomène.

Le CERG dispose de divers flashes à forte puissance (quelques Joules) et à durée d'éclairs très brefs (quelques microsecondes)

et il a développé divers systèmes électroniques de synchronisation.

Dans le cas de phénomènes répétitifs ou de phénomènes sur des machines tournantes (pompes, hélices, ...), on utilise des éclairages stroboscopiques dont on règle la fréquence en fonction de celle du phénomène.

### 3. La prise de vue photographique

Pour les phénomènes lents ou pour la visualisation de mélanges ou de lignes de courant, nous avons vu que, au CERG, on utilise beaucoup la photographie. Pour pouvoir bénéficier des services de développement photographique rapides (1 heure), nous utilisons très souvent le format 24x36.

Le CERG dispose d'un grand nombre d'appareils reflex et d'un large choix d'objectifs. Les pellicules sont choisies pour bénéficier de la meilleure qualité d'image (peu de grain) compatible avec des conditions de faible éclairage. Si cela est important pour l'étude, il possède aussi tout le jeu de filtres permettant de rétablir les couleurs tout en utilisant des lumières artificielles.

Le CERG a, par ailleurs, du matériel grand format et des chambres photographiques. La mise en oeuvre plus lourde de ce type d'appareil est justifiée par des conditions d'essais particulières, par exemple grossissement important, perspectives à rétablir, ...

