



# MÉTHODES DE MESURE EN AÉRODYNAMIQUE

## Partie 2

## Visualisation des écoulements

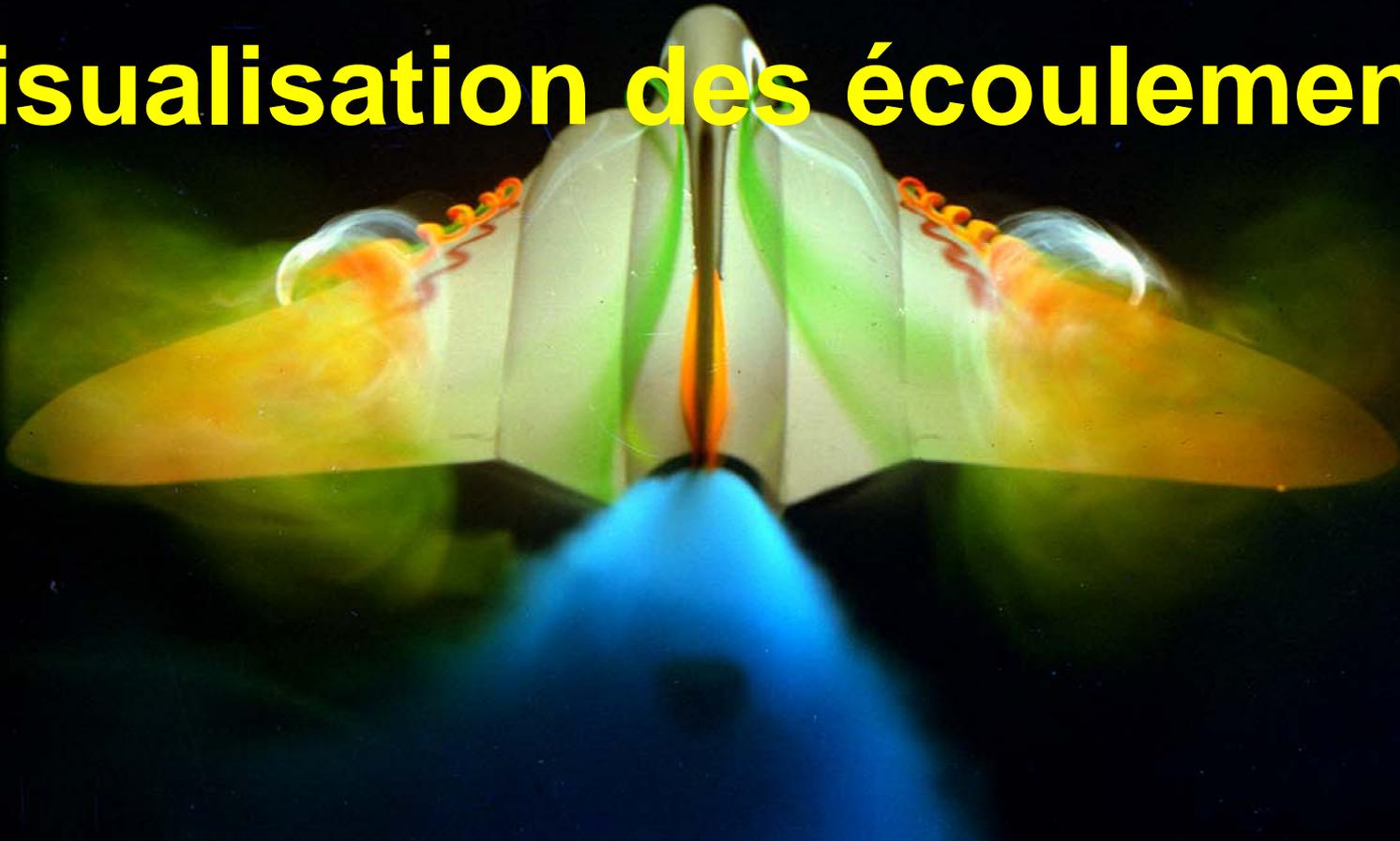
*Jean Délery*

*Conseiller émérite à l'Onera*

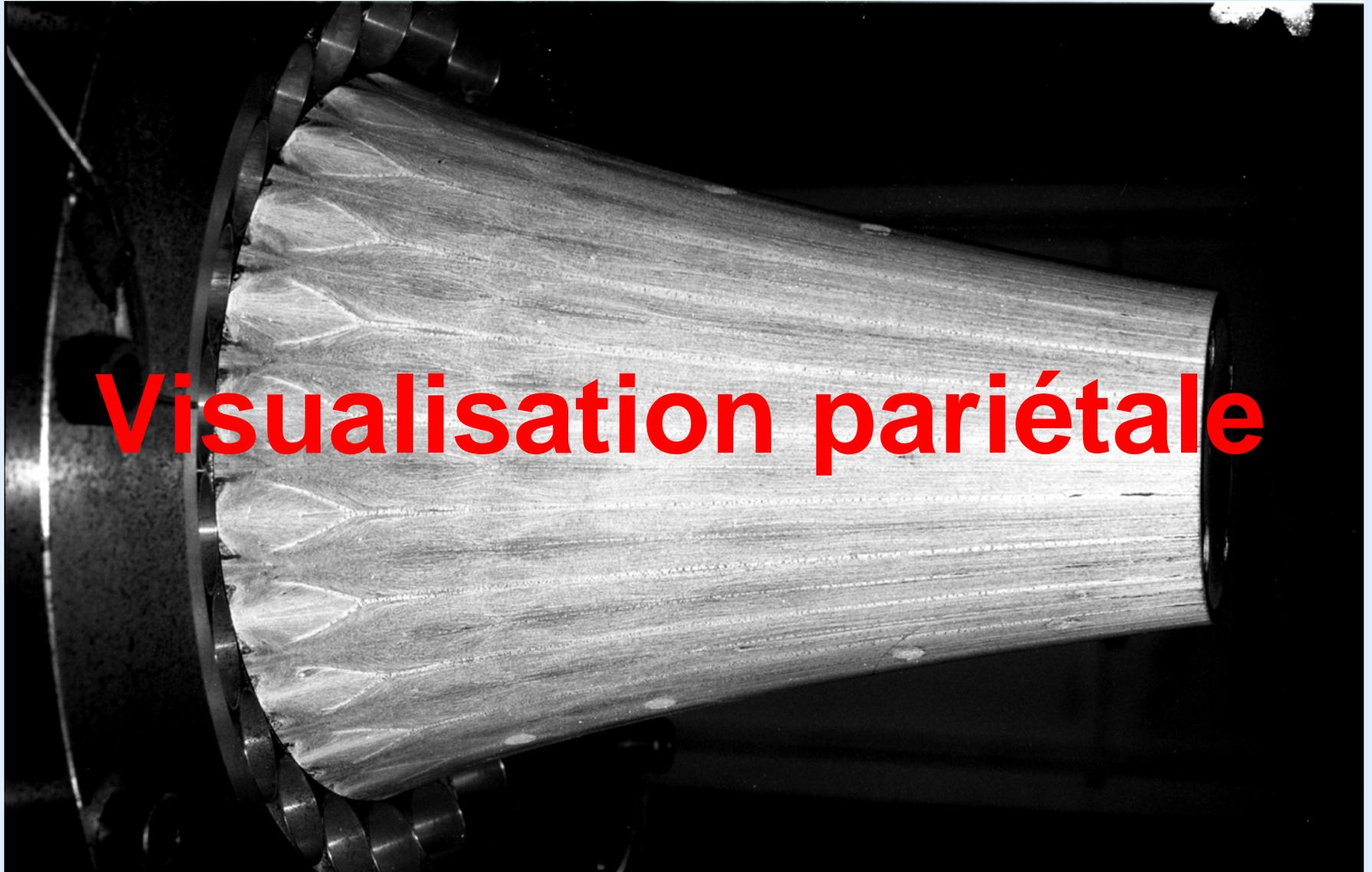
*jean.delery@free.fr*

## Partie 2

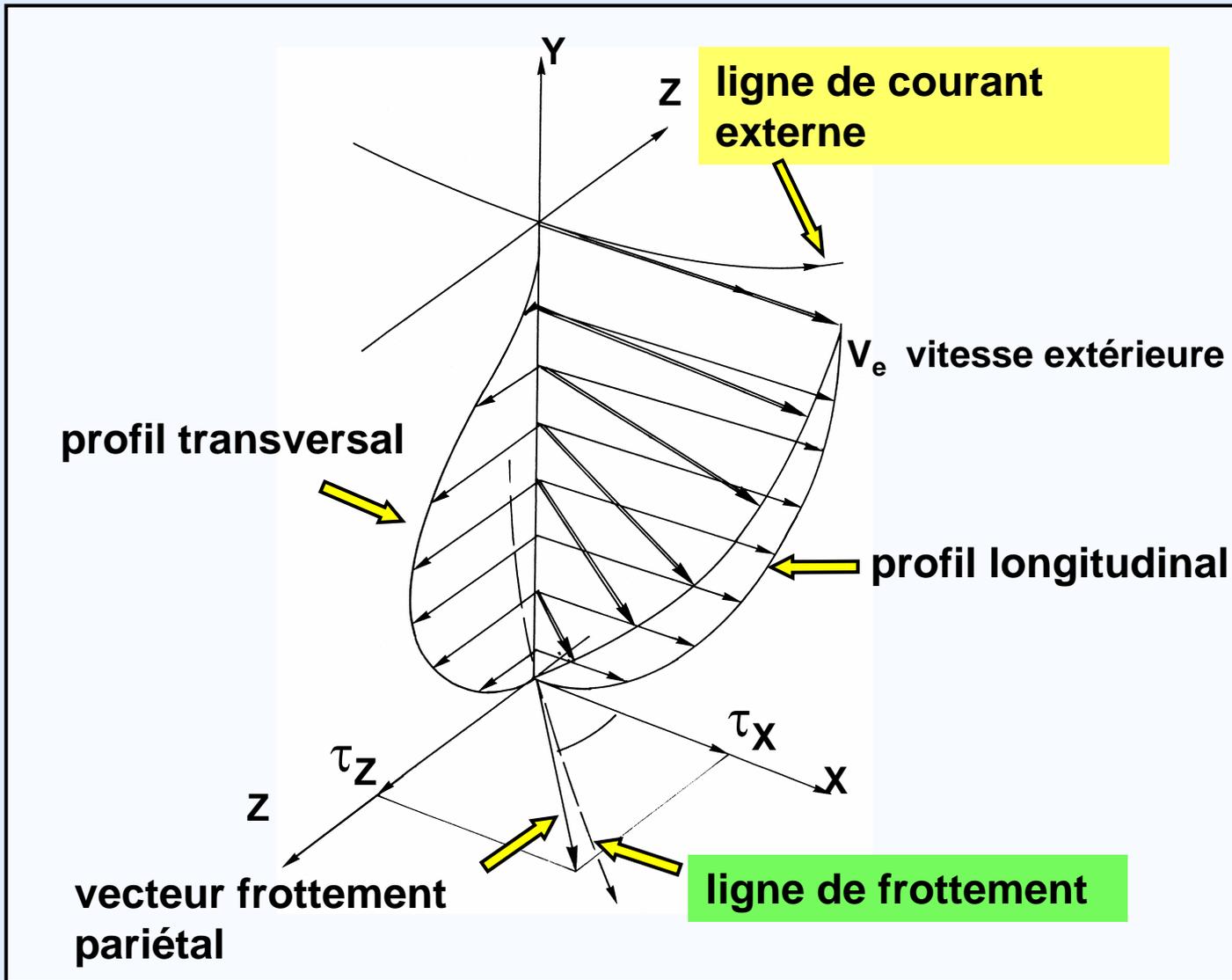
### Visualisation des écoulements



# Méthodes de mesure en aérodynamique



# Structure d'une couche limite tridimensionnelle



tridimensionnel  $\longrightarrow$  le frottement est un vecteur dans la surface

## Ligne de frottement et spectre pariétal

- ★ on considère l'espace à deux dimensions constitué par la surface d'un corps à trois dimensions
- ★ on introduit le champ formé par les vecteurs frottement à la paroi du corps
- ★ on définit les **lignes de force** ou **trajectoires** de ce champ  
→ solutions du système différentiel :

$$\frac{dx}{\tau_x(x, z)} = \frac{dz}{\tau_z(x, z)}$$

- ★ ligne de frottement → tangente au vecteur frottement local en chacun de ses points
- ★ spectre pariétal → ensemble des lignes de frottement à la surface d'un corps

# Méthodes de mesure en aérodynamique

## Visualisation pariétale

objectif



définition des lignes de frottement



points singuliers (cols, nœuds, foyers)



**lignes de décollement et d'attachement**

méthode



la surface est enduite d'un film ou enduit visqueux

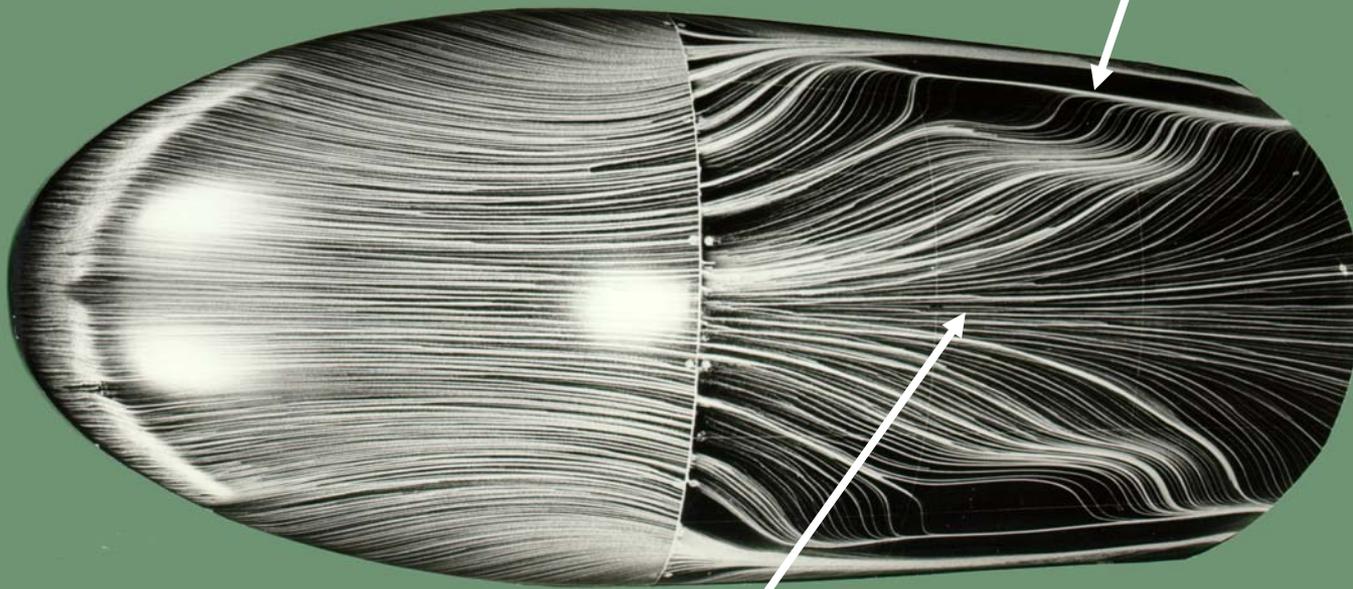
pigments colorés ou oxyde de titane mélangés à une huile de silicone ou à machine (paraffine)

**les lignes de frottement apparaissent sous l'effet d'entraînement de l'écoulement par frottement**

## Visualisation pariétale

vue de dessus

ligne de décollement

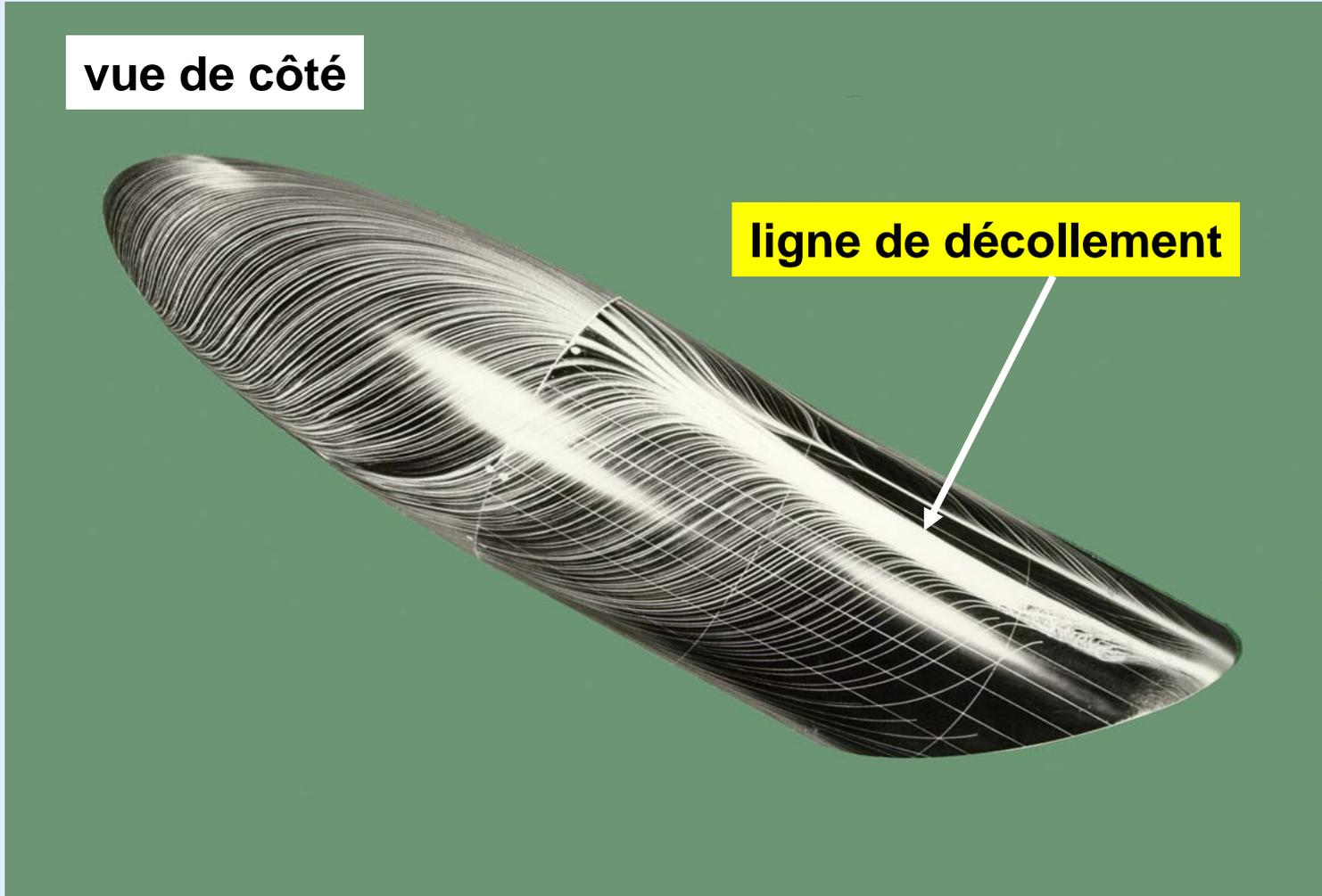


ligne d'attachement

lignes de frottement sur un corps arrondi en incidence

## Visualisation pariétale

vue de côté

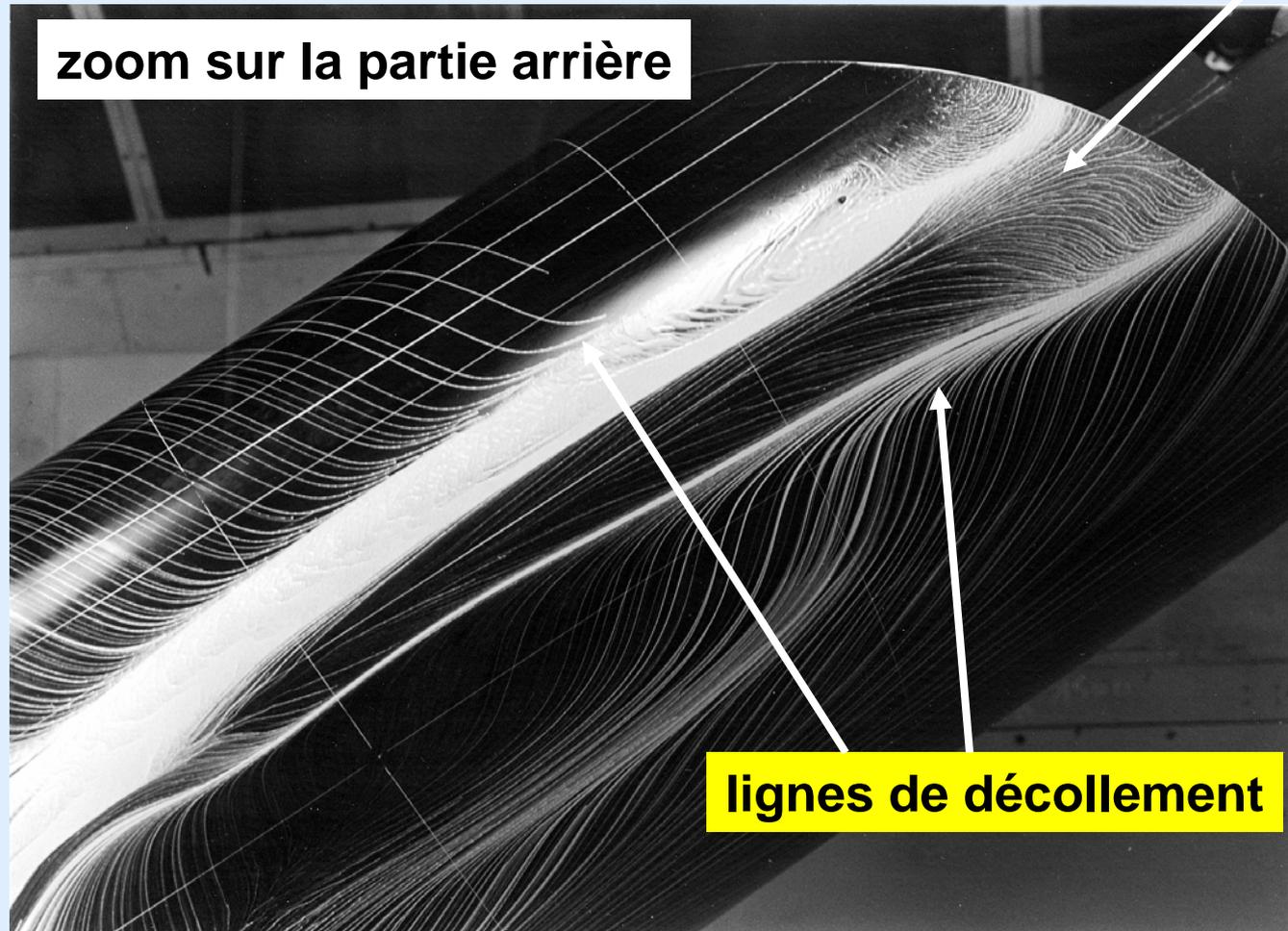


ligne de décollement

lignes de frottement sur un corps arrondi en incidence

# Méthodes de mesure en aérodynamique

## Visualisation pariétale



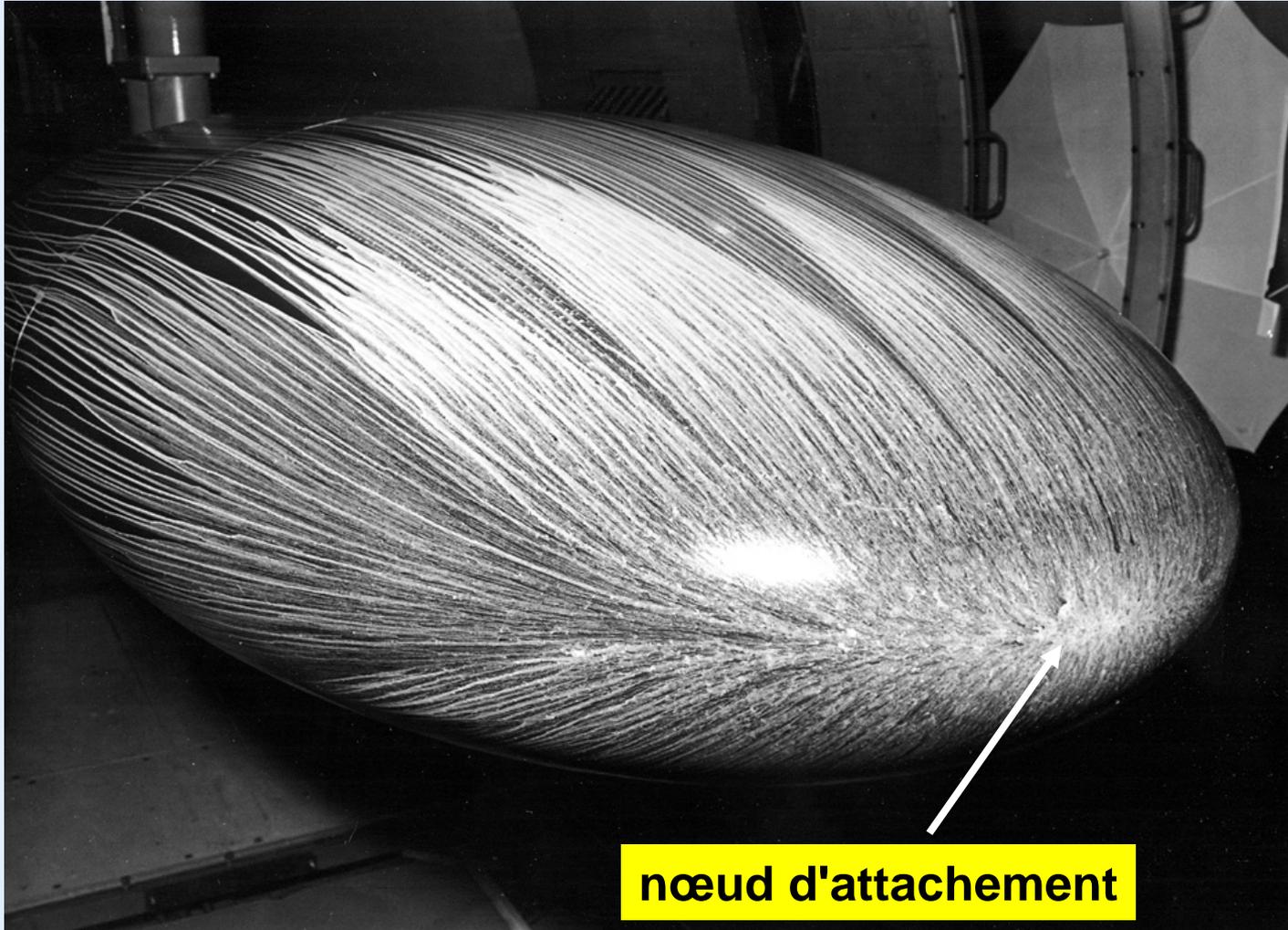
ligne d'attachement

zoom sur la partie arrière

lignes de décollement

lignes de frottement sur un corps arrondi en incidence

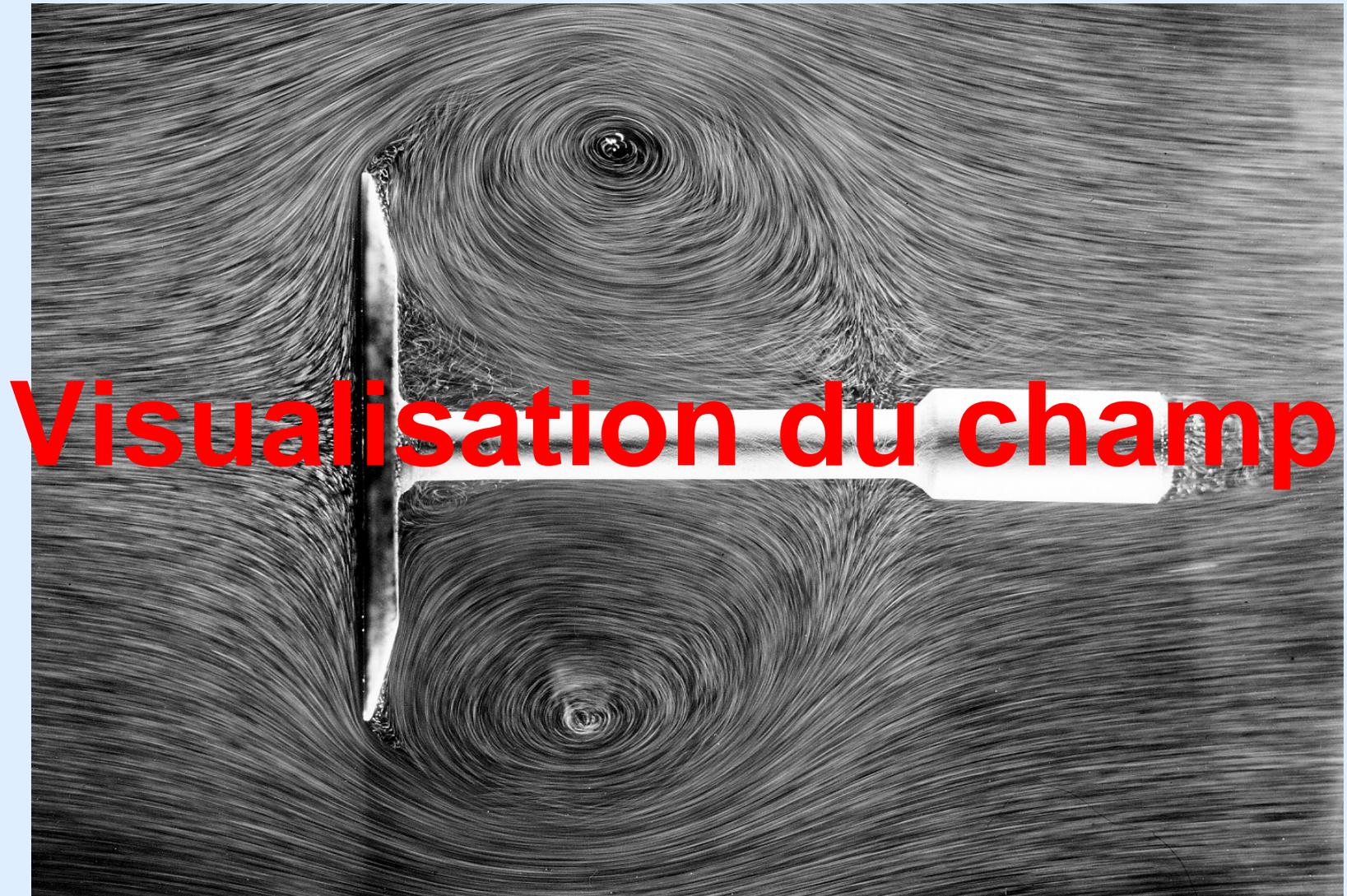
**Visualisation pariétale**



**nœud d'attachement**

**lignes de frottement sur un corps arrondi en incidence**

# Méthodes de mesure en aérodynamique



## Méthodes de mesure en aérodynamique

### Visualisation du champ

#### domaine

écoulements à très faible vitesse (quelques cm/s) dans l'eau



simulation au tunnel hydrodynamique

#### méthode

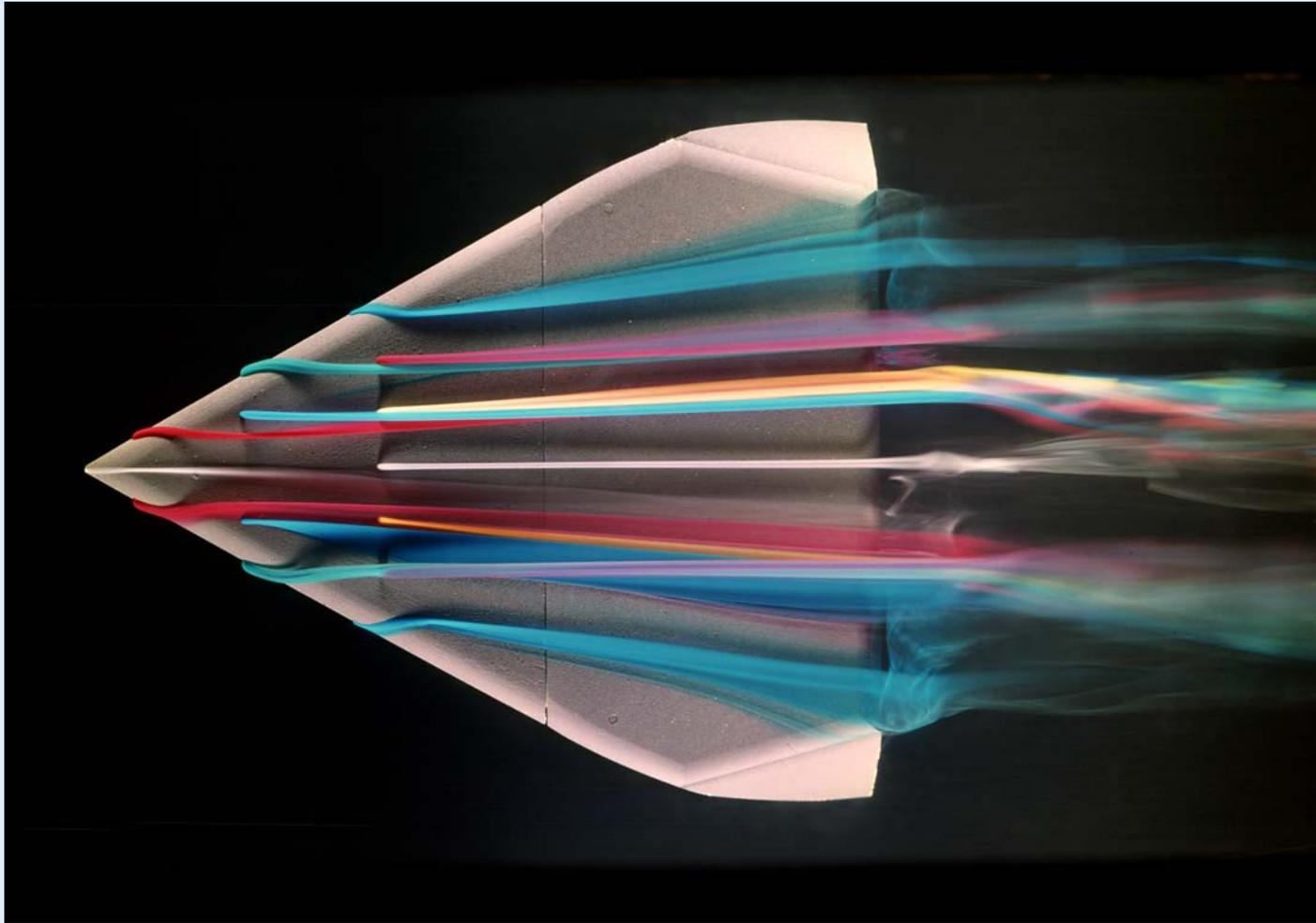
- ★ émission de traceurs colorés (sur la maquette ou en amont)
- ★ éclairage par un plan de lumière de bulles d'air ou de fluorescéine
- ★ émission locale de bulles d'hydrogène produites par électrolyse

#### résultat

mise en évidence  lignes de courant, décollements, tourbillons, turbulence....

# Méthodes de mesure en aérodynamique

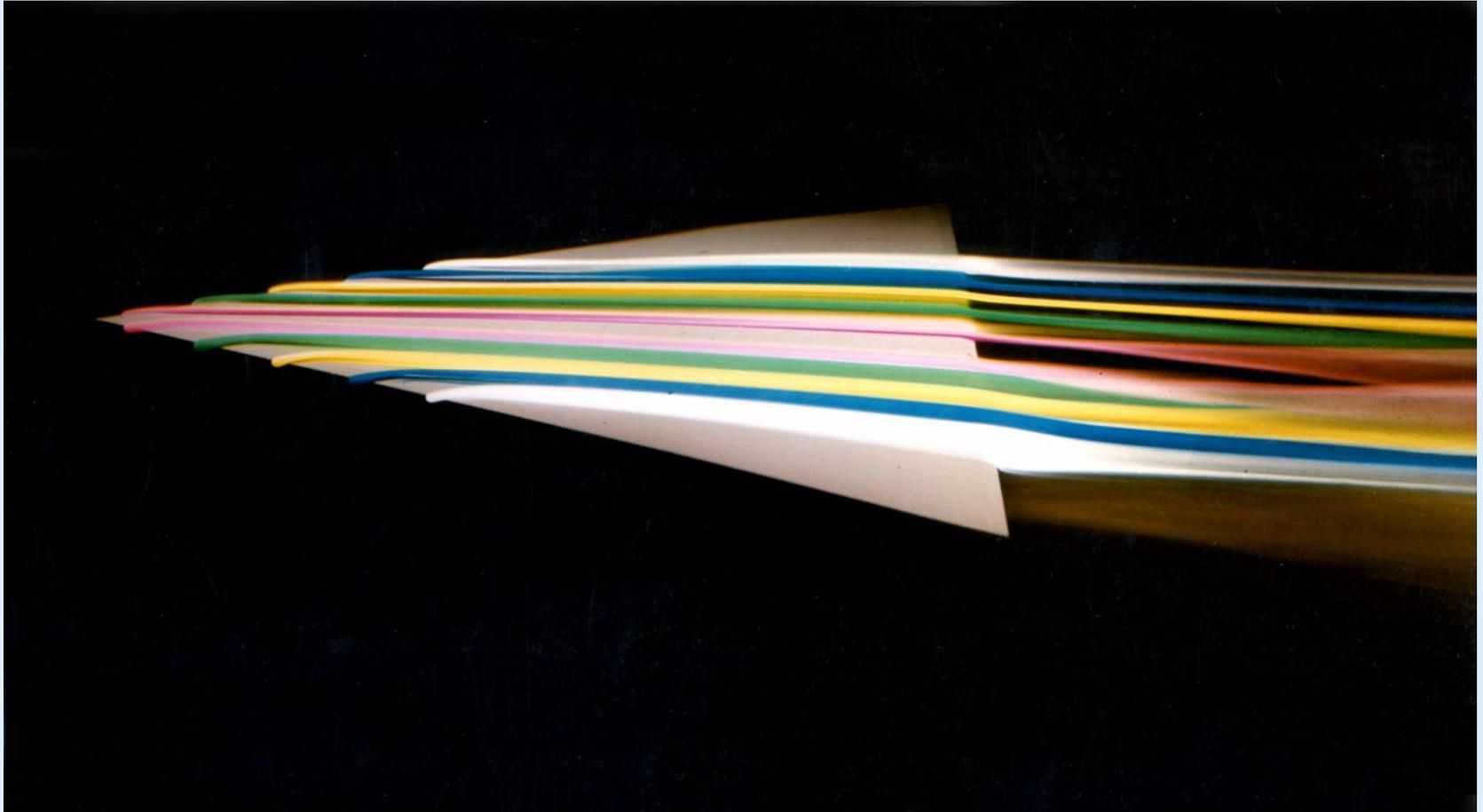
## Visualisation du champ



émissions colorées au bord d'attaque d'une aile delta - vue de dessus

## Méthodes de mesure en aérodynamique

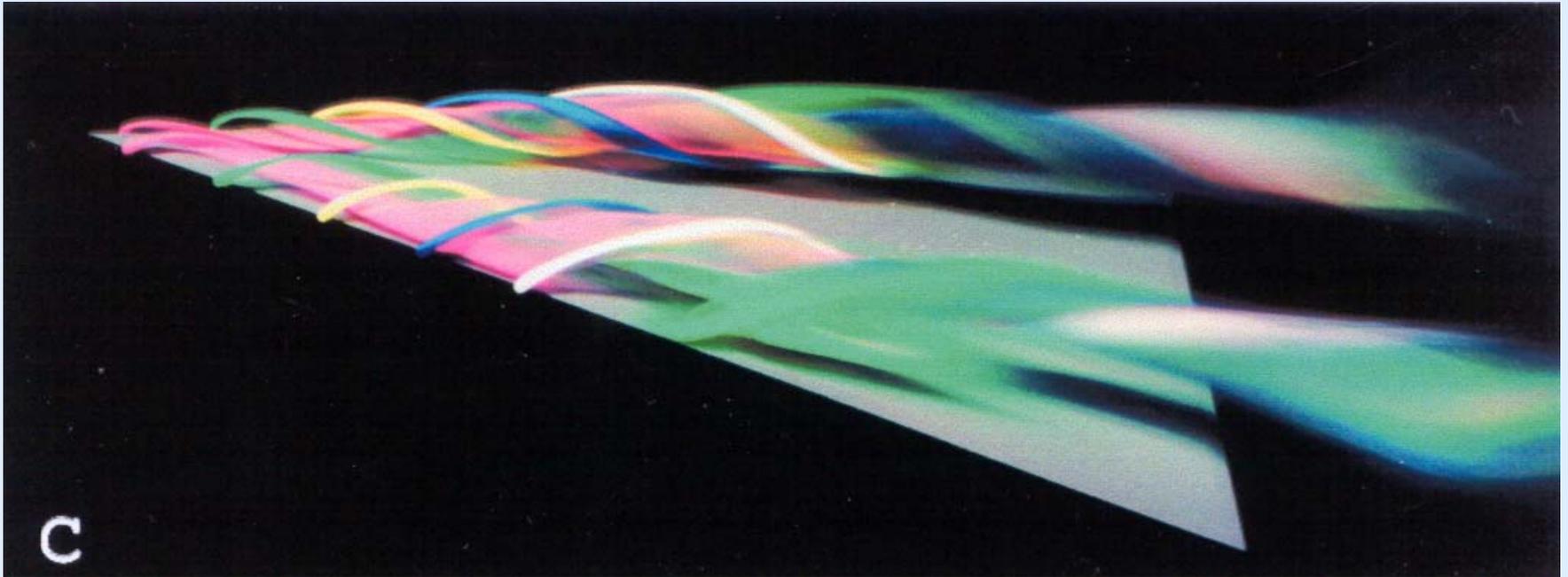
### Visualisation du champ



émissions colorées au bord d'attaque d'une aile delta - vue de côté

## Méthodes de mesure en aérodynamique

### Visualisation du champ

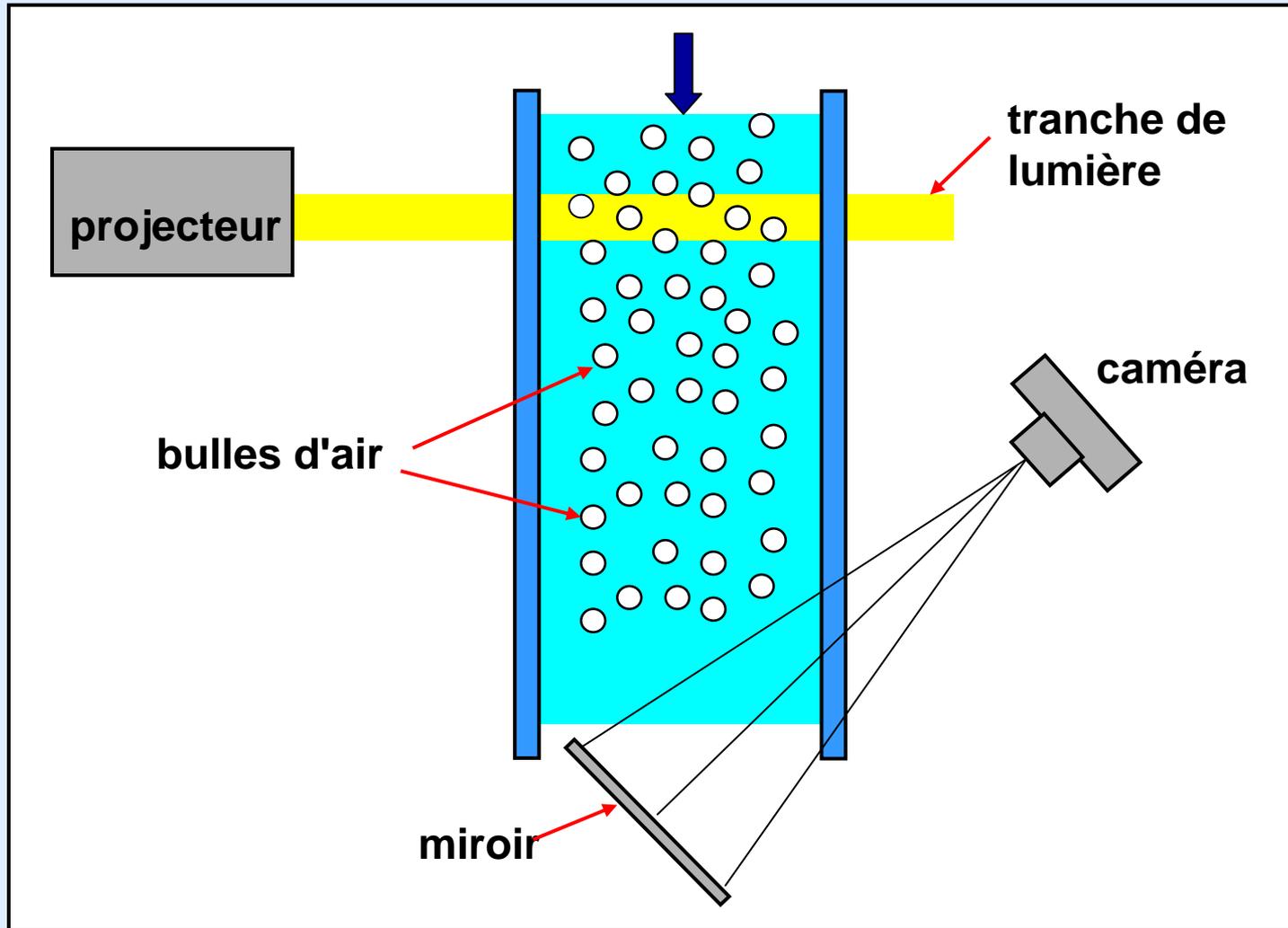


émissions colorées au bord d'attaque d'une aile delta en incidence  
formation des tourbillons d'extrados

# Méthodes de mesure en aérodynamique

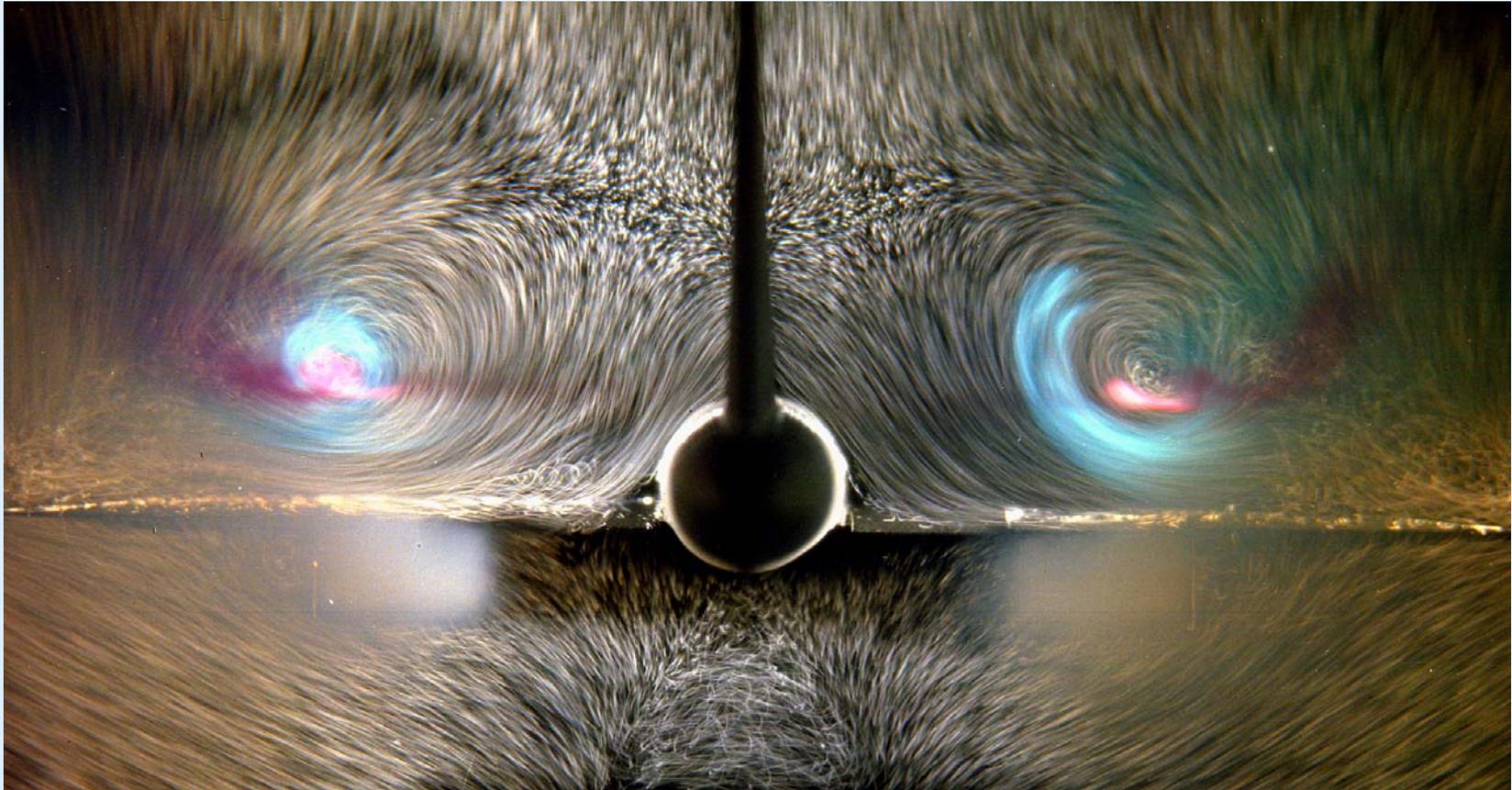
## Visualisation du champ

### Méthode des bulles d'air au tunnel hydrodynamique



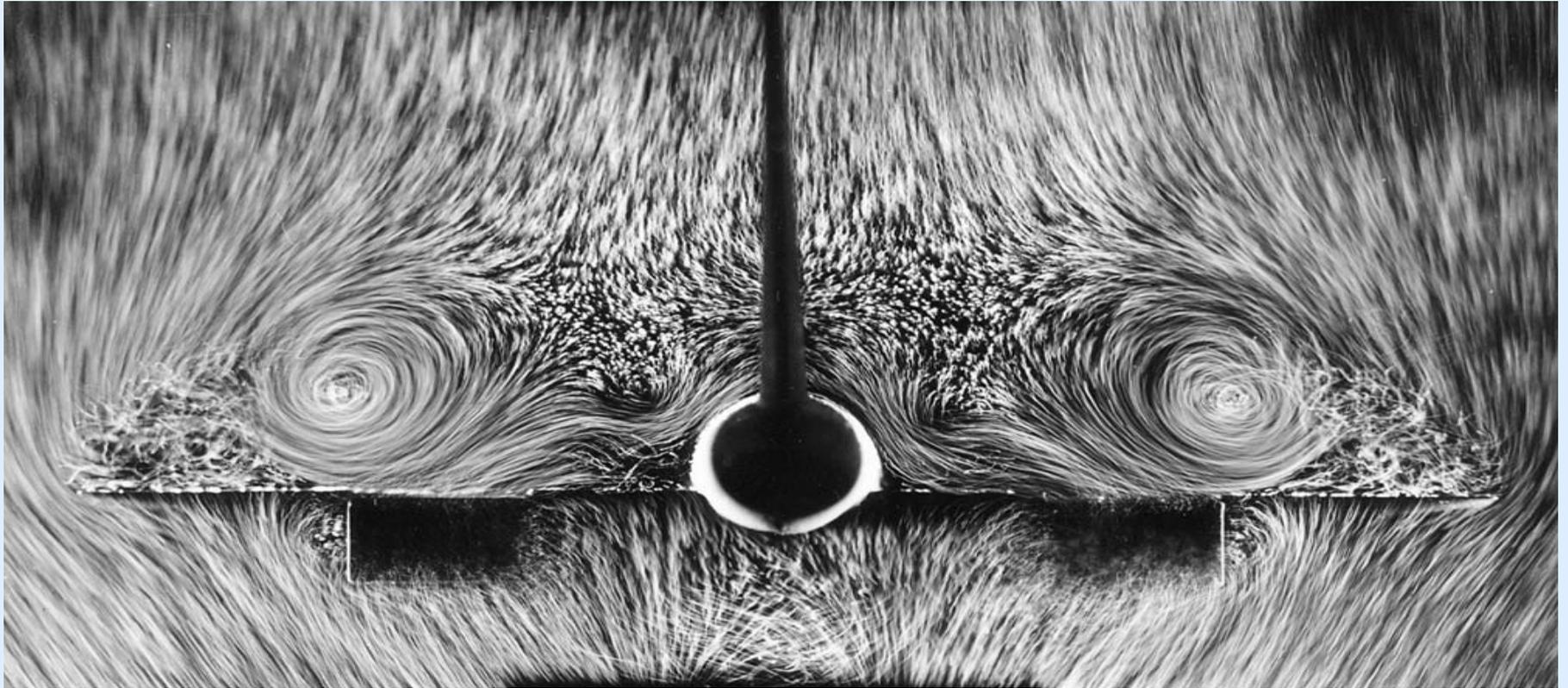
# Méthodes de mesure en aérodynamique

## Visualisation du champ



visualisation par bulles autour d'une maquette de Concorde  
vue de l'arrière

## Visualisation du champ



visualisation par bulles autour d'une maquette de Concorde  
vue de l'arrière

# Méthodes de mesure en aérodynamique

## Visualisation du champ

### domaine

écoulements à grande vitesse (jusqu'au supersonique) dans l'air



expériences en soufflerie

### méthode

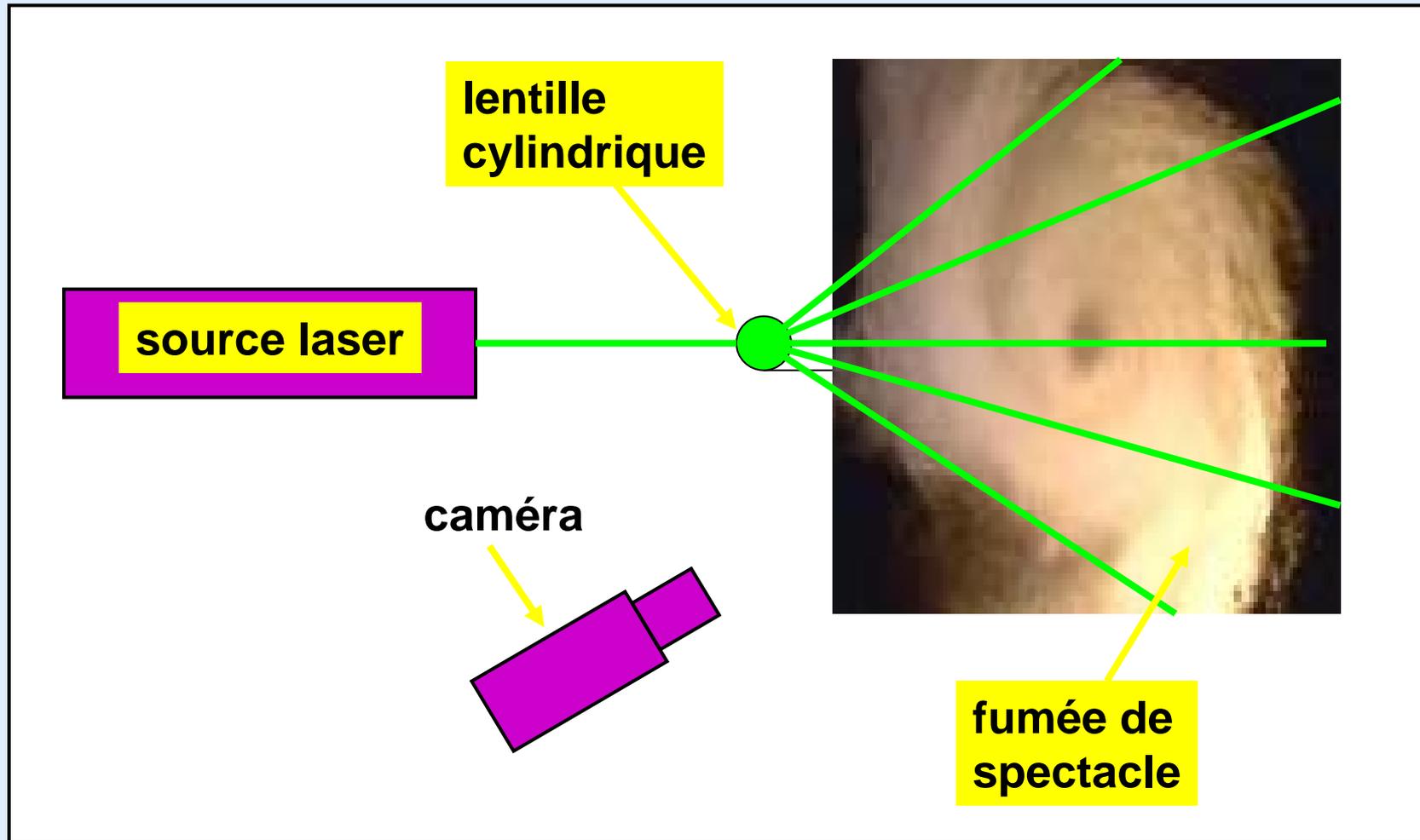
plan de lumière ou tomoscopie laser

éclairage par un plan de lumière intense de particules injectées dans l'écoulement (fumée de spectacle)

### résultat

mise en évidence des décollements, tourbillons, zones turbulentes....

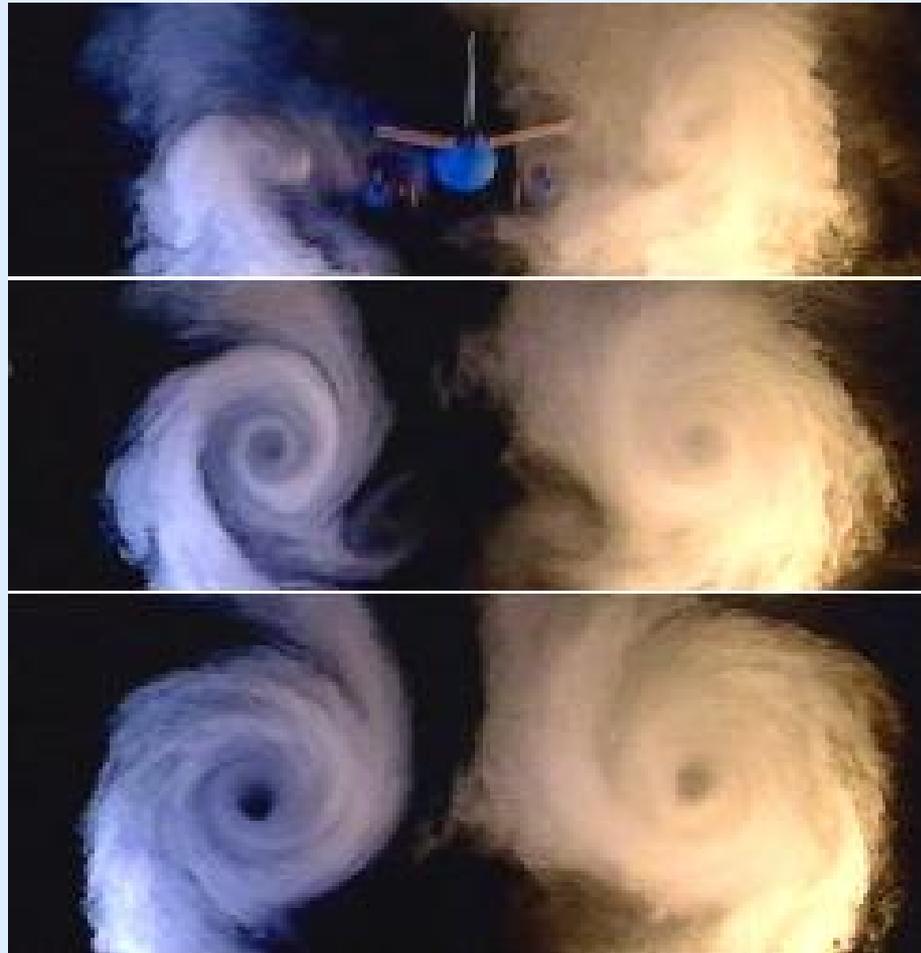
## Visualisation du champ



principe de la tomoscopie laser

# Méthodes de mesure en aérodynamique

## Visualisation du champ

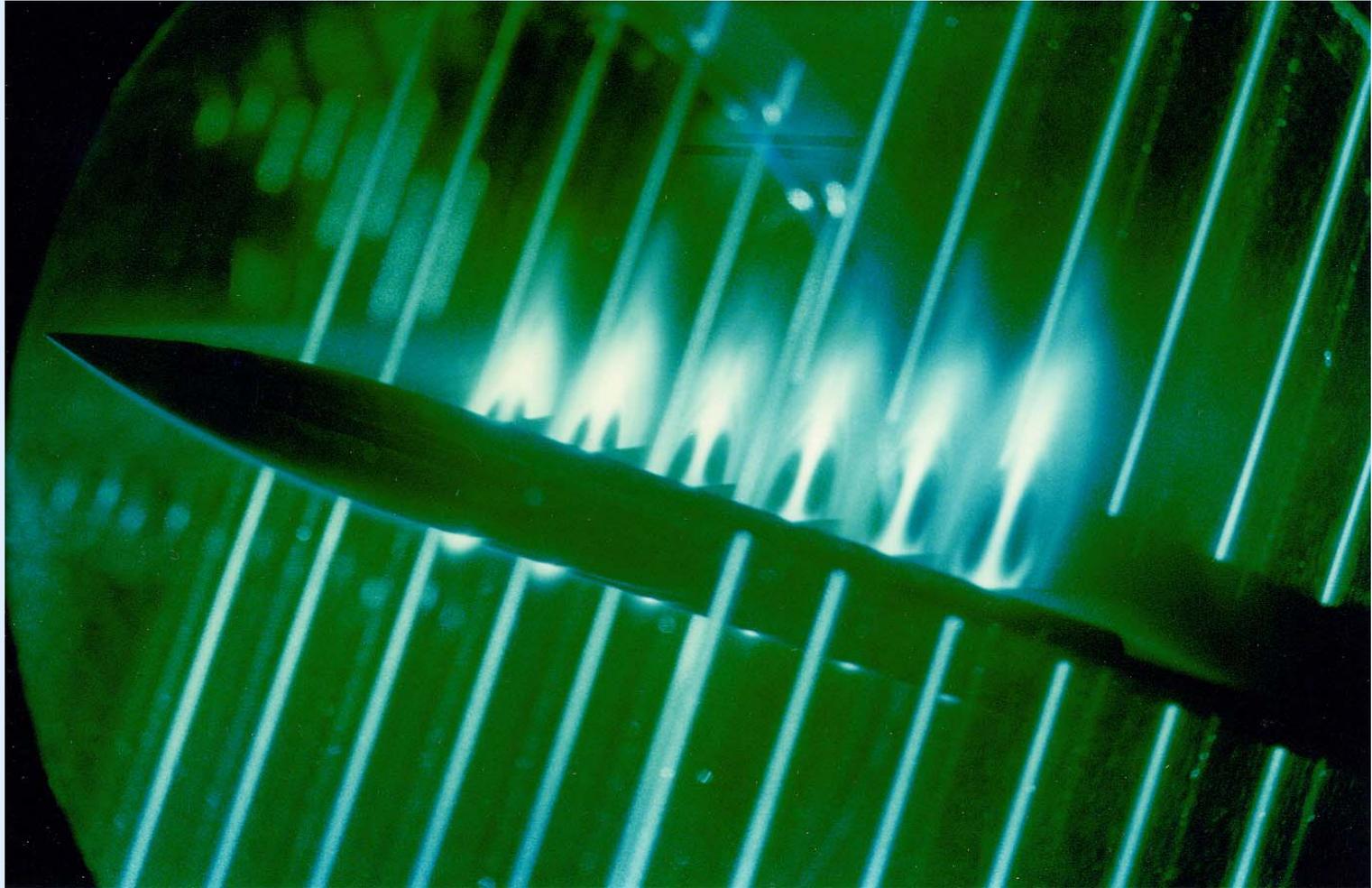


amont

aval

tomoscopie laser des tourbillons d'aile d'un avion de transport

**Visualisation du champ**



**tomoscopie laser des tourbillons sur un missile à Mach 2**