



MÉTHODES DE MESURE EN AÉRODYNAMIQUE

Partie 2

Visualisation des écoulements

Jean Délery

Conseiller émérite à l'Onera

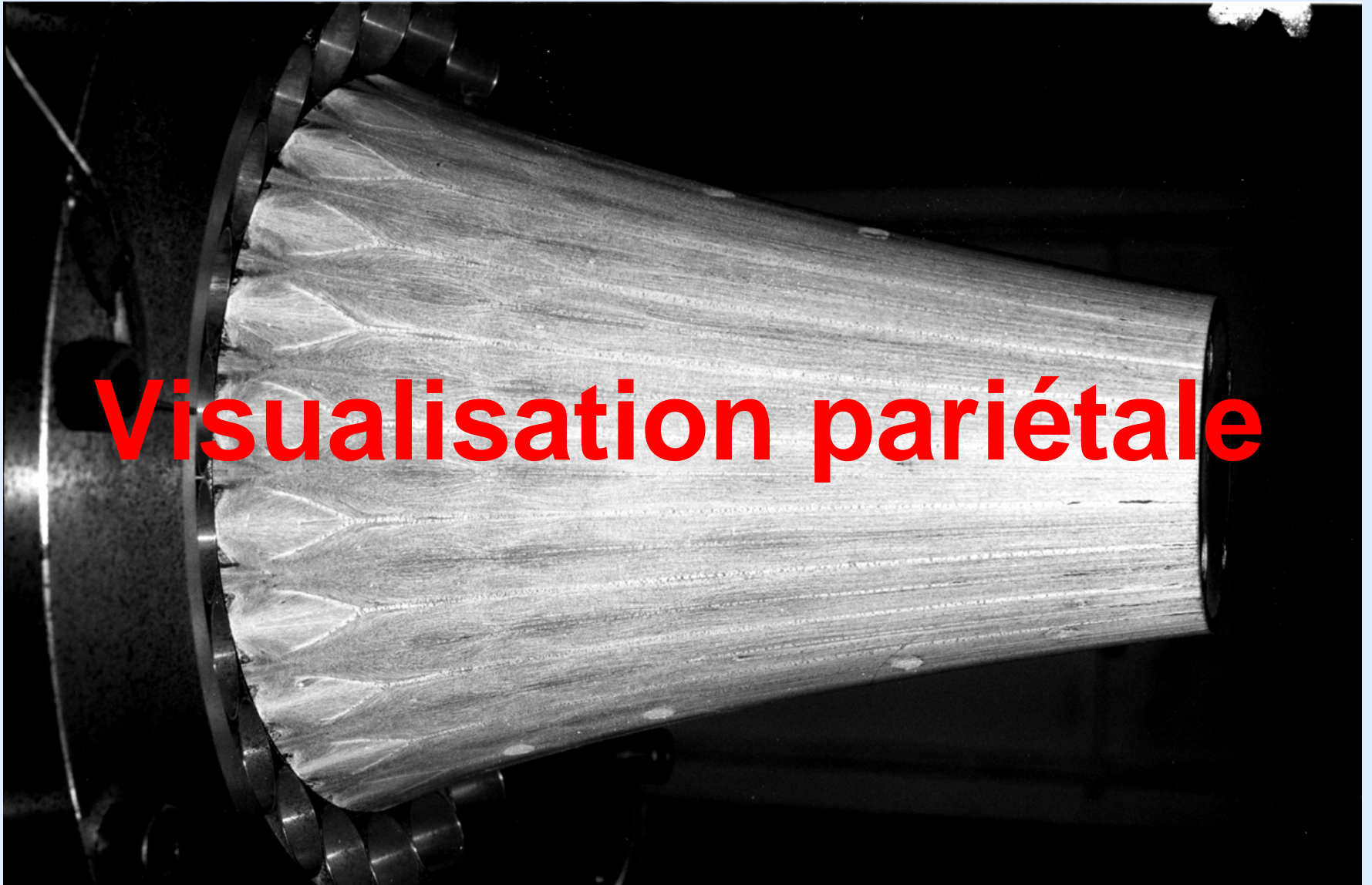
jean.delery@free.fr

Partie 2

Visualisation des écoulements

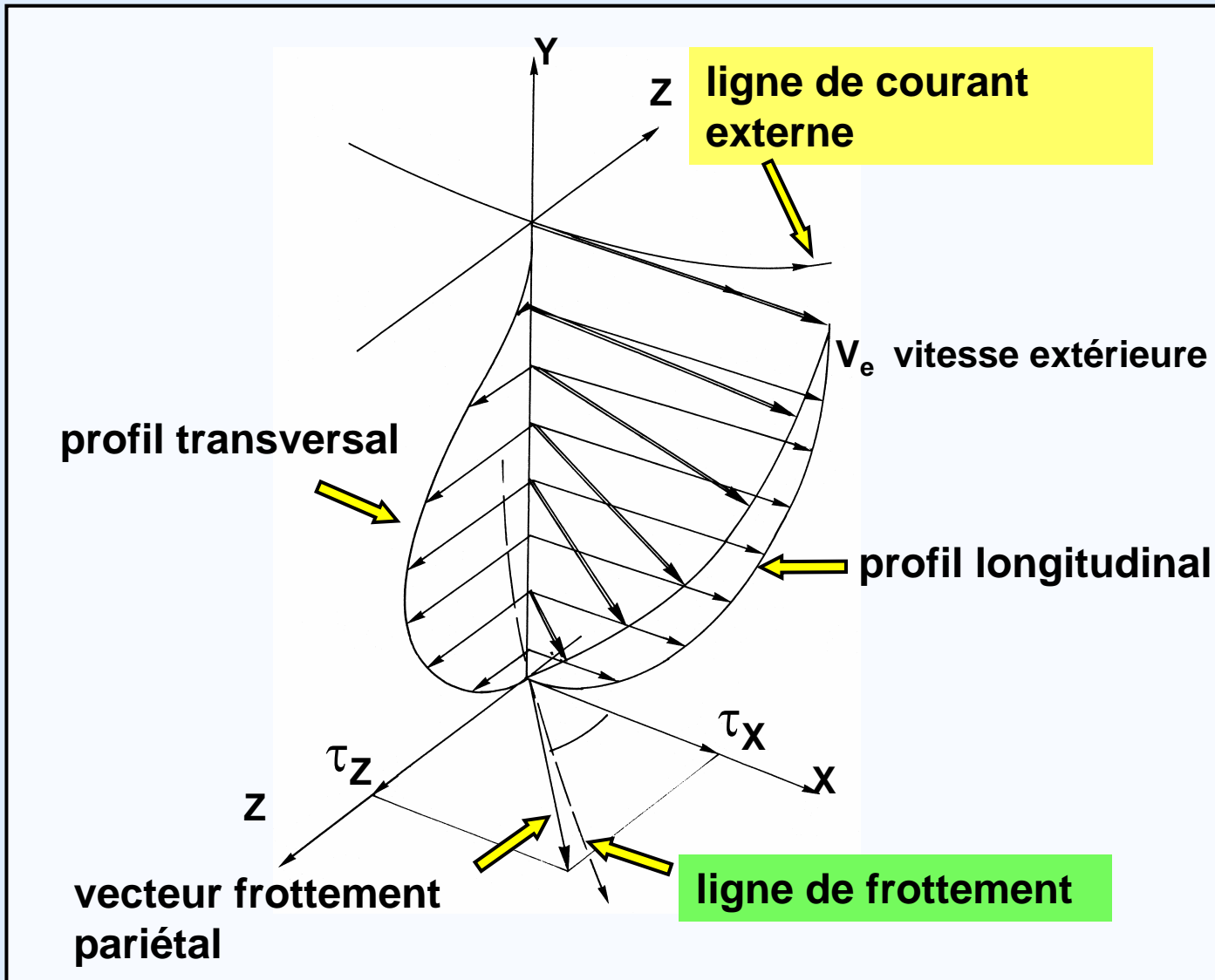


Méthodes de mesure en aérodynamique



Visualisation pariétale

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

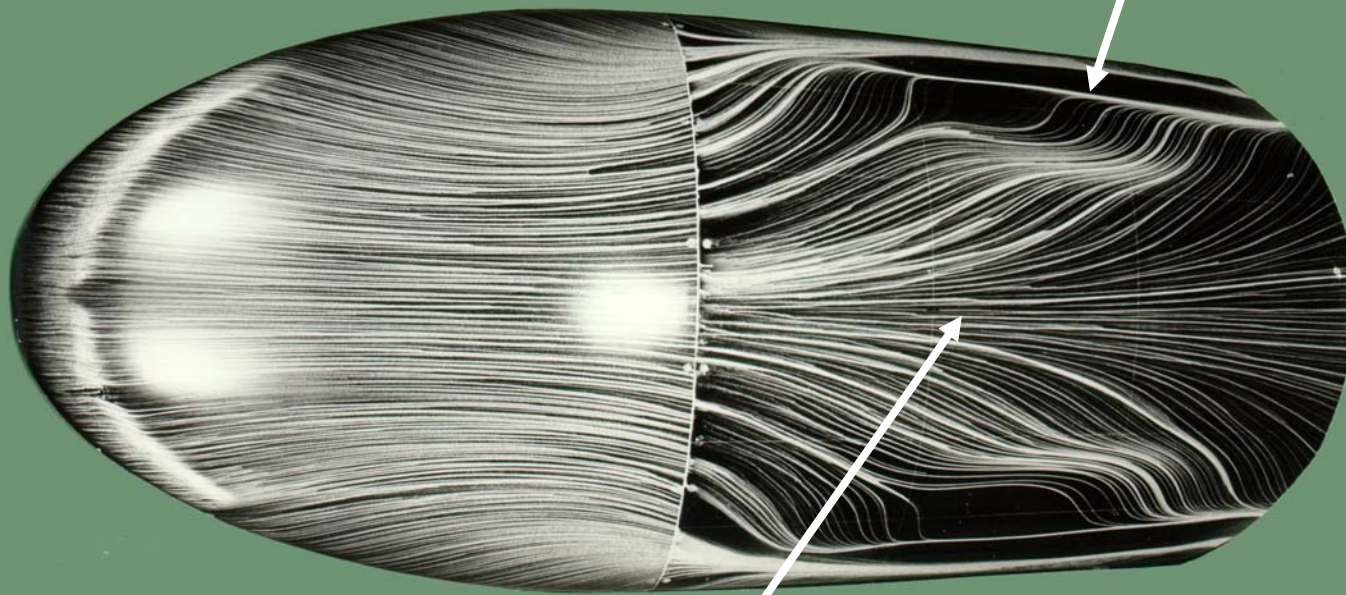
pigments colorés ou oxyde de titane mélangés à une huile de silicone ou à machine (paraffine)

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

Visualisation pariétale

vue de dessus

ligne de décollement

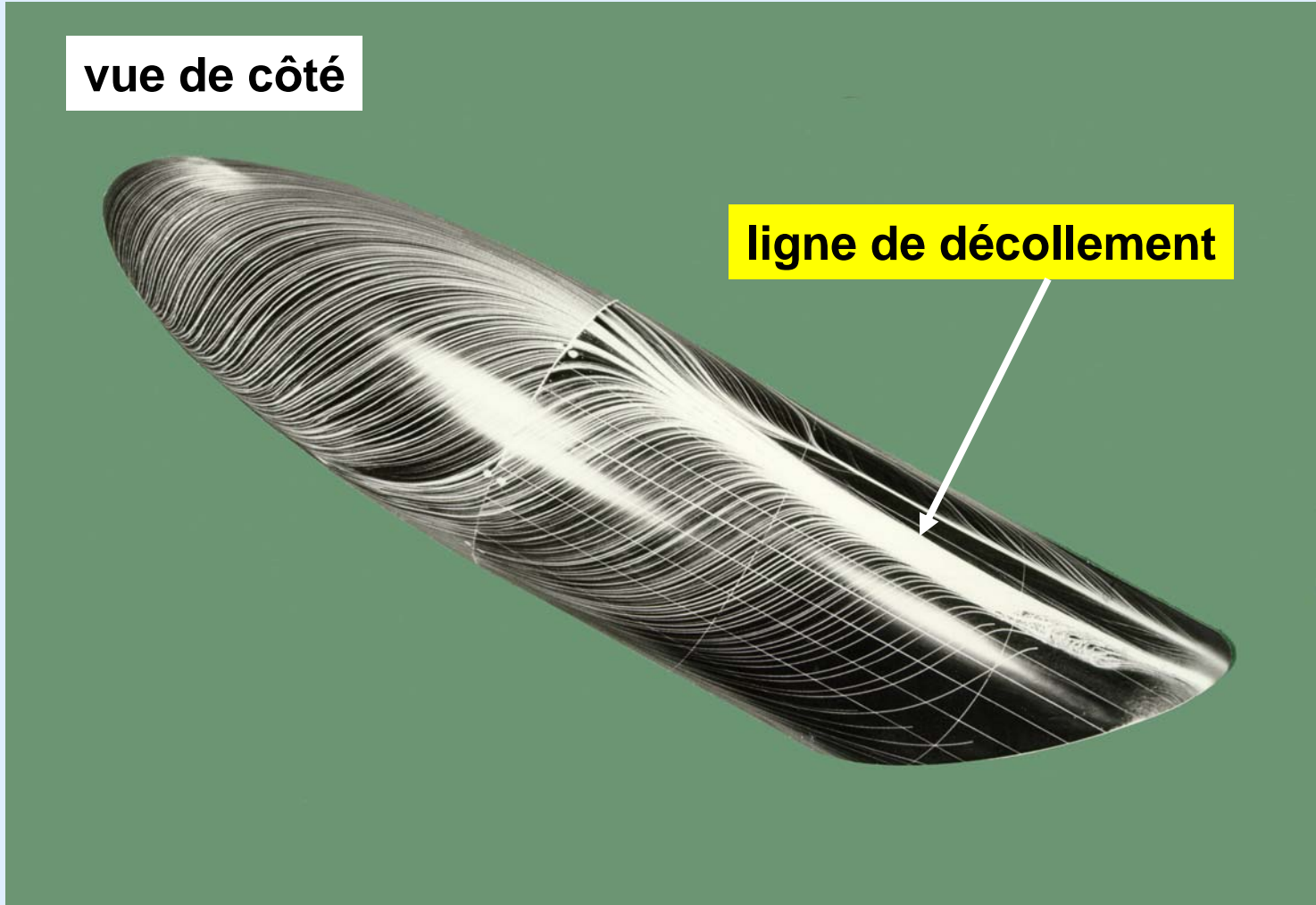


ligne d'attachement

lignes de frottement sur un corps arrondi en incidence

Visualisation pariétale

vue de côté

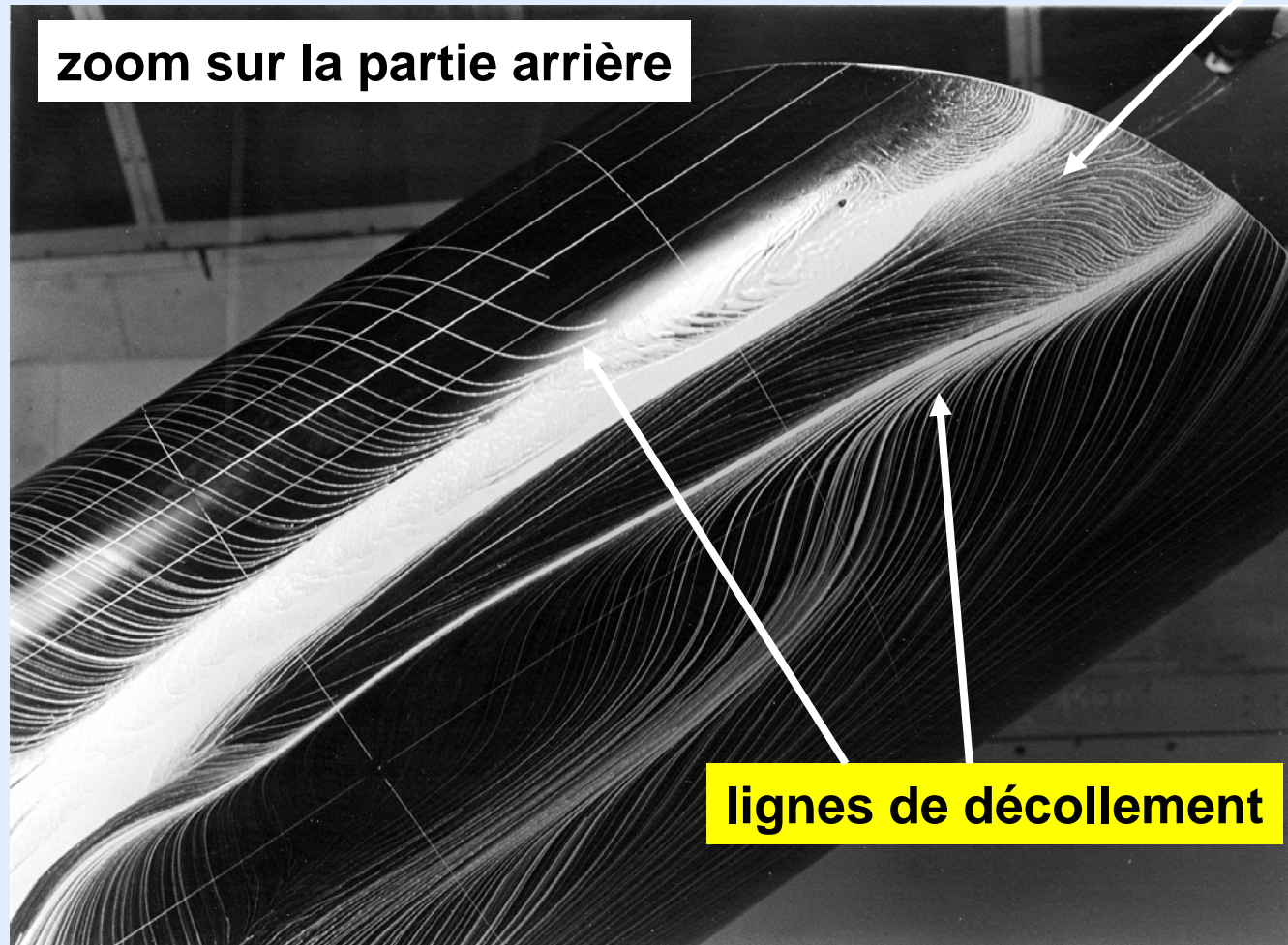


ligne de décollement

lignes de frottement sur un corps arrondi en incidence

Méthodes de mesure en aérodynamique

Visualisation pariétale



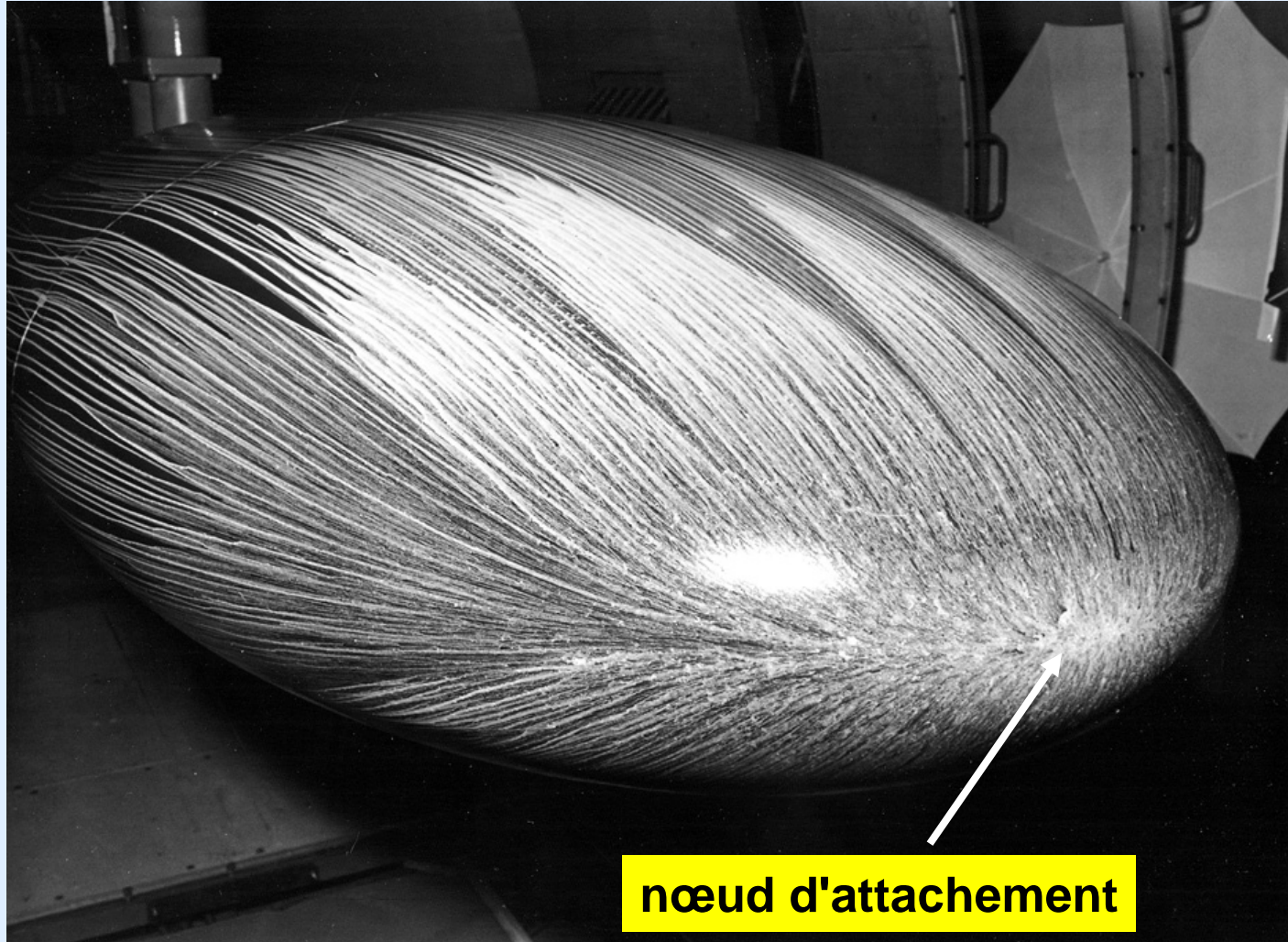
zoom sur la partie arrière

ligne d'attachement

lignes de décollement

lignes de frottement sur un corps arrondi en incidence

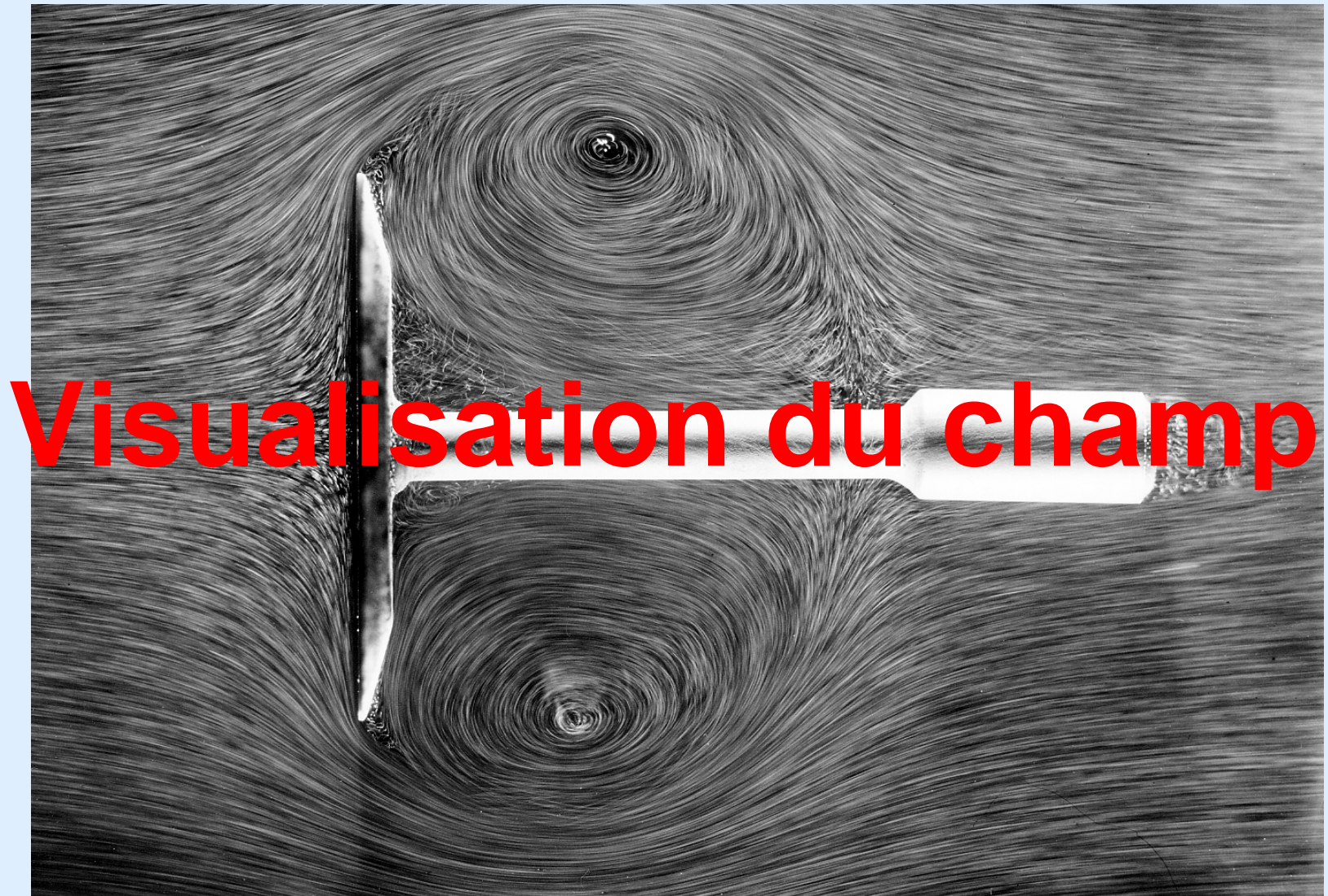
Visualisation pariétale



nœud d'attachement

lignes de frottement sur un corps arrondi en incidence

Méthodes de mesure en aérodynamique

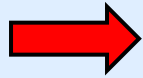


Méthodes de mesure en aérodynamique

Visualisation du champ

domaine

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



simulation au tunnel hydrodynamique

méthode

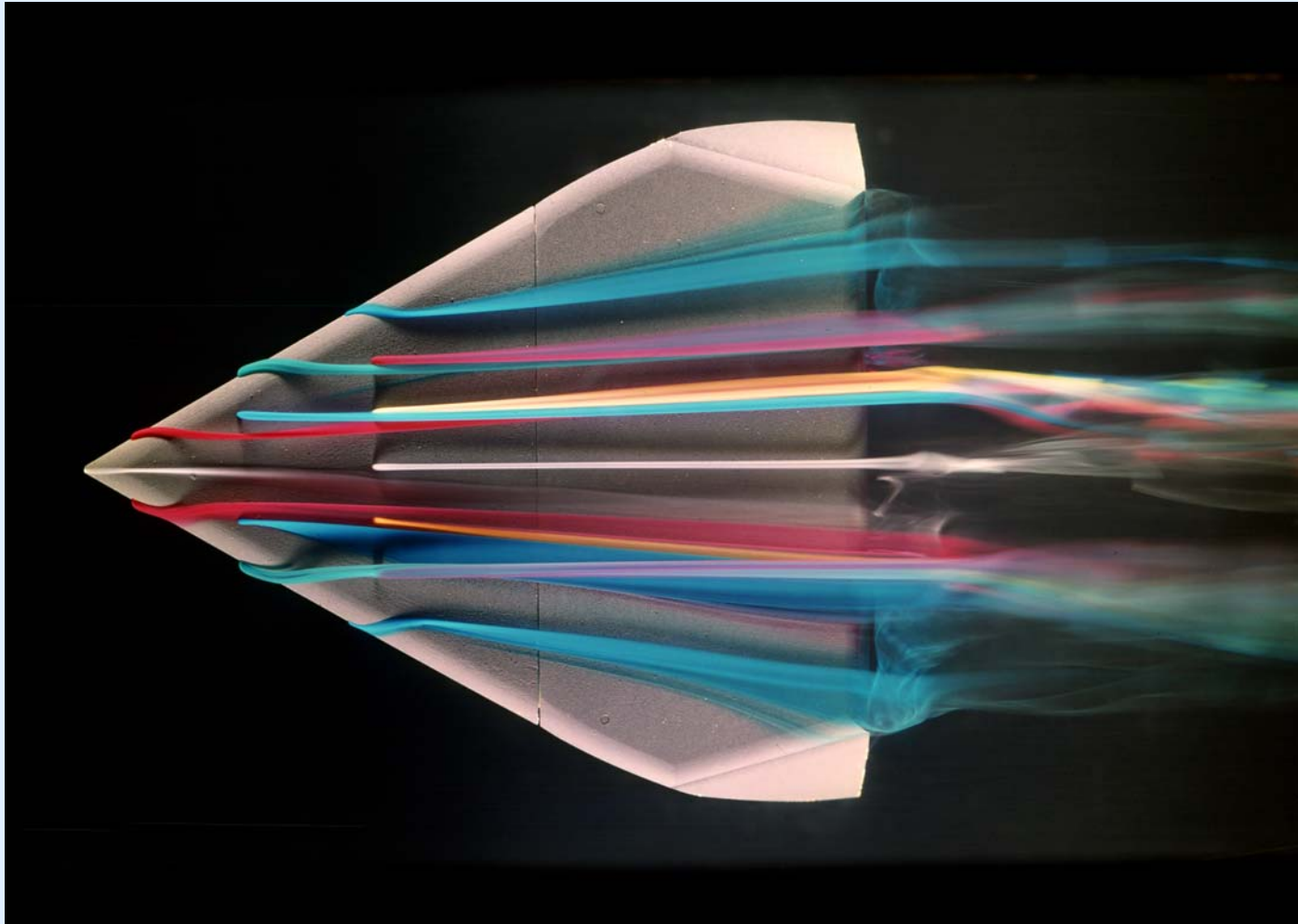
- ★ émission de traceurs colorés (sur la maquette ou en amont)
- ★ éclairage par un plan de lumière de bulles d'air ou de fluorescéine
- ★ émission locale de bulles d'hydrogène produites par électrolyse

résultat

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

Méthodes de mesure en aérodynamique

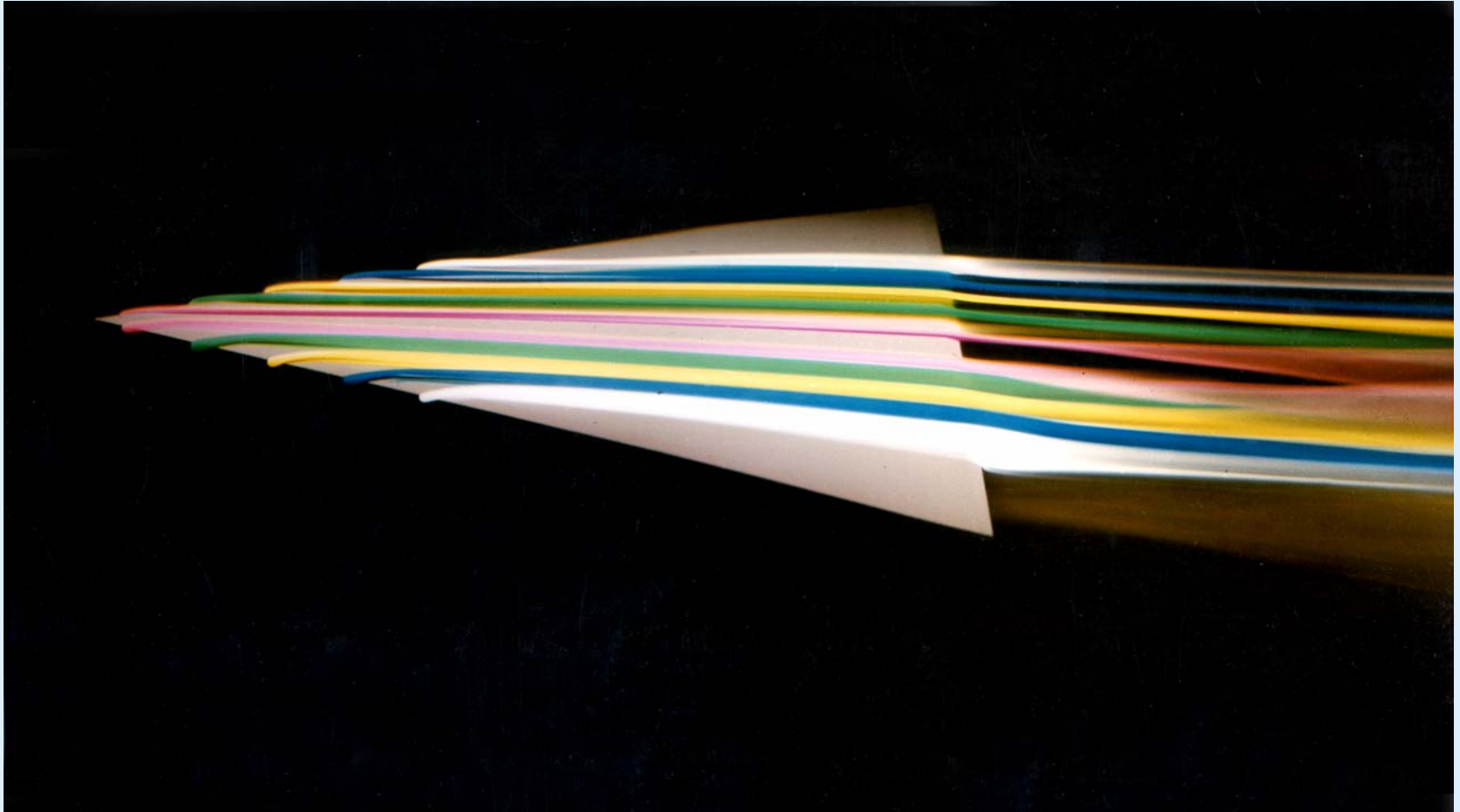
Visualisation du champ



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

Méthodes de mesure en aérodynamique

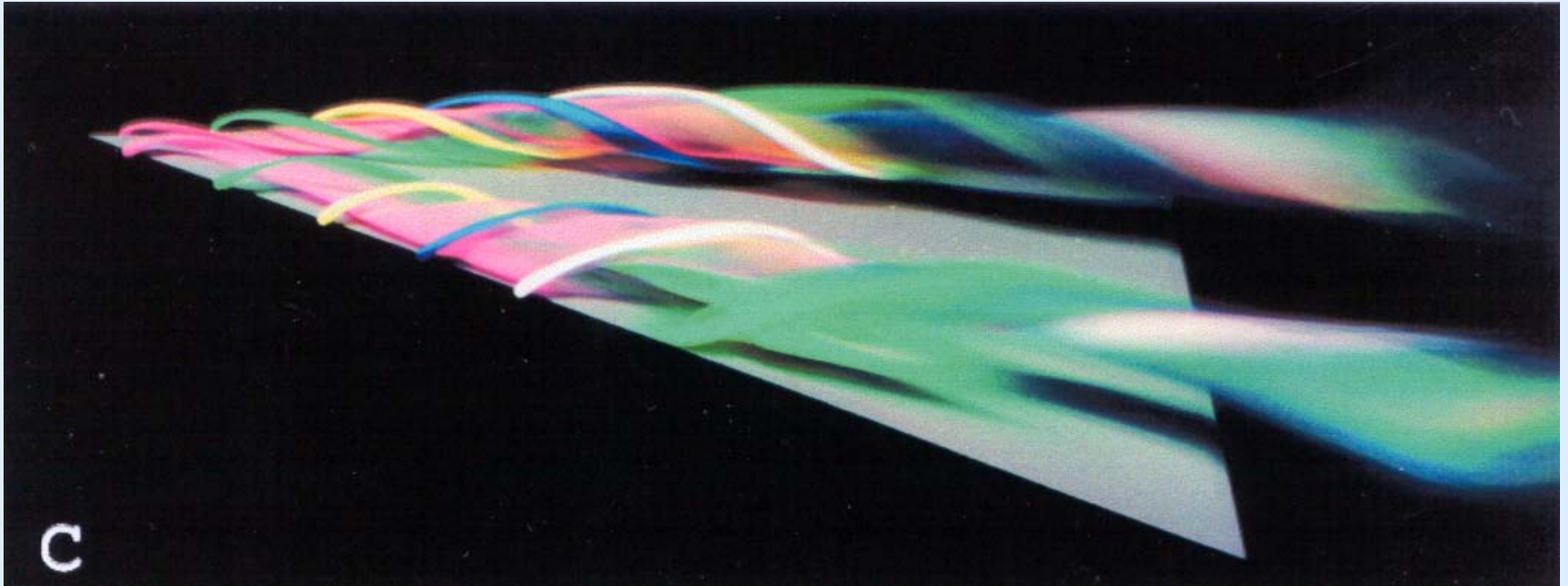
Visualisation du champ



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

Méthodes de mesure en aérodynamique

Visualisation du champ

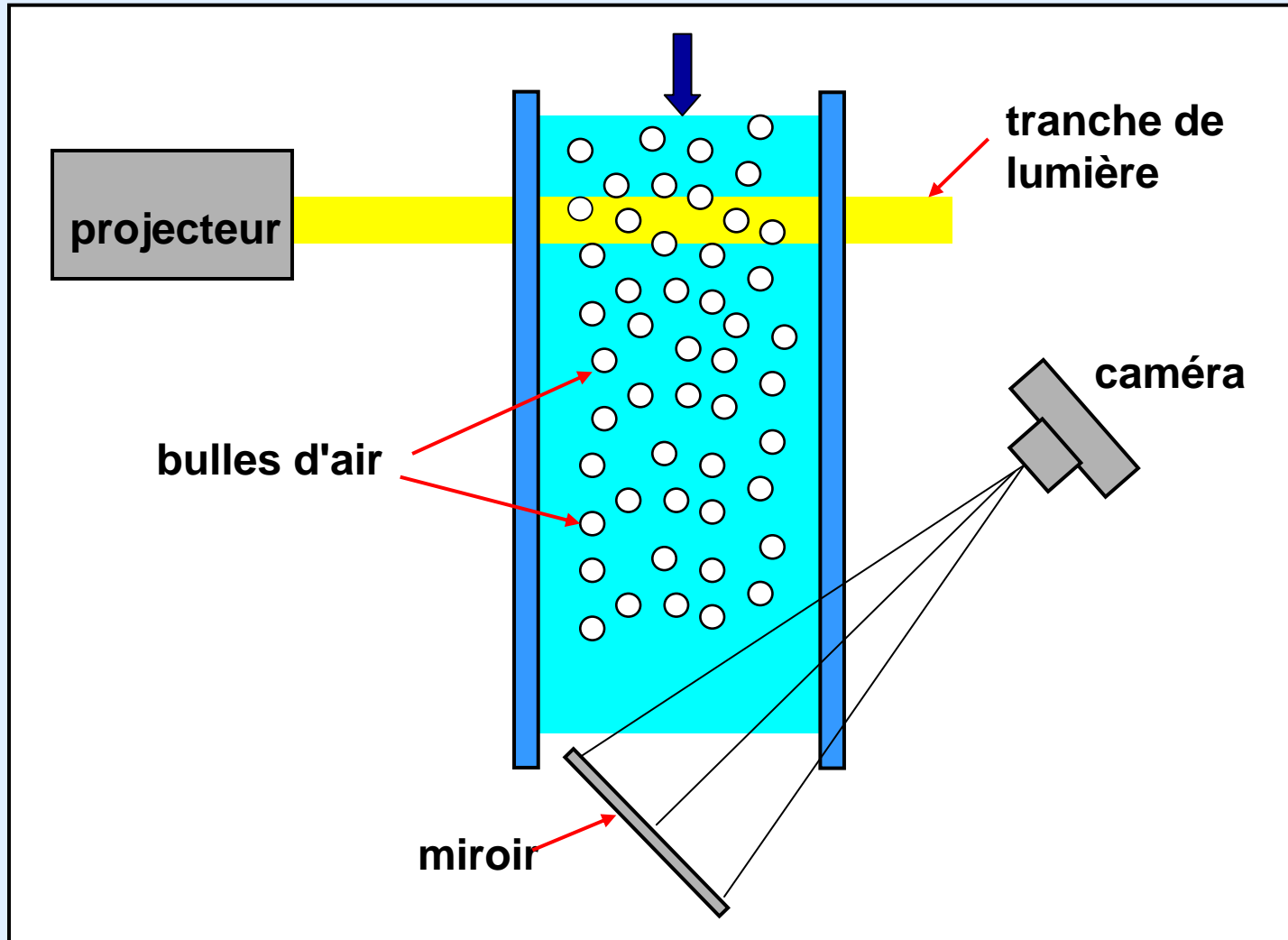


émissions colorées au bord d'attaque d'une aile delta en incidence
formation des tourbillons d'extrados

Méthodes de mesure en aérodynamique

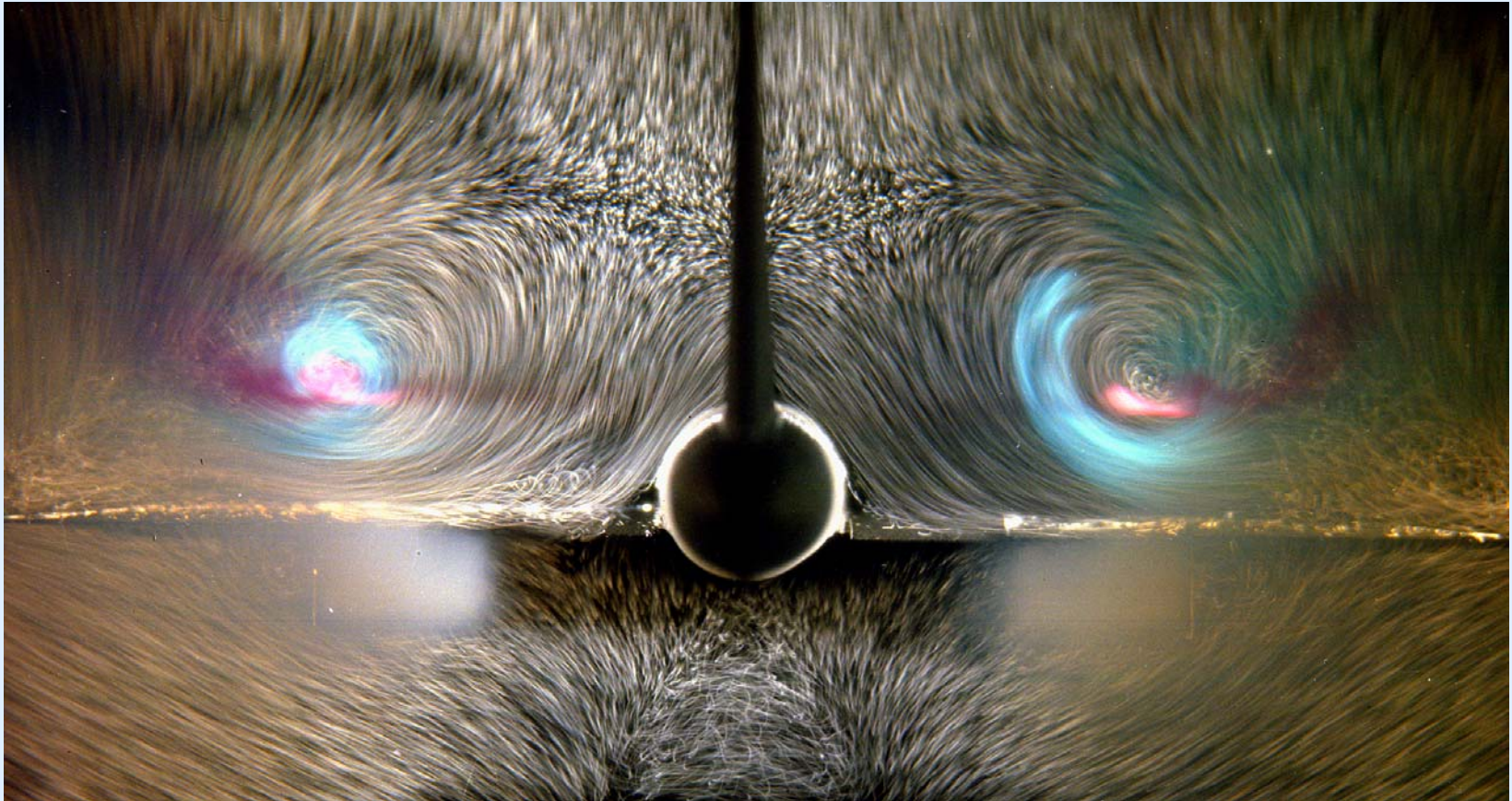
Visualisation du champ

Méthode des bulles d'air au tunnel hydrodynamique



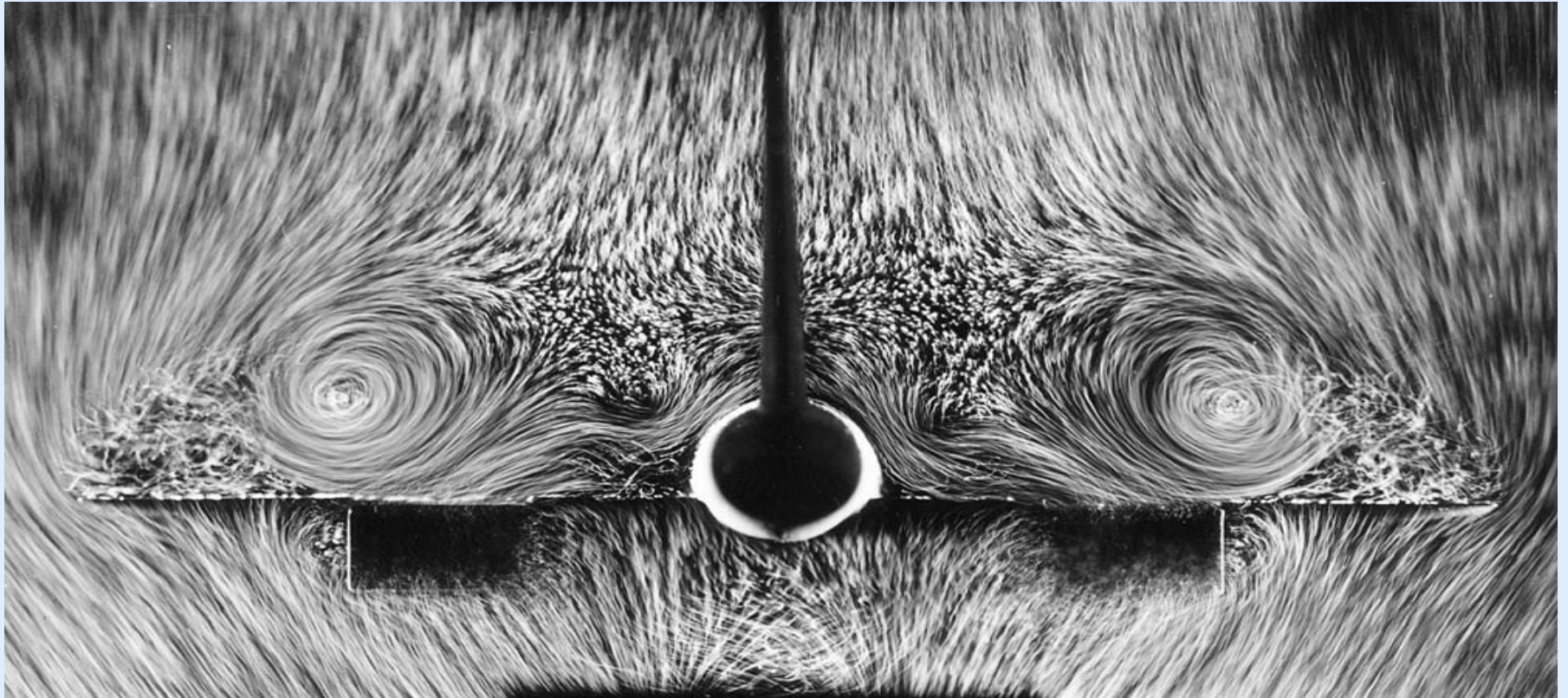
Méthodes de mesure en aérodynamique

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

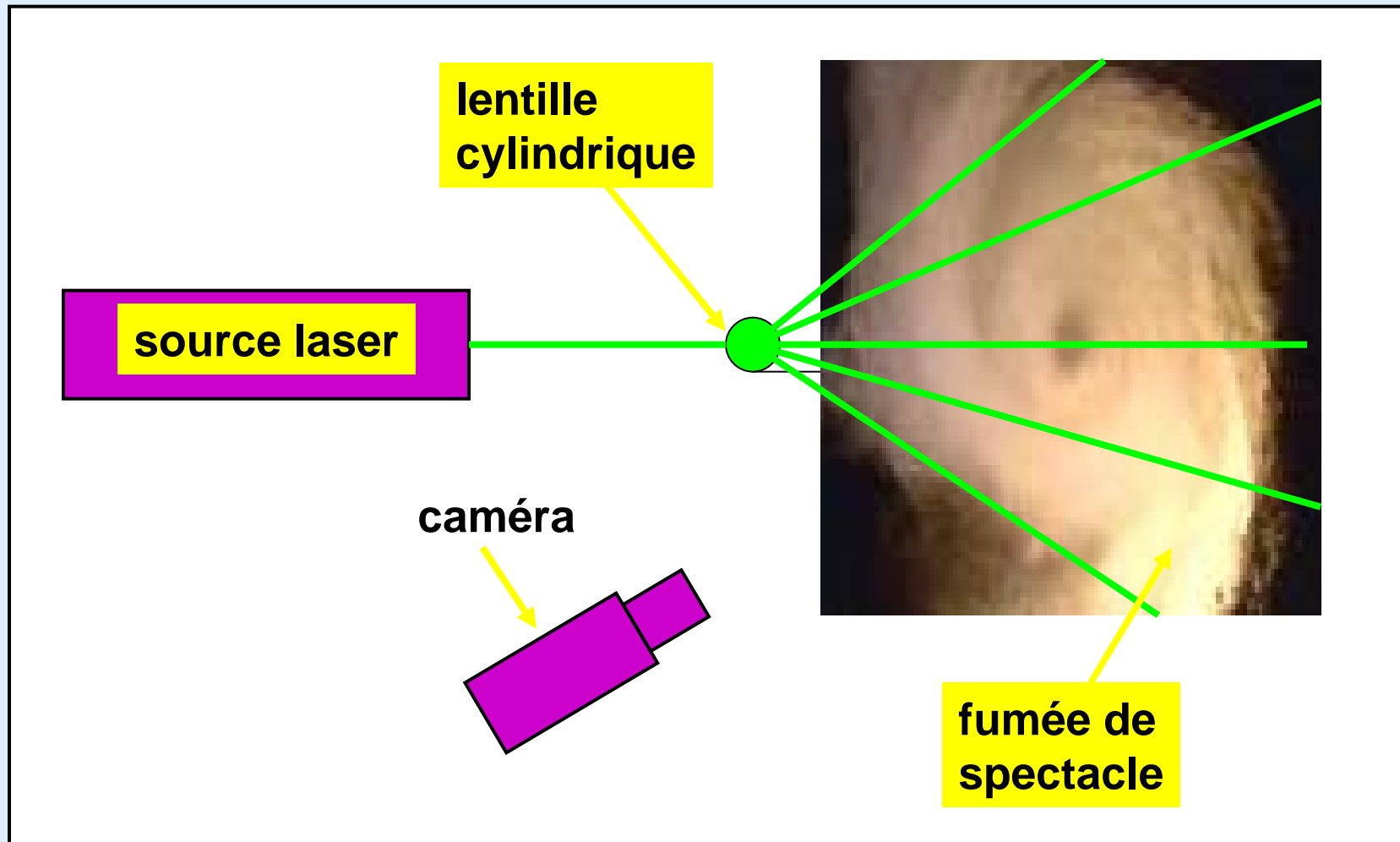
plan de lumière ou tomoscopie laser

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



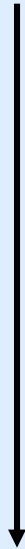
principe de la tomoscopie laser

Méthodes de mesure en aérodynamique

Visualisation du champ



amont

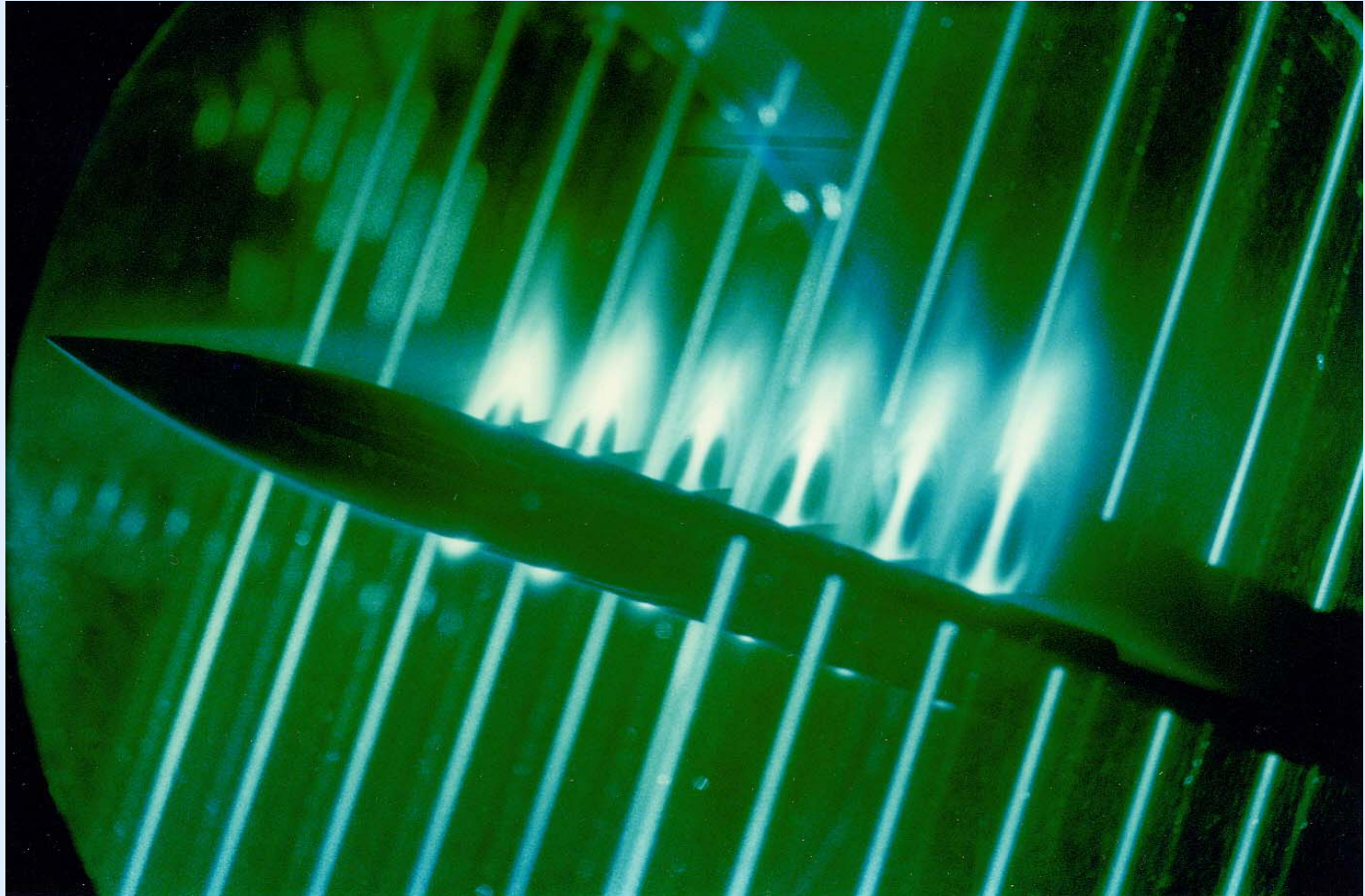


aval

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

Méthodes de mesure en aérodynamique

Visualisation du champ



tomoscopie laser des tourbillons sur un missile à Mach 2