

# Les techniques de la mécanique des fluides

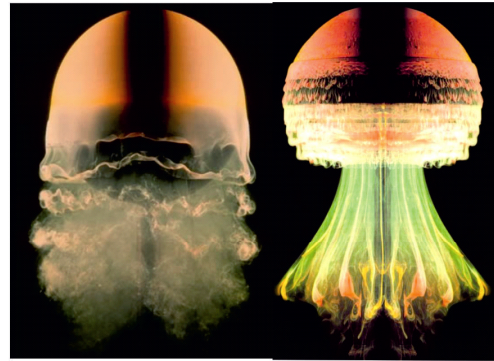
## La visualisation des écoulements

### • Avec traceurs :

- bulles obtenues par électrolyse de l'eau, émission de colorants... (liquides)
- fumées colorées (gaz)
- particules métalliques en suspension



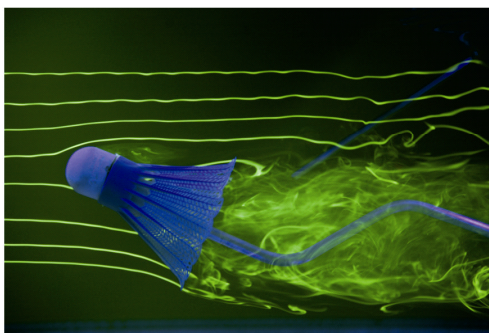
tourbillons générés par le passage d'un corps fuselé incliné dans un fluide



décollement de l'écoulement autour d'une sphère



écoulement autour du Concorde maquette 1/150  
Visualisation par filets colorés



filets d'air autour d'un volant de badminton en plastique

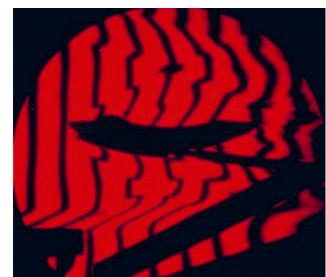


vortex de bout d'aile d'un avion

Les visualisations avec de l'eau (tunnel hydrodynamique) s'écoulant à relativement faible vitesse caractérisent des phénomènes qui ont aussi lieu dans l'air à des vitesses bien plus élevées.

• **Méthodes optiques pour un écoulement compressible** : les variations d'indice (liées aux variations de masse volumique) sont visualisables grâce à des méthodes interférométriques, holographiques...

Sur la photo ci-contre, on visualise l'onde de choc qui part du nez de l'avion.



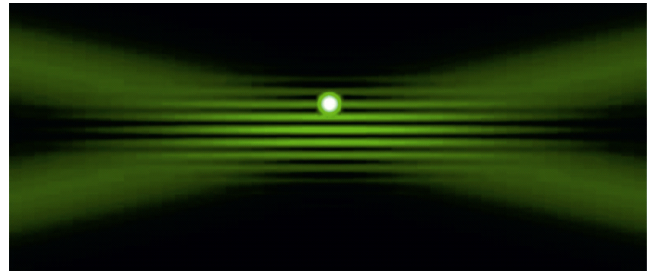
écoulement à Mach 3 autour d'une maquette  
visualisation par interférométrie holographique

## Les mesures de vitesse

- **anémométrie à fil chaud** : on place dans l'écoulement un fil métallique très mince (épaisseur de  $10\ \mu\text{m}$ ) et court (quelques mm). Il est chauffé à une température supérieure à celle de l'écoulement par un courant électrique d'intensité  $i$  asservi afin de maintenir constante la température du fil. La composante  $v$  du vecteur vitesse normale au fil est responsable du phénomène de convection qui a tendance à refroidir le fil : plus  $v$  est grande, plus  $i$  doit augmenter pour que  $T$  reste constante. On déduit  $v$  de la mesure de  $i$  et on obtient les trois composantes du vecteur vitesse en un point  $M$  en y plaçant trois fils chauds perpendiculaires.

- **tube de Pitot** (voir « fluides parfaits »). Il permet la mesure d'une composante de la vitesse grâce à une différence entre deux pressions.

- **vélocimétrie laser** : on crée au voisinage d'un point  $M$  du fluide un système de franges d'interférences à deux ondes par un dispositif à division du front d'onde. Des petites particules diffusantes (de diamètre de l'ordre du  $\mu\text{m}$ ) parsemées dans le fluide sont entraînées par ce dernier et émettent un signal lumineux alternatif à la traversée des franges (elles renvoient beaucoup de lumière à la traversée des franges brillantes, et très peu à la traversée des franges sombres). En mesurant la fréquence de ce signal, on en déduit la composante de la vitesse du fluide normale aux franges. C'est une méthode non intrusive.



vélocimétrie laser : interférences par division du front d'onde. Une particule diffusante (gouttelette d'huile dans un écoulement d'air) scintille lors de son passage par des franges brillantes. Méthode souvent utilisée pour des vitesses de 1 à 1500 m/s. Avec trois longueurs d'onde différentes, on forme trois réseaux de franges dans des directions orthogonales et on a accès aux trois composantes du vecteur vitesse.

- **vélocimétrie par images de particules (P.I.V) à partir de photos** avec temps de pose adapté. On peut mesurer le déplacement entre deux impulsions laser successives de particules diffusantes en suspension dans le fluide. Un logiciel en déduit la vitesse de la particule fluide qui porte le traceur.

## Tests en soufflerie / Simulations numériques



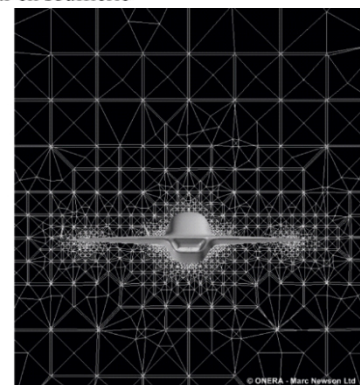
A380 dans la soufflerie F1 de l'ONERA



recherche de l'optimisation de la position d'un skieur en soufflerie

On effectue la résolution numérique des équations de Navier et Stokes avec conditions aux limites même pour des écoulements éventuellement compressibles (vitesse  $u$  non négligeable devant la célérité du son  $c$ ) et en prenant en compte des phénomènes thermiques... On peut ainsi simuler des écoulements autour de profils complexes et en déduire comment améliorer l'aérodynamisme, augmenter la portance...

Les tests en soufflerie restent importants dans l'industrie (automobile en particulier : facilité d'utilisation avec différents véhicules), pour valider les simulations, et quand les conditions aux limites sont trop complexes pour être modélisées...



"soufflerie numérique": les équations de Navier et Stokes sont résolues à l'aide d'un maillage volumique optimisé (serré autour de l'avion, moins dense ailleurs) par une méthode d'éléments finis.