



# 50 ans de recherches de l'Onera pour les avions (1946-1995)\*

*par  
Jean-Pierre Marec\*\**

*pour accéder aux commentaires,  
cliquez sur le pictogramme en haut à gauche de chaque diapo*

**Conférence AAO (15/03/10)**



# COMAERO

## Comité pour l'histoire de l'aéronautique

- DGA/CHEAr/Département histoire/COMAERO
- Présidé par E. Blanc (ex DGA)
- 24 membres, dont Onera : M. Bénichou, J. Carpentier, J.-P. Marec
- 8 « Rencontres » (à l'ENSTA)
- Ouvrages parus (cf : [www.chear.defense.gouv.fr](http://www.chear.defense.gouv.fr))

Introduction

Electronique

Missiles tactiques

Missiles balistiques

Equipements aéronautiques

Avions civils

Moteurs aéronautiques

Armements aéronautiques (hors missiles)

Trains d'atterrissage et systèmes associés

Avions militaires

Etudes et recherches

Missiles à statoréacteurs – ASMP

AIA : Ateliers de maintenance industrielle de l'aéronautique

Navigabilité

A paraître :

Centres et moyens d'essais

Hélicoptères

Espace

Formation (Ecoles)



# Création et statut de l'ONERA

**Loi du 3 mai 1946** : « Rassembler au sein d'un organisme public l'ensemble des moyens de recherche appartenant à l'Etat » :

- SRA (Service de recherches aéronautiques du ministère de l'Air)
- Annexe du SRA à Meudon (Parc aéronautique de Chalais-Meudon)
- ERAé -> ERAT (Etablissement de recherches aéronautiques de Toulouse, qui repassera sous la coupe de la DTIA et deviendra l'EAT en 1949, et le CEAT en 1965)
- Soufflerie de Cannes (SNCASO)
- Laboratoire d'essais aérodynamiques d'Alger-Maison Blanche
- Etablissements du GRA (Groupement français pour le développement des recherches aéronautiques)
  - IMFL (Institut de mécanique des fluides de Lille)
  - Laboratoire d'études des carburants de remplacement d'Arles
  - Station d'essais de givrage du Mont Lachat (Savoie)
  - Centre de recherches aérodynamiques de Toulouse

Total ~ 1000 personnes

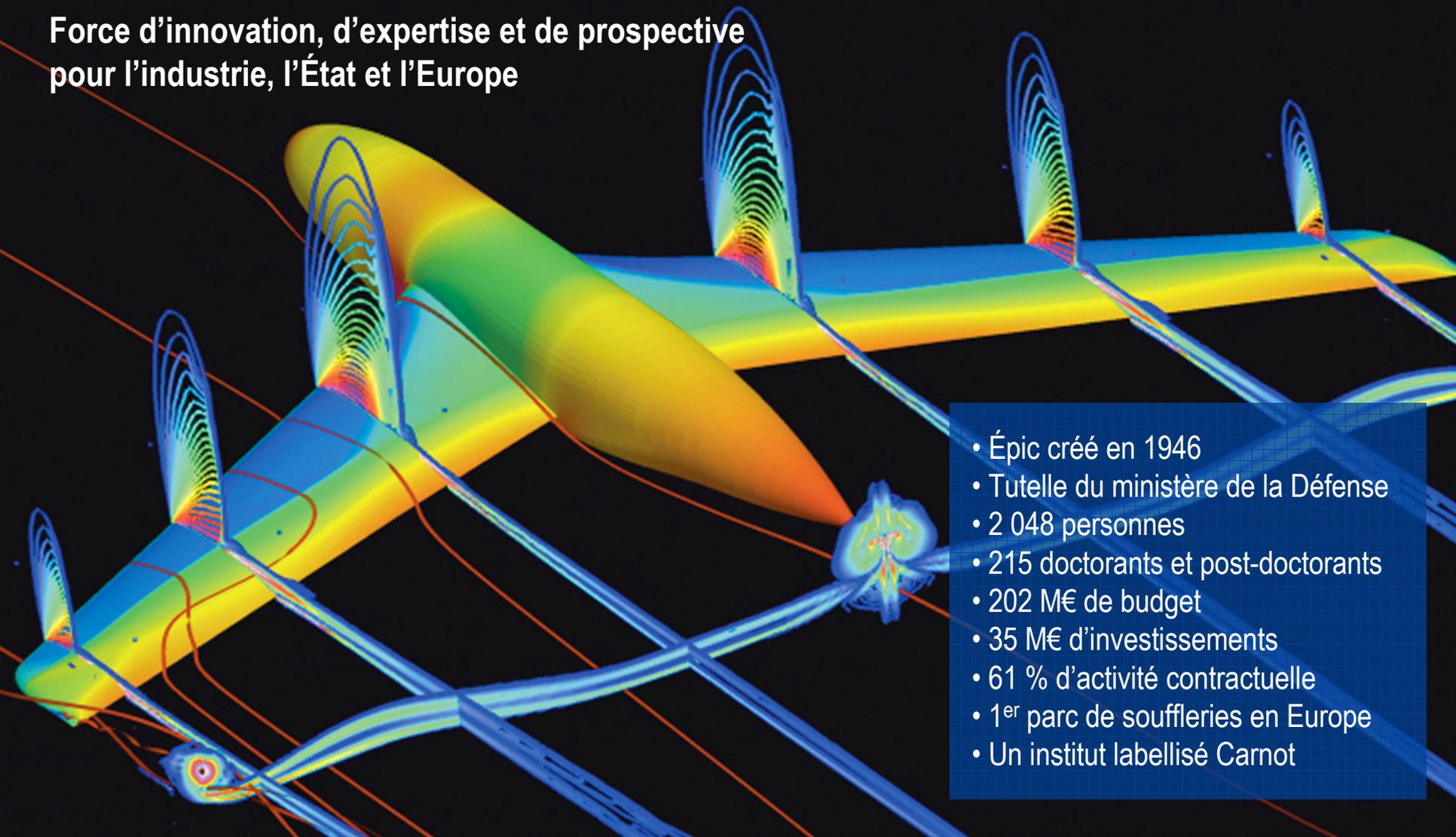
**Onera** : « Etablissement public, scientifique et technique, à caractère industriel et commercial, doté de l'autonomie financière, placé sous l'autorité du ministre des Armées »

**Mission** : « développer, orienter, coordonner les recherches scientifiques et techniques dans le domaine aéronautique » (et spatial, 1963)



# Le centre français de recherche aérospatiale

Force d'innovation, d'expertise et de prospective  
pour l'industrie, l'État et l'Europe



- Épic créé en 1946
- Tutelle du ministère de la Défense
- 2 048 personnes
- 215 doctorants et post-doctorants
- 202 M€ de budget
- 35 M€ d'investissements
- 61 % d'activité contractuelle
- 1<sup>er</sup> parc de souffleries en Europe
- Un institut labellisé Carnot



**Recherches  
de base**

**Disciplines  
scientifiques**

**Recherches appliquées**

**Participation aux  
développements**

**Finalités  
(Produits)**

**L'Onera, un « pont » entre**

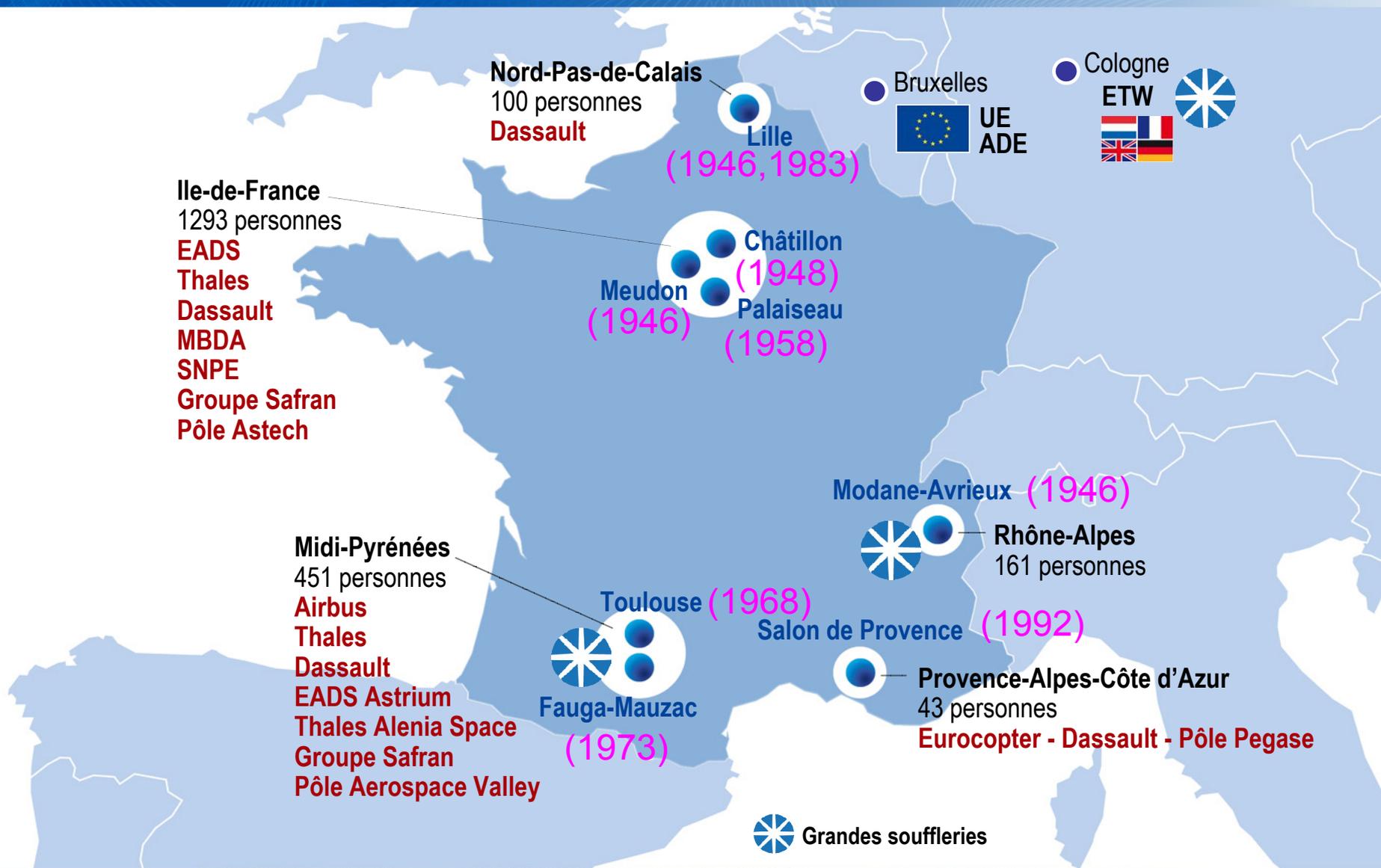
**UNIVERSITÉ  
CNRS**



**INDUSTRIE  
UTILISATEURS**



# L'Onera proche de ses partenaires industriels





# Les recherches

## Quelques « problèmes » (avions)

- Couche limite
- Transsonique, « Mur » du son
- Evaluation / réduction de la traînée
- Flottement
- Vol à grande incidence, vrille
- Vol en turbulence
- Moyens de recherche et d'essais

## Disciplines scientifiques

- Mécanique des fluides et énergétique
- Matériaux et structures
- Physique
- Traitement de l'information et systèmes

## Objectifs

- Performances
- Sécurité
- Environnement
- Coûts

## Finalités (produits)

- Aéronautique
  - Avions
  - Hélicoptères
  - Turbomachines
  - Equipements
- Missiles et systèmes militaires
- Espace



# Calcul

## Dualité

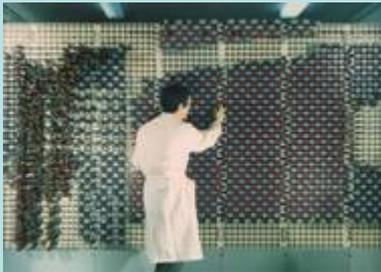
### en aérodynamique avions

#### Les moyens de recherche

# Expérimentation



Cuves rhéoélectriques  
(1932, 1950)



Réseaux électriques



Ordinateurs (1960, 1980)



Modèles



Validation

## Tunnels hydrodynamiques



Châtillon (1951)



Cert (1991)

## Souffleries de recherche



S3Ch (1949)



S5Ch (1953)



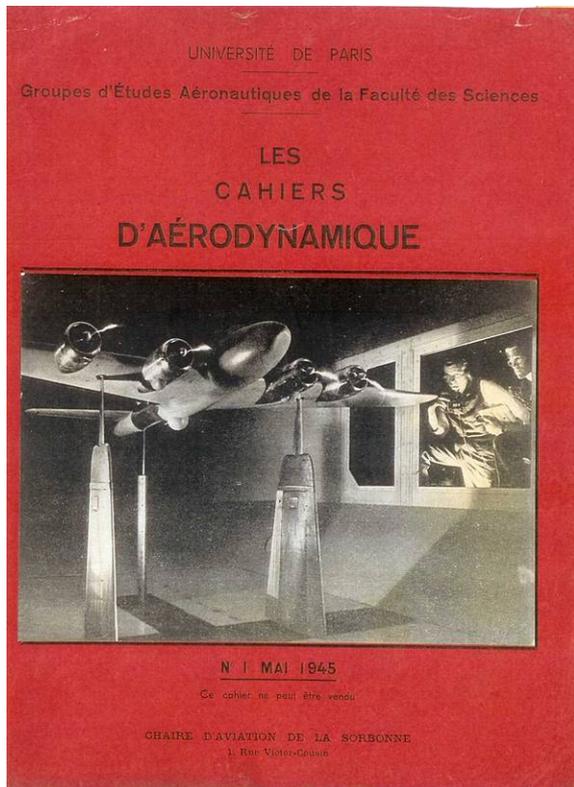
T2 (1974)



F2 (1983)



# Aérodynamique



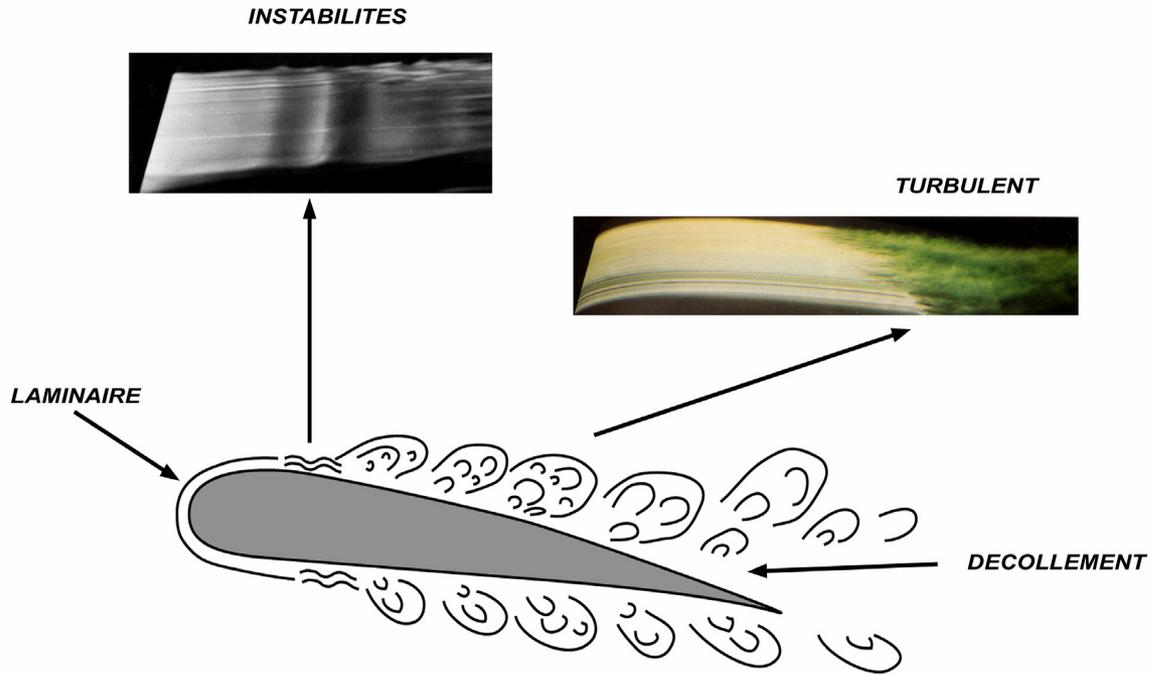
*Les cahiers d'aérodynamique*  
(1945)



Quelques aérodynamiciens de l'Onera  
(1960)



# Couche limite



**Reynolds :  $Re = \rho V L / \mu$**

$\rho$  : masse volumique

$V$  : vitesse

$L$  : dimension

$\mu$  : viscosité



# f(z)

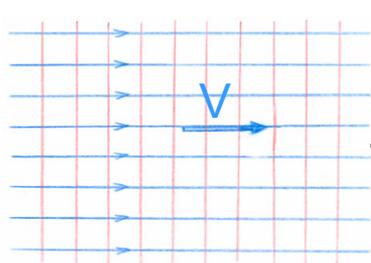
Incompressible :  $\rho = \text{Cte} \Rightarrow \text{div } \vec{V} = 0$

Irrotationnel :  $\text{rot } \vec{V} = 0 \Rightarrow \vec{V} = \text{grad } \varphi \leftarrow \text{Potentiel} \Rightarrow \Delta \varphi = 0$

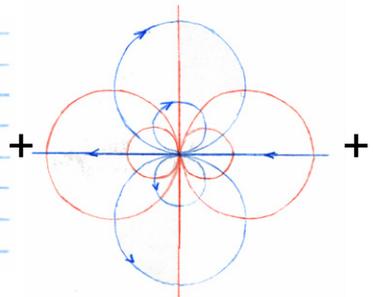
Non visqueux :  $\vec{V} \cdot \vec{n} = d\varphi/dn = 0$  sur l'obstacle

Plan :  $z = x + iy, \Rightarrow f(z) = \varphi + i \psi \leftarrow \text{Courant}$

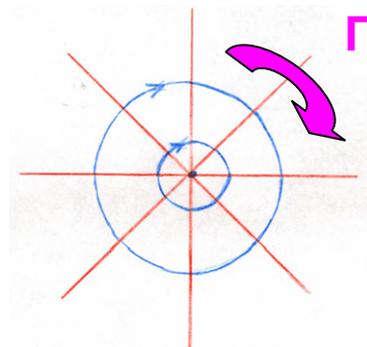
$$f'(z) = u - iv, \quad \Delta \psi = 0$$



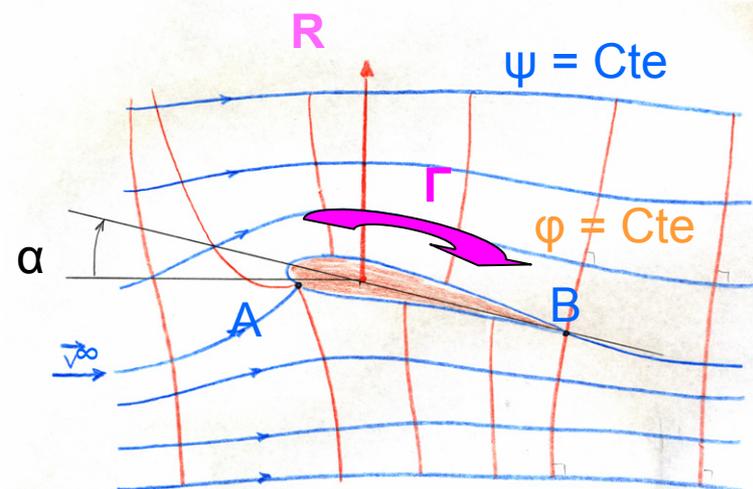
Uniforme  
 $f(z) = Vz$



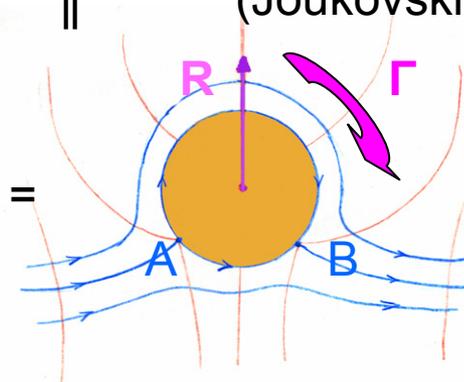
Doublet  
 $f(z) = D/z$



Tourbillon  
 $f(z) = (i\Gamma/2\pi) \text{Log } z$



$\Delta$  Transformation conforme  
 $Z = F(z)$   
(Joukowski)



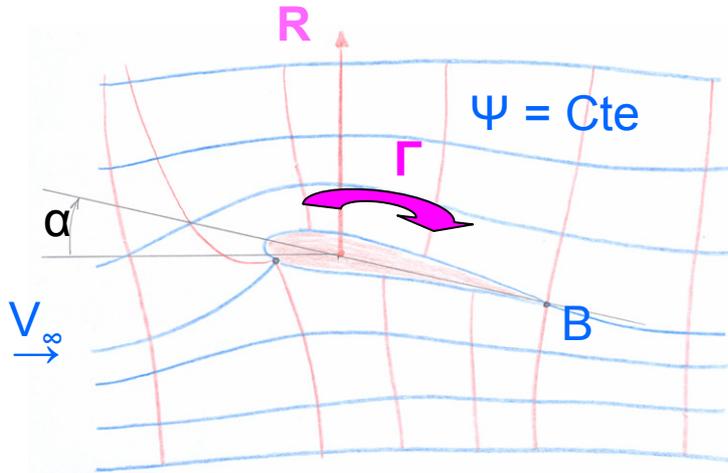
# Cuve rhéoelectrique

## Aérodynamique

$$\vec{V} = \text{grad } \varphi$$

$$\text{div } \vec{V} = 0 \quad \text{---> } \Delta\varphi = 0$$

$$\Delta\psi = 0$$

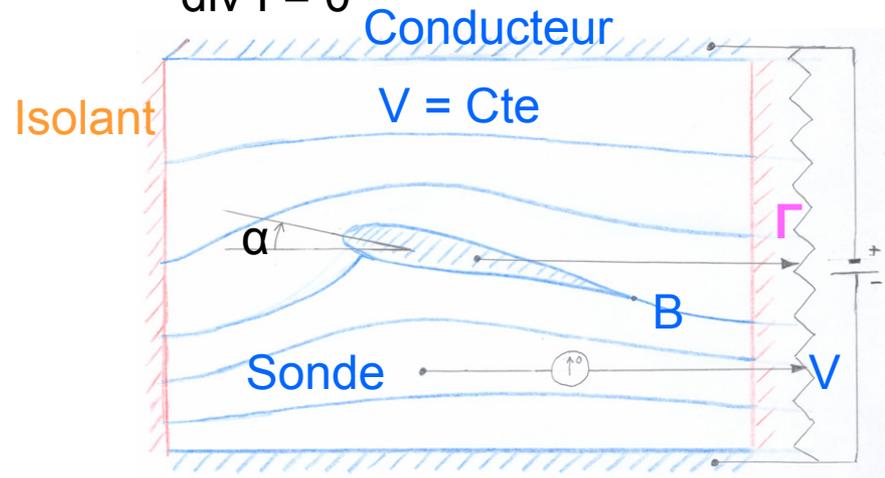


Cuve « bidimensionnelle »

## Electricité

$$\vec{I} = - (1/\rho) \text{ grad } V$$

$$\text{div } \vec{I} = 0 \quad \text{---> } \Delta V = 0$$



Cuve « tridimensionnelle »



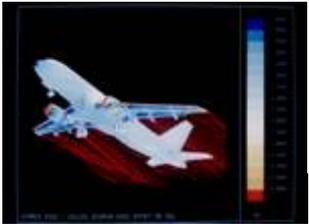
1- Cuve rhéoélectrique 2D



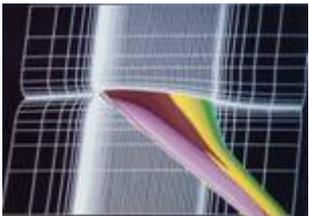
2- Cuve 3D



3- Singularités



4- Singularités



5- Potentiel (éléments finis)



6- Potentiel (différences finies)



7- Euler (volumes finis)

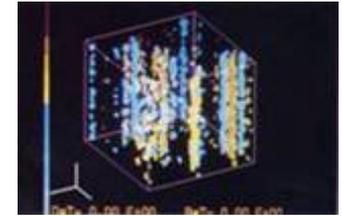
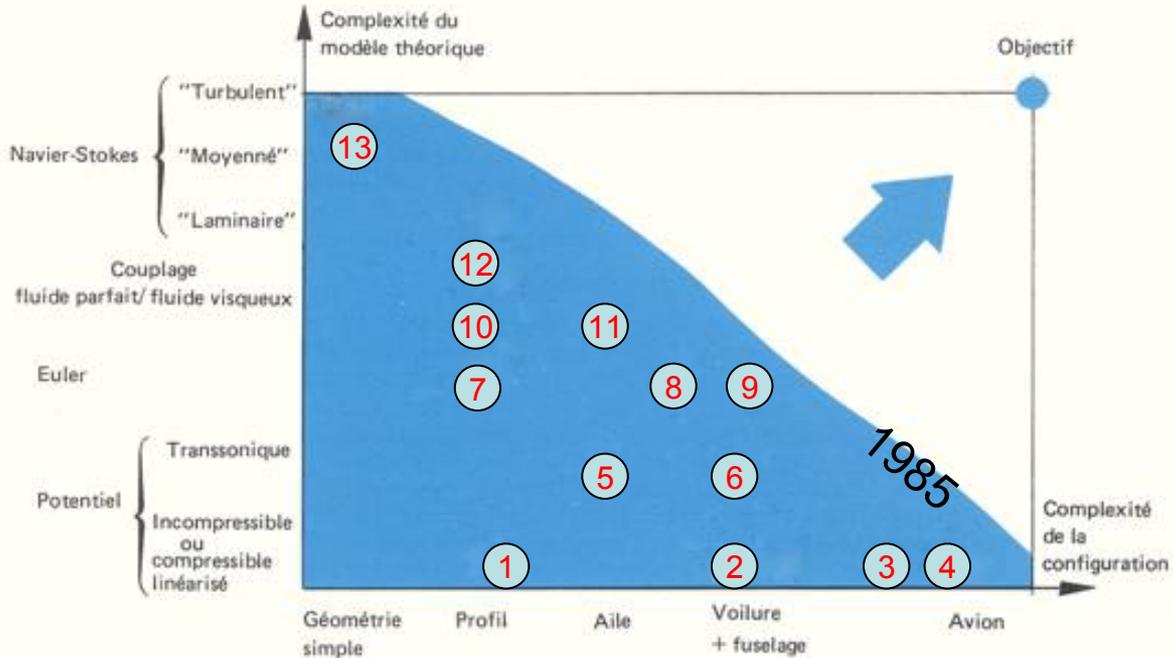


8- Euler (différences finies)



9- Euler

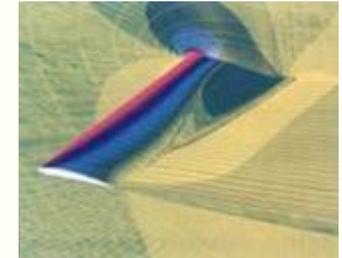
# AERODYNAMIQUE : CALCULS



13- Simulation de la turbulence



12- Navier-Stokes



11- Couplage

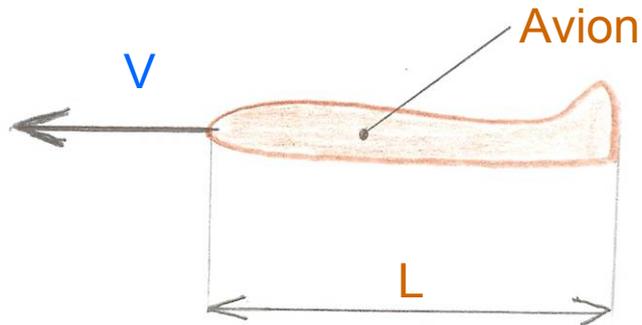


10- Couplage (tremblement)

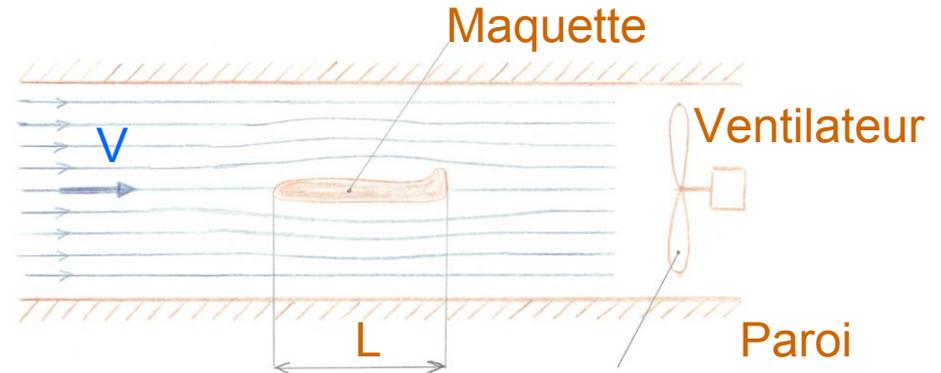


# Similitude

Vol



Soufflerie



Mach :  $M = V/a$

Reynolds :  $Re = \rho V L / \mu$

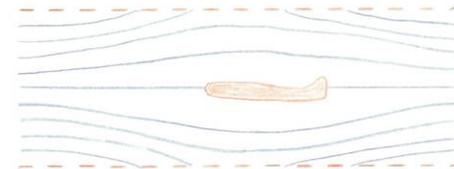
V : vitesse

a : célérité du son

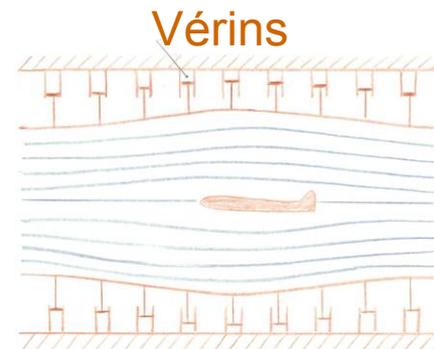
$\rho$  : masse volumique

L : dimension

$\mu$  : viscosité



perméable  
(S8Ch)



adaptable  
(S3Ch, T2)



# Tunnel hydrodynamique



Tunnels de Châtillon

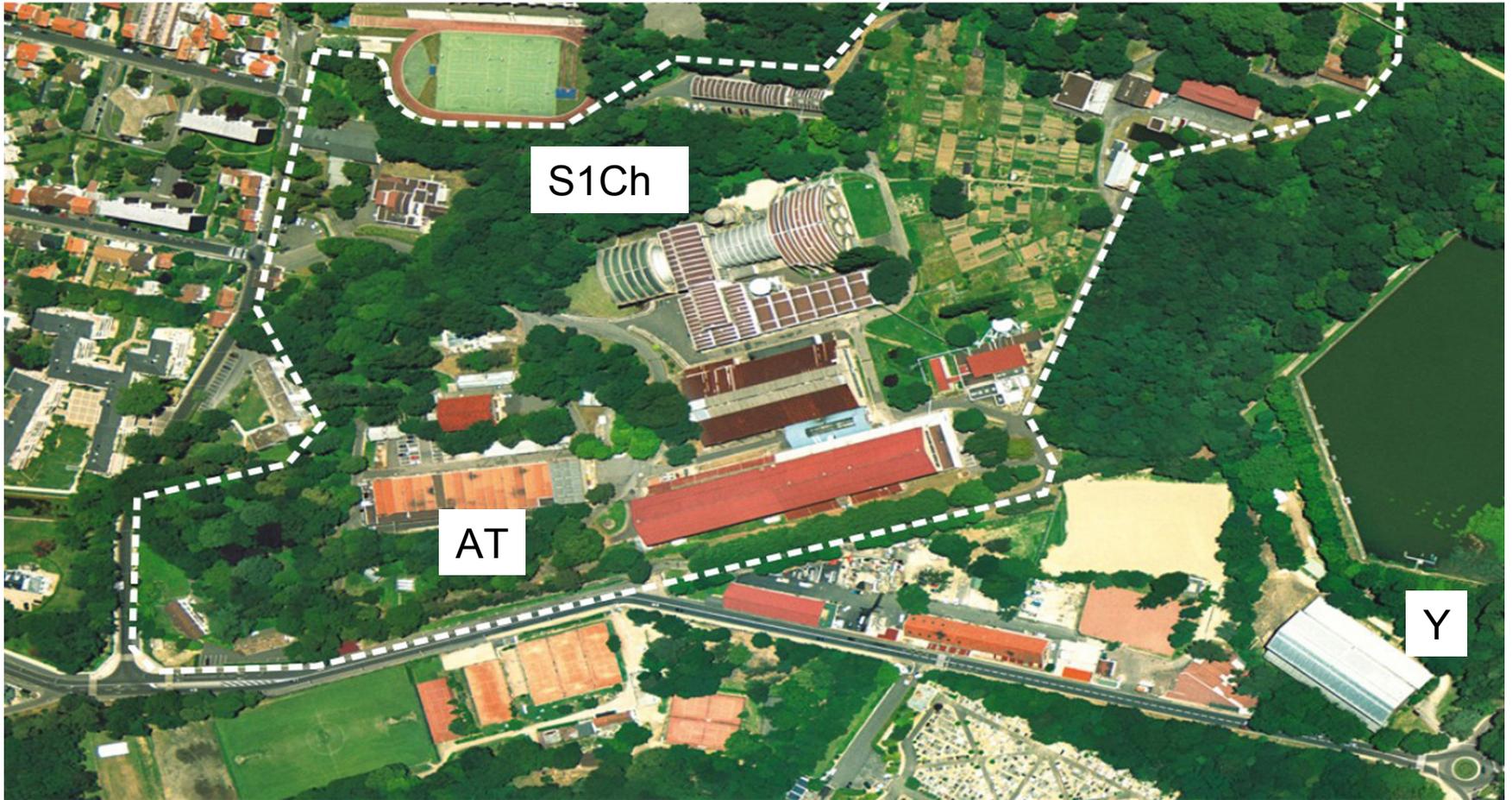


Filets colorés



Filets colorés + bulles

# Centre de Meudon

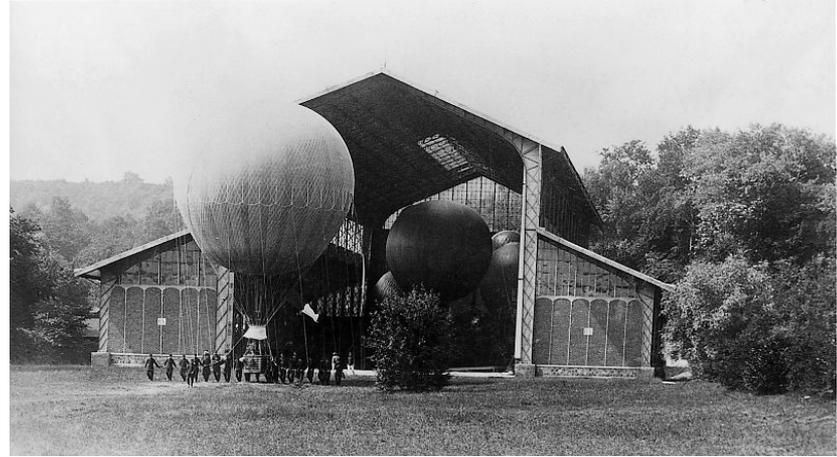




# Meudon et l'aérostation



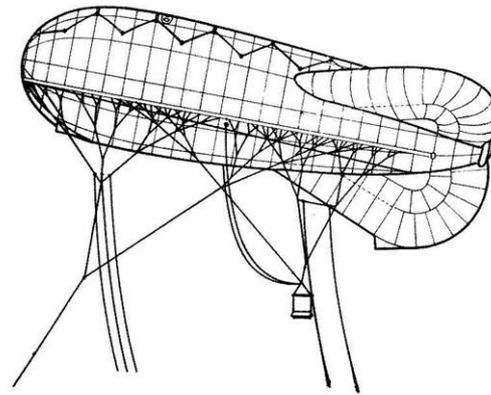
*L'Entreprenant* au siège  
de Mayence (1795)



Hangar Y (1880)



*La France* (Renard  
et Krebs, 1884)



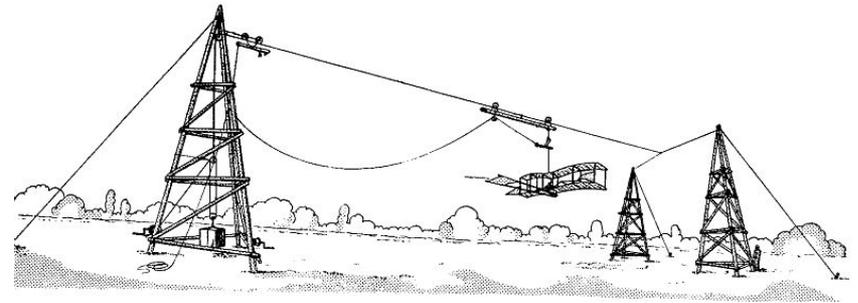
Ballon Caquot (1915)



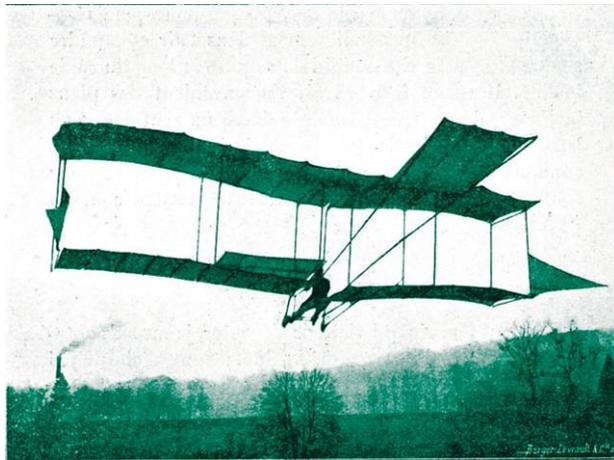
# Ferber à Meudon



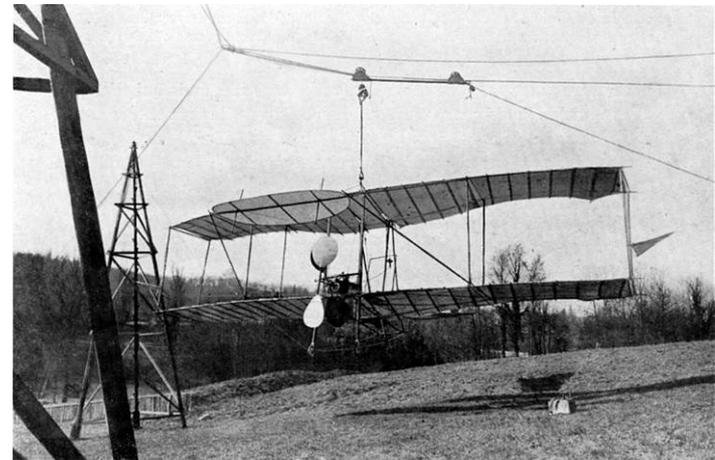
Le capitaine Ferber



*L'Aérodrome 2*



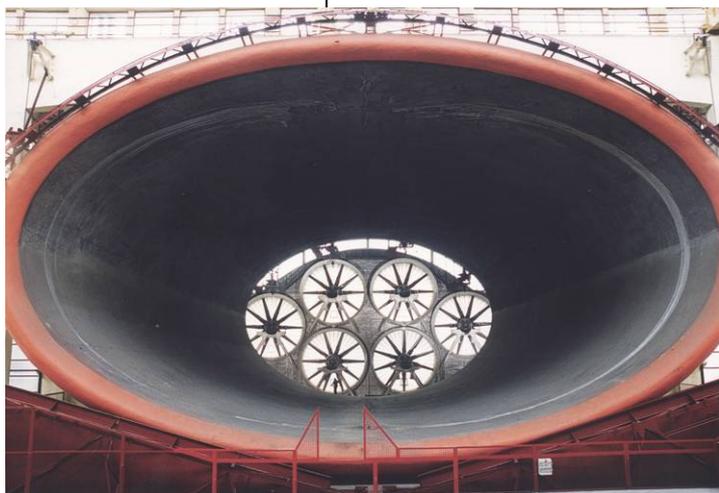
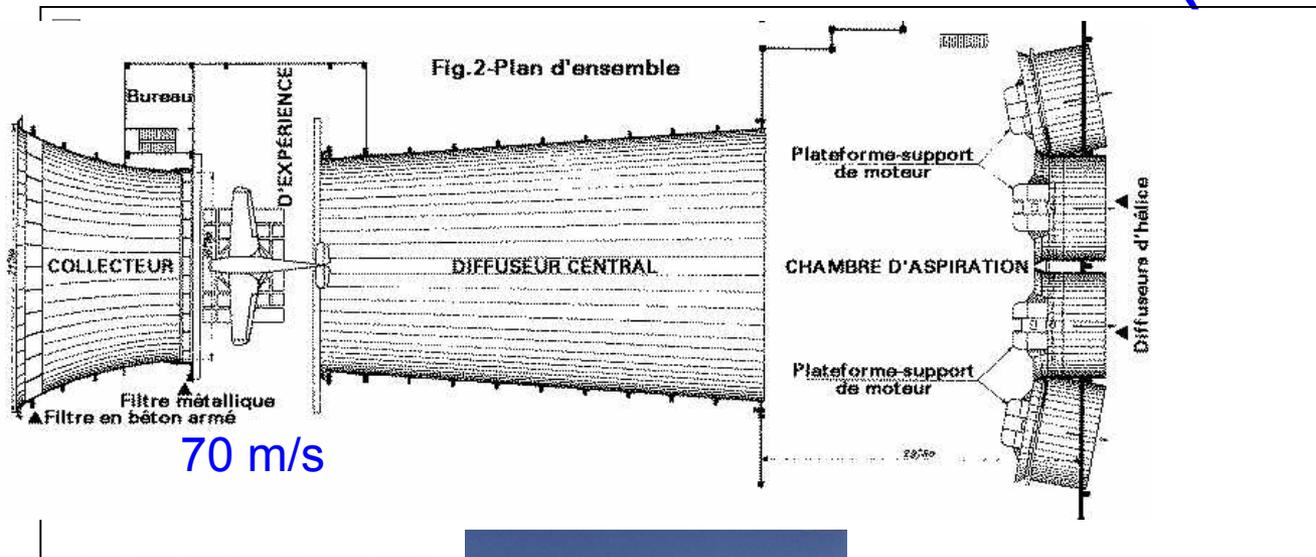
Vol plané



*Aéroplane 6 bis (1905)*



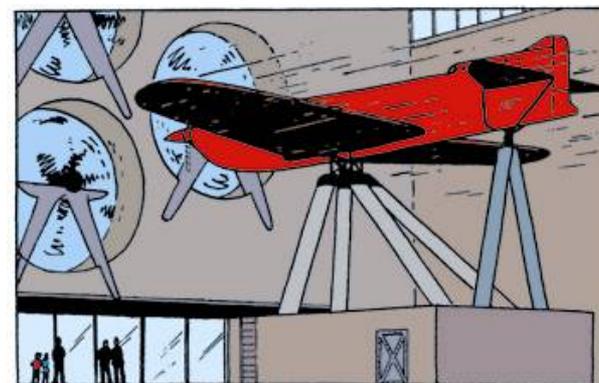
# Soufflerie S1Ch de Meudon (1935)



Entrée du diffuseur 16 m x 8 m



Ventilateurs  
6 000 CV



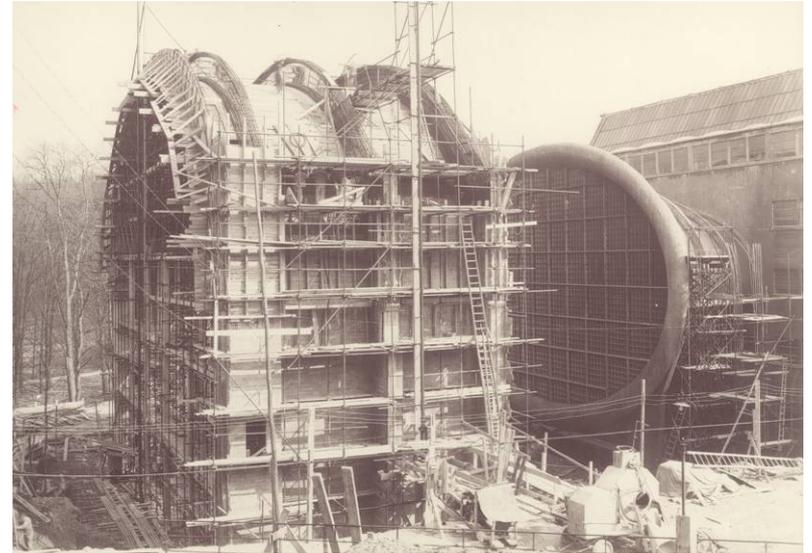
Hergé s'est trompé !



# Construction de la soufflerie S1Ch



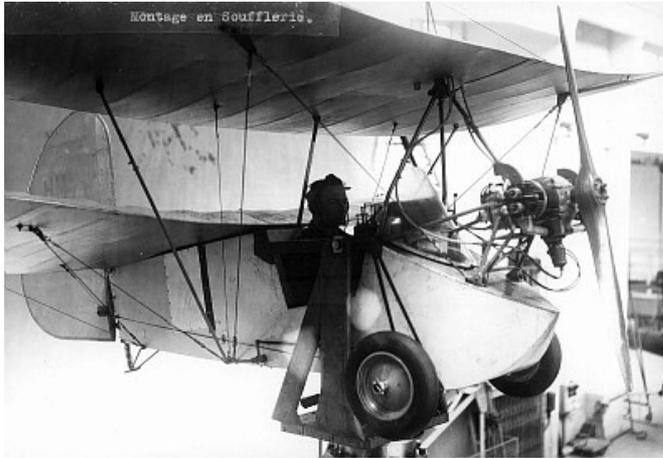
Chantier en 1933



Modification de la partie amont  
(1950)



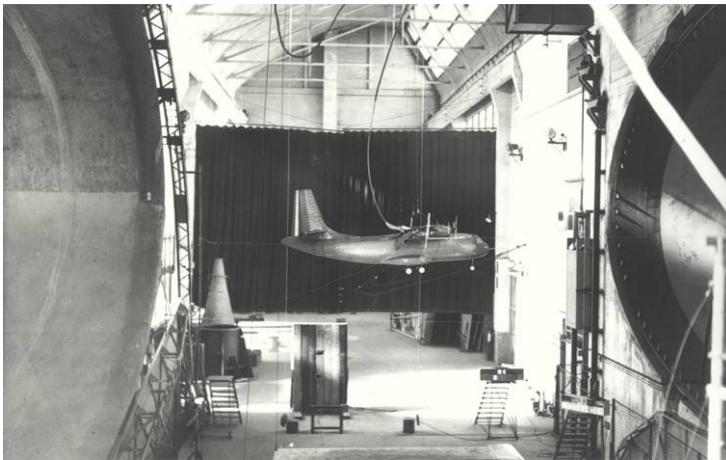
# Exemples d'essais à S1Ch



« Pou du ciel » (1936)



Morane –Saulnier 315 (1937)



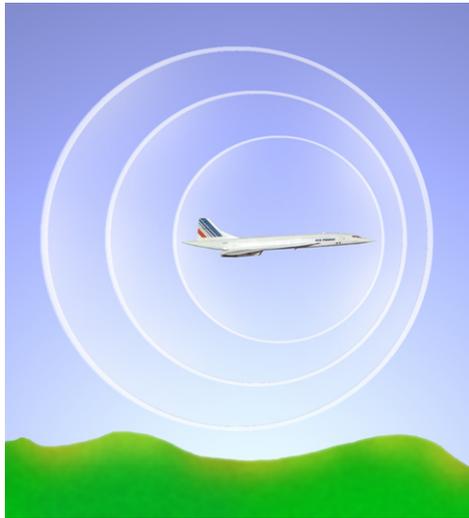
Breguet 941 (1960)



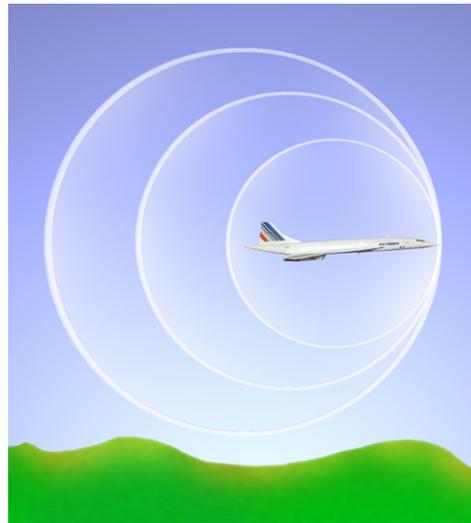
Aile Rogallo (1976)



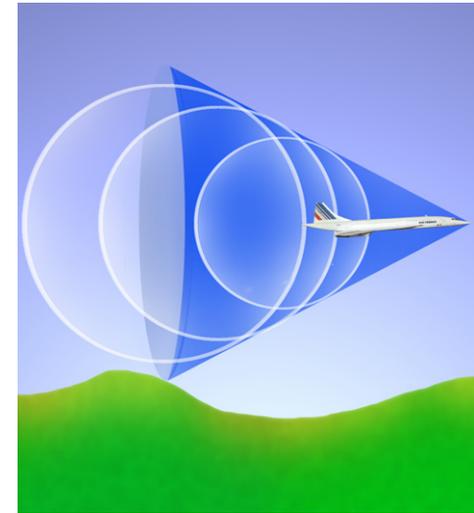
# Le « mur » du son



Subsonique  
 $M < 1$



Sonique  
 $M = 1$



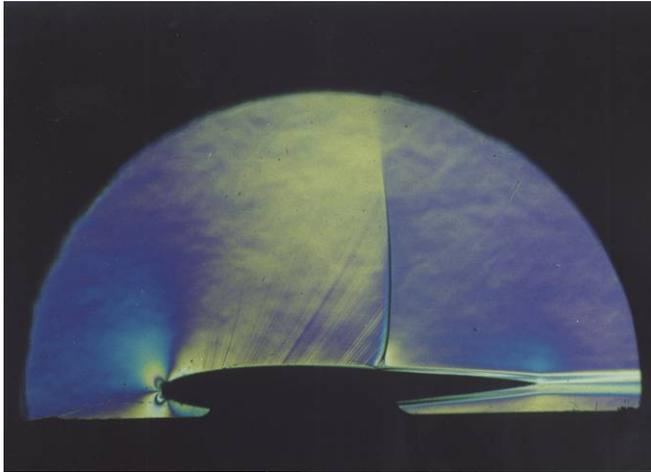
Supersonique  
 $M > 1$



# Passage du « mur » du son

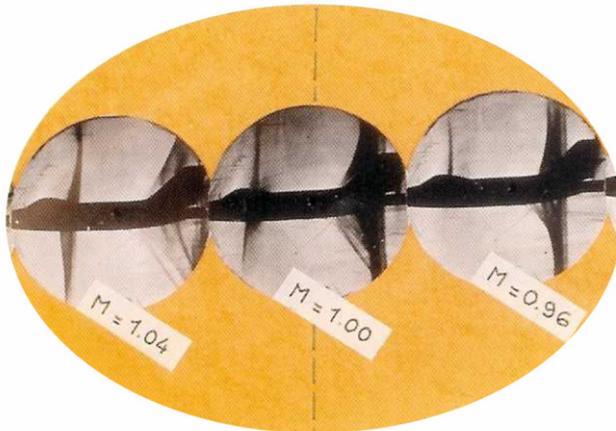
Soufflerie

R1Ch



Strioscopie interférentielle  
en transsonique  $M \lesssim 1$

Mystère II  
à S5Ch  
(1950)



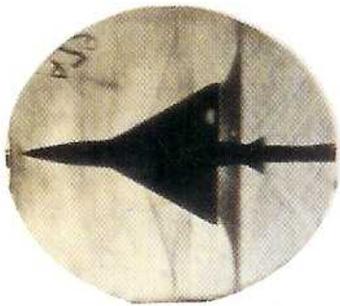
Vol



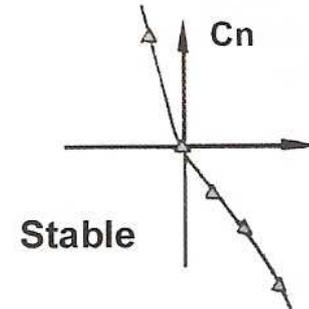
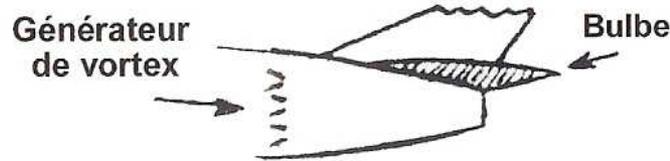
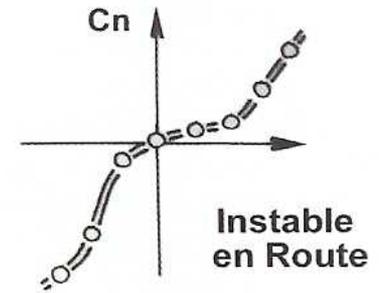
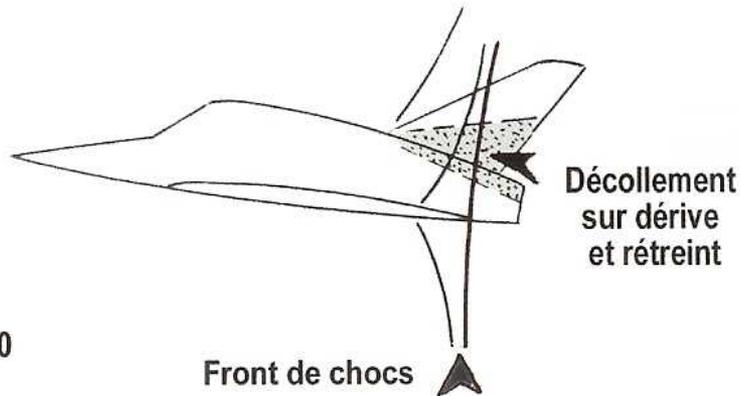
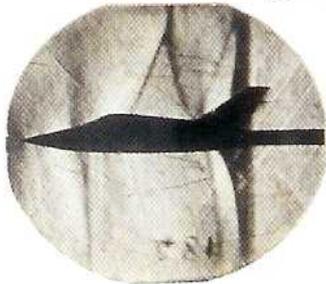
F/A-18 Hornet en transsonique  $M \lesssim 1$   
(07/07/1999)



# Amélioration de la stabilité de route du Gerfaut II en transsonique



M = 1,00



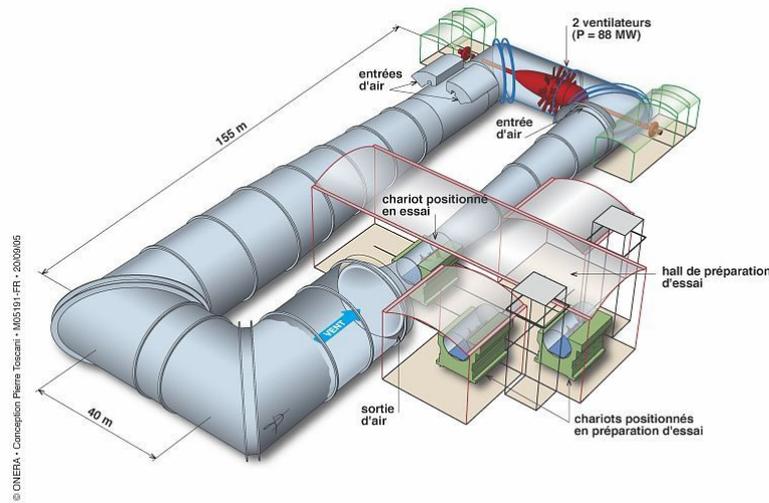


# Centre de Modane-Avrieux





# Soufflerie transsonique S1MA (1952)



Section veine d'essais :  
**Ø = 8 m**



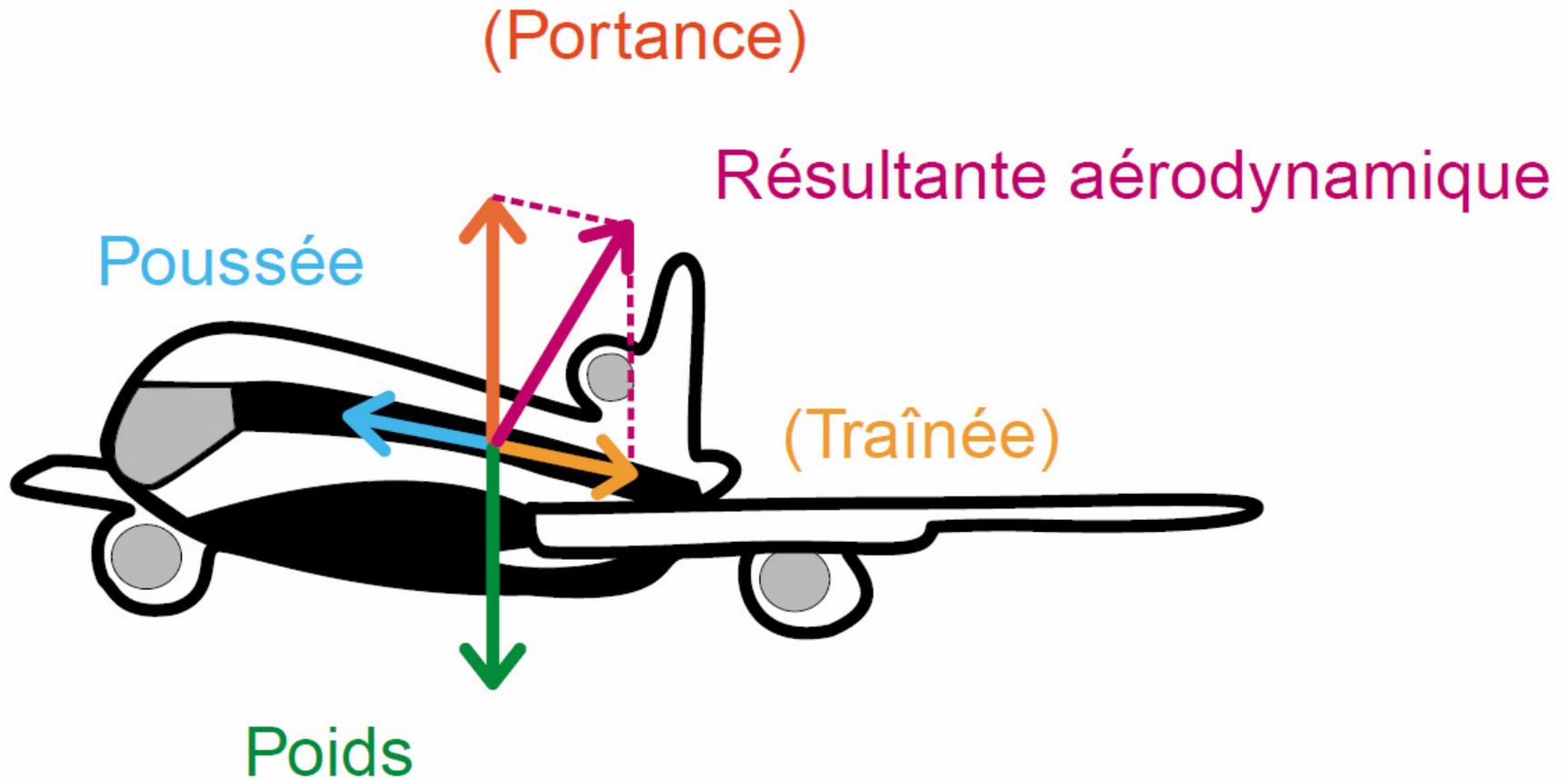
Vannes de guidage de l'écoulement (Ø = 24 m)



Ventilateurs (Ø = 15 m, 88 MW)

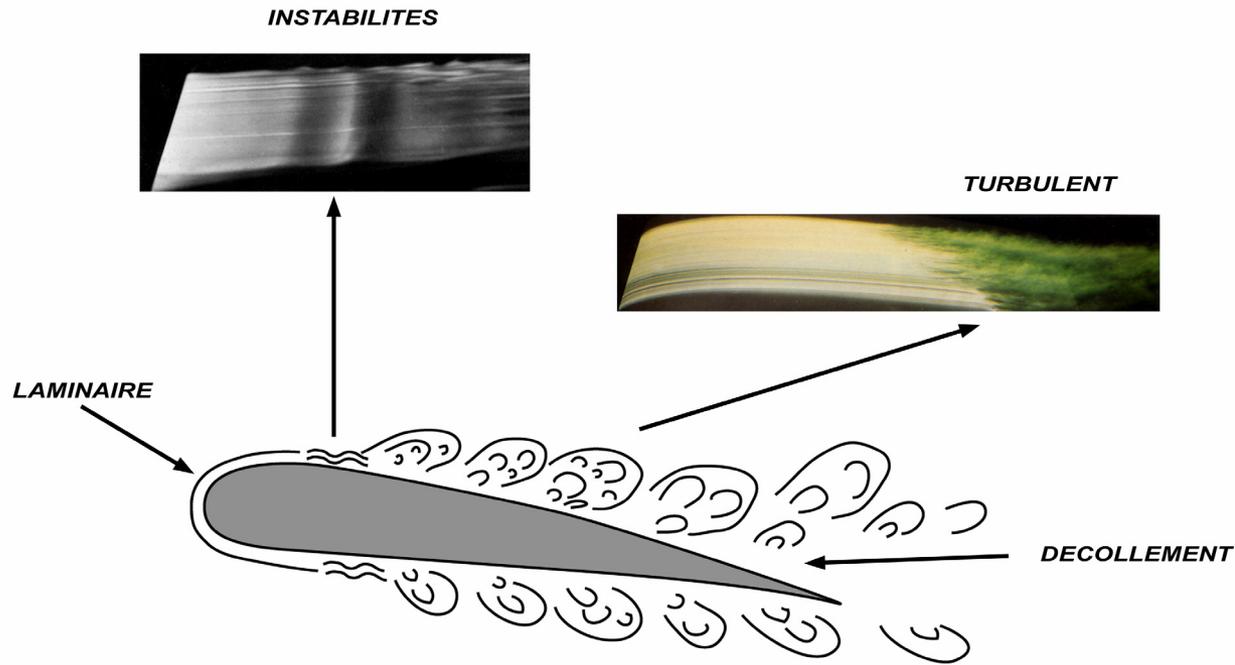


# Evaluation/réduction de la traînée





# Evaluation/réduction de la traînée de frottement



Reynolds :  $Re = \rho VL / \mu$



# Centre du Fauga-Mauzac (1973)





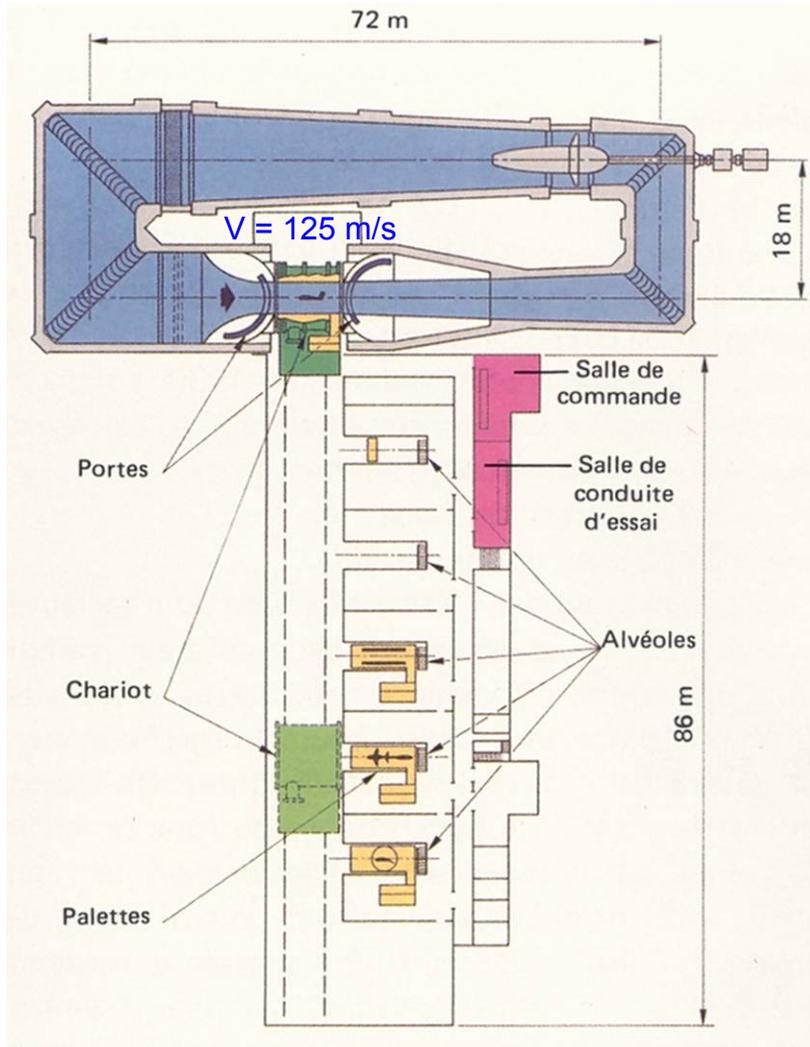
# Construction de la soufflerie F1 du Fauga



Chantier en juin 1975



# Soufflerie subsonique pressurisée (4 bar) F1 du Fauga-Mauzac (1977)



Préparation d'un essai sur une palette



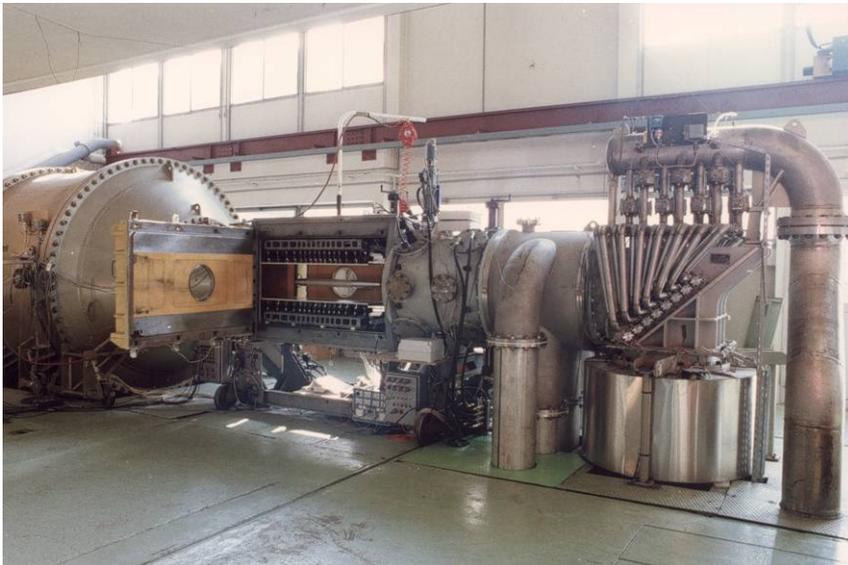
# Soufflerie T2 du Centre de Toulouse (1974)

- Transsonique ( $M = 0,8$ )
- A induction
- Pressurisée (3,5 bar)
- Parois adaptables

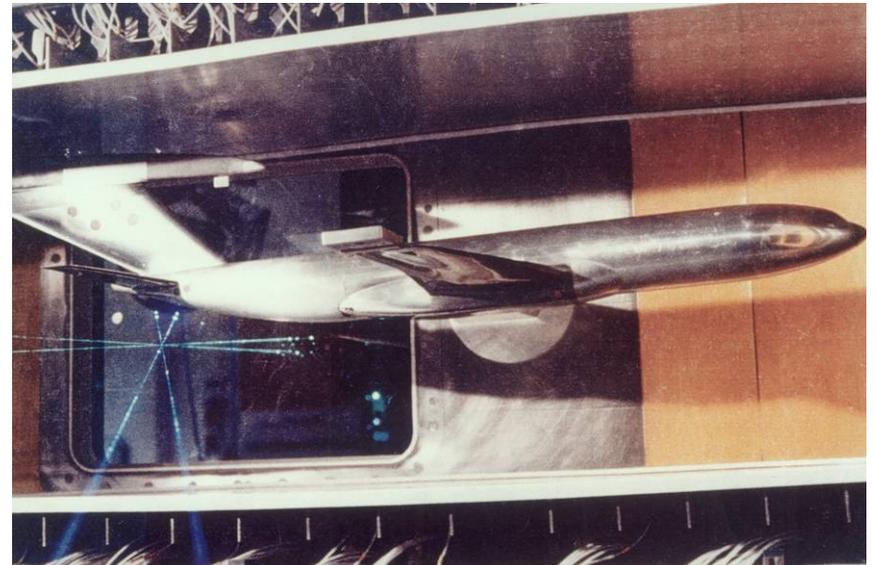
## Cryogénique (1981)

Reynolds :  $Re = \rho VL / \mu \approx 30 \times 10^6$

$T \downarrow \implies \rho \uparrow$  et  $\mu \downarrow \implies Re \uparrow$



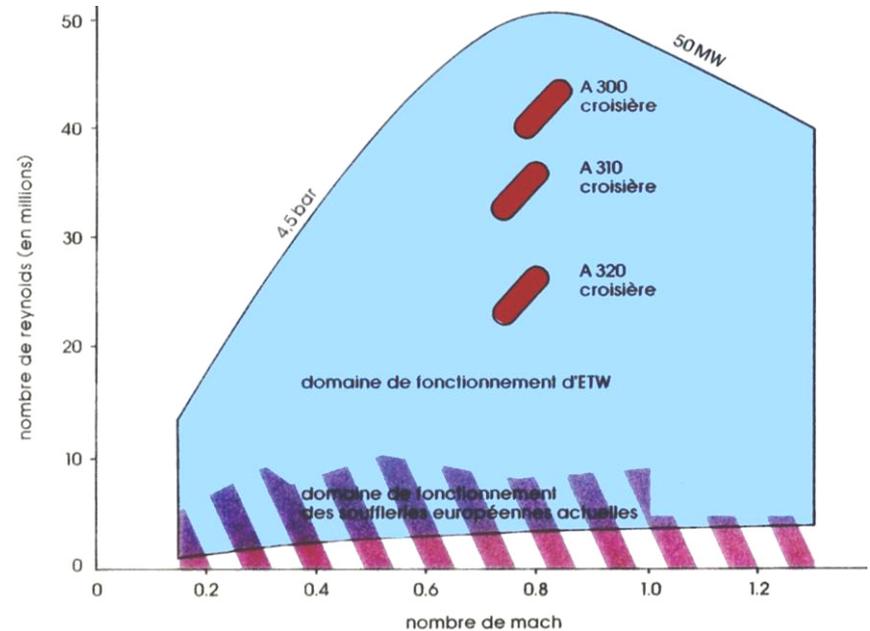
T2



Etude d'arrière-corps



# Soufflerie transsonique cryogénique européenne ETW (1995)



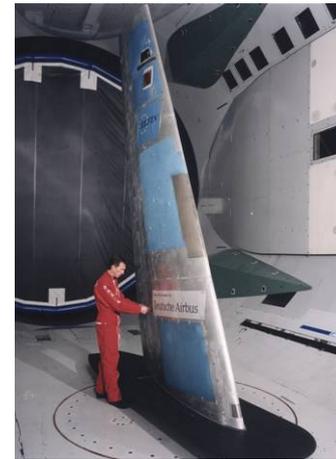


# Laminarité

naturelle



hybride (aspiration)



**Soufflerie**  
(ELFIN à S1MA)



« Nageoire » Falcon 50

**Vol**



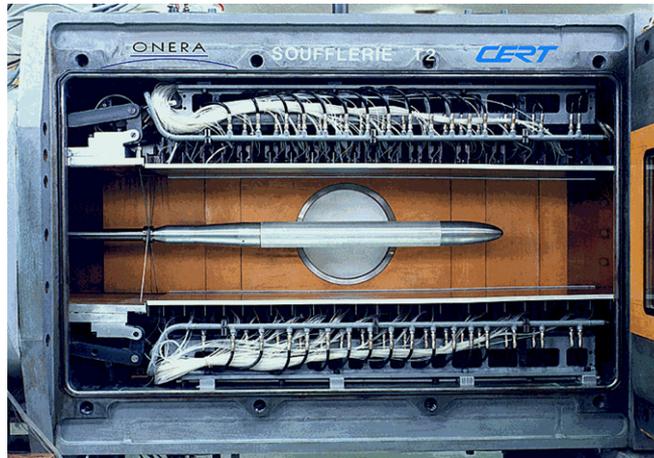
Dérive laminaire A320



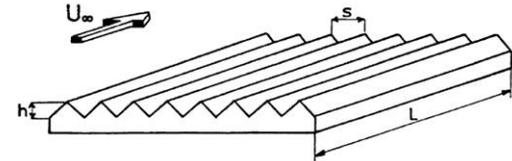
# Réduction de la traînée de frottement turbulent

Soufflerie

T2



Riblets



S1MA



Vol (A320)



# Flottement (*flutter*)

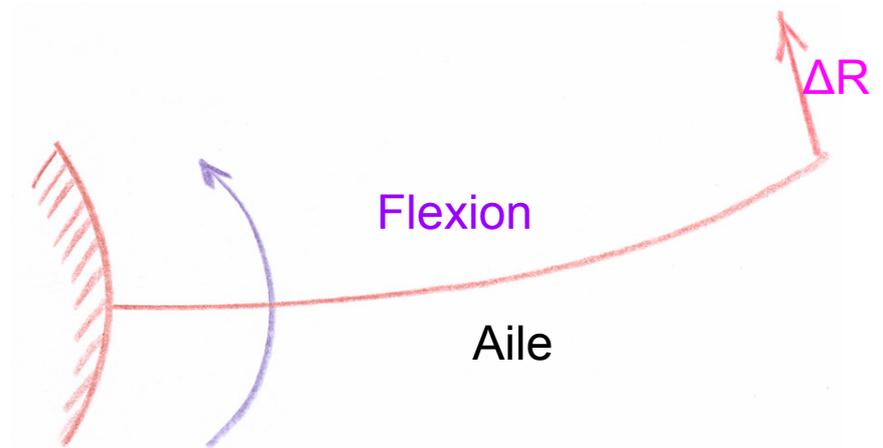
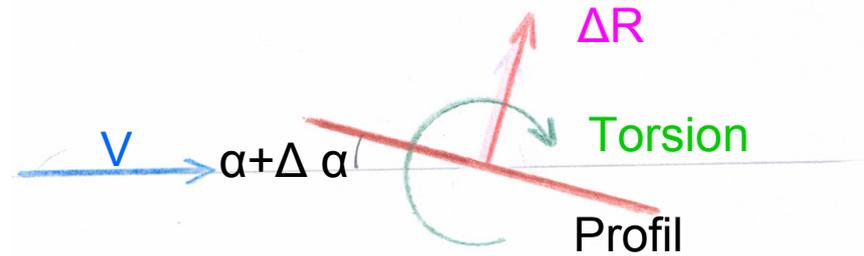
Vol



[ Planeur SB9 – document DLR]

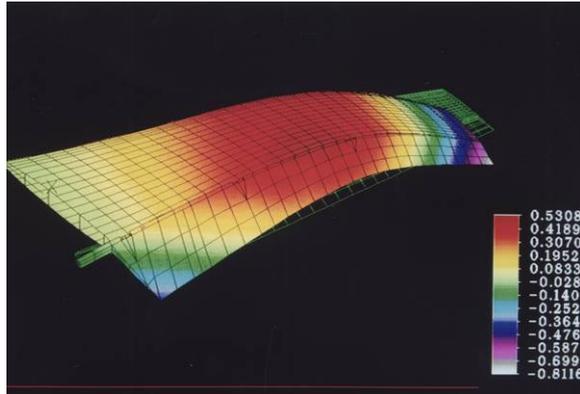
[Voir la vidéo](#)

Principe



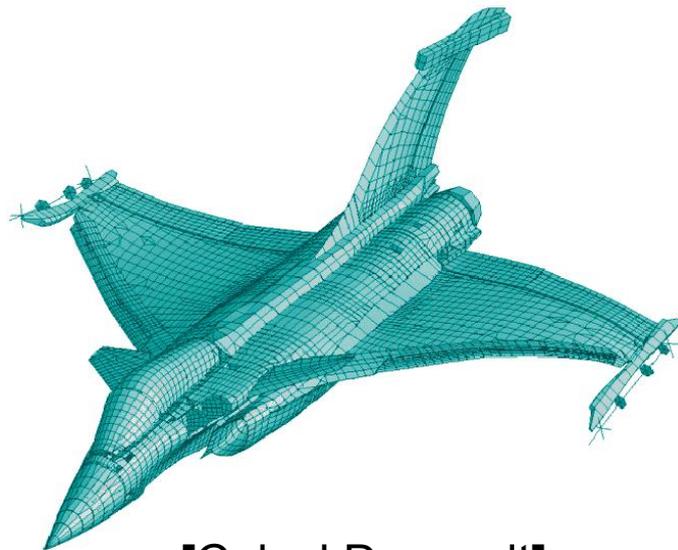
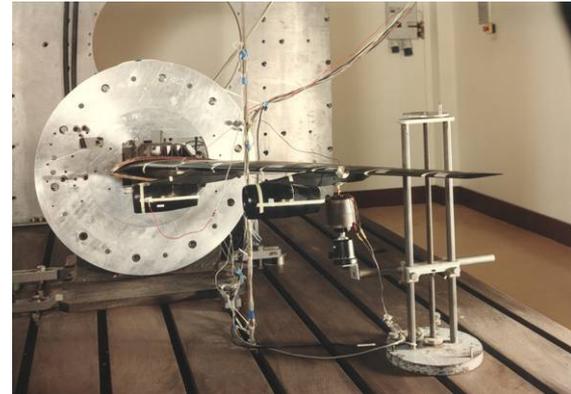
# Modes de vibration

Calcul



Aile

Essai au sol



[Calcul Dassault]

Avion



Analyse modale

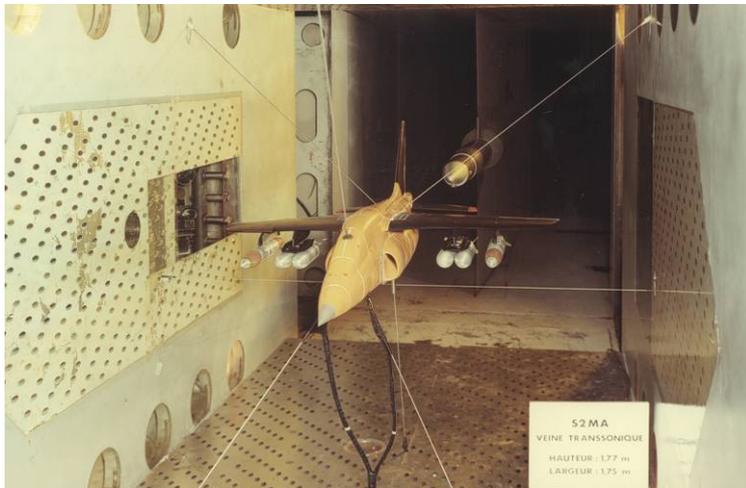


# Aéroélasticité

Calcul

Soufflerie

Vol



Alphajet avec charges dans S2MA (1974)



Impulseurs à propergol solide sur aile de Concorde



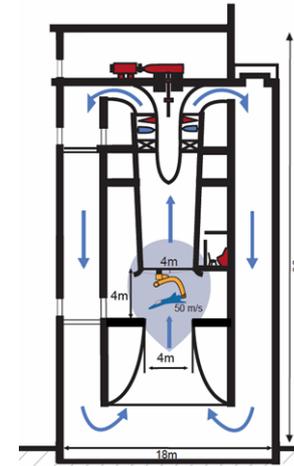
Ailette excitatrice en bout d'aile d'A300



# Vol à grande incidence



Centre de Lille (IMFL)



Soufflerie verticale SV4

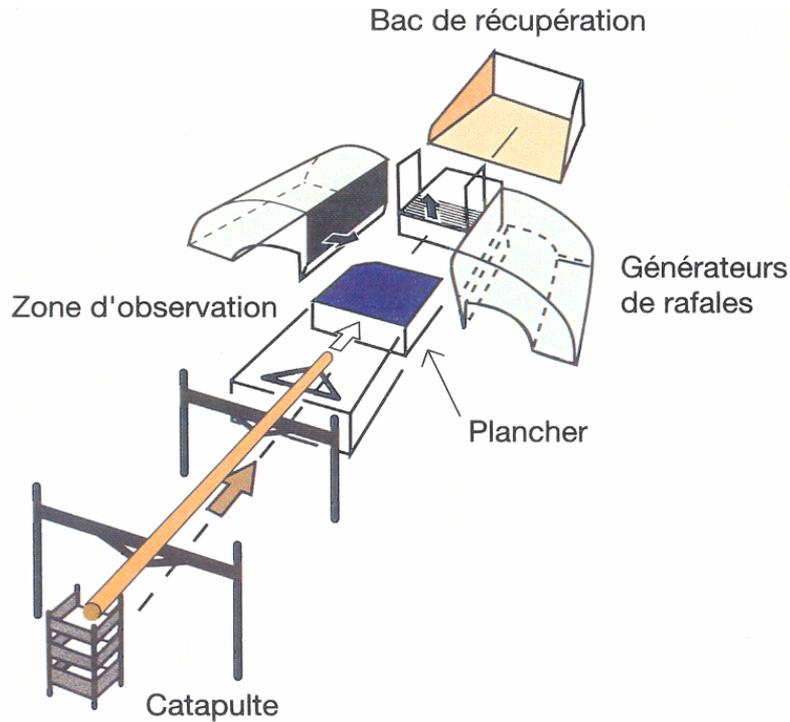


Vrille libre



Balance rotative (« tournebroche »)

# Vol en turbulence



Catapulte B10 de l'IMFL



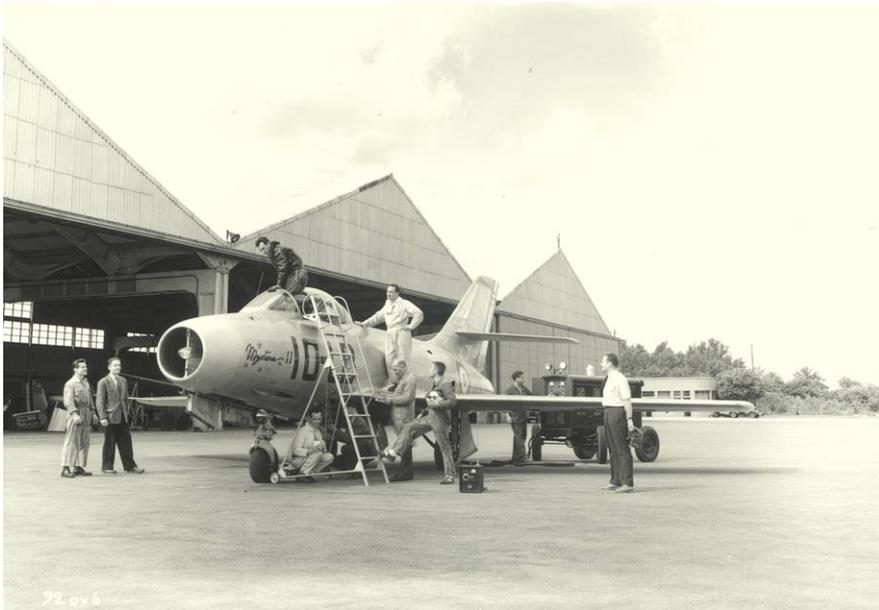
Essai d'une maquette d'avion d'affaires TGA  
(Très Grand Allongement)  
au banc B10 , avec rafales verticales  
(1982-1989)



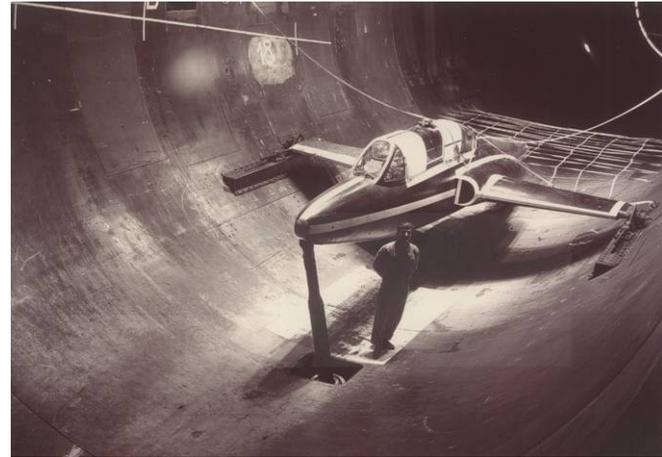
# Essais d'avions militaires (1)

en soufflerie

en vol au CRV (1946-1956)



Mystère II (1956)



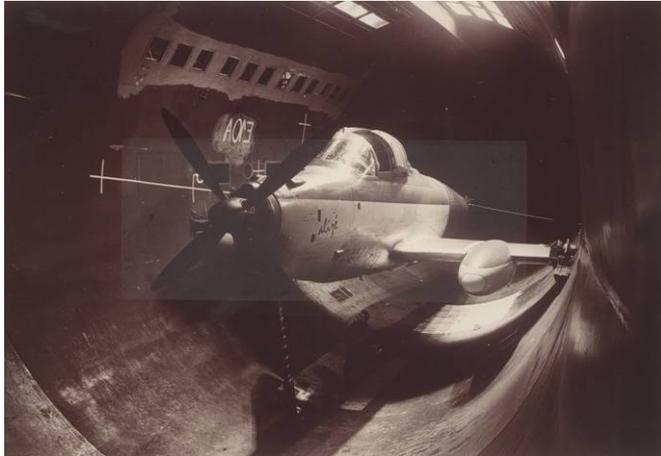
Largage de verrière de Fouga à S1MA (1955)



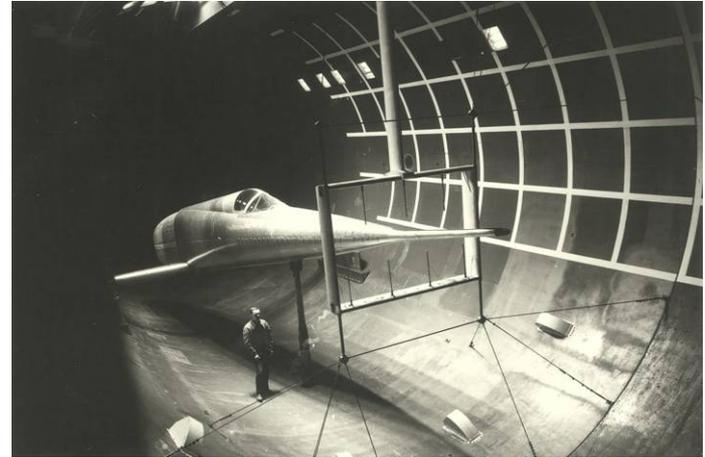
Griffon à  $M = 0,7$  à S1MA (1956)



# Essais d'avions militaires (2)



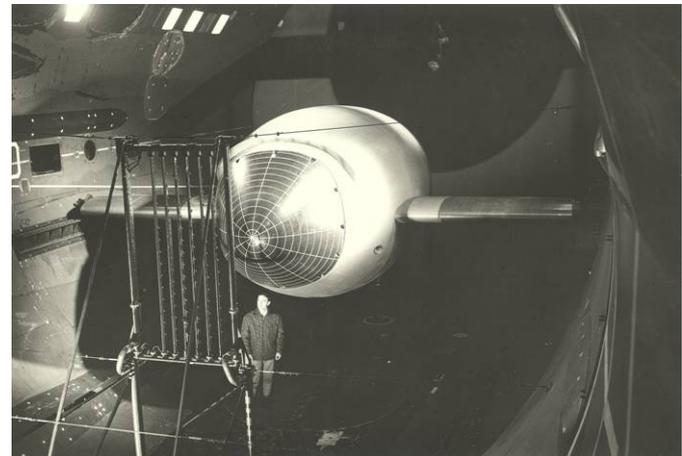
Breguet Alizé dans S1MA (1960)



Visibilité à travers le pare-brise du Mirage IV par temps de pluie, dans S1MA (1963)



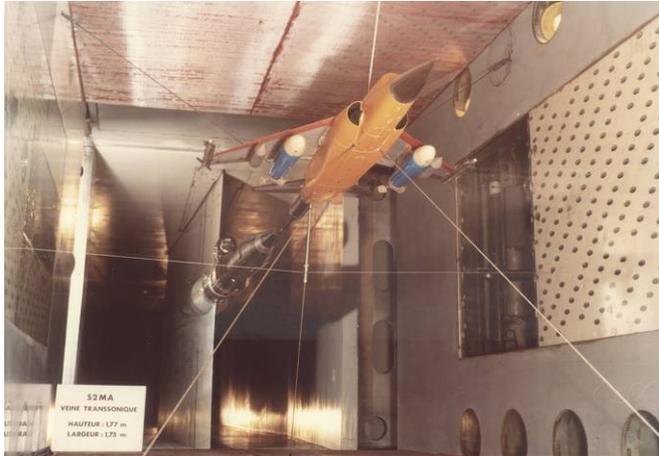
Mirage III V dans S1MA (1964)



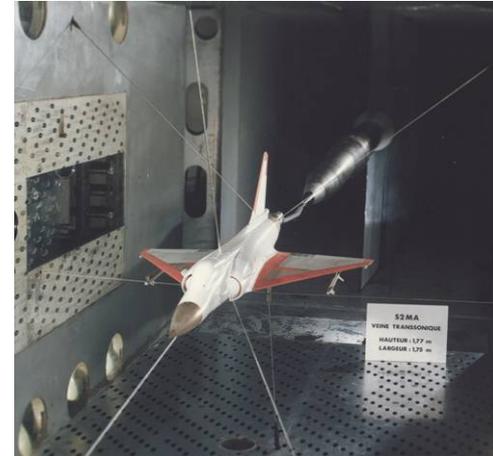
Givrage du radôme du Transall dans S1MA (1967)



# Essais d'avions militaires (3)

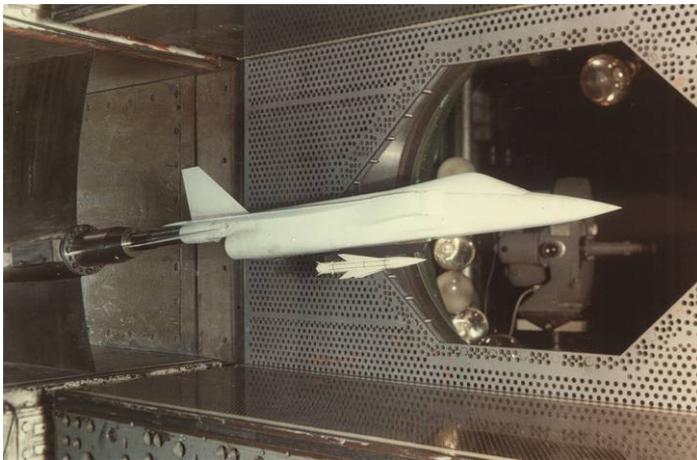


Flottement



Mirage F1 avec charges dans S2MA (1976)

Mirage 2000 dans S2MA



AS 30 sous Jaguar dans S3MA (1969)

Tir



ASMP sous Mirage 2000 dans S2MA (1978)



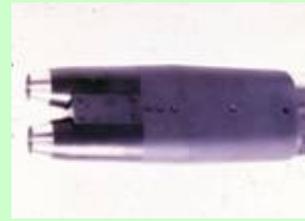
BB Rapace à S2Ch



Rapace à F1



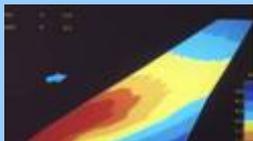
Prise d'air (Périgord à F1)



Arrière-corps bituyère



« Tournebroche » (IMFL)



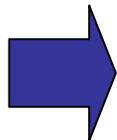
Calculs



Ecoulements tourbillonnaires

RECHERCHE

DE  
BASE



RAFALE

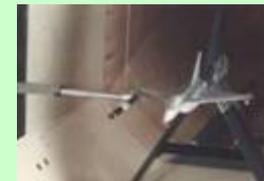
RECHERCHE



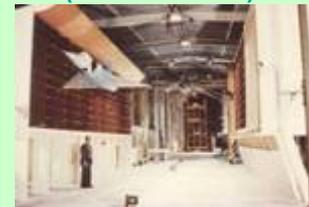
APPLIQUEE



Vrille (IMFL)



Turbulence  
(Astre à S3Ch)



Catapulte (IMFL)

PARTICIPATION AU DEVELOPPEMENT



S1Ma



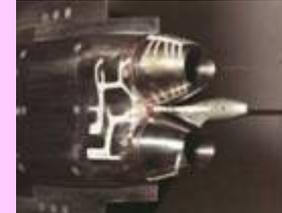
Grande incidence (F1)



S2MA



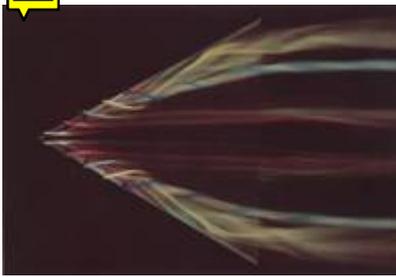
Prise d'air (S2MA)



Arrière-corps(S2MA)



Mesure de SER (S1Ch)



Aile delta



ATSF



Flottement en vol



S3MA



Cuve rhéoélectrique



Et aussi : Tuyères  
Matériaux  
Nuisances (bruit, bang, NOx)....



S2MA



« Aile gothique flamboyante »



Givrage (S1MA)



Strioscopie (R1Ch)



Entrée d'air (S5Ch)



Echauffement cinétique (D6 au CEM)



S1Ch

# Essais d'avions civils



Pluie sur pare-brise de Caravelle à S1Ch  
(1957)



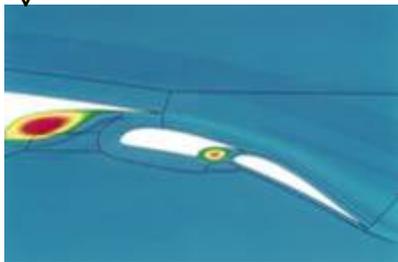
Mercure dans S1MA (1972)



ATR 42 dans F1



Falcon 20X dans S1MA (1979)



Profils - Hypersustentation

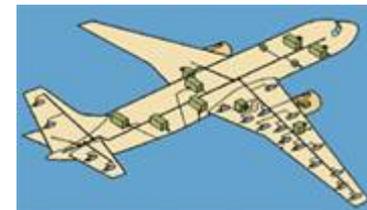


A340 à F1

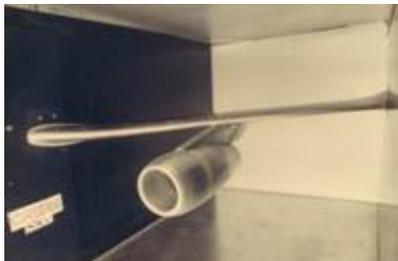
Essais industriels



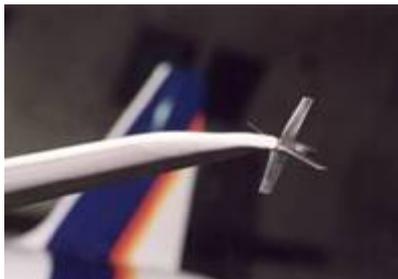
A320 à S1MA



CAG. Avionique modulaire



Intégration motrice



Traînée induite



Foudroiement (CEAT)



Tourbillons de sillage (IMFL)



Laminarité (S1MA)



Riblets (S1MA)



Analyse modale



Flottement en vol



Crash (IMFL)