



100 ans de souffleries depuis EIFFEL

Bruno Chanetz

Association des Anciens de l'ONERA (AAO)

Lundi 13 mars 2017



retour sur innovation

Plan

Introduction : quelques principes et définitions

- 1) Moyens alternatifs et premières souffleries
- 2) Souffleries subsoniques
*automobile (**Mach 0,1**) , ferroviaire, bâtiment*
- 3) Souffleries soniques et transsoniques
*avions de transports civils (**Mach 0,8**)*
- 4) Souffleries supersoniques et hypersoniques
*avions de combat (**Mach 2**), missiles
véhicules de rentrée atmosphérique (**Mach 10**)*

Conclusion : les souffleries à l'ère du numérique ?

Naissance des souffleries

Besoins :

- réduire le nombre d'accidents et sauvegarder la vie des pilotes
- « passer du flair des constructeurs à l'art de l'ingénieur »

Solution :

- réalisation d'un moyen de simulation au sol permettant d'étudier l'aérodynamique des premiers avions sur des maquettes (échelle réduite)

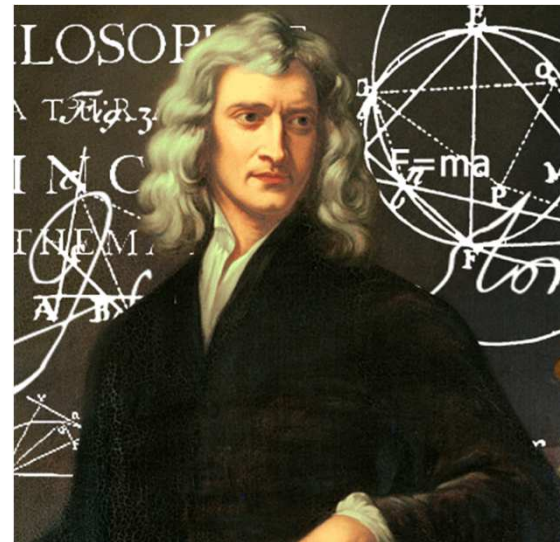
Soufflerie : définition et principe

soufflerie aérodynamique

moyen de prévision du comportement d'un véhicule
dans les mêmes conditions qu'en réalité

principe de Newton

*« les forces qui s'exercent sur
un corps plongé dans un fluide
sont les mêmes que ce corps
se déplace à une certaine vitesse
à travers le fluide au repos ou que
le fluide se déplace par rapport
au corps immobile à la même vitesse relative »*



Règles de similitude

L'expérience fournit les performances
(portance, traînée, moments)
transposables au véhicule réel
si des règles de similitude sont satisfaites

propriétés du fluide
forme géométrique homothétique
nombre de Mach
nombre de Reynolds

taille maquette compatible avec la
taille du conduit

Similitude en nombre de Mach : $M = V/a$

V : vitesse de l'avion (ou de l'automobile)

a : célérité du son $a = 20 T^{1/2}$

- au sol : 20 °C $a = 343$ m/s soit 1235 km/h

sur autoroute : $V = 130$ km/h soit $M = 0,1$

- avions de ligne : altitude de croisière 10 km

$M = 0,8$ soit 845 km/h

- Concorde : altitude de croisière 18 km

$M = 2$ soit 2110 km/h

Si Concorde avait volé au ras des flots

à 2110 km/h, il aurait seulement atteint Mach 1,7



Similitude en nombre de Reynolds

Nombre de Reynolds

$$\text{Re} = \frac{\rho V L}{\mu}$$

- ρ masse volumique
- V vitesse
- L longueur caractéristique
- μ viscosité dynamique du fluide

Conditions aux limites

Paradoxe de du Buat (*Principes d'hydraulique*)

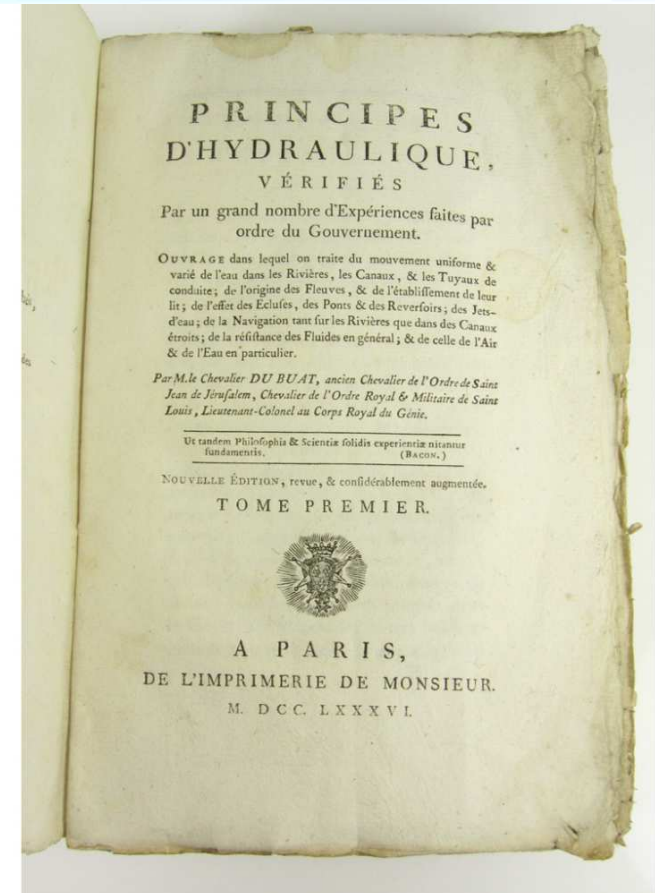
du Buat en 1779 :

résistance d'une *plaque carrée*
dans un canal supérieure de 30 %

à la résistance mesurée dans

les eaux calmes d'un lac

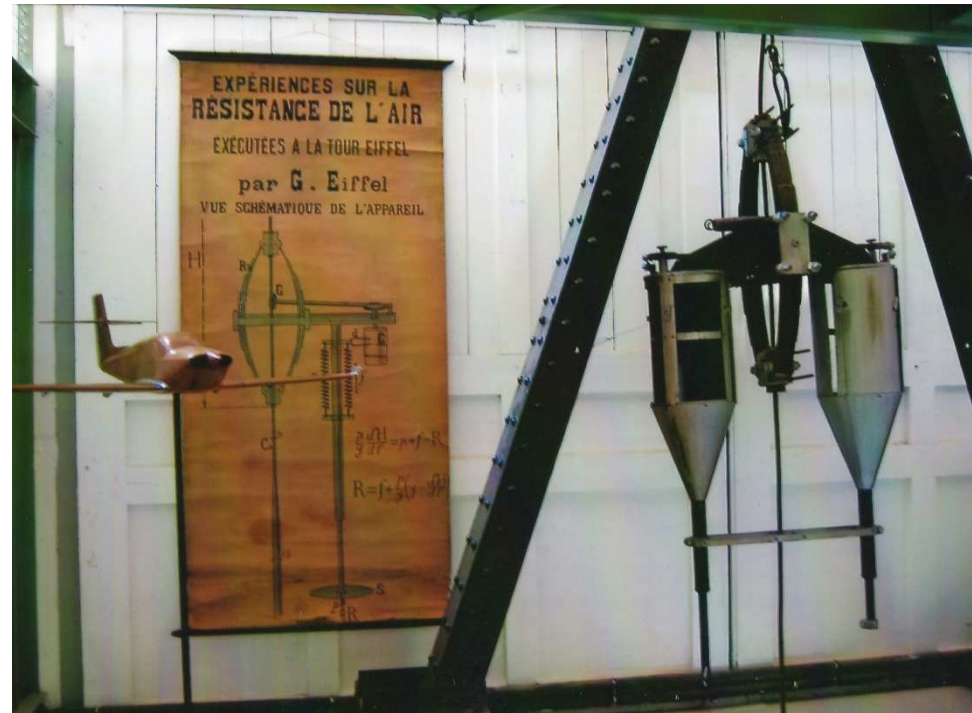
Duchemin en 1842 : dépendance par rapport aux
conditions aux limites



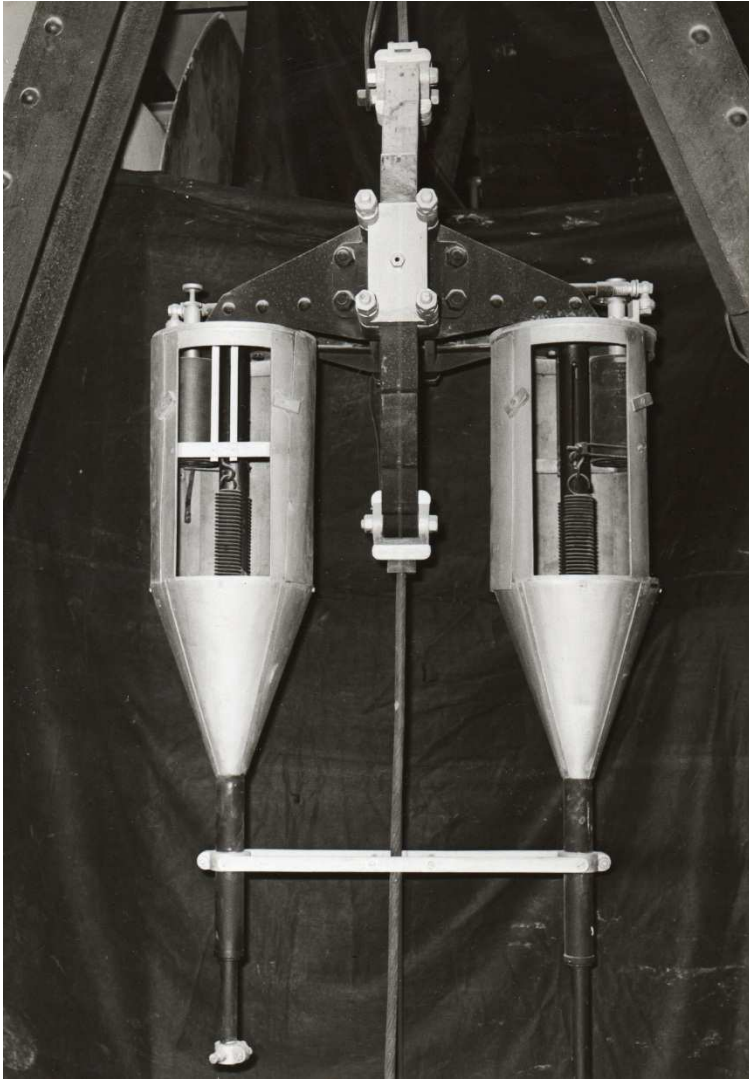
Moyens alternatifs

chute libre guidée (effet de la gravité)

- *appareil chute libre guidée Eiffel*



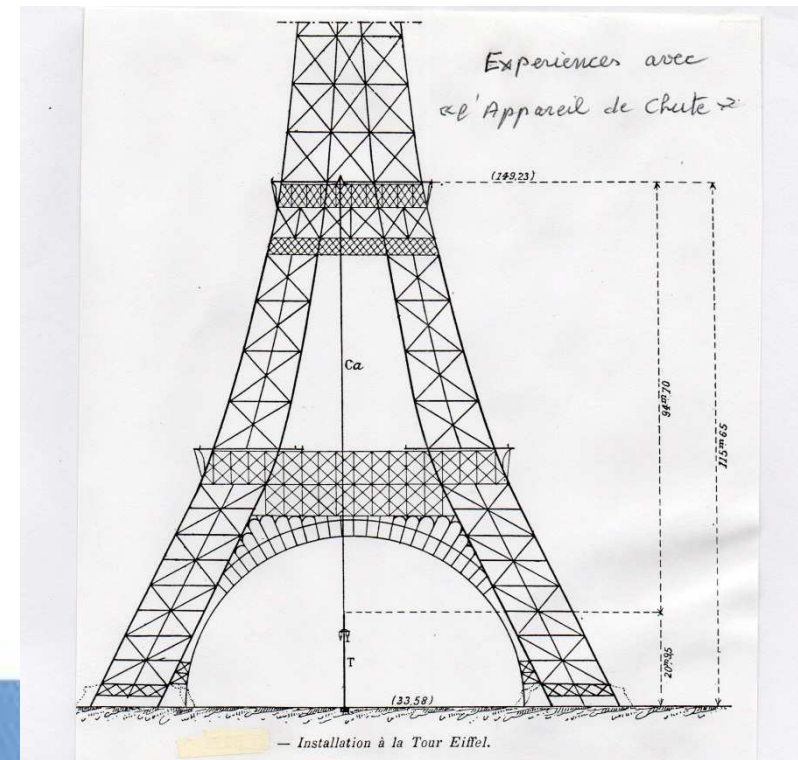
Appareil de chute



altitude du deuxième étage : **115 m**

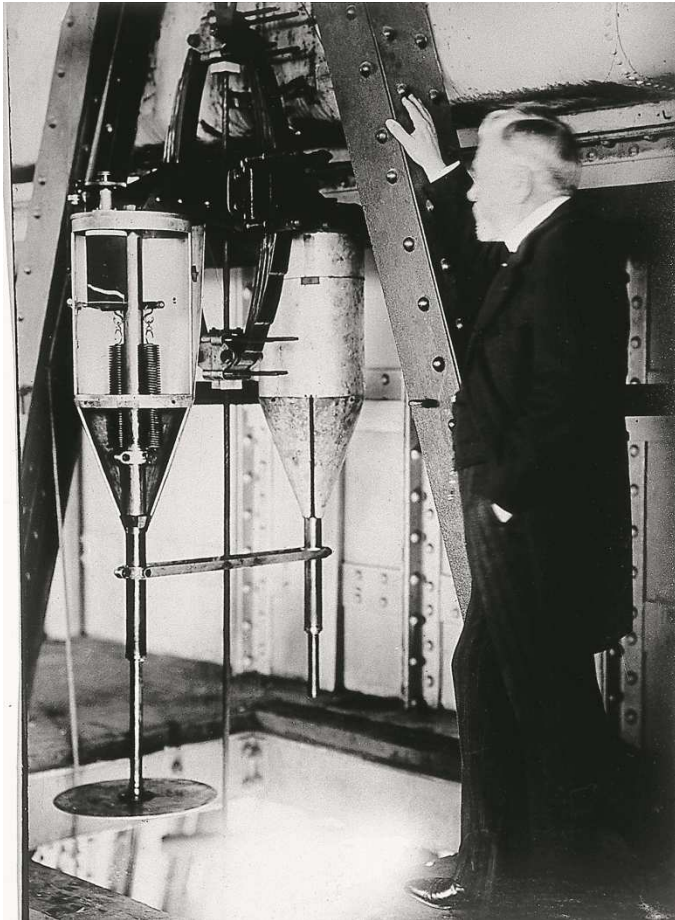
altitude du point d'arrêt : **21 m**

chute libre de dénivelé : **94 m**



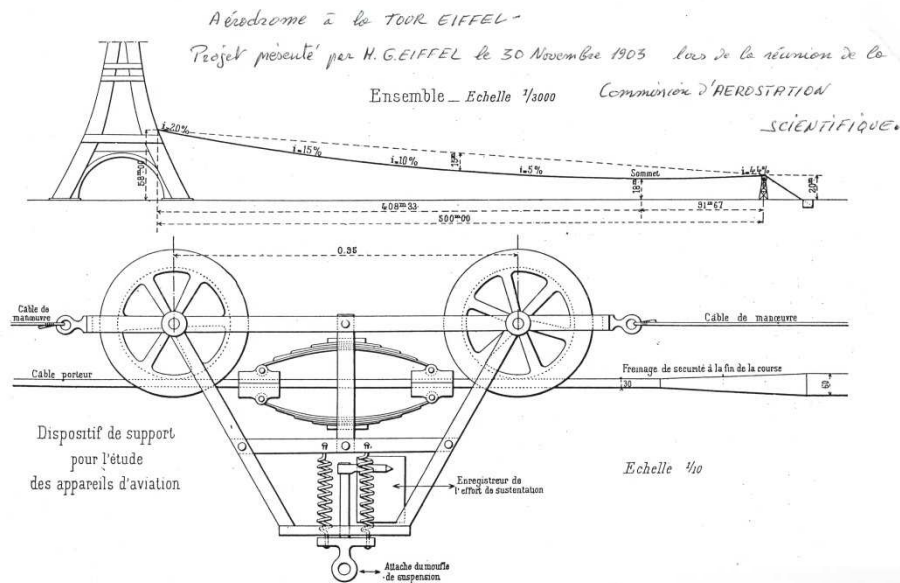
Appareil de chute

Eiffel au 2^{ème} étage de la Tour



Arrêt sur le cône à 21 m du sol

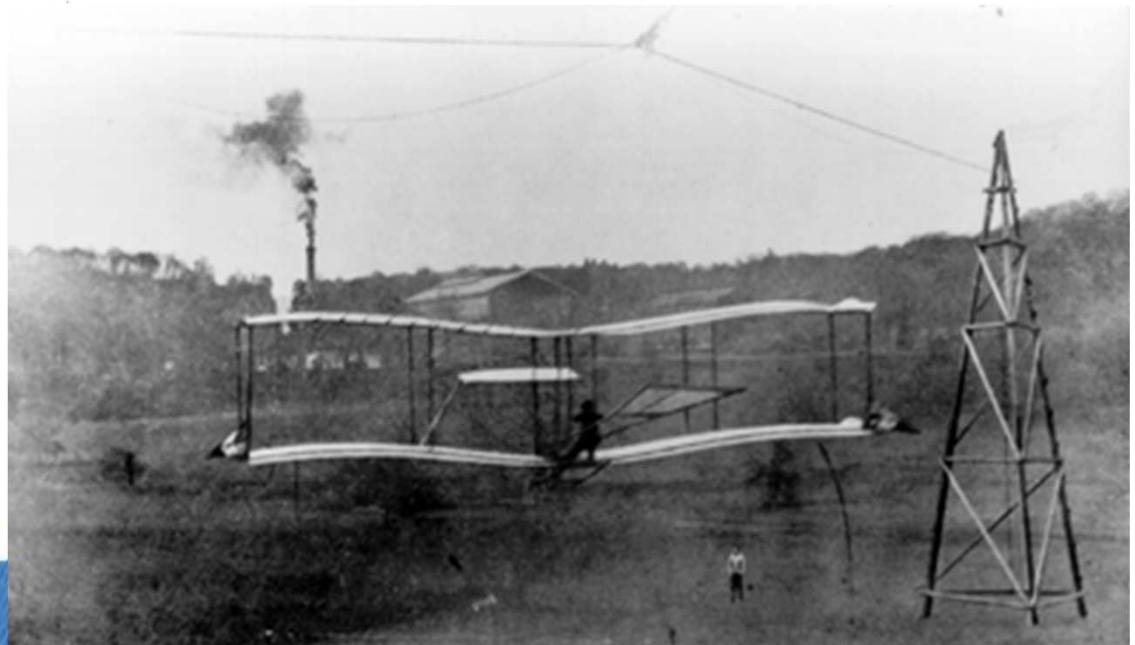
Moyens alternatifs



**chute libre
guidée (effet de la gravité)**

**- projet d'aérodrome
d'Eiffel**

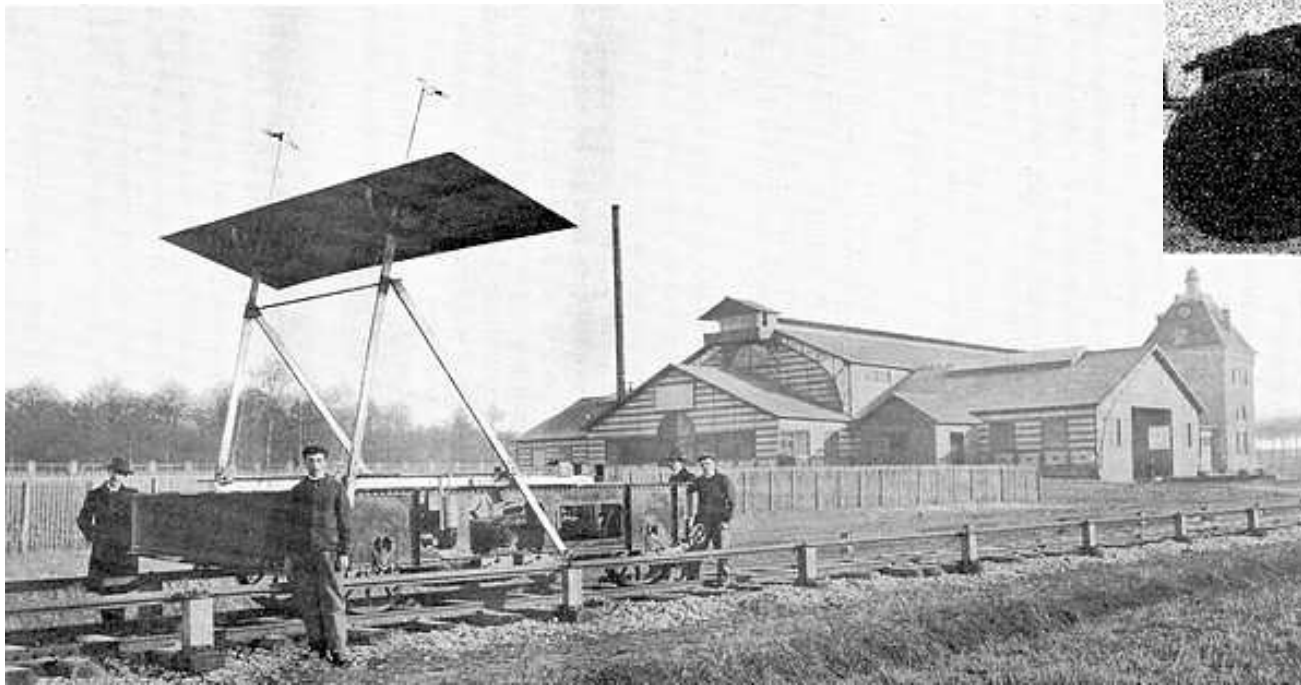
**- tyrolienne de Ferber à
Meudon**



Moyens alternatifs

train ou véhicule automobile (mouvement rectiligne)

- *essais Siemens 1901 à 160 km /h sur un train*
- *essais IAT 1911 voie ferrée de 1,40 km de long
vitesse 108 km/h*
- *essais du duc de Guiche*



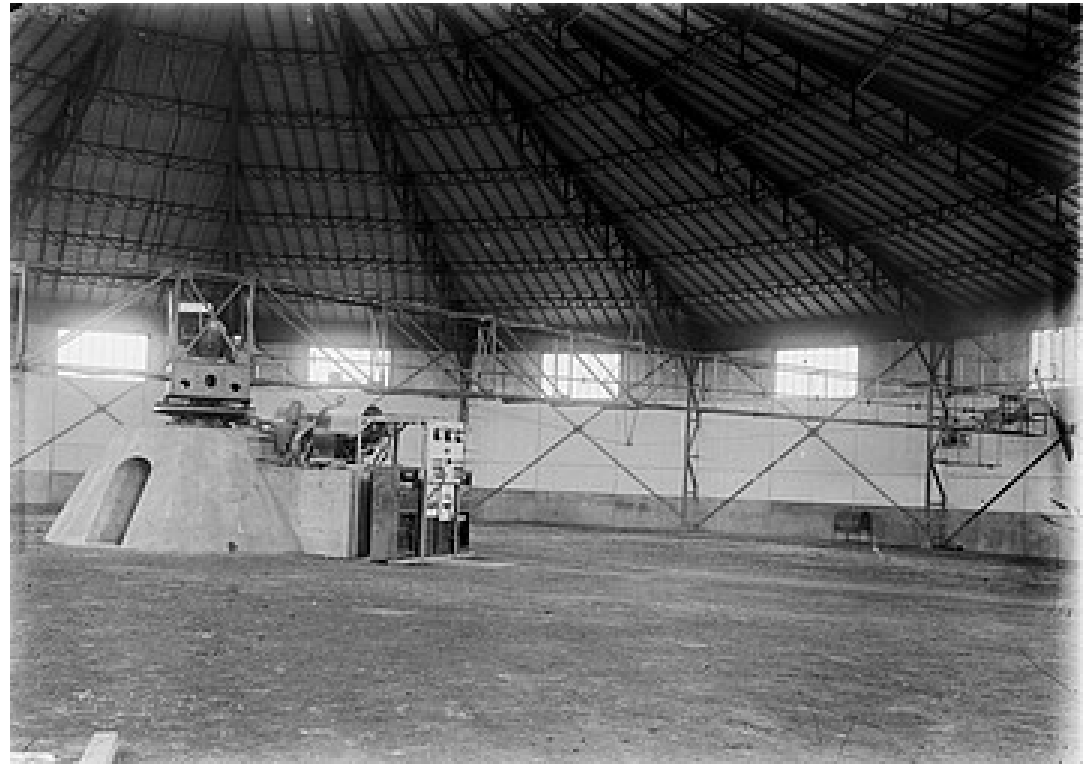
Moyens alternatifs

manège (mouvement circulaire)

- *manège de l'IAT à Saint-Cyr L'Ecole*

En 1912 à l'IAT :

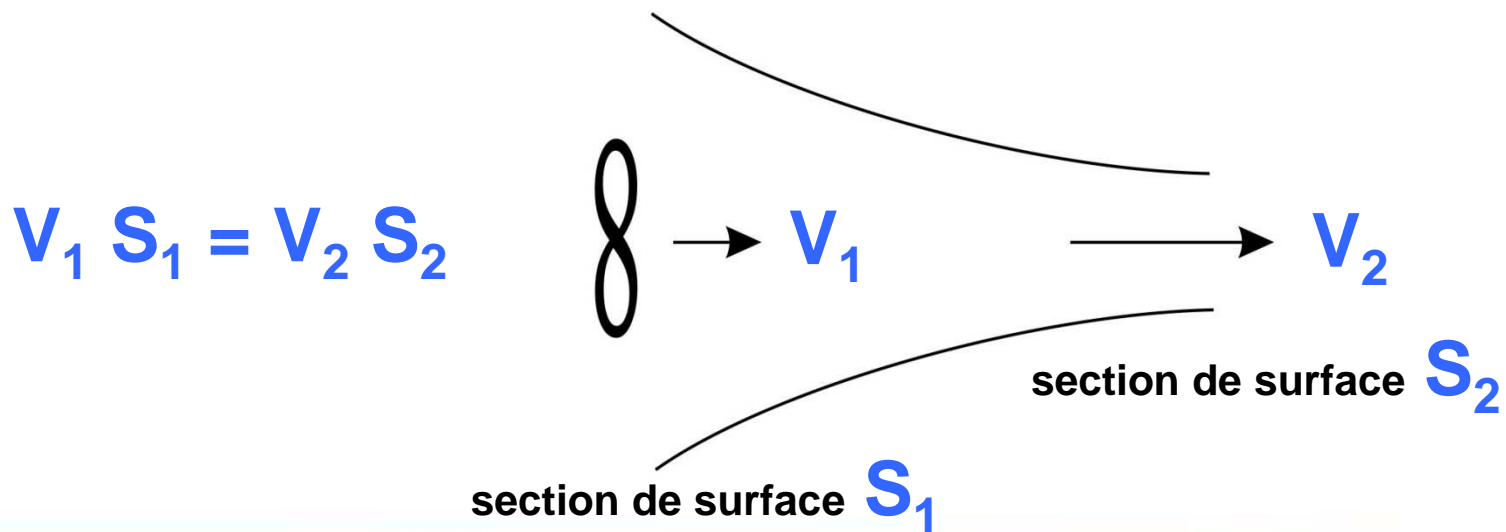
**manège
(salle circulaire de
38 mètres de diamètre)
comportant un bras
tournant atteignant
une vitesse
circonférentielle
de 30 m/s**



Les premières souffleries

souffleries avec ventilateur en amont
de la section d'essai :

Marey (F-1899), Wright (USA-1901), Rateau (F-1903)



Un précurseur : Etienne-Jules Marey (1830-1904)

La machine à fumée

construction en 1899 de sa
première soufflerie aérodynamique



objectif : permettre aux
aviateurs de progresser
en étudiant
l'écoulement
de l'air autour
d'une surface

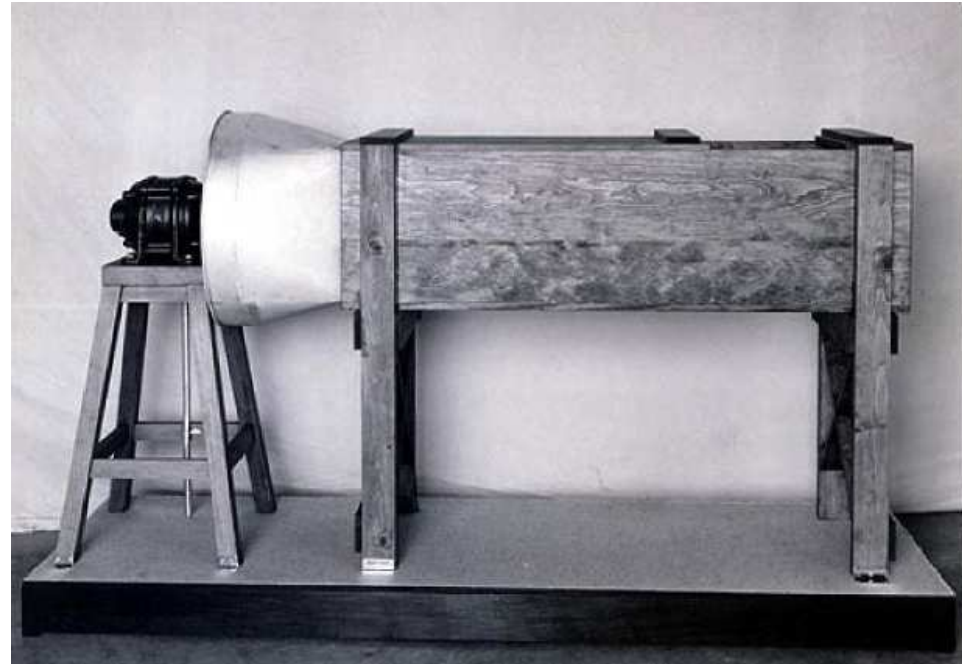


Soufflerie Wright de 1901 (réplique de 1939)

En deux mois :
test de 200 modèles
différents d'aile

- maquettes
de 3 à 9 pouces

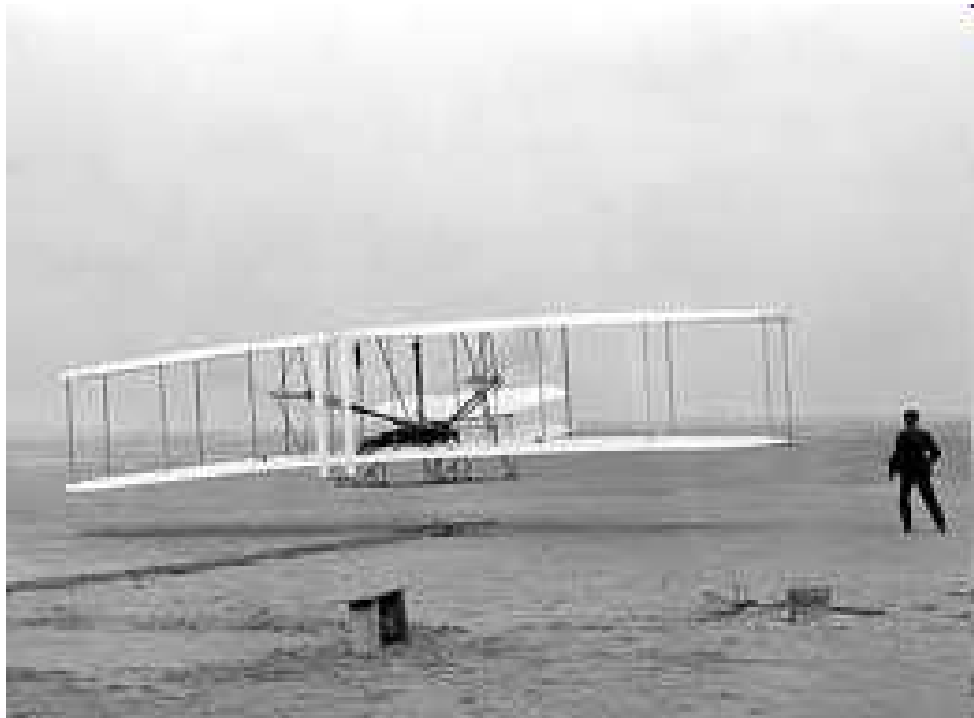
- essais
de monoplans,
biplans, triplans



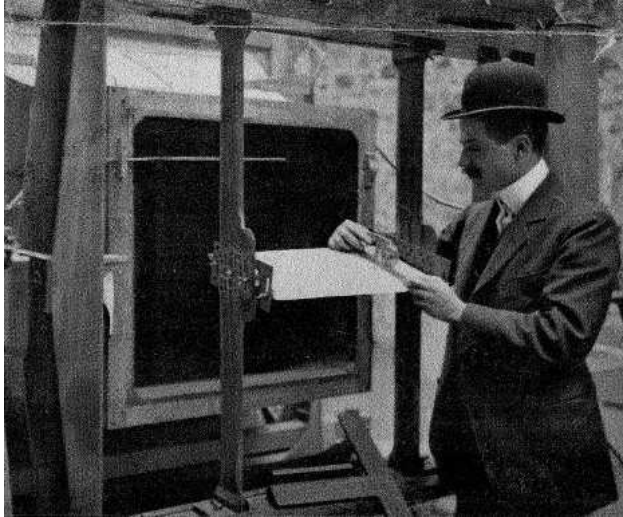
section veine 16 x 16 pouces
longueur veine 6 pieds
(30 cm x 30 cm sur 180 cm de long)

1903 : premier vol des frères Wright

« Dans tous les cas, si connus que nous sommes devenus pour notre Flyer, cela ne serait jamais arrivé *si nous n'avions développé notre propre soufflerie* et déduit de nos essais des données aérodynamiques correctes » **Wilbur Wright**



Soufflerie de Rateau



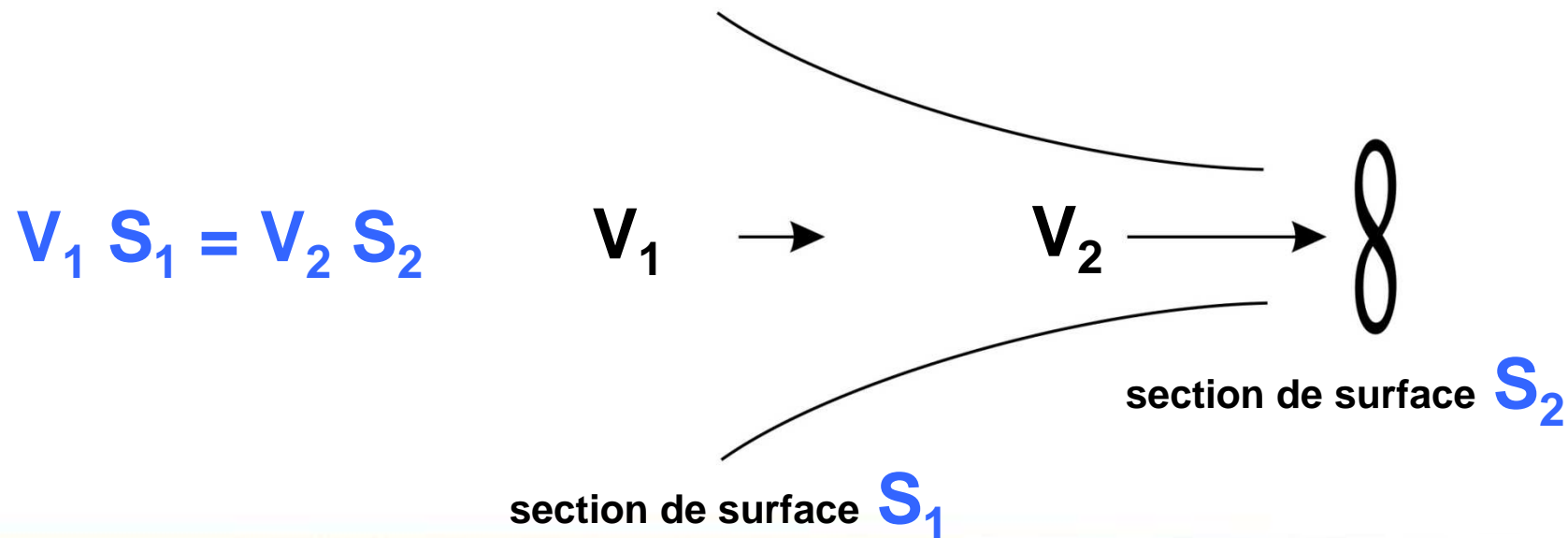
Souffleries à aspiration

« souffleries » avec ventilateur en aval

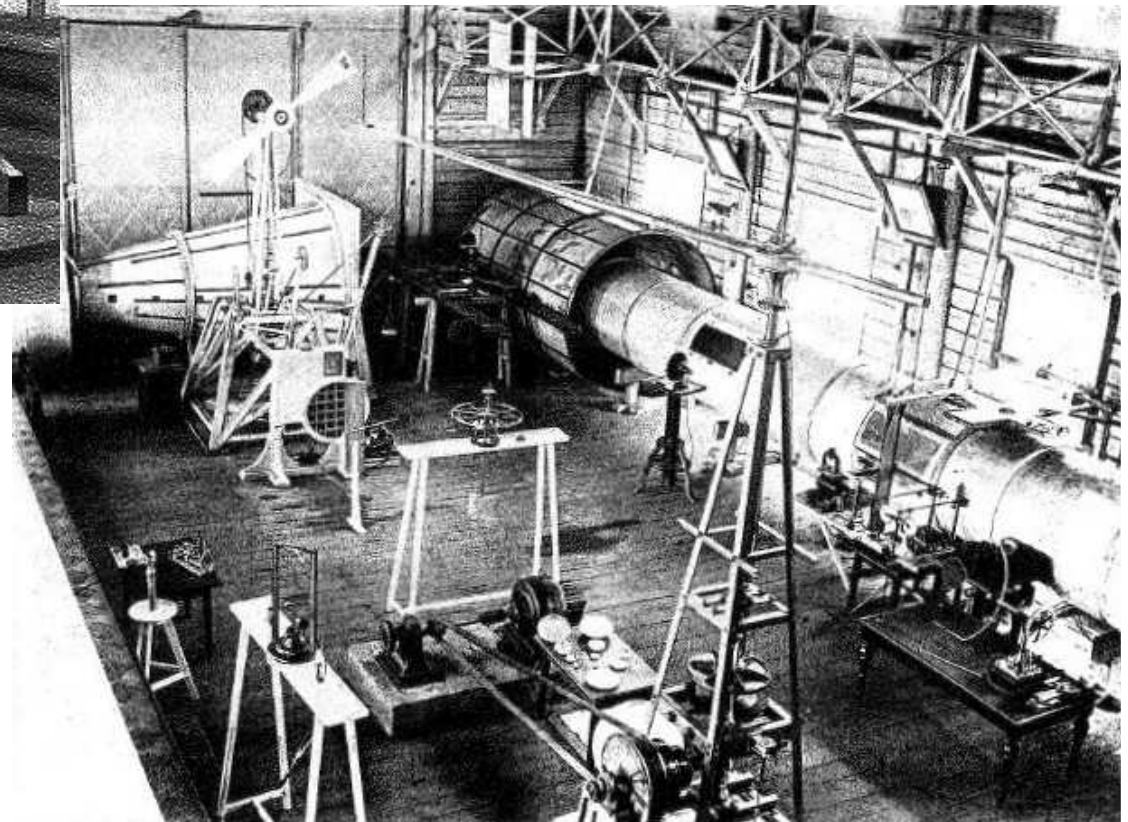
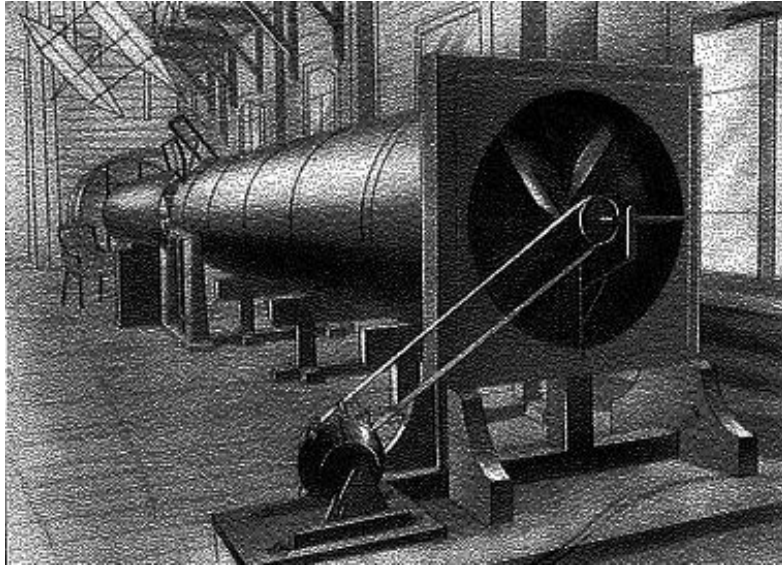
de la section d'essai :

Stanton (GB-1903), Riabouschinsky (R-1906),

Prandtl (G-1909), Eiffel (F-1909)



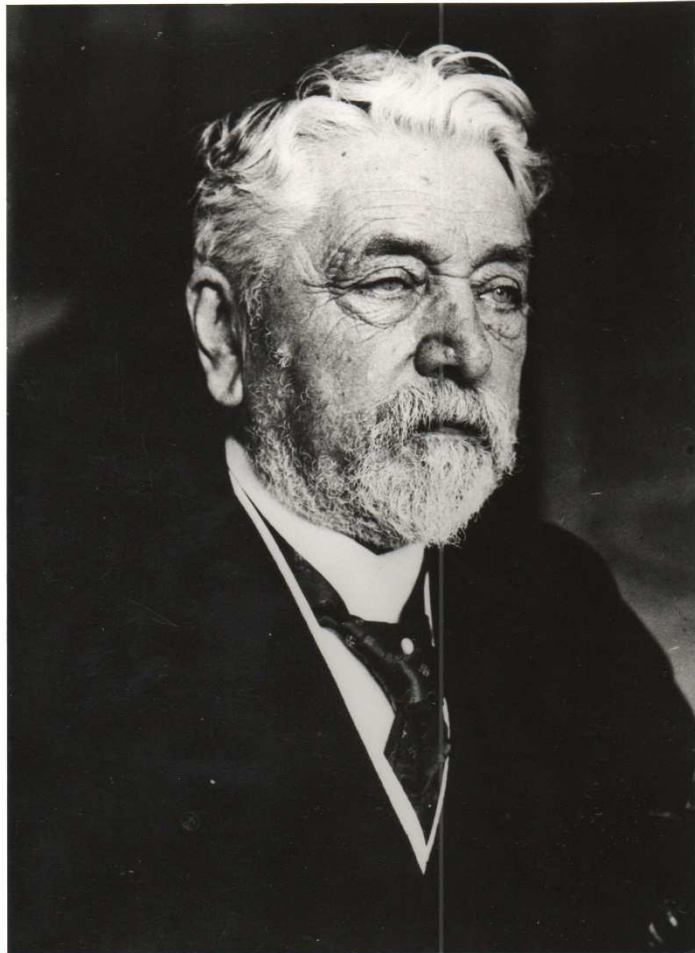
Soufflerie de Riabouschinsky à Koutchino



L'aérodynamicien Gustave Eiffel

« Le vent, mon ennemi ... »

Gustave Eiffel



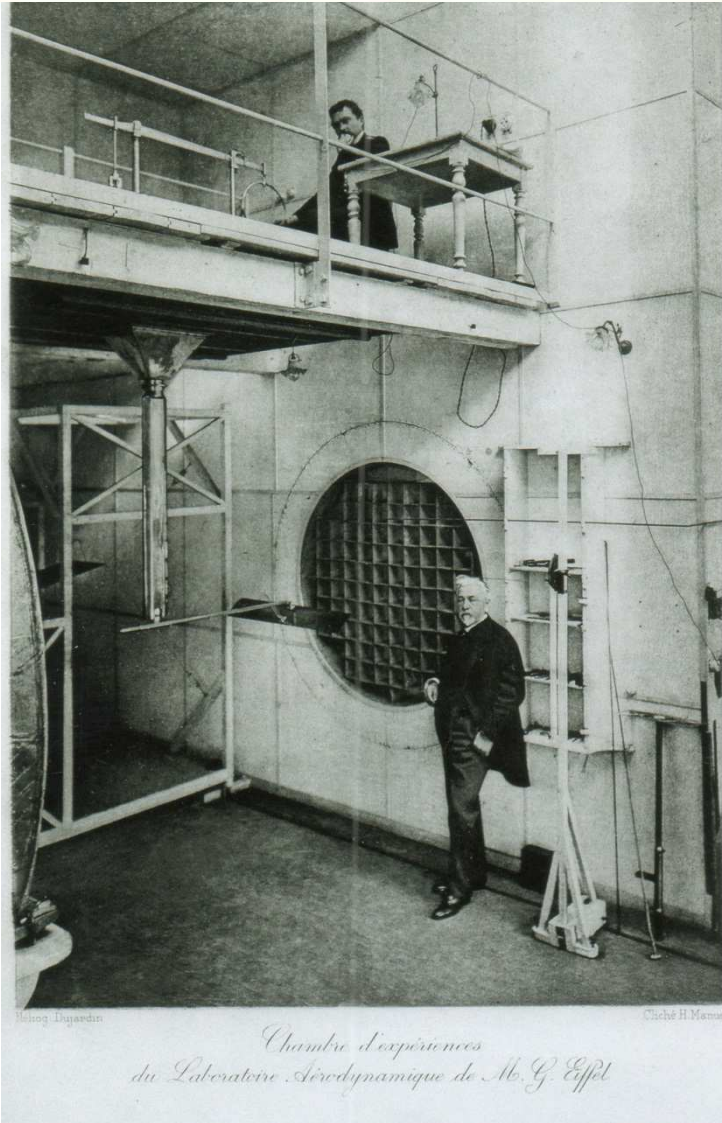
1892-1912 : études
météorologiques

1903-1906 : appareil de chute

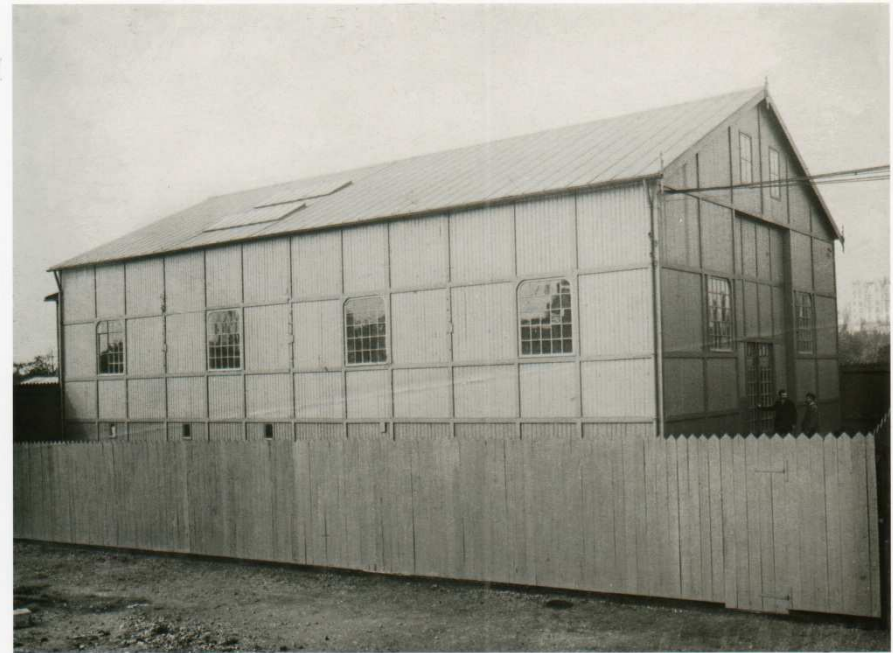
1909-1911 : soufflerie du
Champs-de- Mars

1912-1921 : soufflerie d'Auteuil

Soufflerie du Champ-de-Mars



Le bâtiment

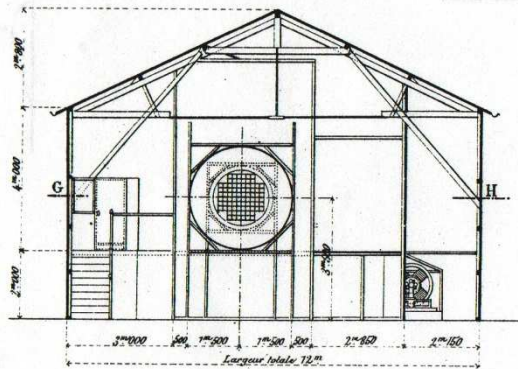


Eiffel et Rith dans
la chambre d'essai

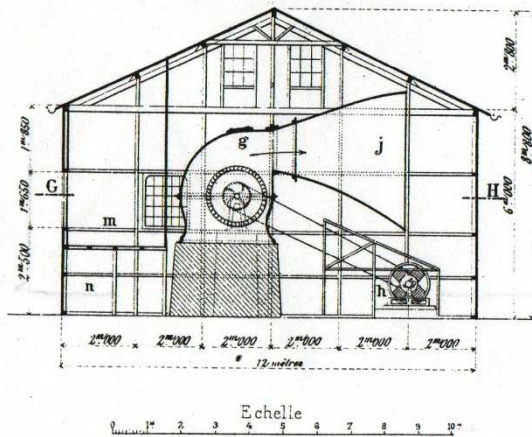
Soufflerie du Champ-de-Mars

ENSEMBLE DE L'INSTALLATION

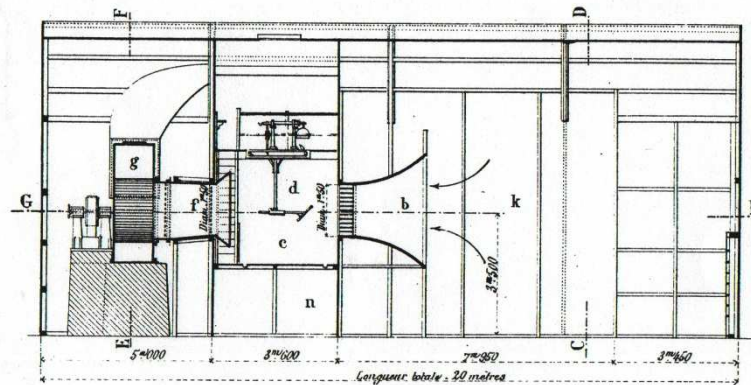
Coupe transversale CD



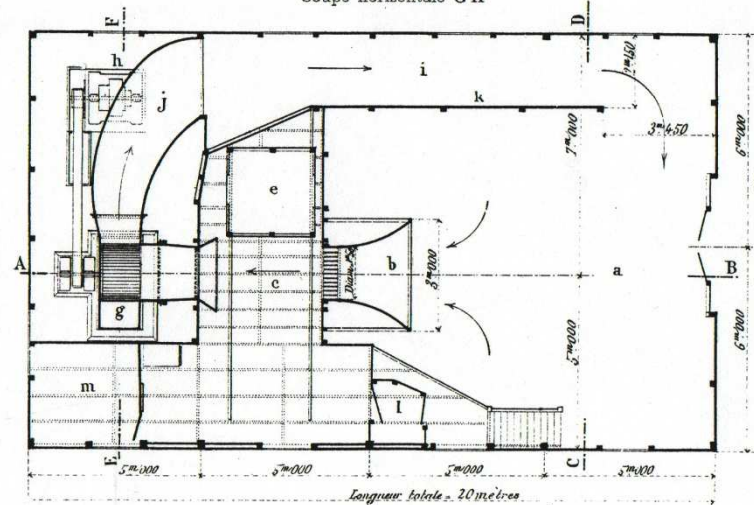
Coupe transversale EF



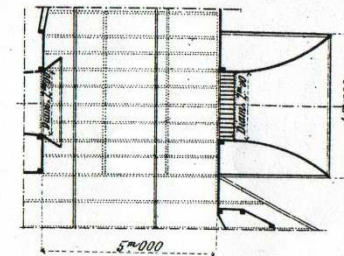
Coupe longitudinale AB



Coupe horizontale GH



Ajutage de 2 m. de diamètre

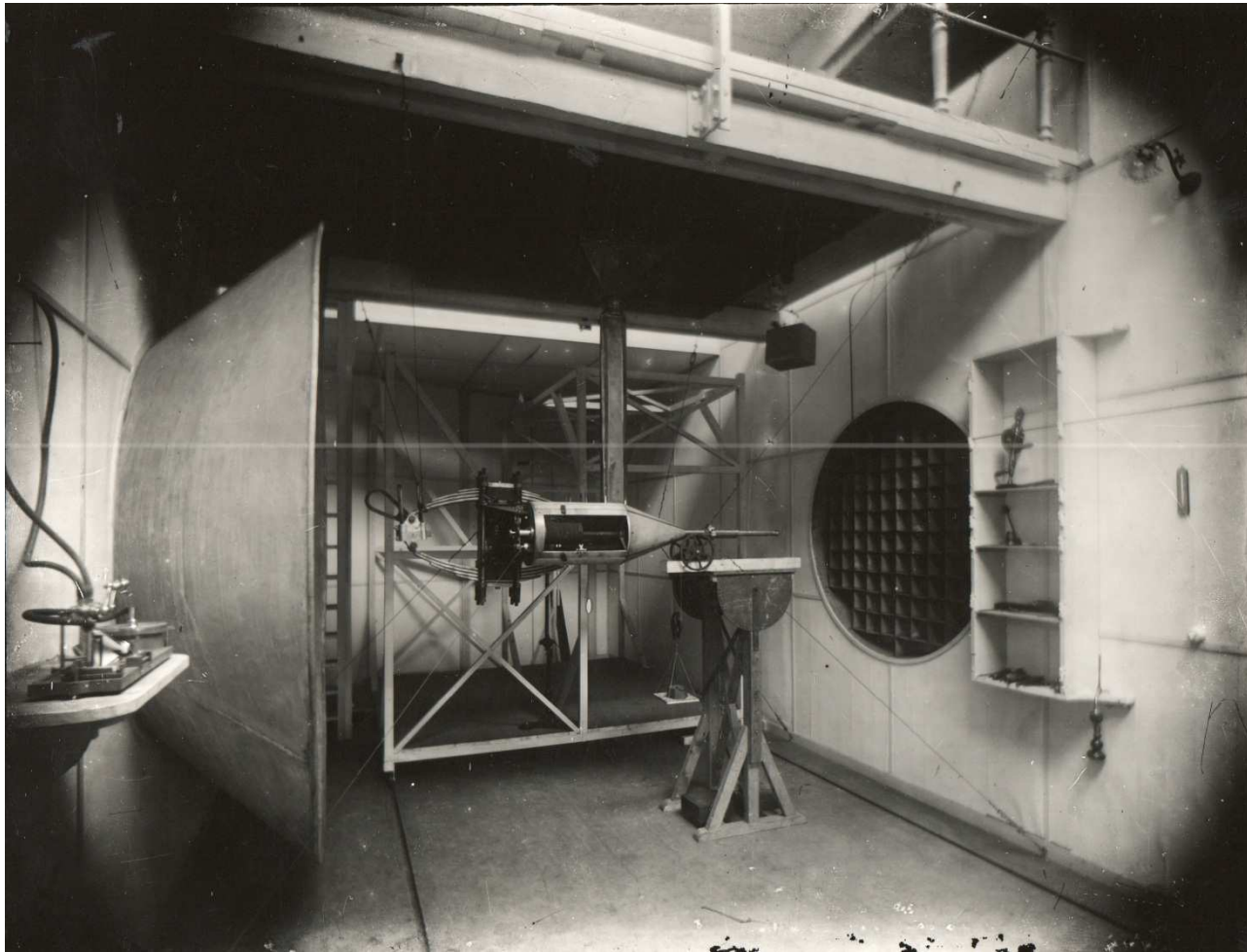


Légende

- a Partie antérieure du hangar formant réservoir d'air.
- b Ajutage de 1 m. 50 de diamètre pour arrivée d'air.
- c Chambre d'expérience.
- d Balance aérodynamique portant la plaque d'essai.
- e Châssis mobile servant aux essais manométriques.
- f Entrée au ventilateur.
- g Ventilateur centrifuge Sirocco de 1 m. 75 de diamètre d'aubage.
- h Dynamo de 50 Kw ou 70 HP (Le courant est fourni par le groupe électrogène de la Tour Eiffel).
- i Couloir pour échappement de l'air.
- j Passage de sortie de l'air.
- k Grande cloison de séparation.
- l Chambre d'écluse.
- m Logement du Gardien.
- n Sous-sol formant magasin.

Soufflerie du Champ-de-Mars

Vérification des essais faits à la Tour



Polémique avec le duc de Guiche

de Guiche conteste

la légitimité de

la transposition des

résultats du labo

à la réalité des

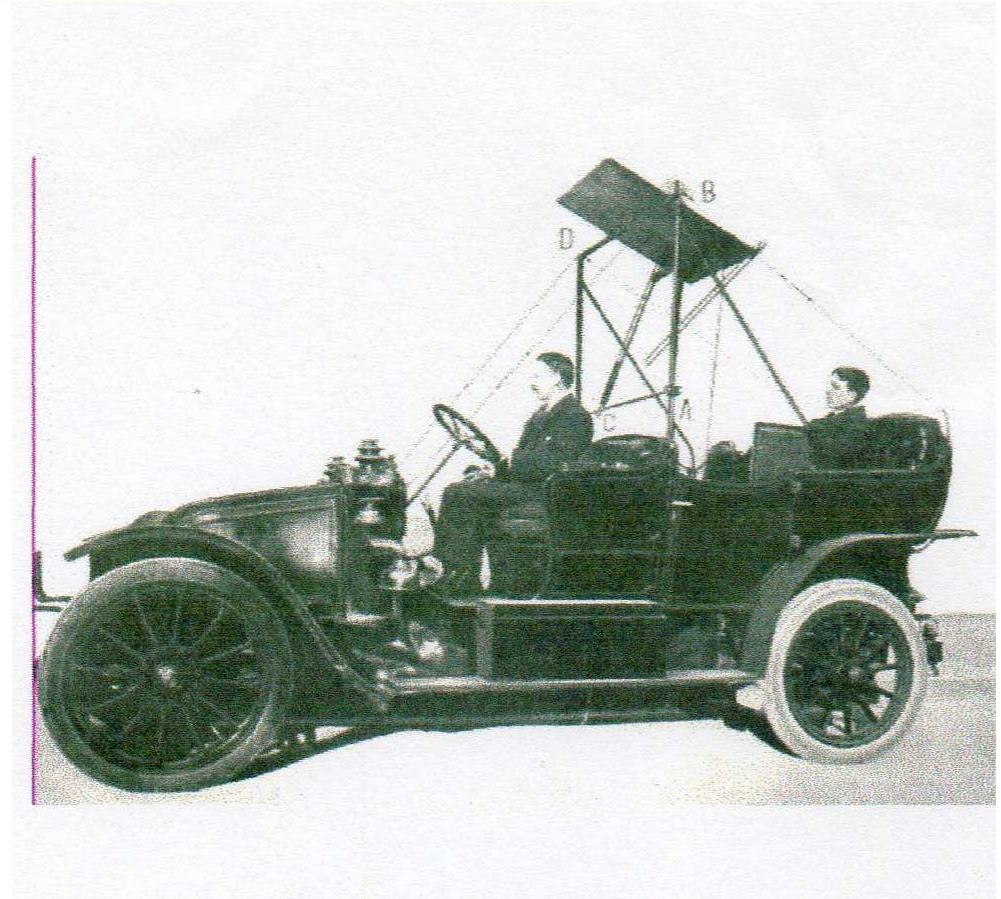
aéroplanes

Eiffel ne reconnaît pas

la validité des expériences

faites par de Guiche sur un véhicule

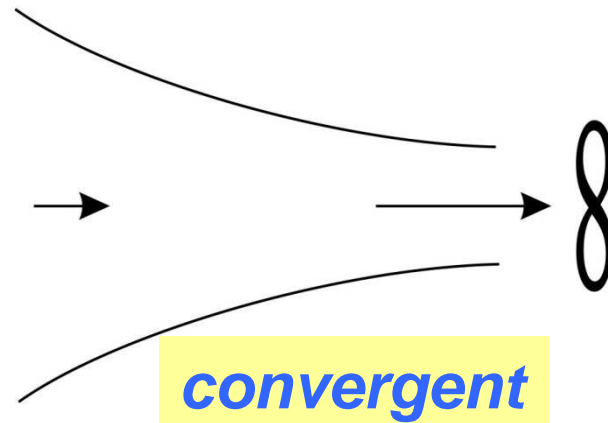
Poincaré approuve la démarche d'Eiffel



Soufflerie d'Auteuil

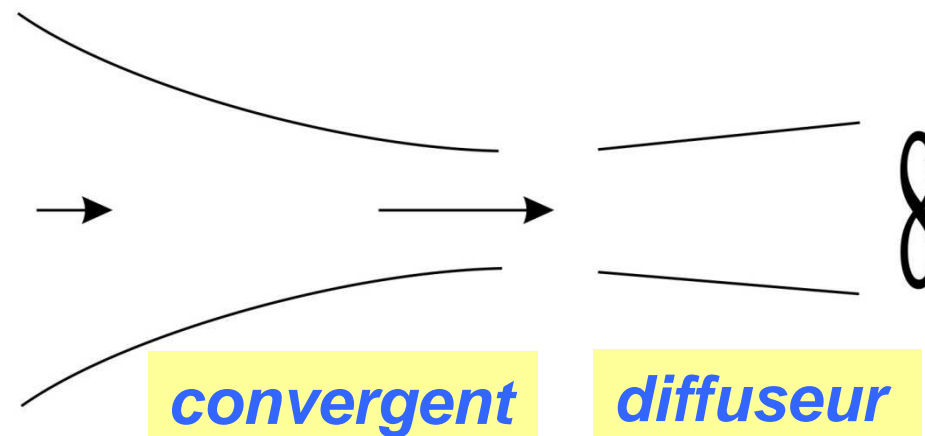


Souffleries type Eiffel

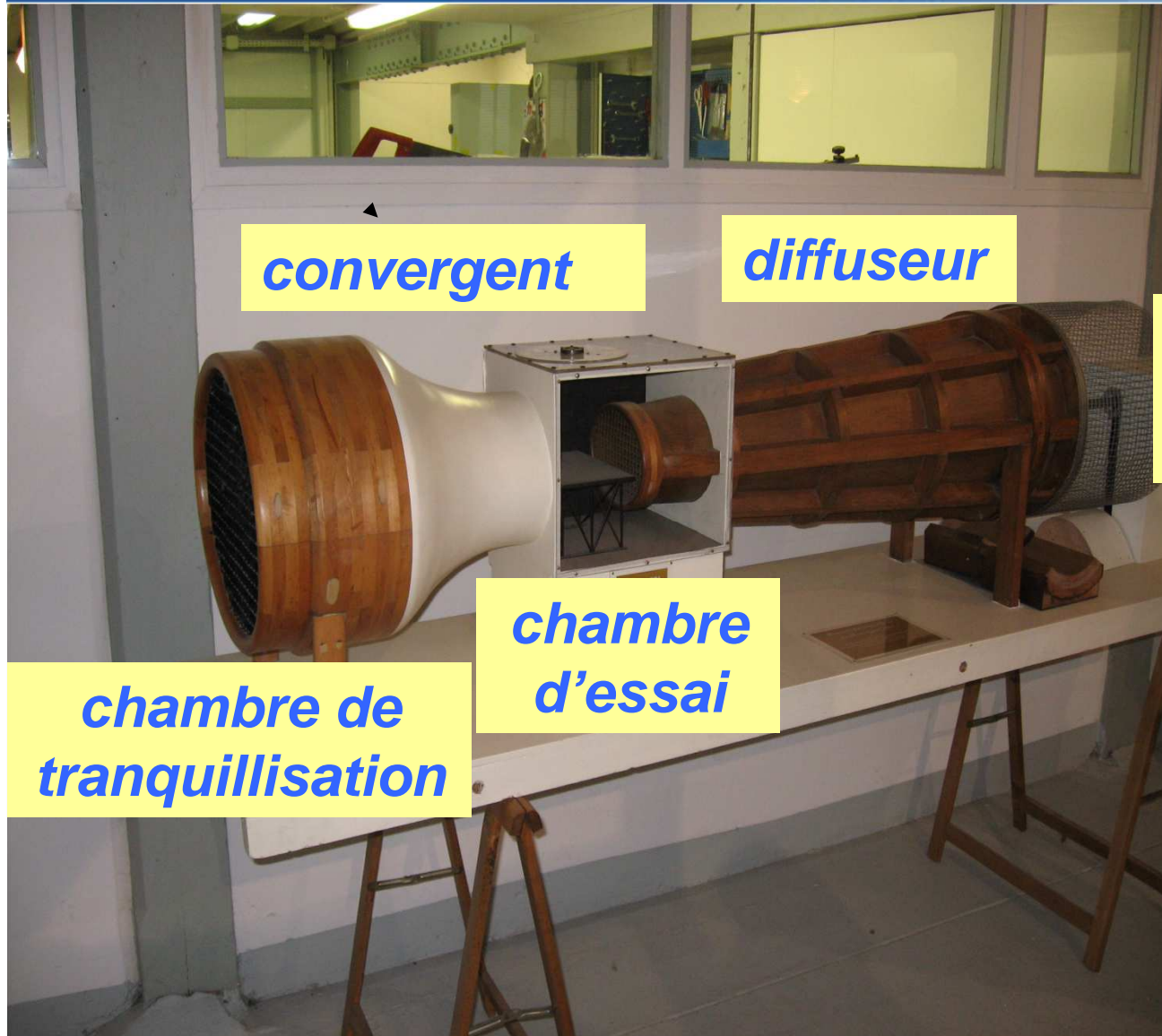


1912 : adjonction d'un diffuseur

« pour améliorer le rendement des machines à produire du courant d'air artificiel »



Soufflerie Eiffel à Paris



convergent

diffuseur

*chambre
d'aspiration*

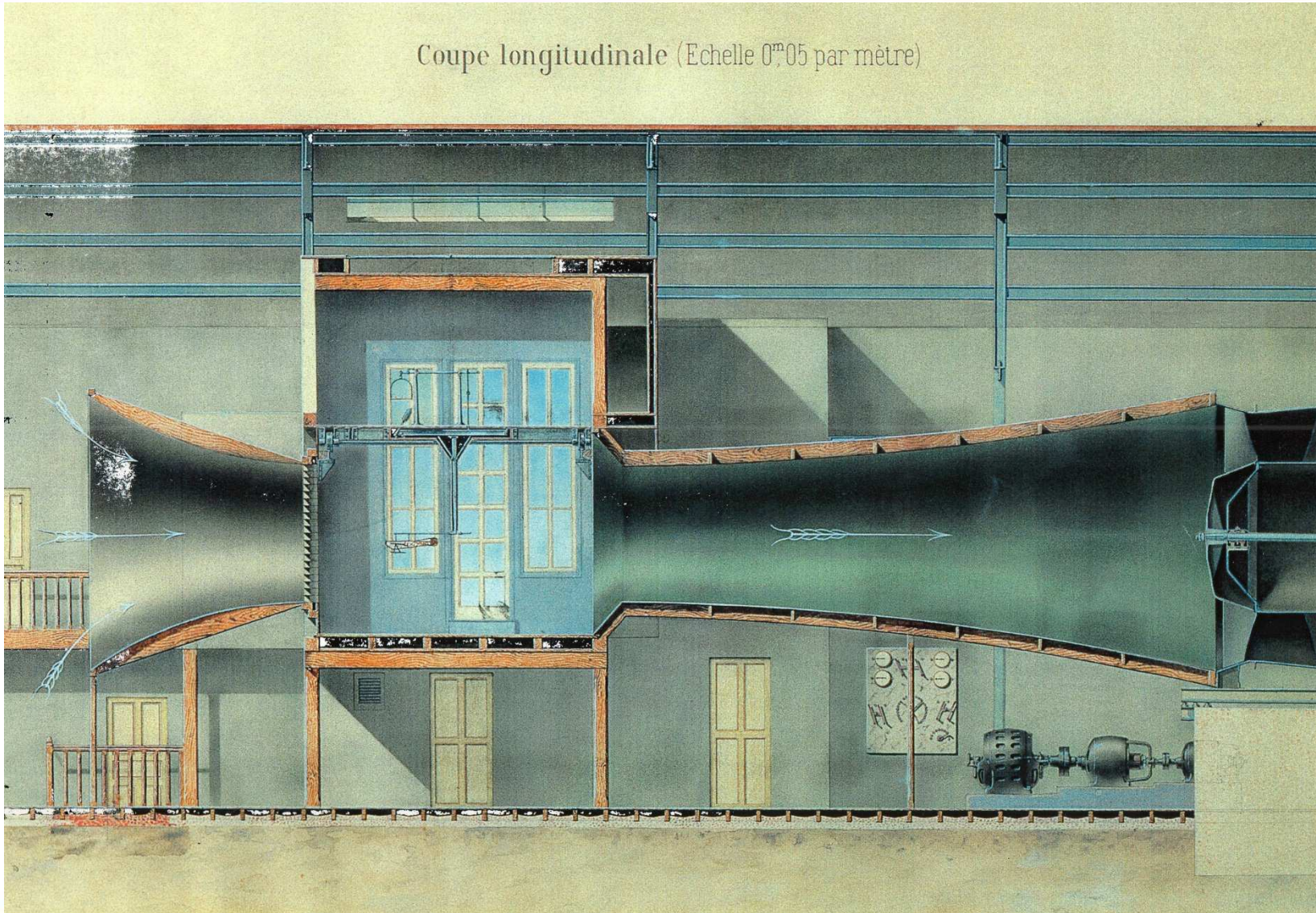
*chambre de
tranquillisation*

*chambre
d'essai*

maquette en bois
de la soufflerie

Soufflerie d'Auteuil

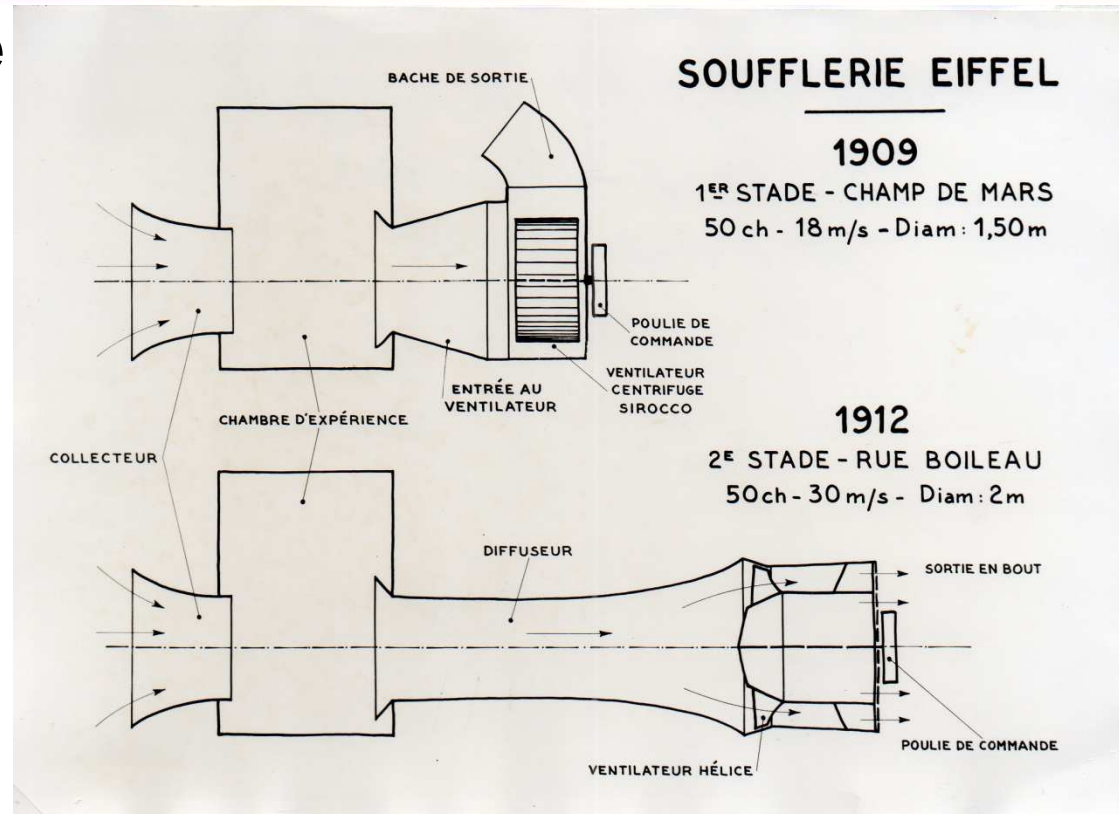
Coupe longitudinale (Echelle 0^m05 par mètre)



Introduction du diffuseur

Avec le même moteur de puissance 50 CV transféré du champ de Mars à la rue Boileau :

- gain en débit (200 %)
- + 80% en surface veine
- + 66 % en vitesse

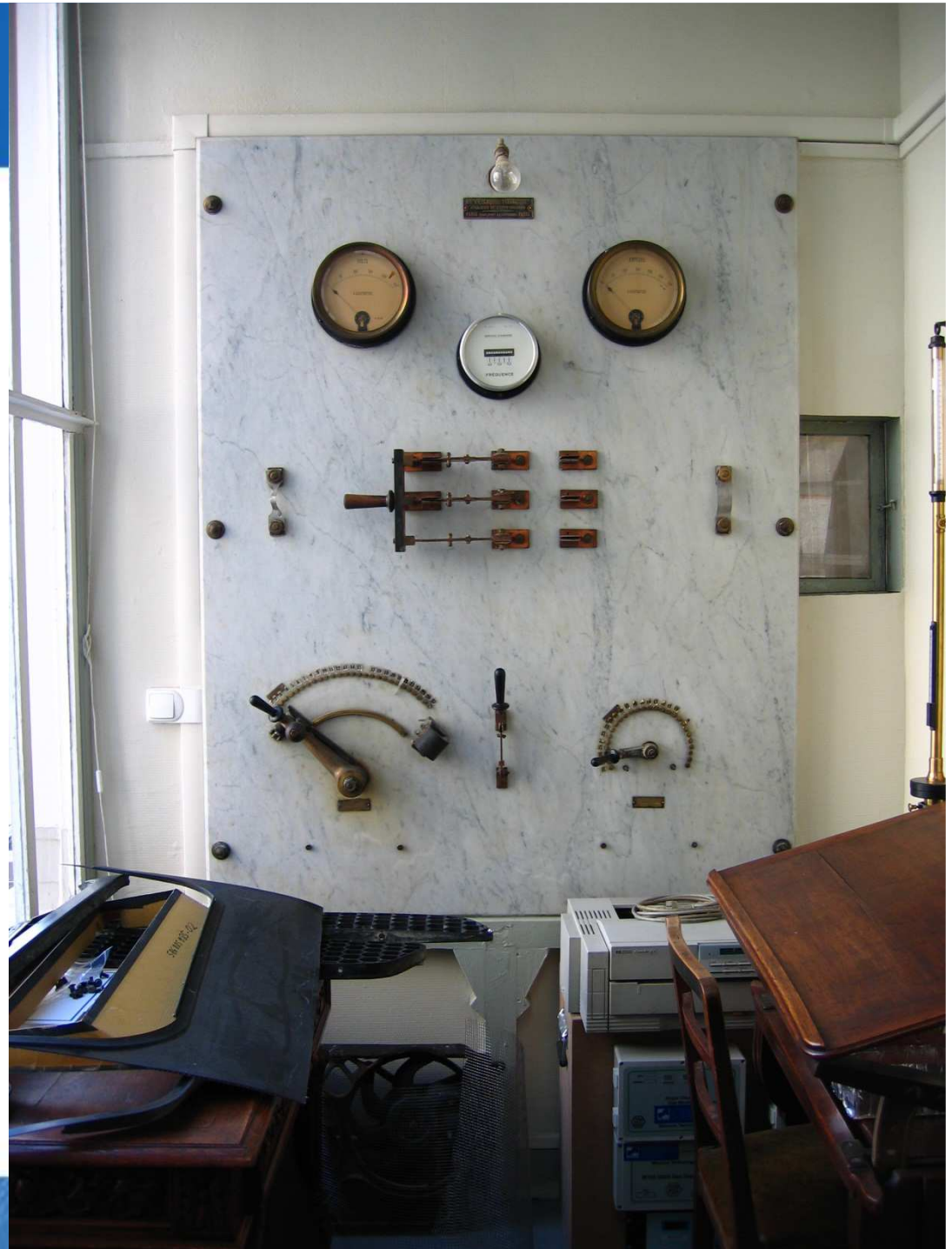


« Le diffuseur économise donc en somme les deux tiers de la puissance. L'avantage de ce système est manifeste, et c'est ce qui nous a permis de réaliser l'importante installation actuelle »

Gustave Eiffel

Soufflerie d'Auteuil

Tableau de commande



Controverse avec Prandtl

Mise en évidence de
l'effet Reynolds

Eiffel (1911)

décollement CL turbulent

$V = 15 \text{ m/s}$

$C_x = 0,176$

Prandtl (1912)

décollement CL laminaire

$V = 9 \text{ m/s}$

$C_x = 0,44$

$$\text{Re} = \frac{\rho V L}{\mu}$$



Paradoxe de d'Alembert

symétrie haut - bas

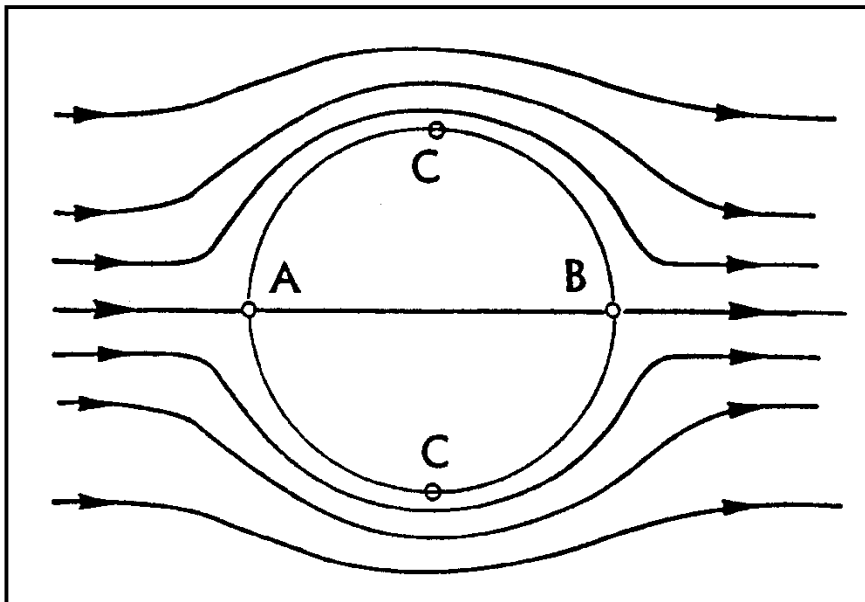
→ absence de portance

symétrie droite - gauche

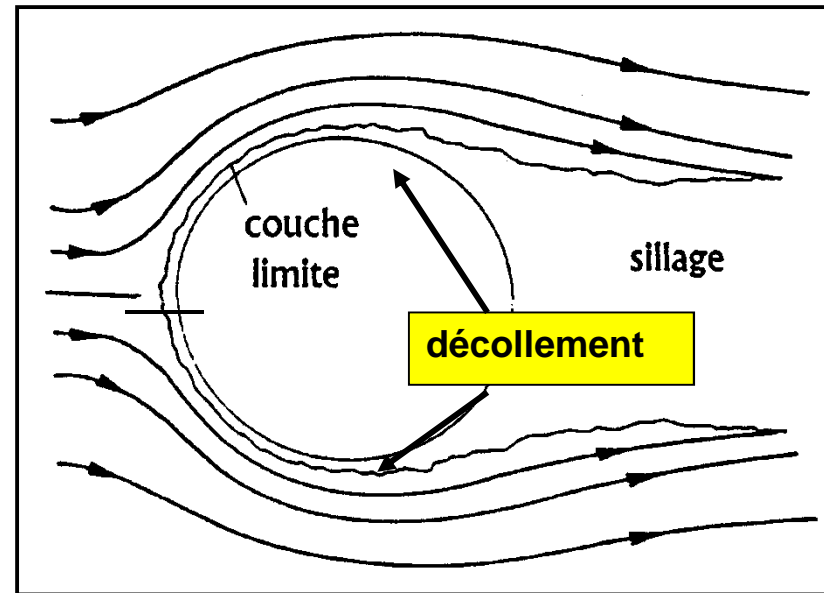
→ traînée nulle



paradoxe de d'Alembert



fluide non visqueux



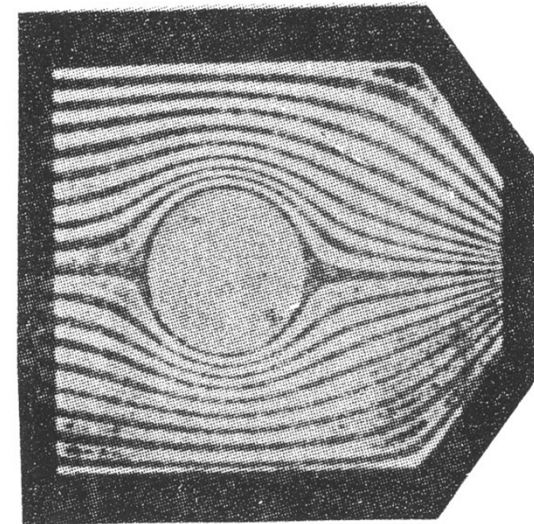
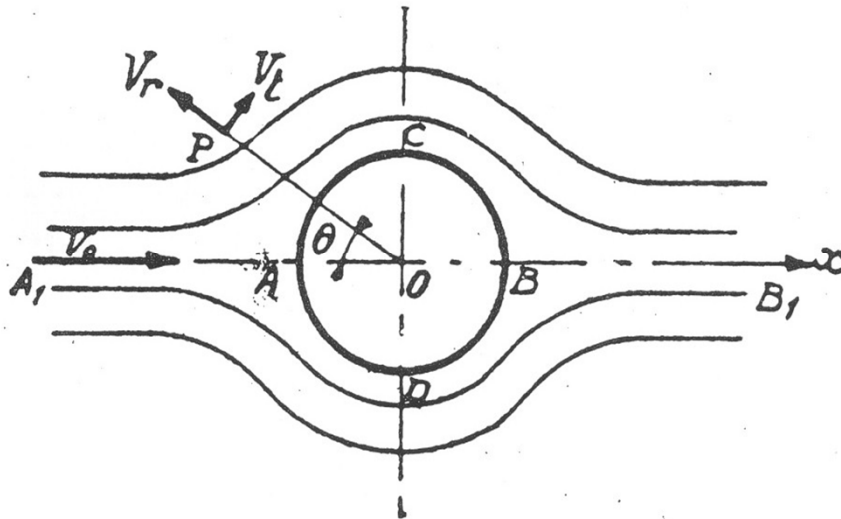
le décollement détruit la symétrie droite - gauche → traînée

fluide visqueux

Cas idéal de fluide parfait

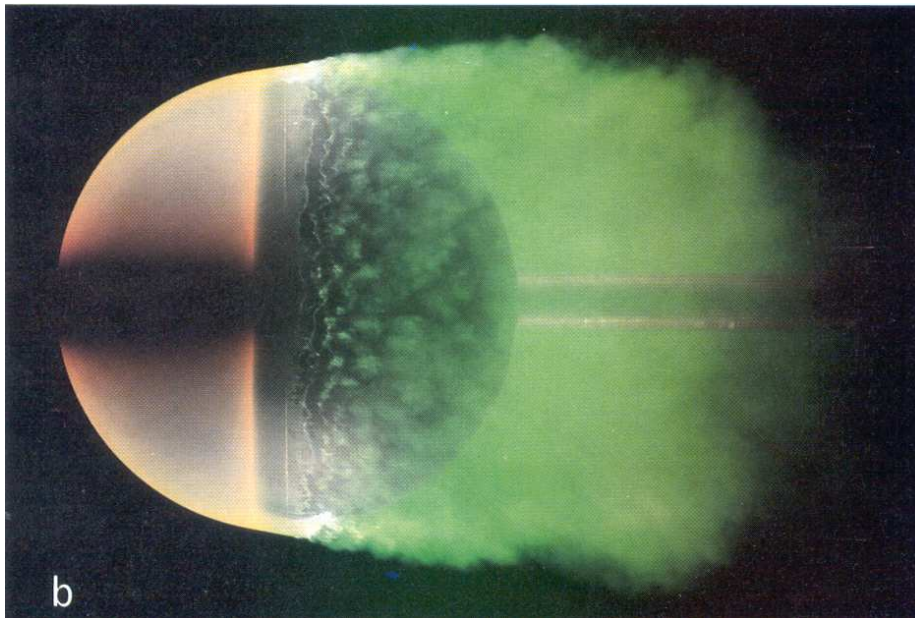
$$\text{Re} = \frac{\rho V L}{\mu}$$

Re ~ 10



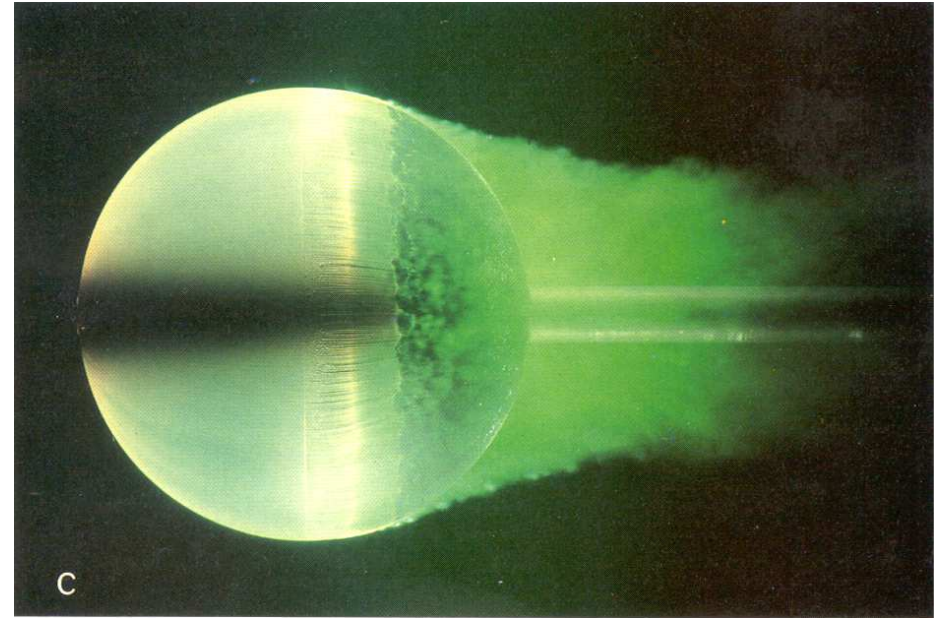
Controverse avec Prandtl

Décollement en régime laminaire



$$Re_D = 200\ 000$$

Décollement en régime turbulent



$$Re_D = 300\ 000$$

sillage moins perturbé, donc traînée moindre lorsque la transition laminaire/turbulente s'effectue plus en amont

Lettre de Prandtl

16. Juli 14

Honorable G. Biffel

Paris - Autenil
Rue Boileau 67

Honorable,
pour la grande amabilité, de m'avoir envoyé votre
nouvelle publication magnifique, je vous remercie
cordialement. J'ai le besoin d'y prononcer que de
tous les laboratoires aérodynamiques du monde,
le rôle rendu à l'aviation des services les plus
précieux et les plus étendus, pas du moins par la
manière exemplaire des publications, qui fait
profiter tout le monde des fruits de votre laboratoire.

Comme revanche - très modeste, il est vrai -
je me permets de vous envoyer deux extraits de nos
travaux, dont l'un - résistance des sphères -
s'est animé par vos travaux et aura peut-être
votre intérêt spécial.

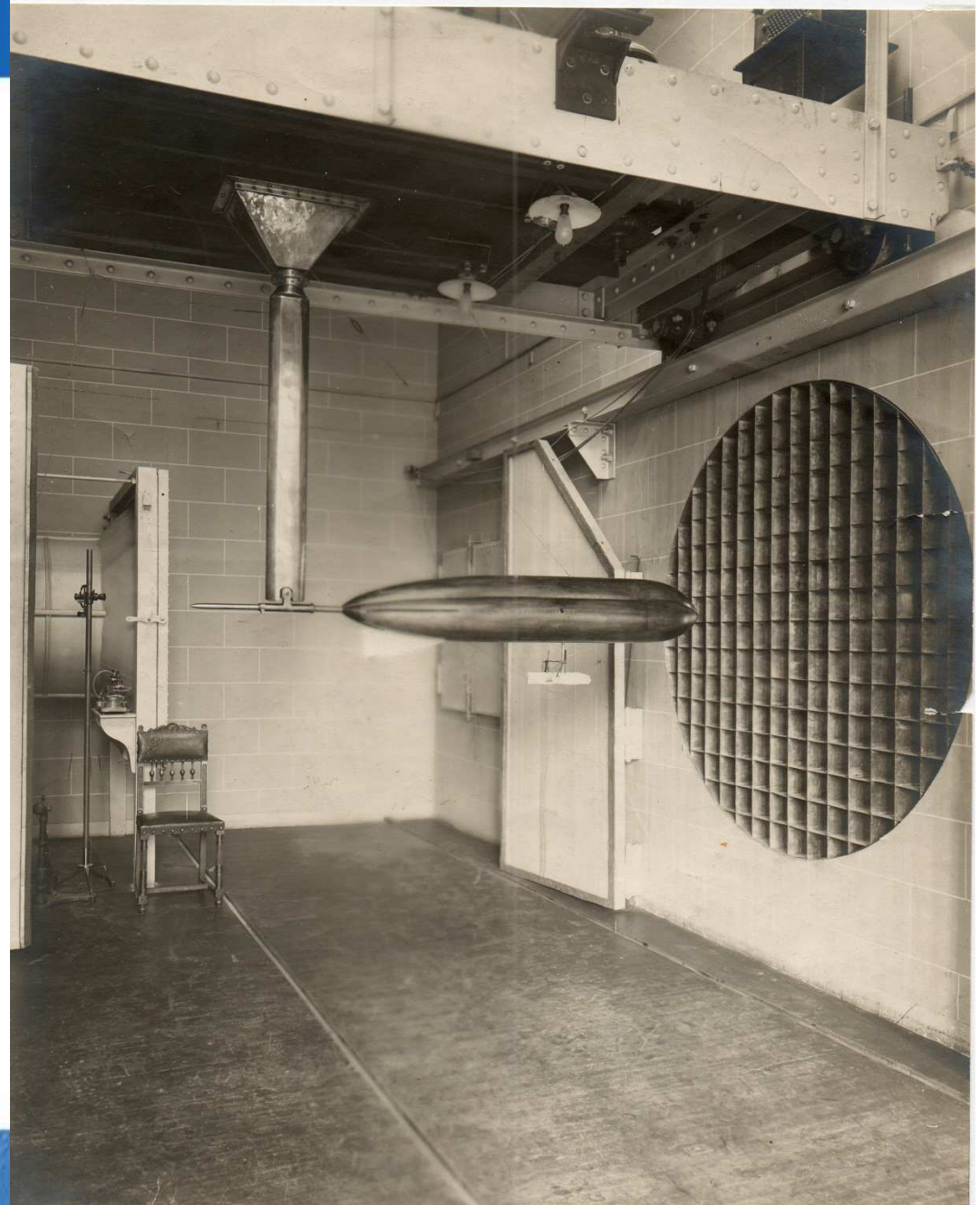
Agrez, Monsieur, l'expression de mes sentiments
les plus respectueux. De

Votre dévoué

L. Prandtl.

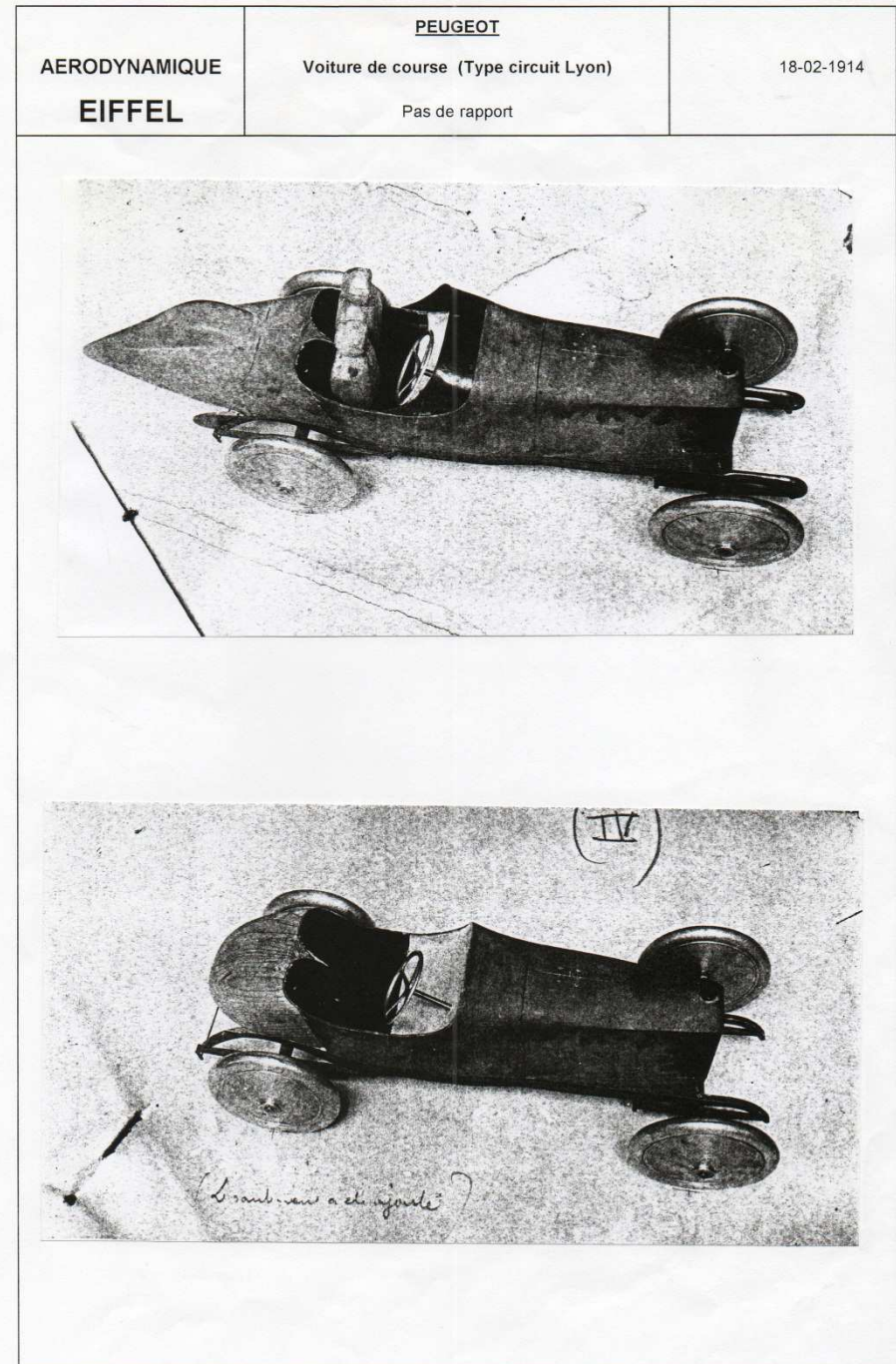
Soufflerie d'Auteuil

Essais du dirigeable « ASTRA-TORRES »
(Photographie Eiffel)



Soufflerie d'Auteuil

Véhicule Peugeot 1914



Lettre du ministre des Travaux publics

MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS

Sous-Secrétariat de l'Aéronautique
et des Transports aériens.

Cabinet du Sous-Secrétaire d'État.

5071C.

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Paris, le 3 décembre 1920.

Monsieur,

Au moment où il est question de faire passer au Service technique de l'Aéronautique le laboratoire aérodynamique que vous avez créé et dirigé, il m'est très agréable de vous renouveler l'expression de la très haute estime dans laquelle l'Aéronautique française tient les travaux que vous avez entrepris et menés à bonne fin.

Vos recherches sont à la base de l'étude des Lois générales qui ont permis de faire sortir l'Aéronautique de l'empirisme de ses débuts et de la transformer en une science rationnelle et indiscutée. Créateur du premier Laboratoire aérodynamique en France, vous avez assurément la plus grande part dans cette heureuse évolution.

Je suis heureux de vous témoigner officiellement à cet égard la reconnaissance du Gouvernement de la République.

Veillez agréer, monsieur, l'assurance de ma considération la plus distinguée.

Le Sous-Secrétaire d'État
de l'Aéronautique et des Transports aériens,

Signé : P.-E. FLANDIN.

Monsieur G. Eiffel, 1, rue Rabelais.

Plan

Souffleries subsoniques

La Grande soufflerie de Meudon

La soufflerie F1 de l'Onera au Fauga-Mauzac

La soufflerie « Jules Verne » du CSTB à Nantes

La soufflerie S2A pour l'automobile à Saint-Cyr

Similitude en nombre de Reynolds

Nombre de Reynolds

$$Re = \frac{\rho V L}{\mu}$$

- conservation du nombre de Reynolds par des
essais à échelle 1 : $L_{\text{maquette}} = L_{\text{réel}}$

Le centre de recherche de Chalais-Meudon



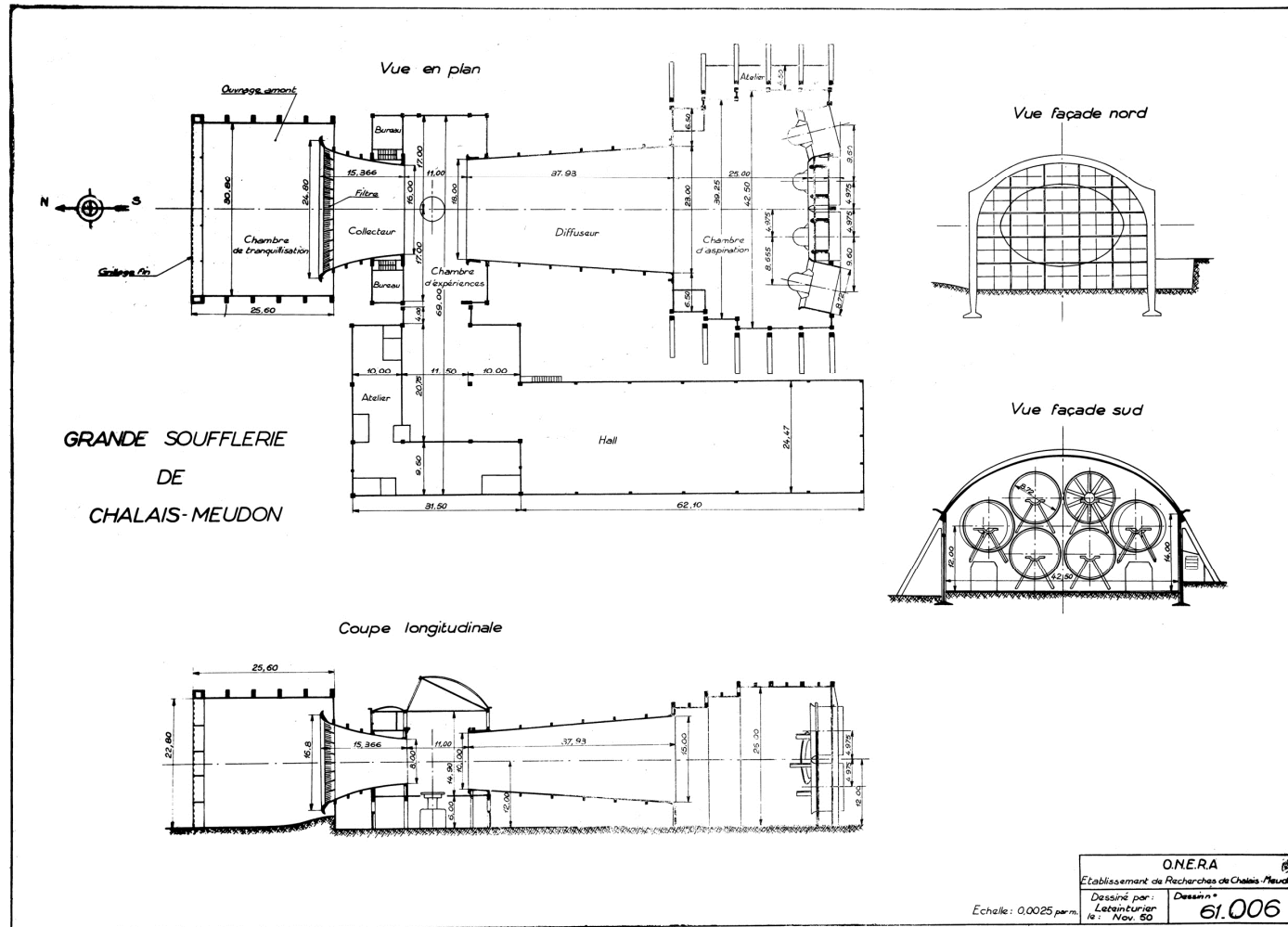
La Grande Soufflerie de Chalais-Meudon



- 1932-1934 : construction
- 2000 : classement "Mh"



La Grande Soufflerie de Chalais-Meudon

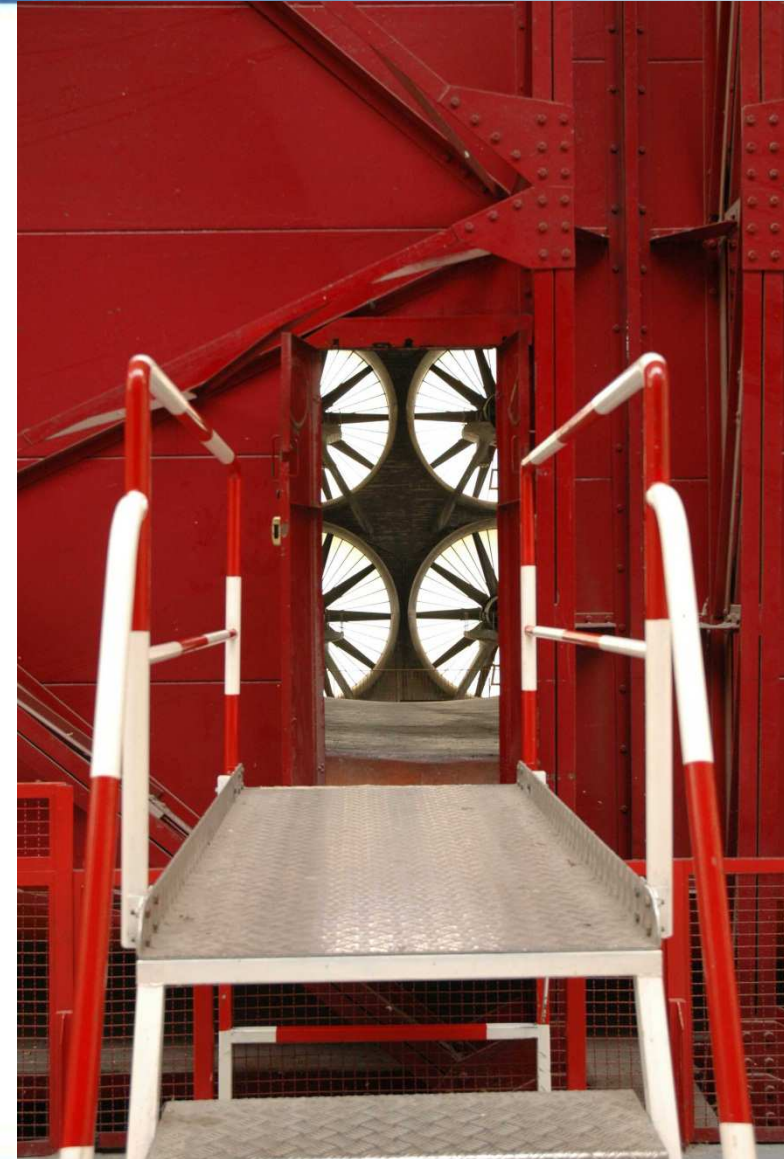


Vitesse atteinte : 180 km/h

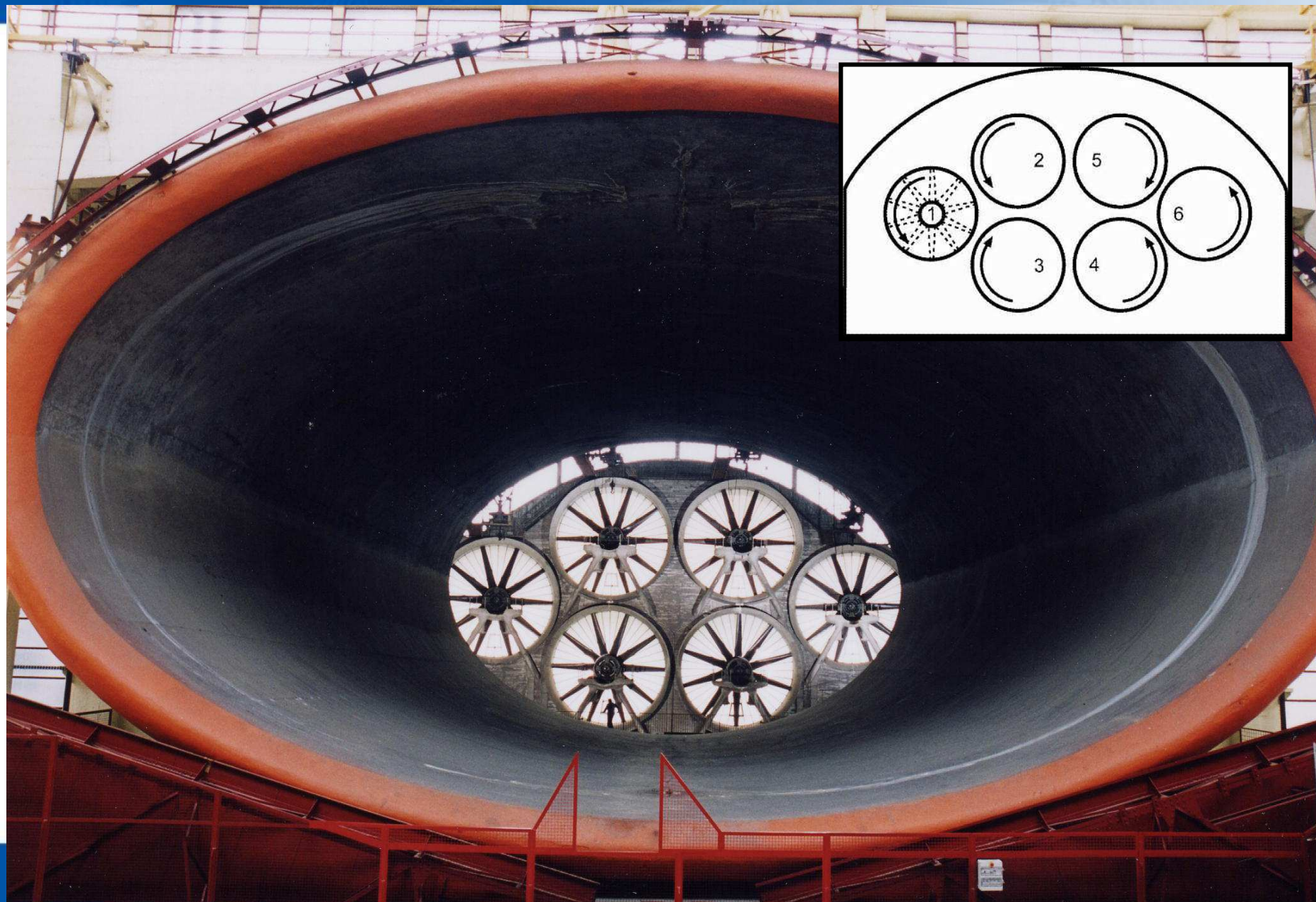
La Grande Soufflerie de Meudon



La Grande Soufflerie de Chalais-Meudon



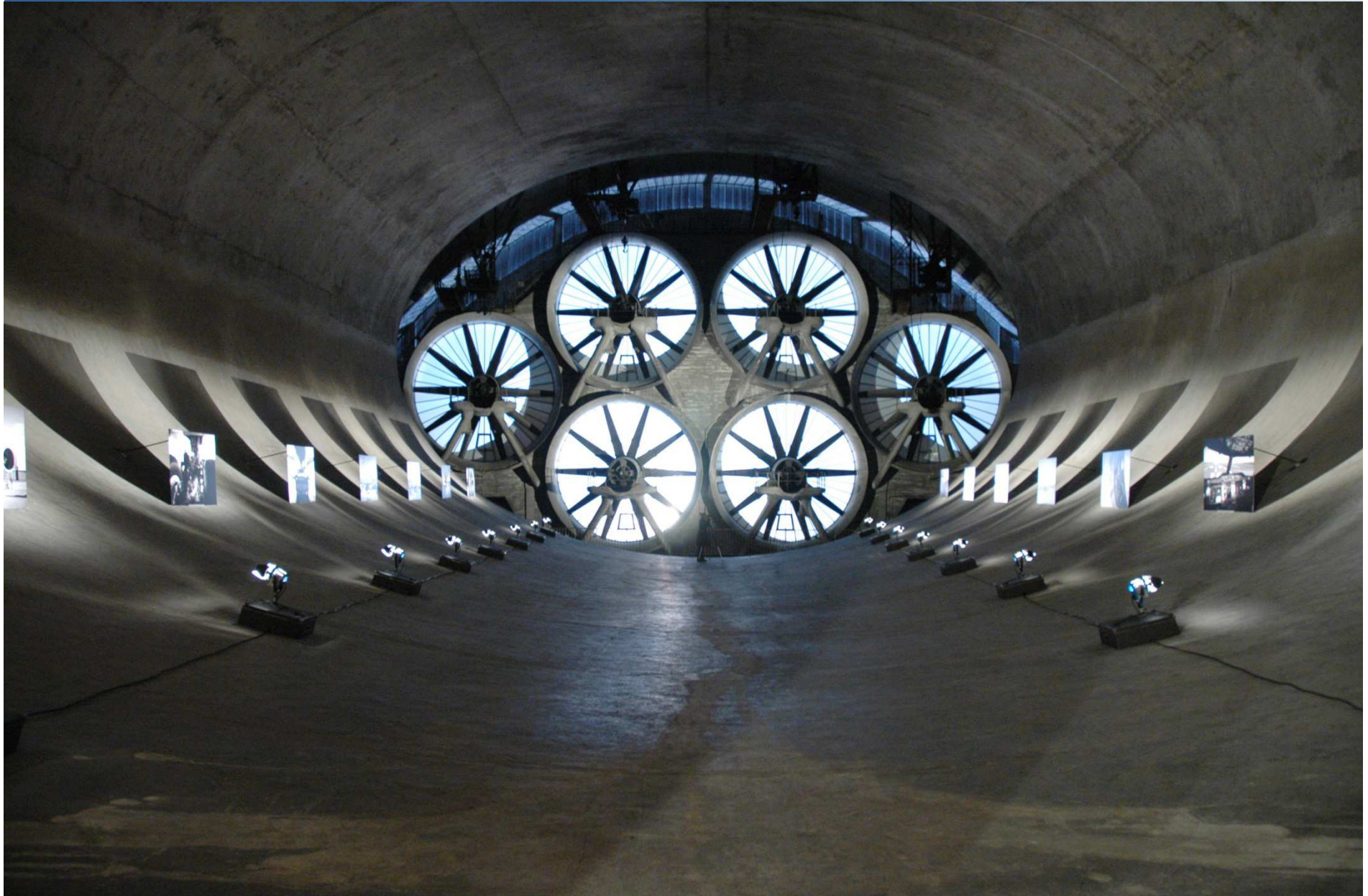
La Grande Soufflerie de Chalais-Meudon



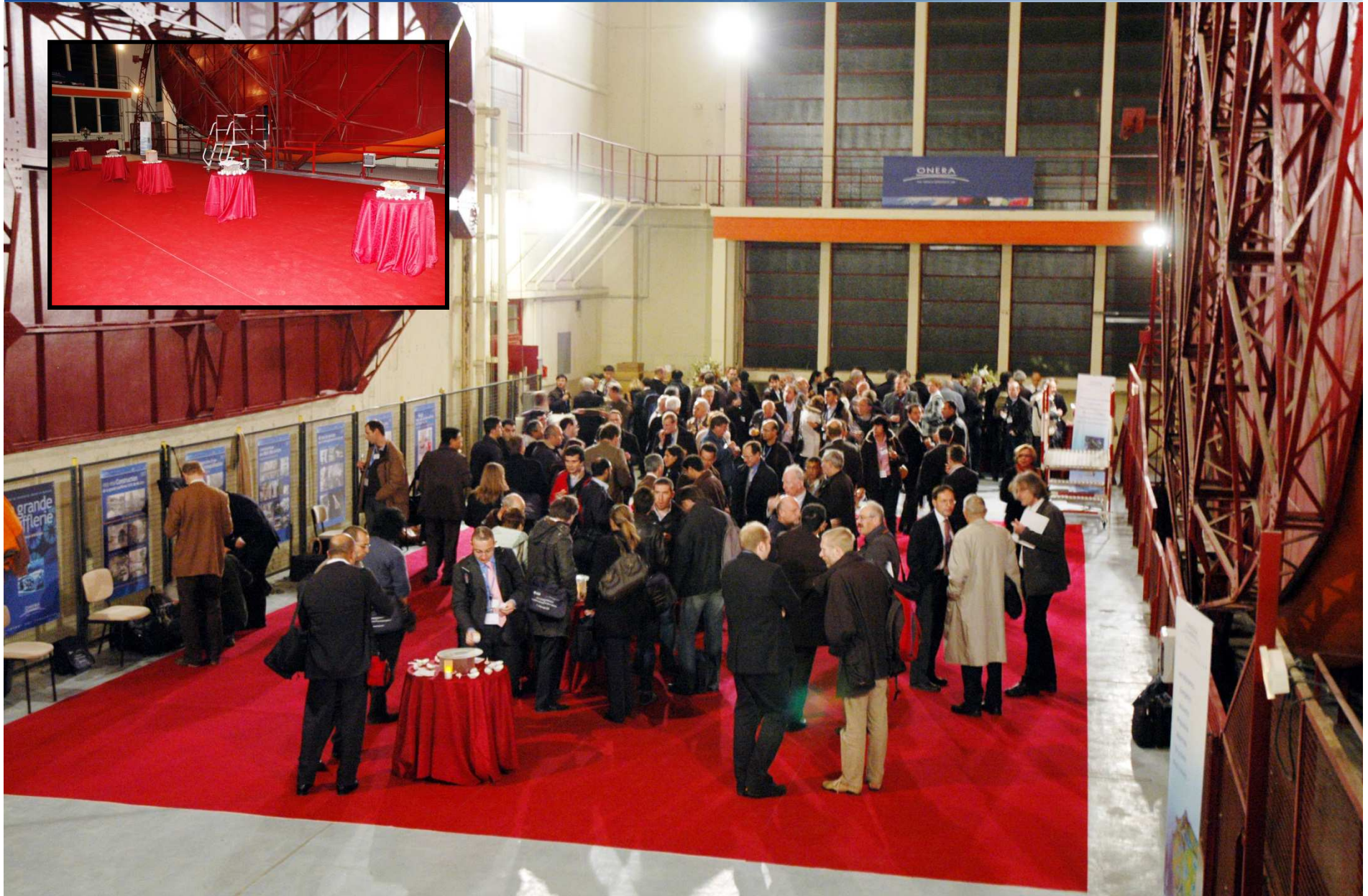
tournage film « Michel Vaillant » (septembre 2002)



lancement du livre sur l'Airbus A380 (novembre 2007)



Symposium Esa / Onera (novembre 208)



La Grande Soufflerie de Chalais-Meudon



S2L dans la chambre d'essai de S1Ch

Les héritières de la Grande Soufflerie

- **Soufflerie F1 de l'Onera au Fauga-Mauzac**
- **Soufflerie « Jules Verne » du CSTB à Nantes**
- **Soufflerie S2A du GIE CNAM-Peugeot-Renault**

Similitude en nombre de Reynolds

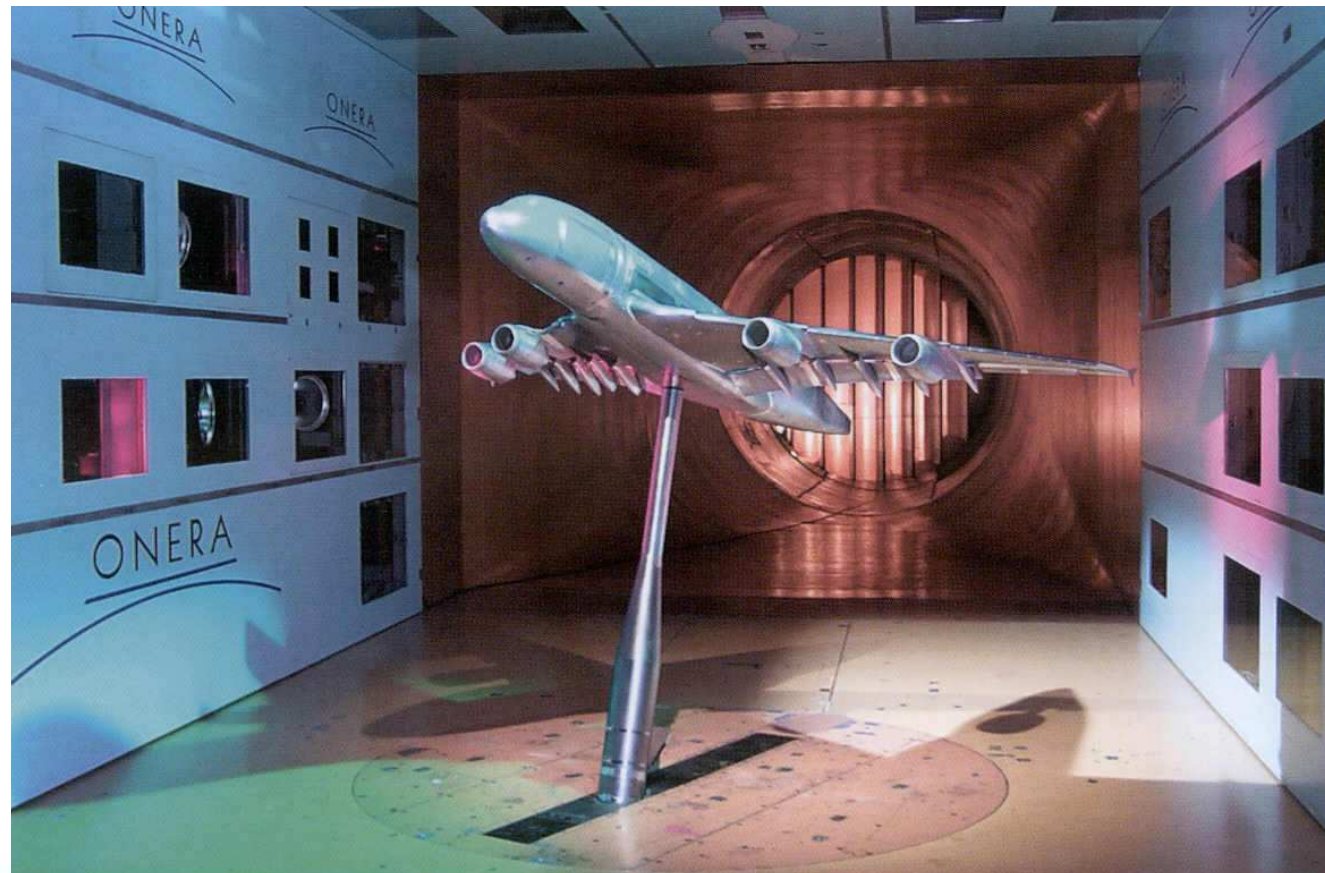
Nombre de Reynolds

$$Re = \frac{\rho V L}{\mu}$$

- conservation du nombre de Reynolds par des essais à échelle 1 : $L_{\text{maquette}} = L_{\text{réel}}$
- conservation du nombre de Reynolds par pressurisation de l'installation d'où augmentation de la masse volumique

Soufflerie subsonique pressurisée F1 (Onera)

Vitesse maximale 430 km/h



Soufflerie Jules Verne (CSTB)

Pont de Millau



Soufflerie Jules Verne (CSTB)

Stade de la Beaujoire à Nantes



Soufflerie Jules Verne (CSTB)



Reproduction
d'un vent de sable
ou de poussière
jusqu'à 10 g/m³ avec
une granulométrie
de 50 à 2 000 µm

Vitesse maximale :
325 km/h

- Pluie jusqu'à 200 mm/heure sur 100 m²
avec un spectre de gouttes contrôlé de 50 à 3 000 µm
- Vitesse maximale 90 km/h

Soufflerie Jules Verne (CSTB)



Reproduction de la neige jusqu'à 15 cm/ heure sur 200 m²

Soufflerie S2A

**soufflerie aérodynamique et aéro-acoustiques
de Saint-Cyr l'Ecole (Cnam / Peugeot / Renault)**



Plan

Souffleries soniques et transsoniques

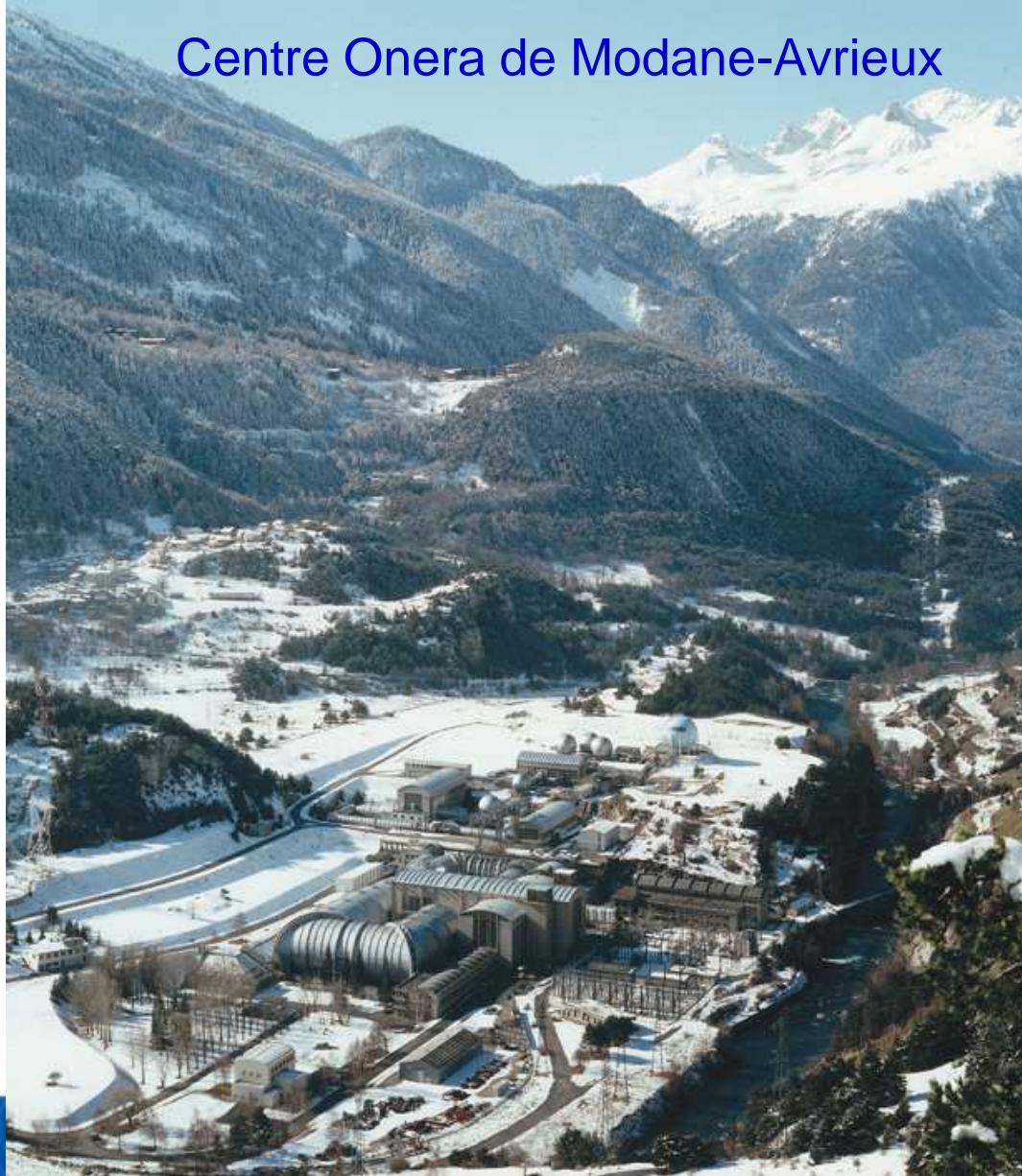
La soufflerie S1 de l'Onera à Modane

La soufflerie S3 de l'Onera à Meudon

La soufflerie ETW de Cologne

Souffleries soniques et transsoniques

Centre Onera de Modane-Avrieux



S1 Modane (Onera)

- 1939 : projet d'une très grande soufflerie sonique mue par l'énergie hydraulique par Henry Girerd et Marcel Pierre, ingénieurs de la SNCASO (Société Nationale de Construction Aéronautique du Sud-Ouest)
- 1942 : début du chantier d'Oetzal en Autriche
- mai 1945 : repérage de la soufflerie à Oetzal par Louis Girerd
- juillet 1945 : mission scientifique d'Henry Girerd et Lucien Malavard
- août 1945 : Paul Dumanois, Président du GRA (Groupement pour le Développement des Recherches Aéronautiques) décide le transfert en France de la soufflerie et la réquisition de 2474 tonnes de matériel

S1 Modane : rapatriement des pièces

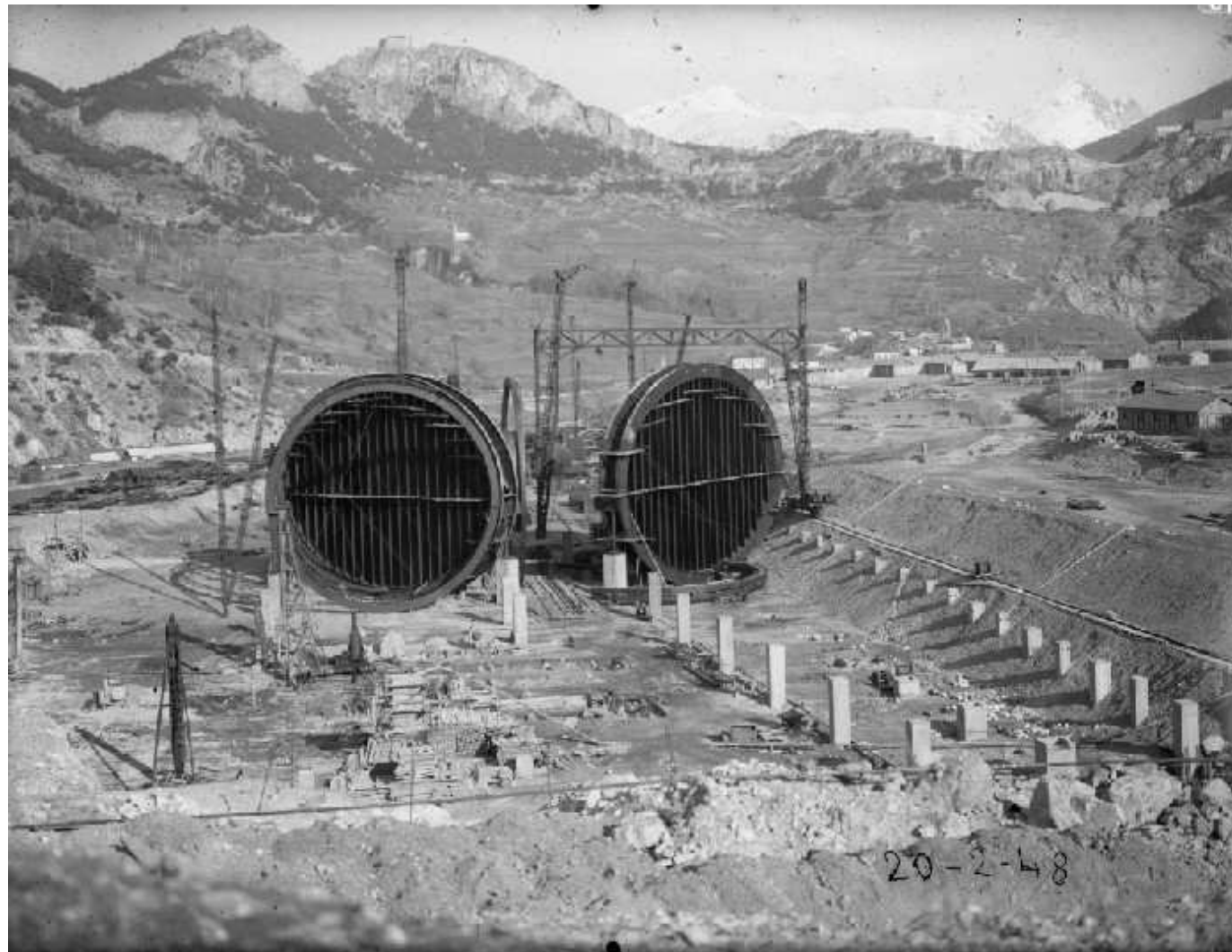
-1946 : récupération de 200 tonnes de pièces à Augsburg en [Zone d'occupation américaine](#)

réunion de conciliation au siège de l'Onera avec Th. Von Karman pour réexpédition des pièces déjà transportées au USA (arbres et paliers de ventilateurs)

Lettre de Dumanois au Général Koenig, gouverneur militaire de la zone d'occupation française

-début 1948 : découverte à Essen en [Zone d'occupation anglaise](#) par L. Girerd et M. Pierre de deux arbres destinées à Oetzal sous les décombres d'une usine Krupp

Soufflerie S1 de Modane



S1 Modane

« Nous nous bornâmes à faire remarquer à nos interlocuteurs qu'ils ne pouvaient trouver qu'excellentes nos méthodes, puisque c'était les leurs, avec toutefois les camps de concentration en moins » **Marcel Pierre**



-1951 : inauguration de la Grande Soufflerie de Modane

«MM. Pierre et Girerd, qui ont dirigé le démontage et la reconstruction, ayant ainsi, par un effet de justice immanente, la joie de réaliser un programme qu'ils avaient établi autrefois »

P. Dumanois

S1 Modane : quelques chiffres

veine d'essai

circulaire de 8 m

de diamètre (50 m^2)

10 millions de m^3

d'eau utilisés

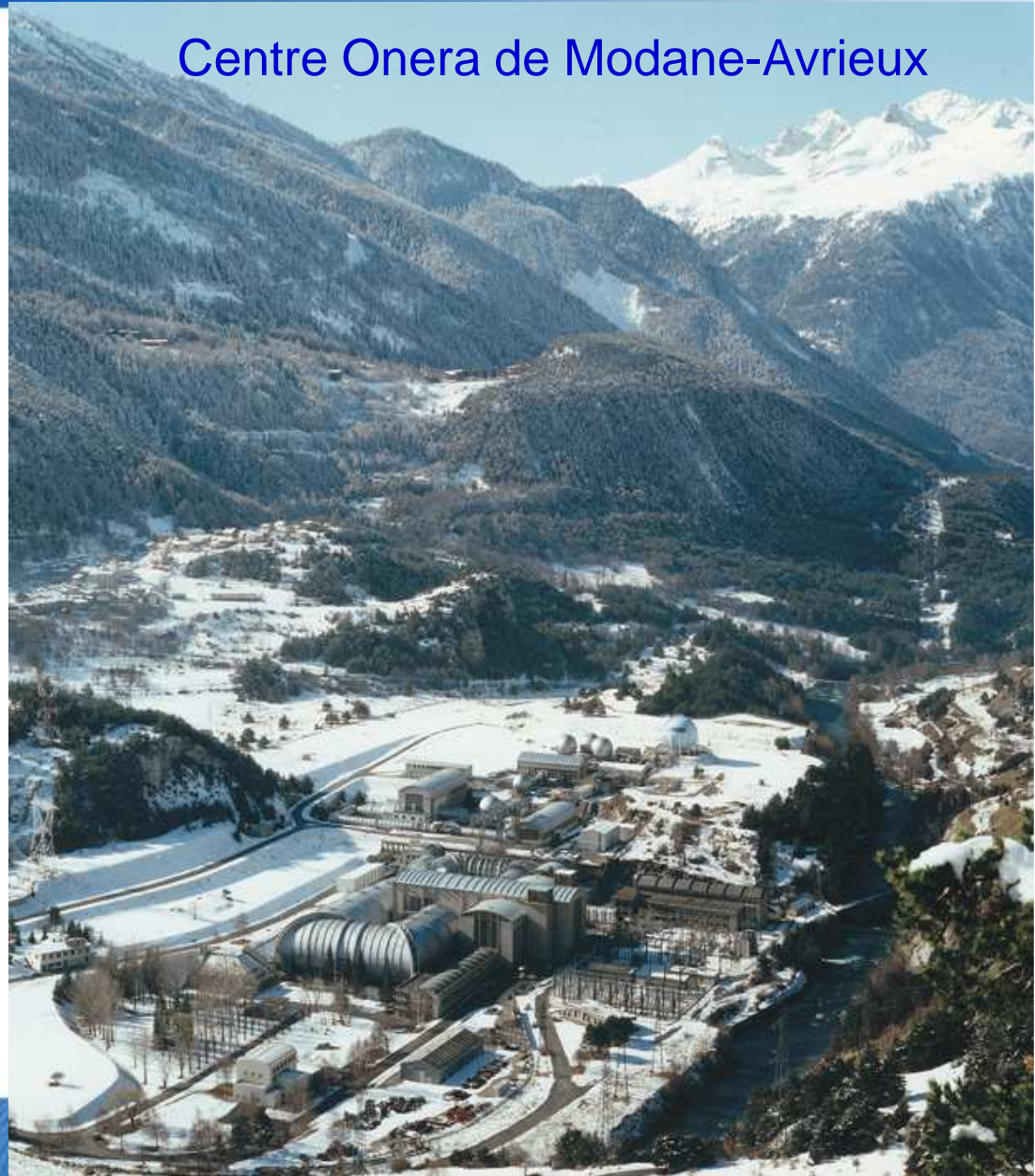
annuellement

chute d'eau de 840 m

de dénivelé, débit $15 \text{ m}^3/\text{s}$

vitesse 1 200 km/h

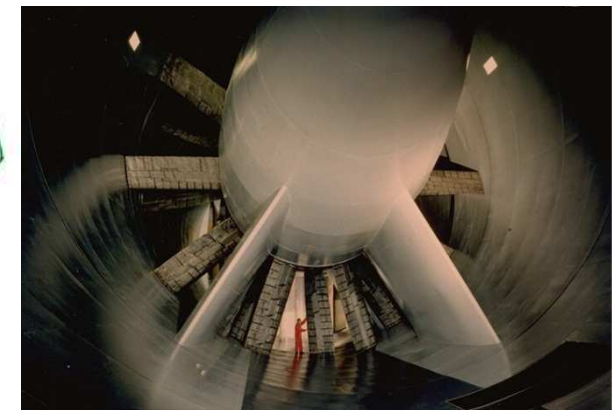
Centre Onera de Modane-Avrieux



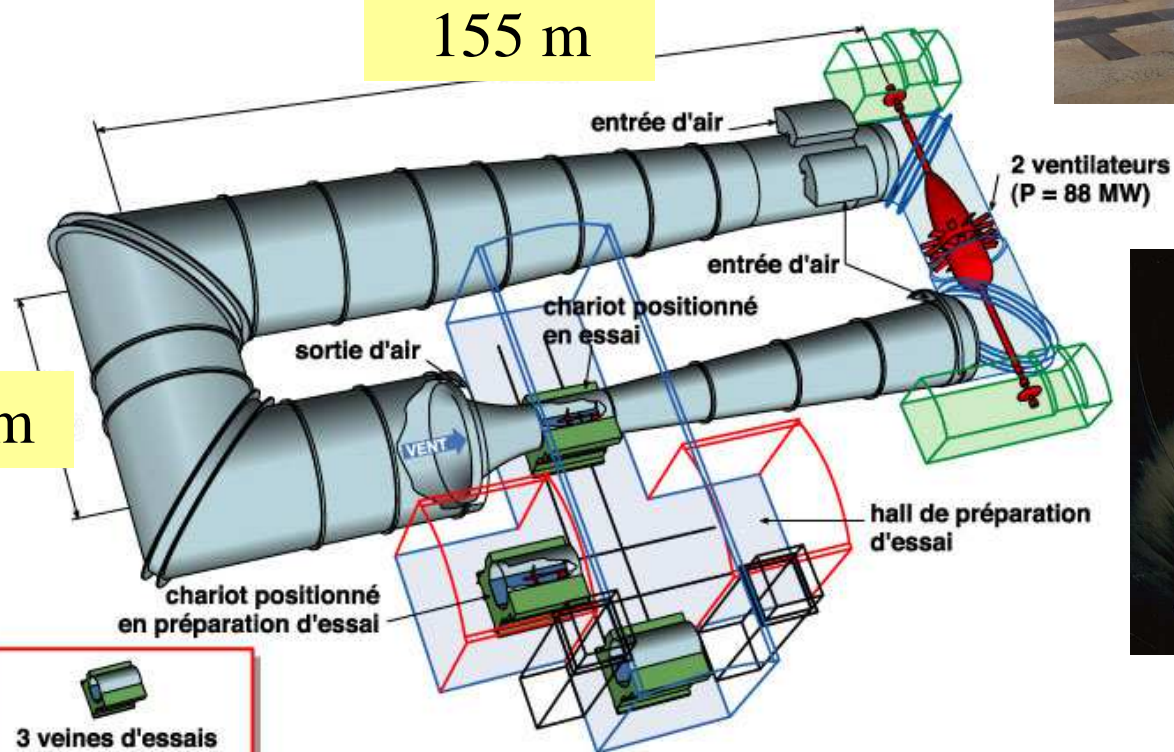
Soufflerie S1 de Modane



turbine



ventilateur



3 veines d'essais
(diamètre 8 m)
sur chariots mobiles

Une très grande soufflerie :
la soufflerie S1MA de Modane-Avrieux

Soufflerie S1 de Modane



**vitesse atteinte
1200 km/h**

Conduite forcée : jusqu'à $15 \text{ m}^3/\text{s}$

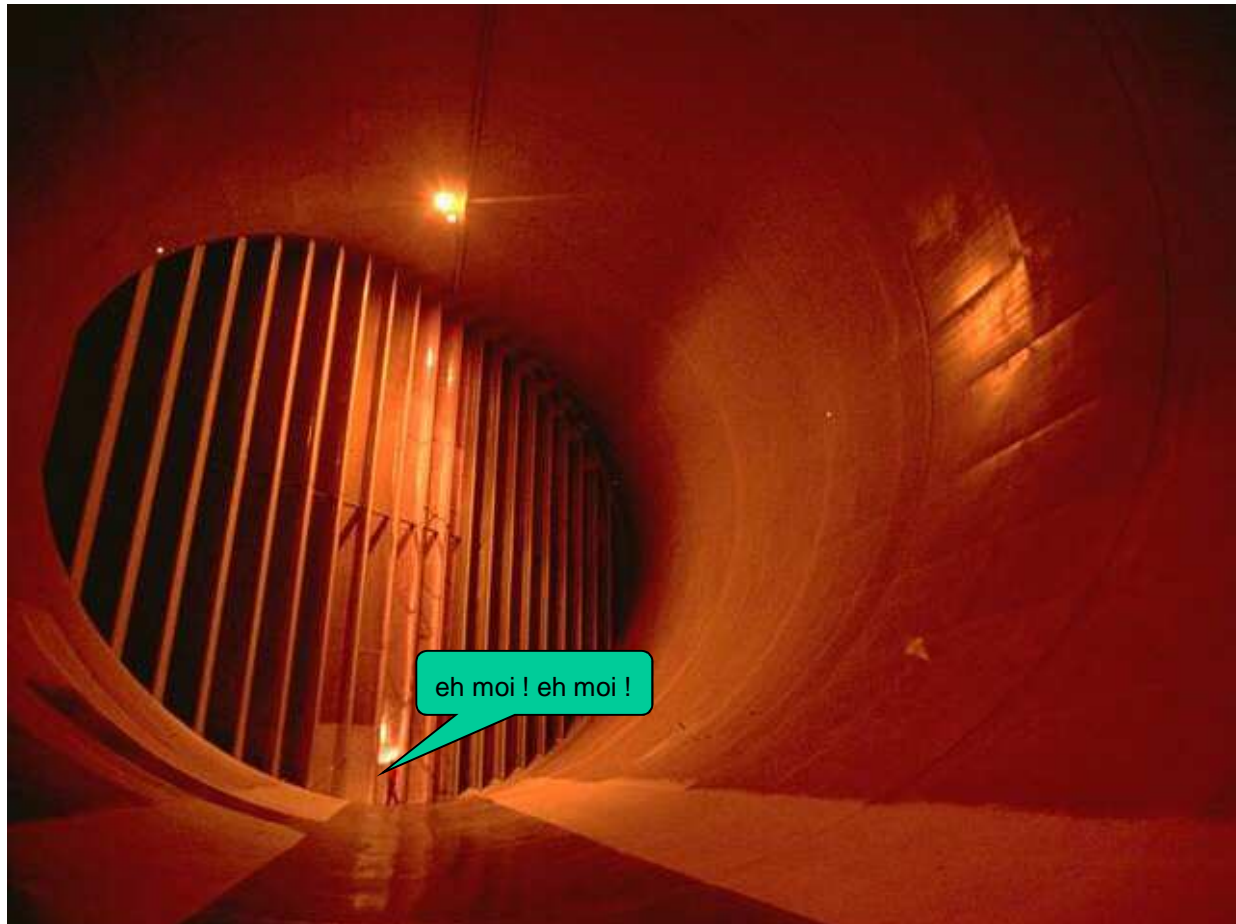
Puissance : 88 MW

Soufflerie S1 de Modane



Ventilateur de la soufflerie S1MA

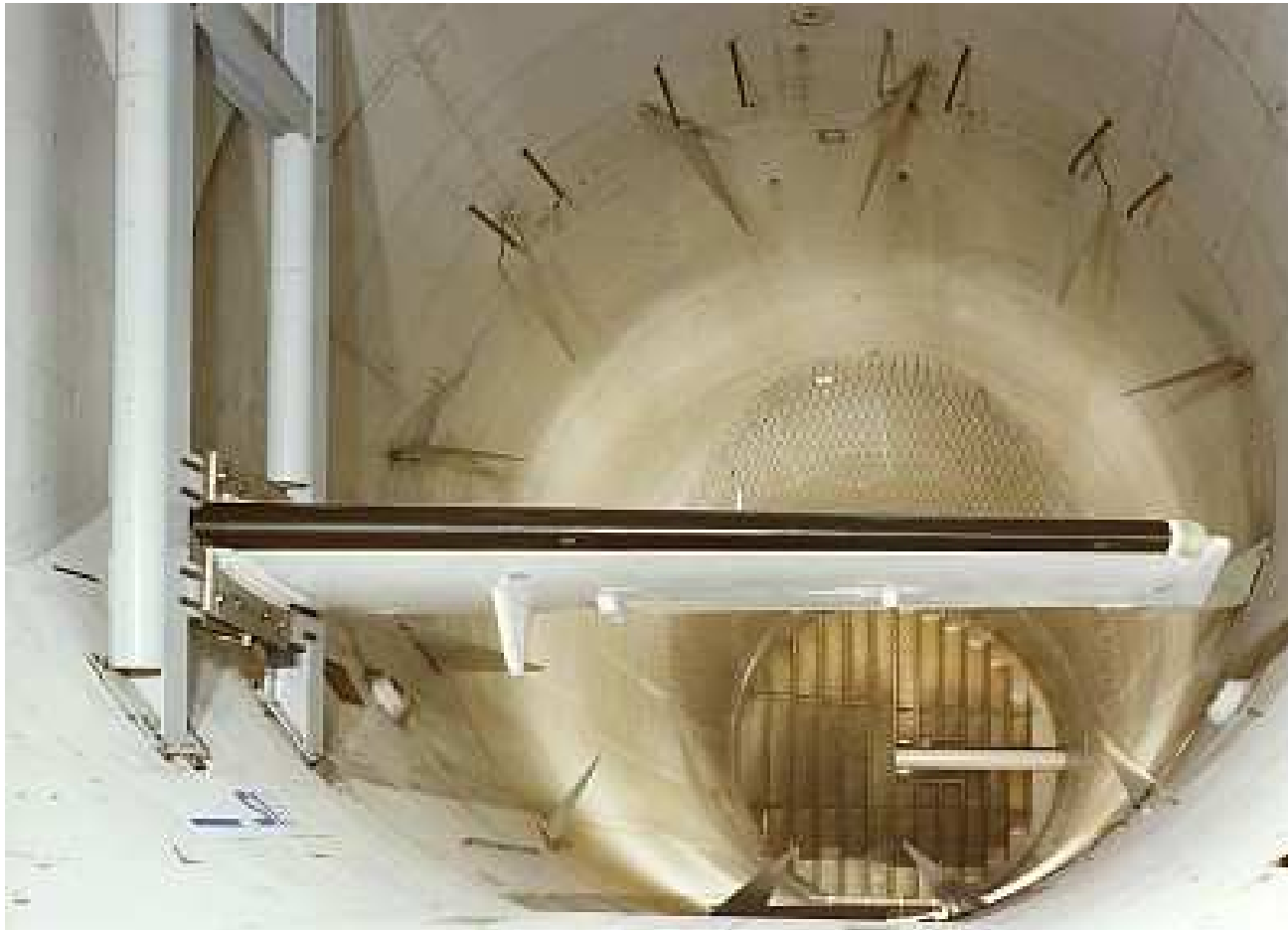
Soufflerie S1 de Modane



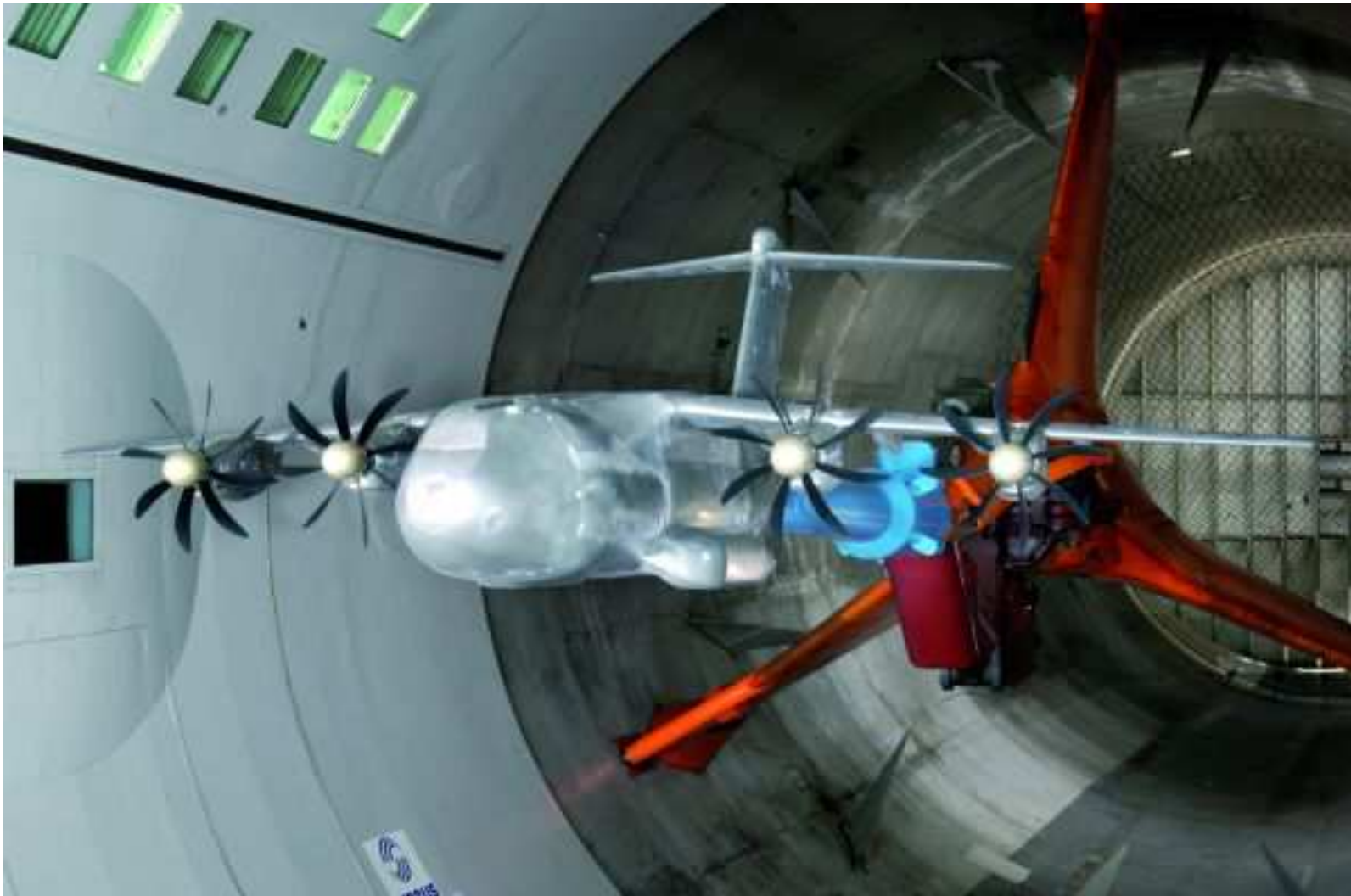
eh moi ! eh moi !

Soufflerie S1MA : un des coins avec ses aubages redresseurs du circuit de l'installation

S1 – Essai de givrage



S1 – maquette A400 M



Souffleries S1 de Modane



Maquette d'Airbus A340 dans la veine

Soufflerie transsonique S3Ch

réalisation en urgence d'une soufflerie échelle 1/8 à Chalais-Meudon

les fabrications démarrent sans qu'aucun contrat n'ait été passé;

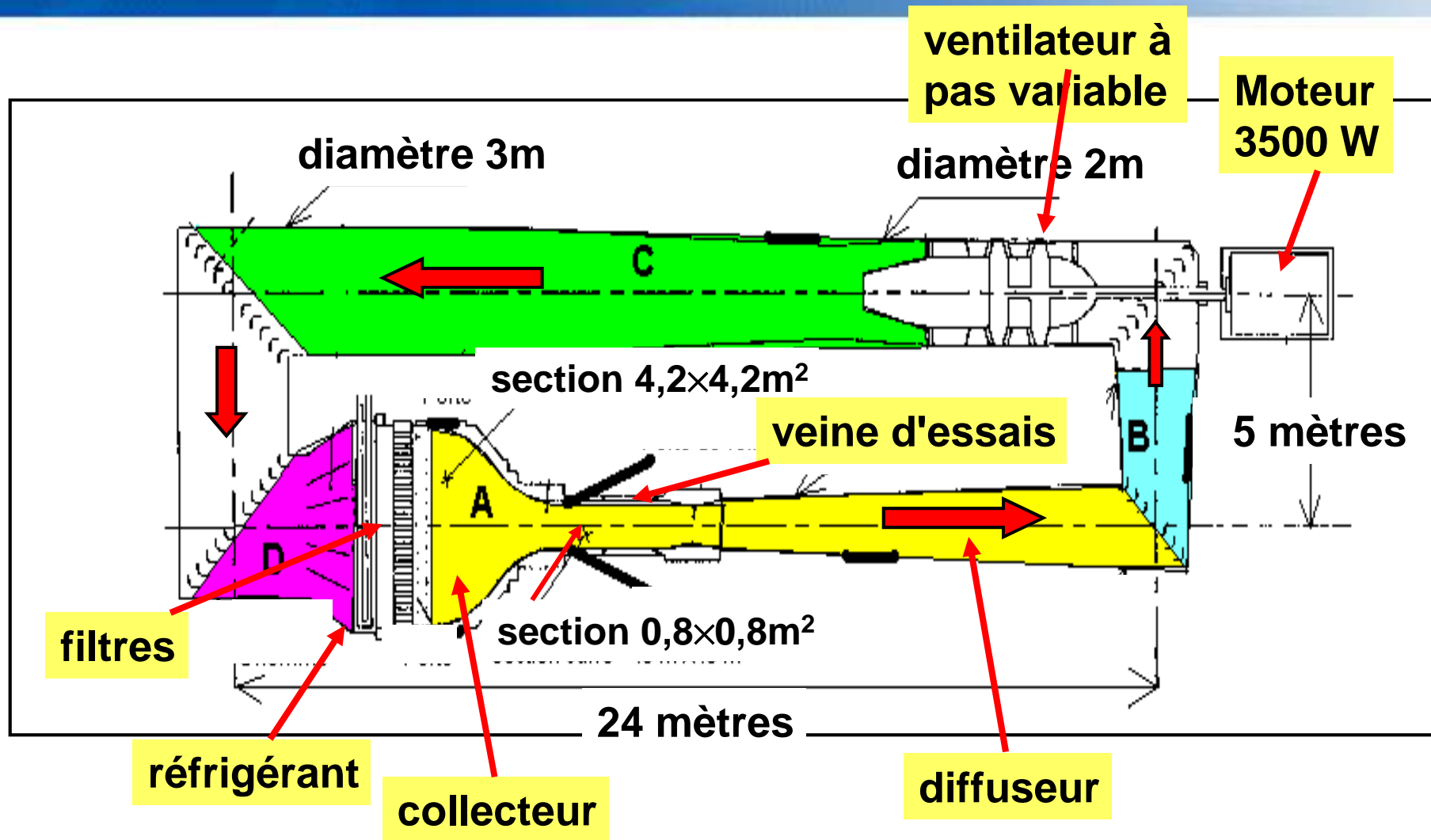
« Il s'agit en quelque sorte d'une prime à la Grande Soufflerie »

Marcel Pierre

« Avec sa veine de 1 m² ce n'est pas seulement une maquette, mais une soufflerie de recherche particulièrement précieuse »

Paul Dumanois

Soufflerie S3Ch de Chalais-Meudon



« Il s'agit en quelque sorte d'une prime à la grande soufflerie » Marcel Pierre

Soufflerie transsonique S3Ch



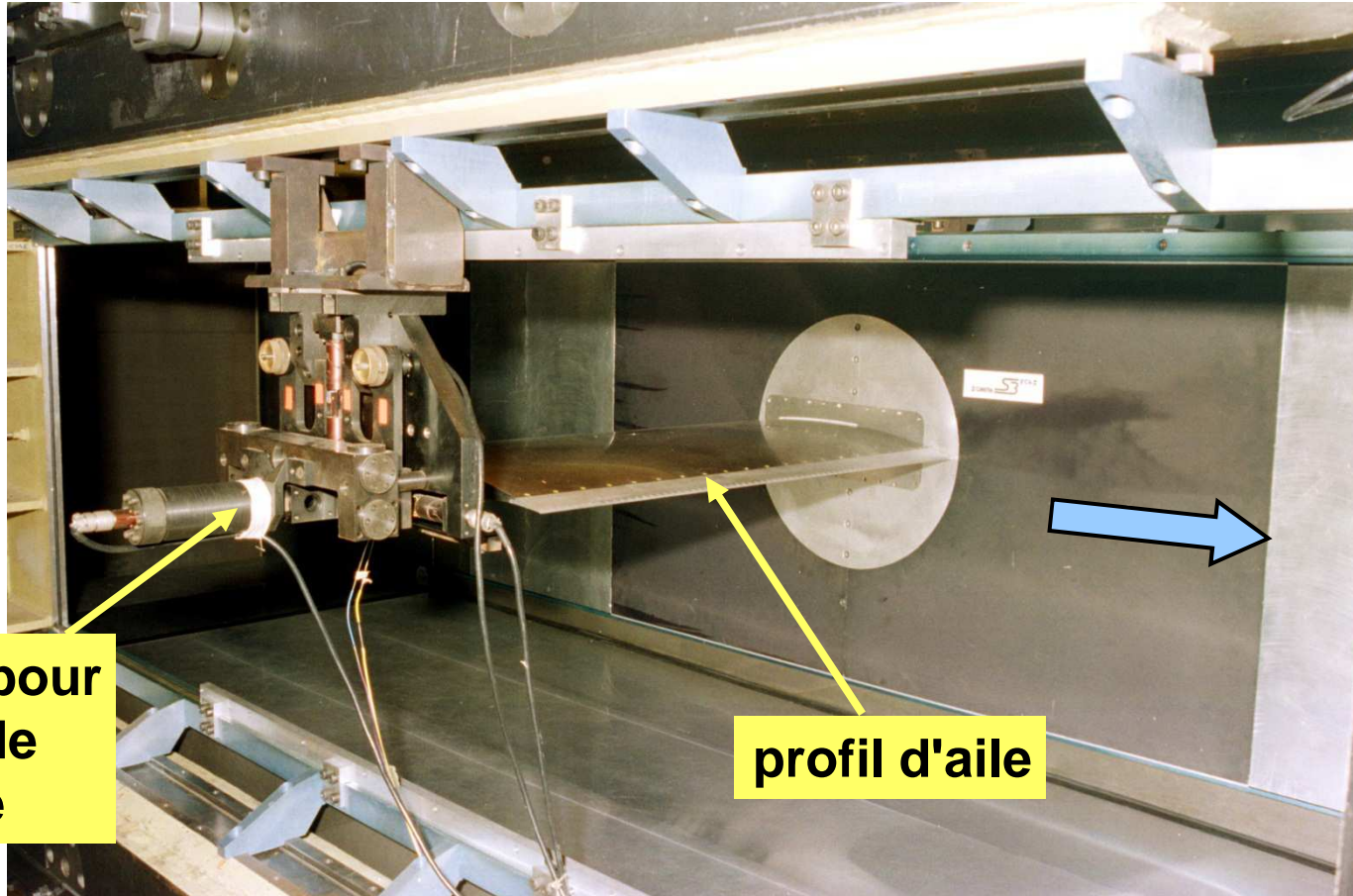
Soufflerie S3Ch du Centre Onera de Meudon

Soufflerie transsonique S3Ch



Veine de la soufflerie S3Ch avec maquette motorisée d'aile d'A340

Soufflerie transsonique S3Ch



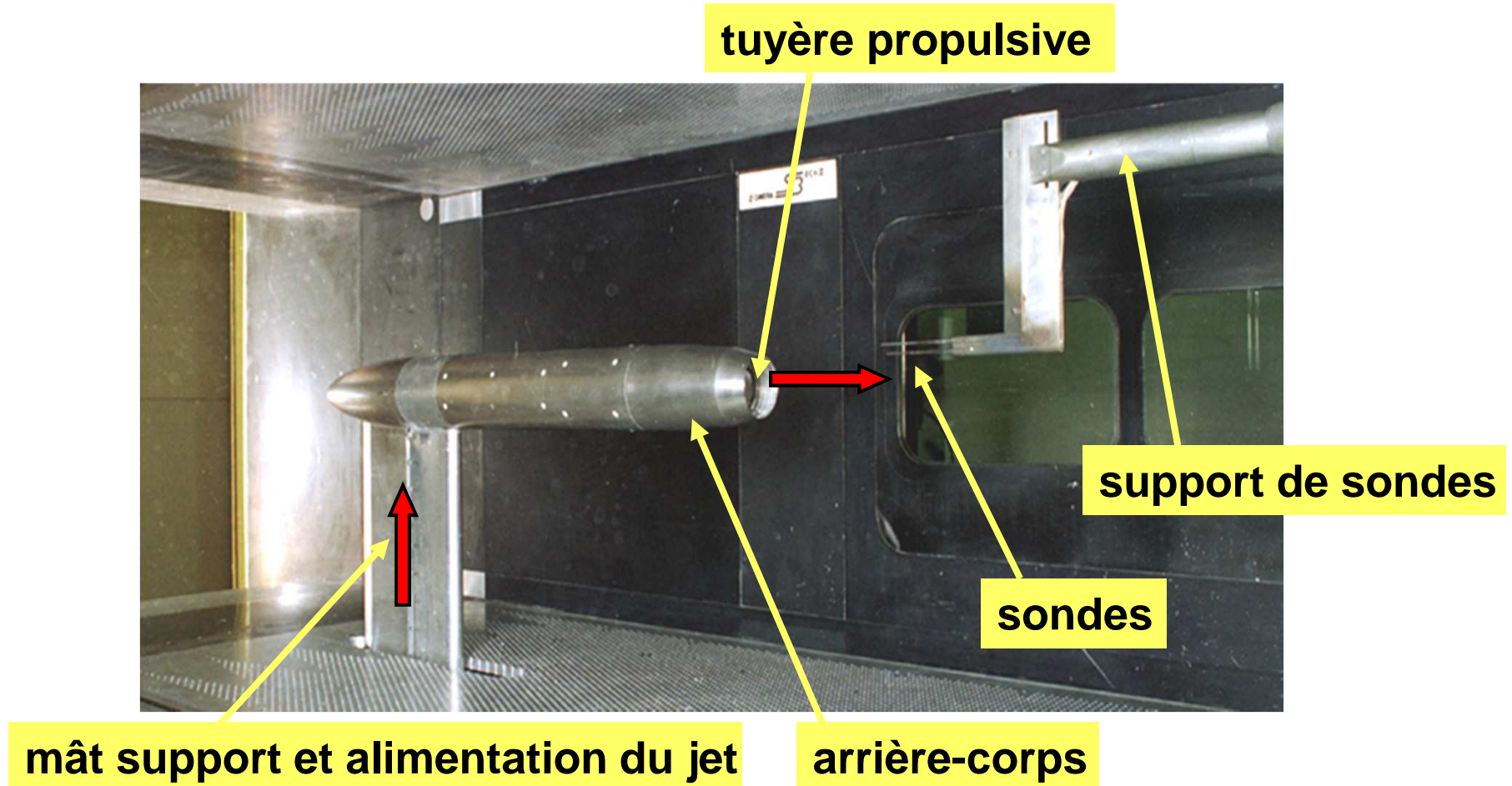
balance pour
mesure de
la traînée

profil d'aile

paroi latérale gauche démontée

Veine de la soufflerie S3Ch avec maquette de profil supercritique

Soufflerie transsonique S3Ch



Veine de la soufflerie S3Ch avec maquette d'arrière-corps d'avion de combat et simulation du jet du réacteur

Hors du domaine aéronautique ...



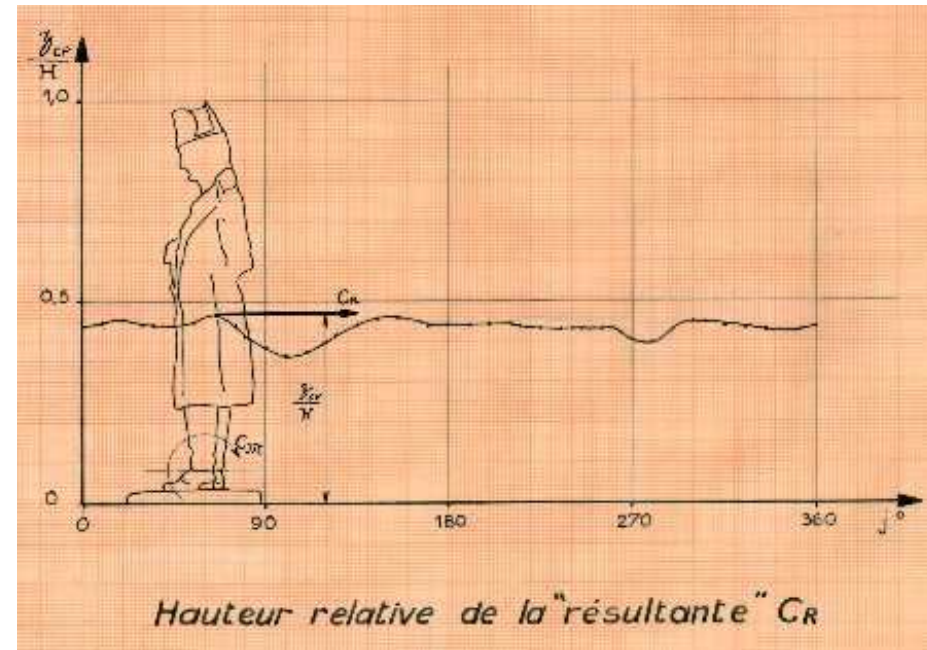
1962 : Un Empereur dans le vent ...

Échelle 1/13^{ème}

Hauteur statue réelle : 4,75 m, maquette 36,5 cm



Statue du camp de Boulogne



Essais à S3 Meudon

Application des règles de similitudes

Mesure en soufflerie de la force résultante $F_{R\text{mesuré}}$

$$C_R = F_{R\text{mesuré}} / 0,5 \rho S_{\text{maq}} V_{\text{essai}}^2$$

avec

ρ la densité de l'air,

S_{maq} la surface frontale de référence de la maquette

$$S_{\text{maq}} = 0,0296 \text{ m}^2$$

V_{essai} la vitesse soufflerie

$$V_{\text{essai}} = 500 \text{ km/h}$$

$$F_{R\text{réelle}} = C_R \cdot 0,5 \rho S_{\text{statue}} V_{\text{vent}}^2$$

avec

ρ la densité de l'air,

S_{statue} la surface frontale de référence de la statue

$$S_{\text{statue}} = 5 \text{ m}^2$$

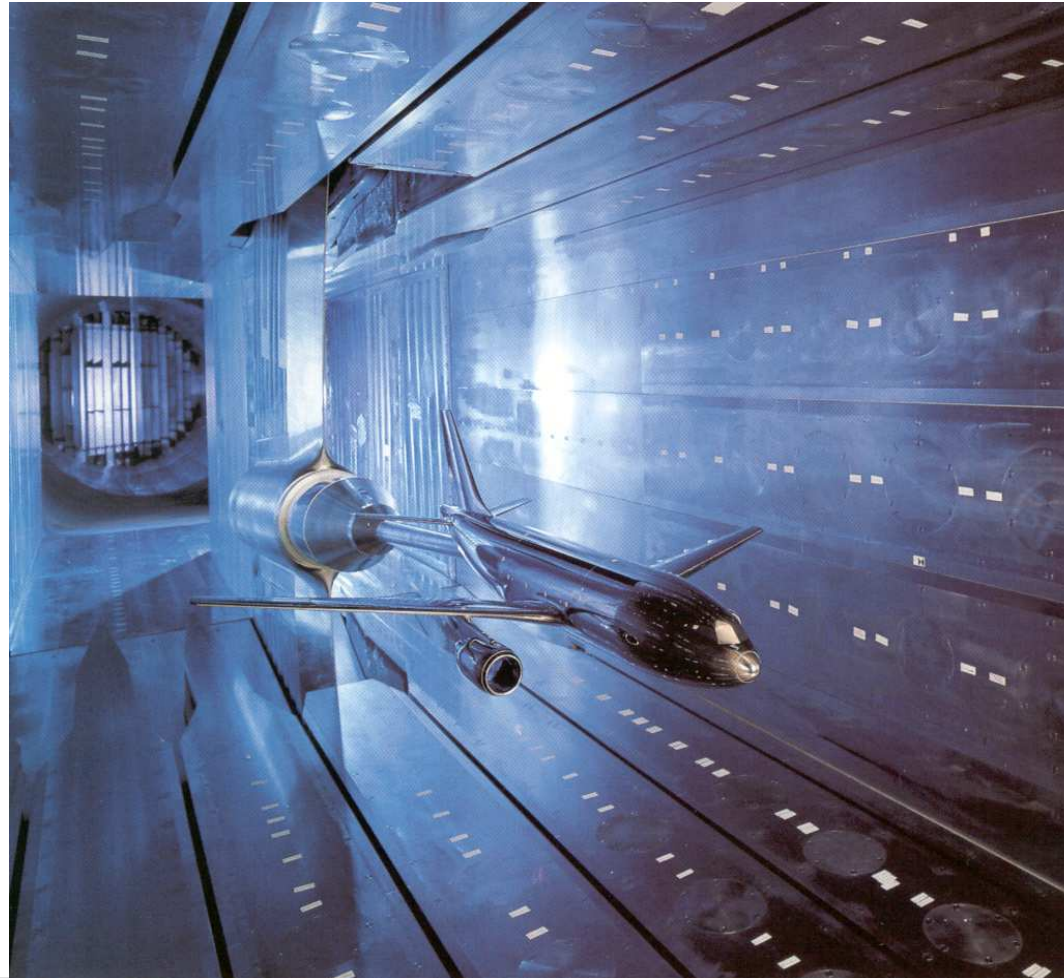
V_{vent} la vitesse du vent

$$V_{\text{vent}} = 200 \text{ km/h}$$

Obtention de la force résultante réelle $F_{R\text{réelle}}$

Souffleries aérodynamiques

Soufflerie transsonique cryogénique



European Transonic Wind tunnel (ETW) à Cologne

Similitude en nombre de Reynolds

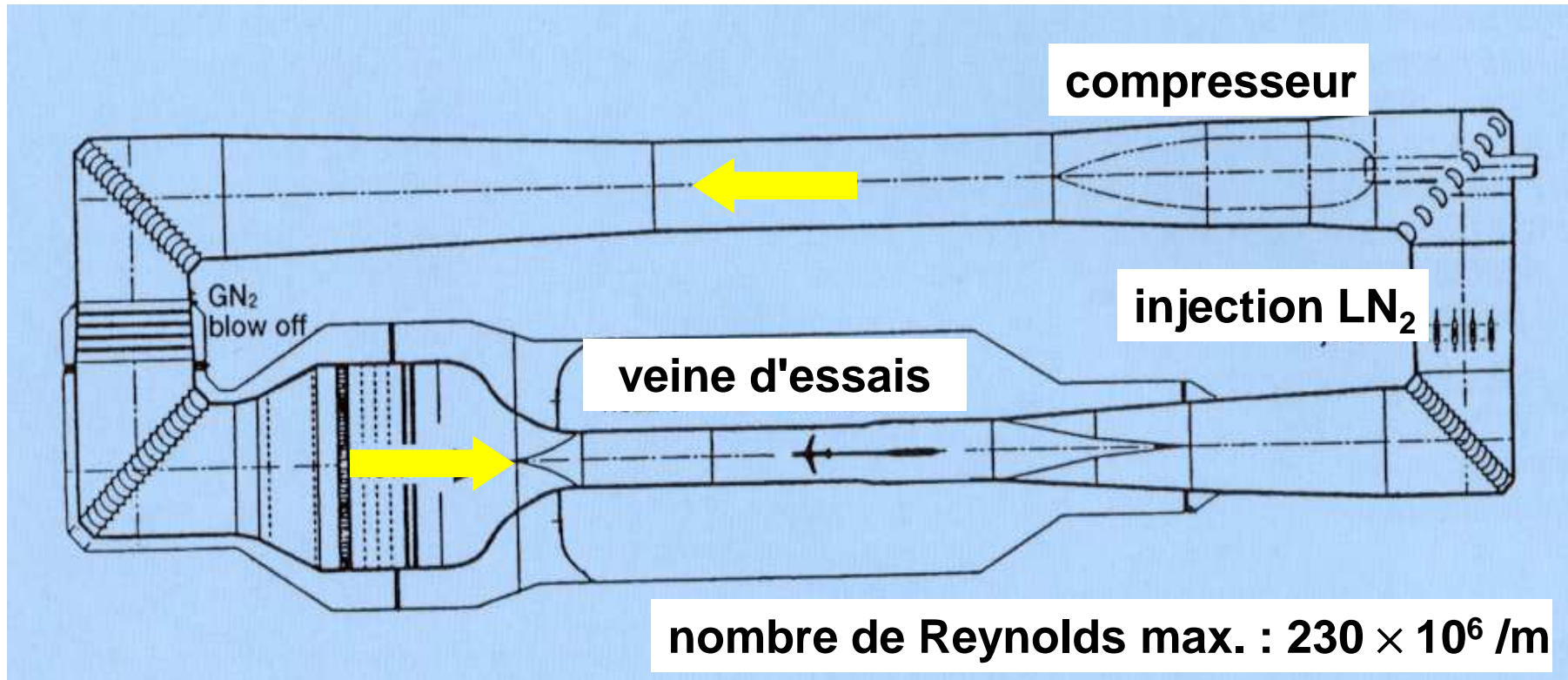
Nombre de Reynolds

$$Re = \frac{\rho V L}{\mu}$$

- conservation du nombre de Reynolds par des essais à échelle 1 : $L_{\text{maquette}} = L_{\text{réel}}$
- conservation du nombre de Reynolds par pressurisation de l'installation d'où augmentation de la masse volumique
- conservation du nombre de Reynolds par refroidissement de l'installation et diminution de la viscosité

Souffleries aérodynamiques

Soufflerie transsonique cryogénique



veine d'essais : 2,4 m × 2m

pression : 1,25 à 4,5 bars

nombre de Mach : 0,15 à 1,3

température : 90 à 313 K

European Transonic Wind tunnel (ETW) à Cologne

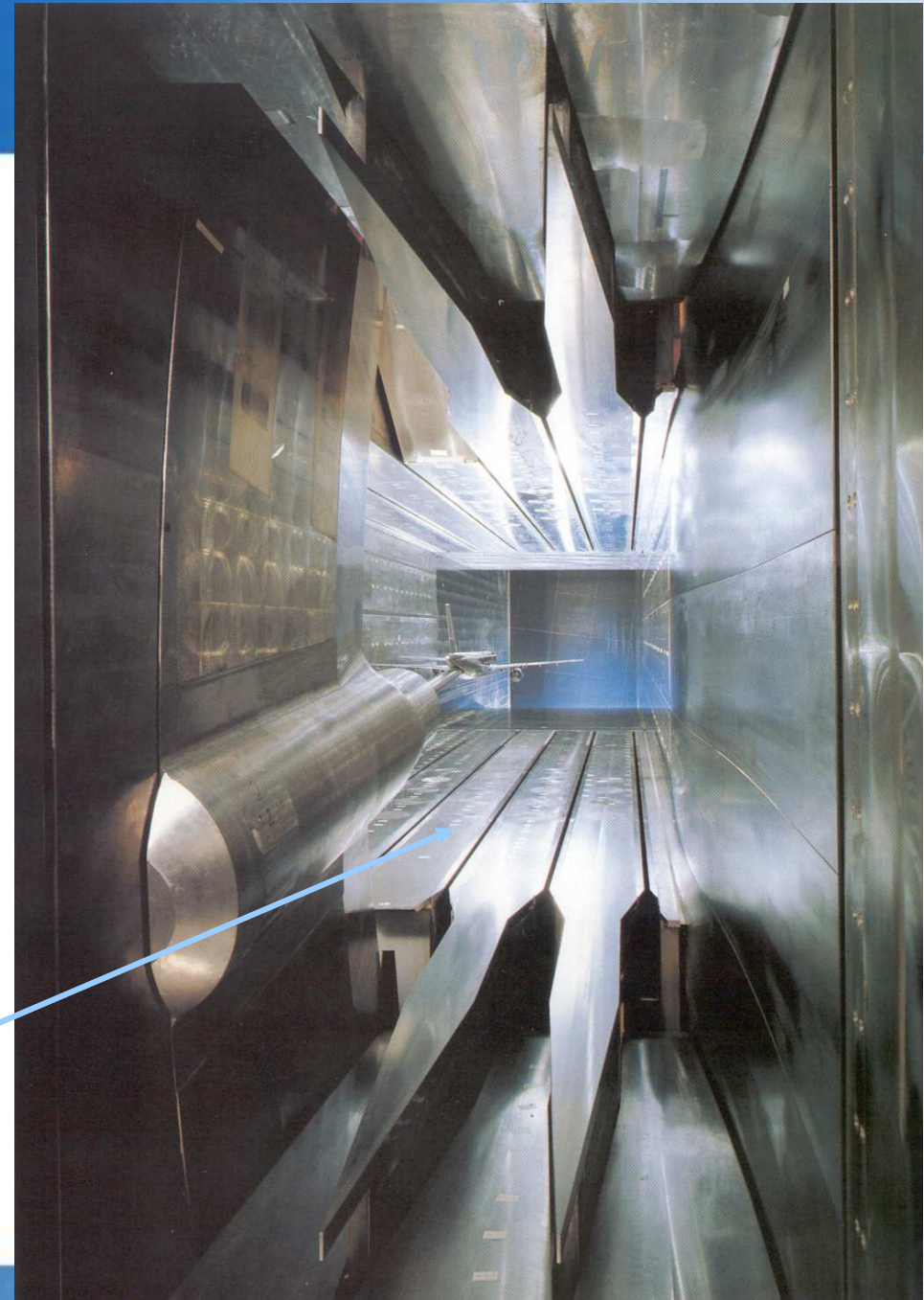
Souffleries aérodynamiques

**Soufflerie transsonique
cryogénique**

**European Transonic Wind
tunnel (ETW) à Cologne.**

Veine d'essai vue de l'aval

parois à fentes



Plan

Souffleries supersonique et hypersoniques

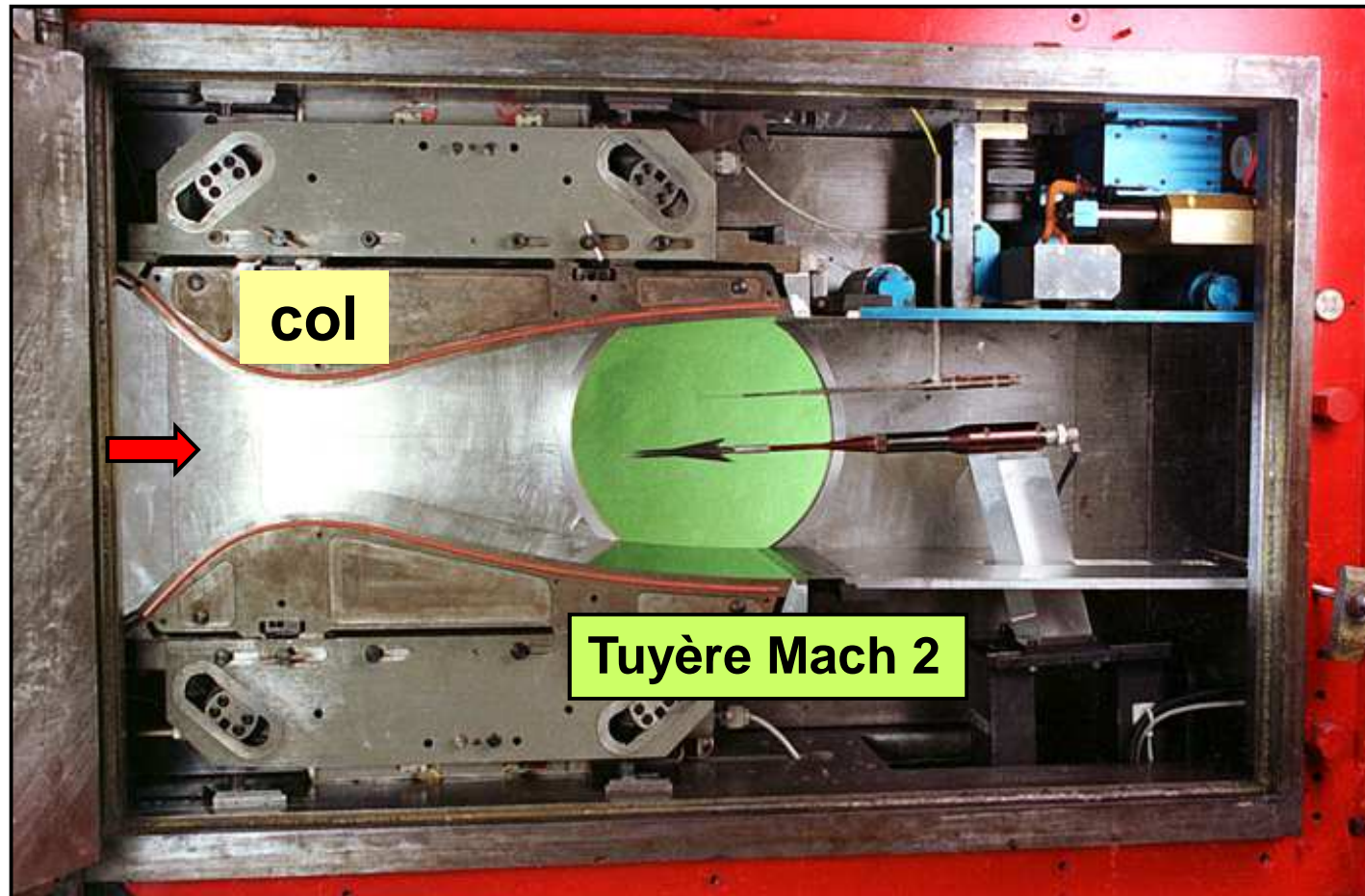
La soufflerie S5 de l'Onera à Meudon

(→ Mach 3,2)

La soufflerie R5 de l'Onera à Meudon (Mach 10)

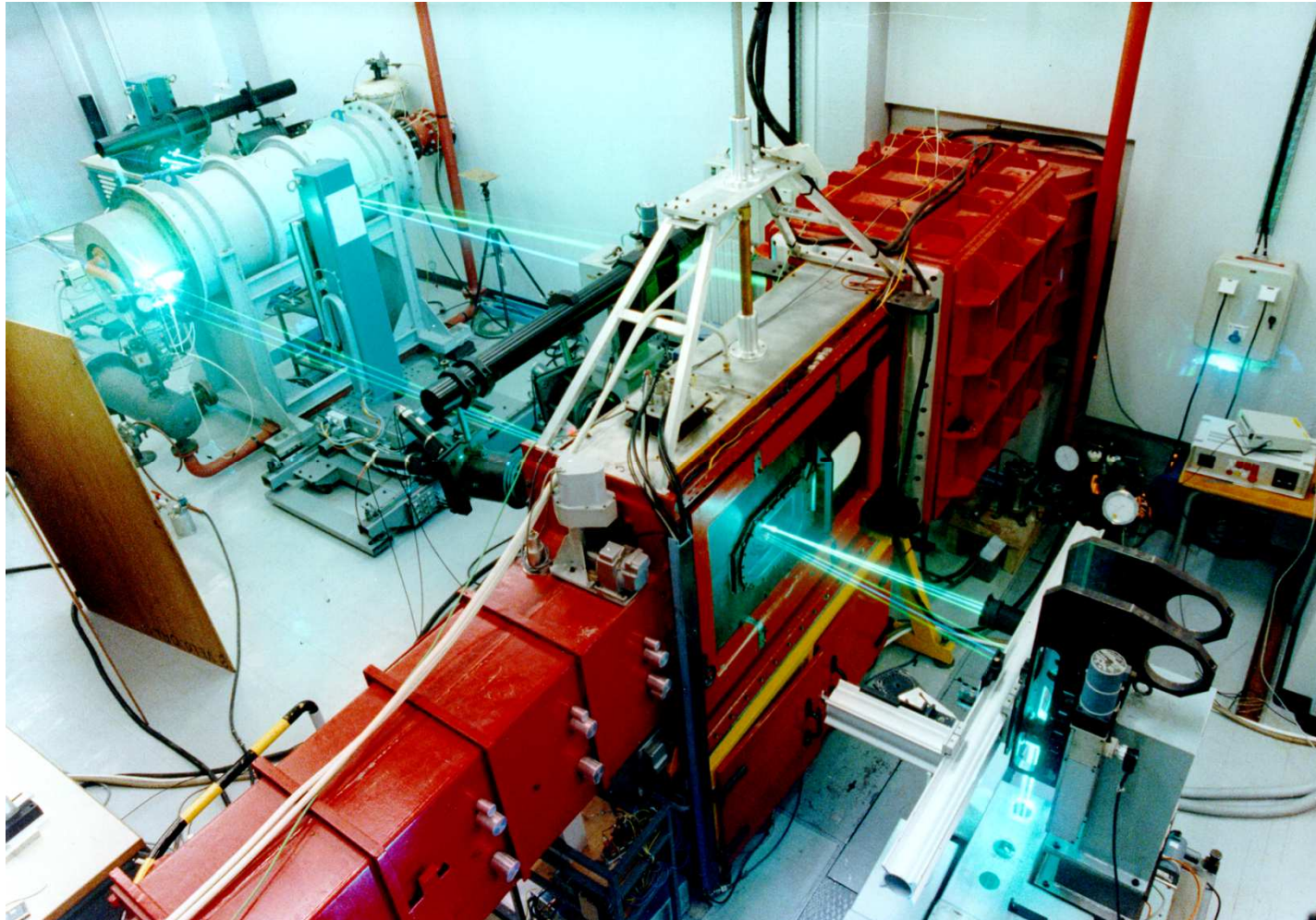
La soufflerie F4 de l'Onera au Fauga-Mauzac

Soufflerie supersonique S5 de Meudon



Conservation du débit : $\rho \times V \times S = Cste$

Soufflerie supersonique S5 de Meudon



Souffleries hypersoniques

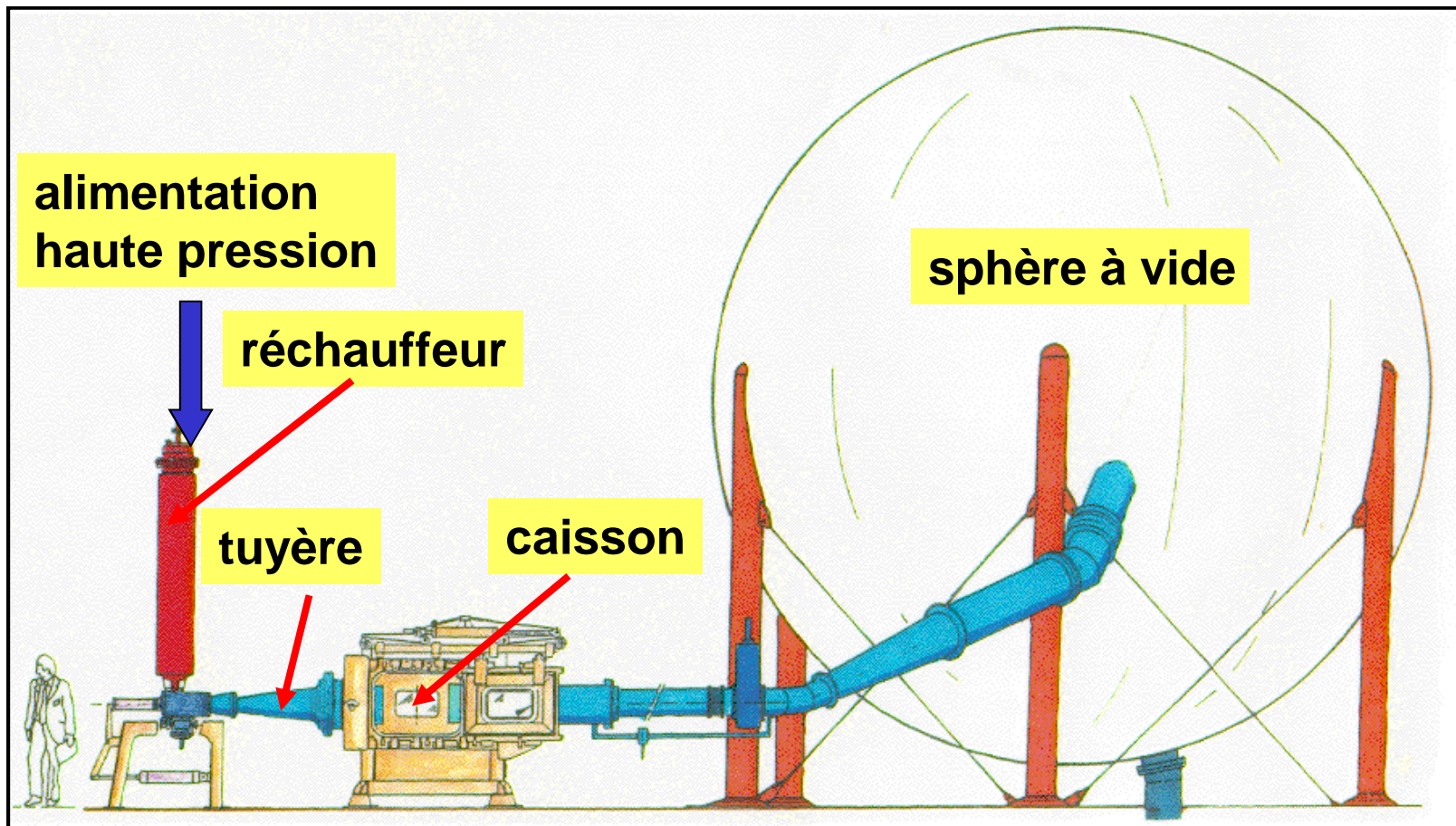
Objectif

produire des écoulements à grande vitesse (6 km/s et plus)
Et grand nombre de Mach (de 5 à 25) pour étudier
les véhicules hypersoniques & la rentrée dans l'atmosphère

Deux catégories de souffleries hypersoniques

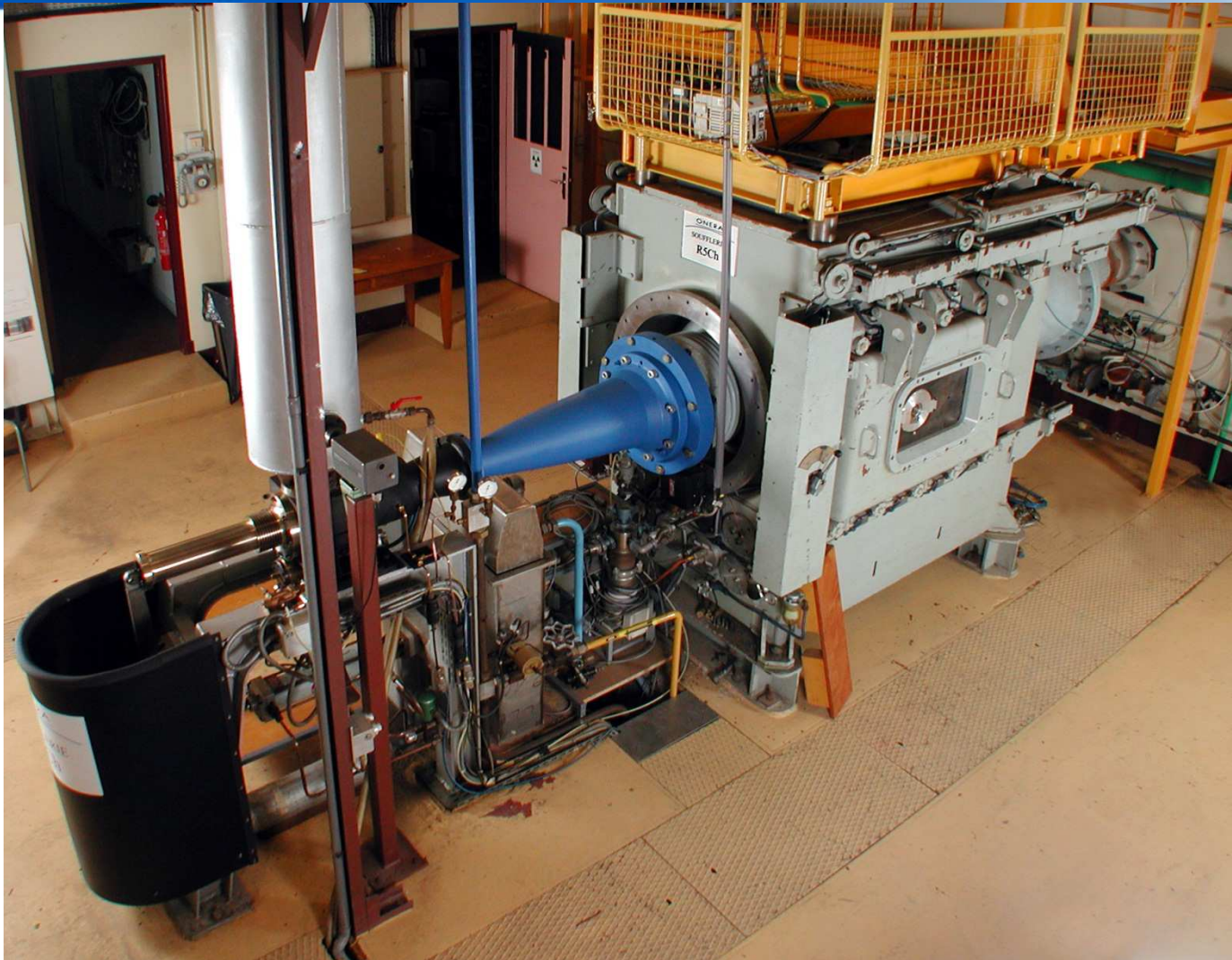
- ★ *Souffleries froides* : on simule le nombre de Mach
mais pas les hyper vitesses associées
- ★ *Souffleries chaudes* : on simule le nombre de Mach
et les hyper vitesses associées

Souffleries hypersoniques



Aménagement général d'une soufflerie hypersonique à rafales

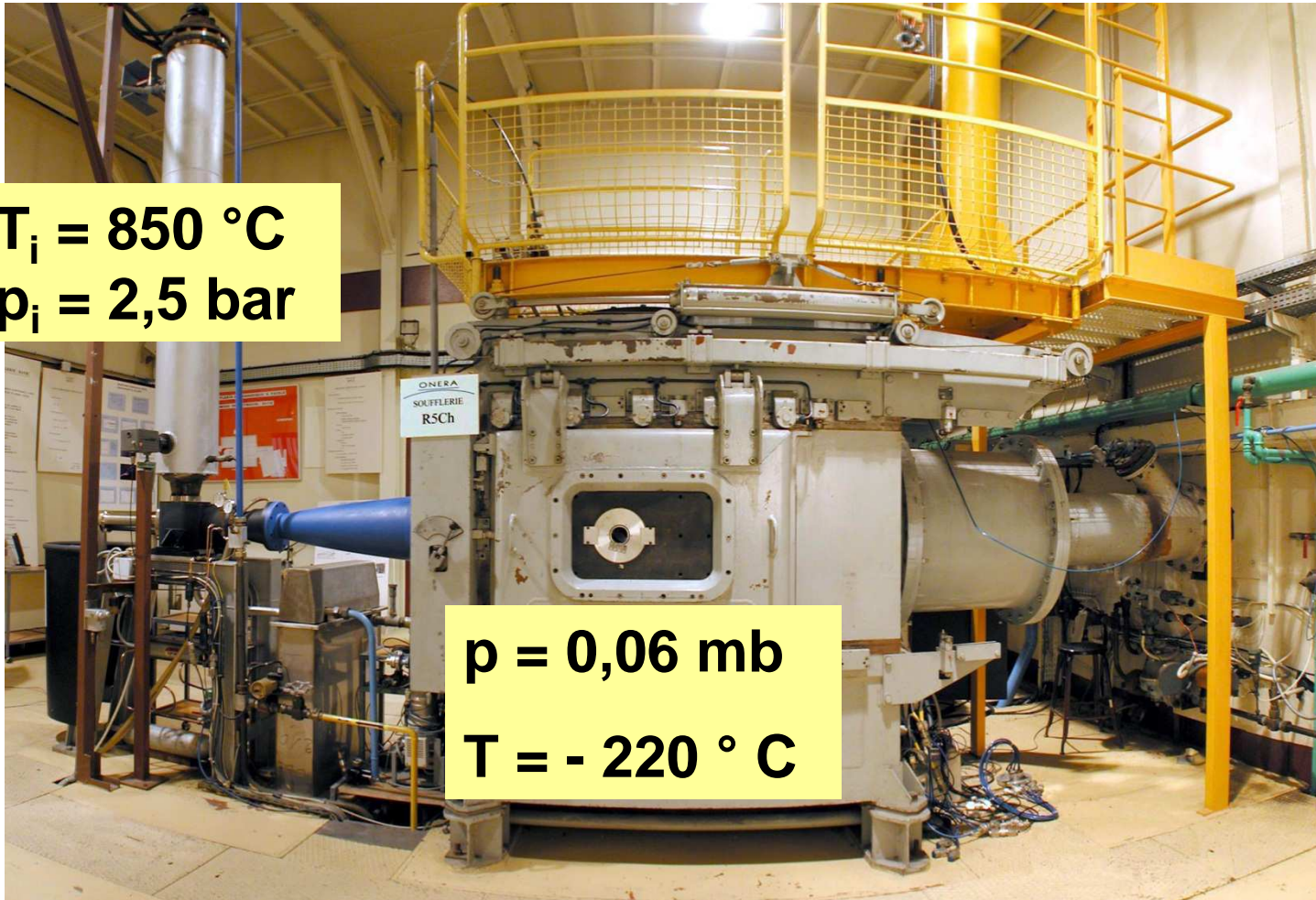
Souffleries hypersoniques



Soufflerie R5Ch Mach 10 du centre Onera de Meudon

Soufflerie hypersonique R5 de Meudon

$T_i = 850 \text{ }^\circ\text{C}$
 $p_i = 2,5 \text{ bar}$



$p = 0,06 \text{ mb}$
 $T = - 220 \text{ }^\circ\text{C}$

Tuyère Mach 10 : $V = 5\,400 \text{ km/h} = 1,5 \text{ km/s}$

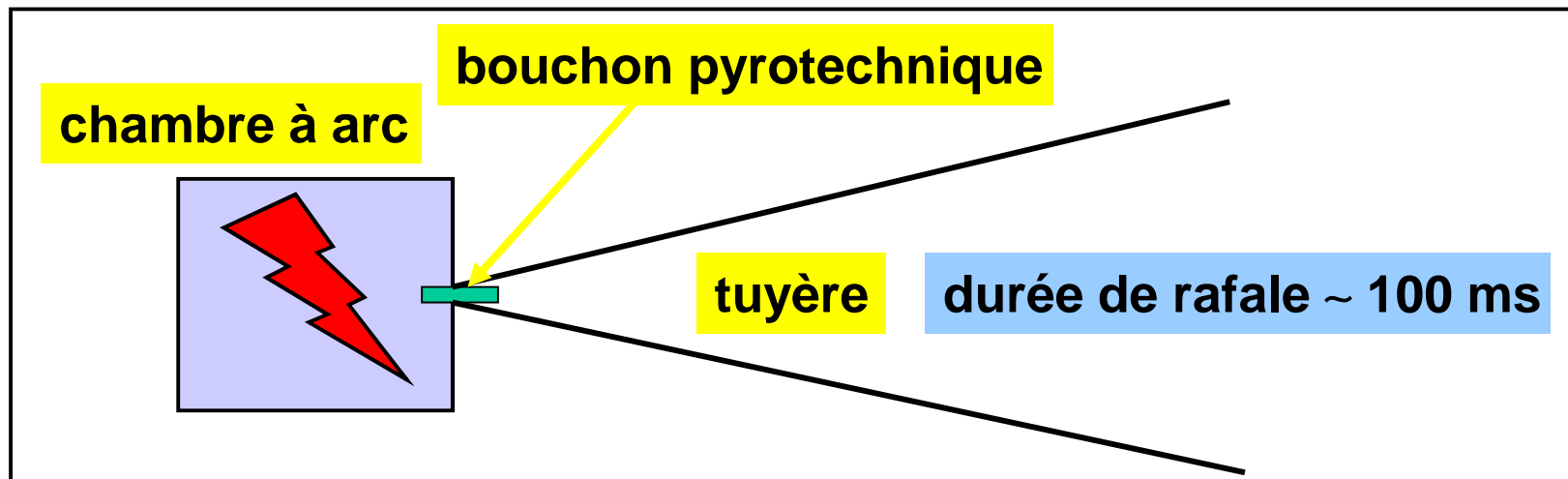
Souffleries hypersoniques haute enthalpie

Objectif

Produire un écoulement à grand nombre de Mach (15 à 20),
pression génératrice élevée (2000 bar) et vitesse élevée (6000 m/s)
➔ **enthalpie spécifique génératrice élevée** (15 MJoule/kg)

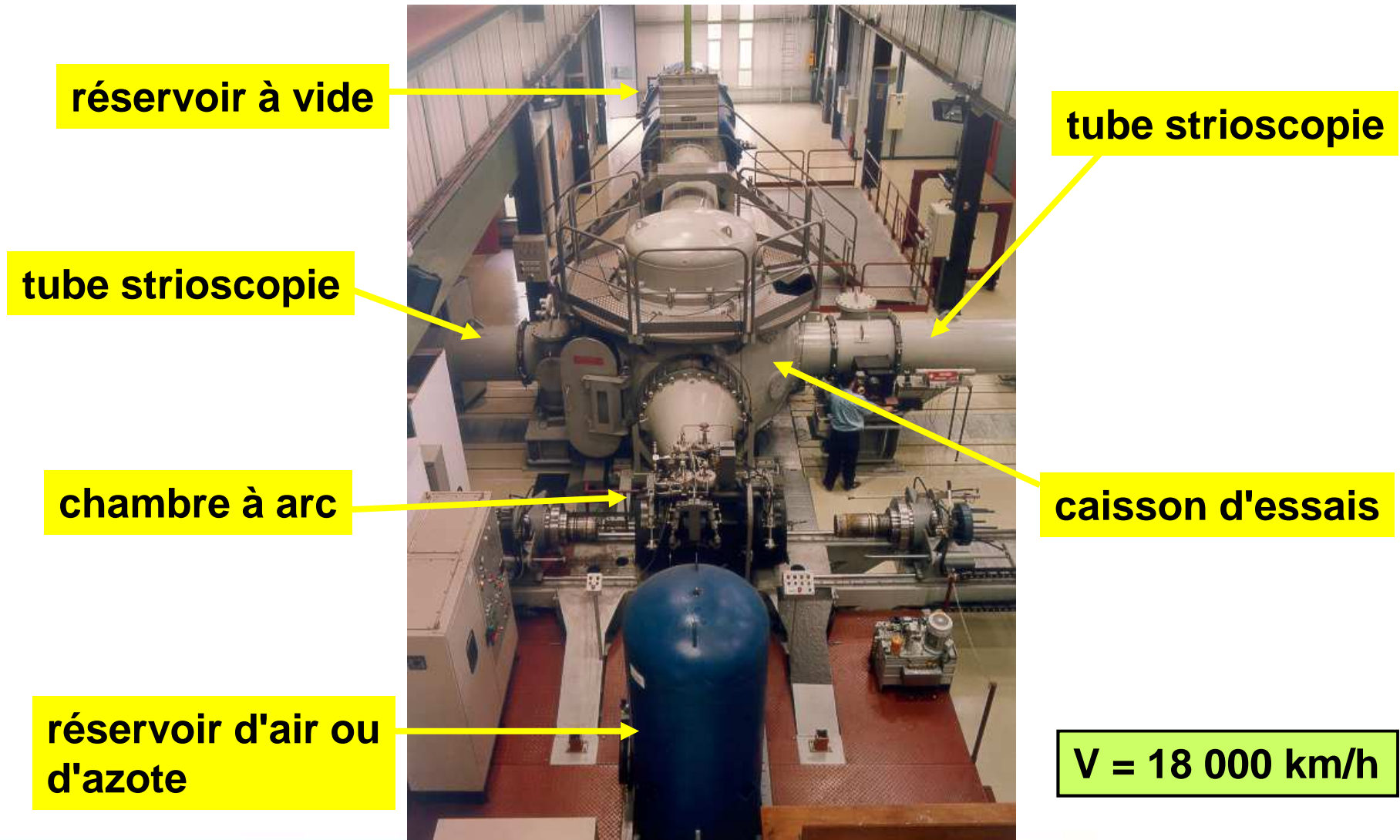
Solution

Soufflerie à arc ➔ un volume de gaz contenu dans une chambre fermée est chauffé et comprimé **par passage d'un arc électrique**



Principe de la soufflerie à arc F4 du Centre Onera du Fauga-Mauzac

Soufflerie F4 du Fauga-Mauzac



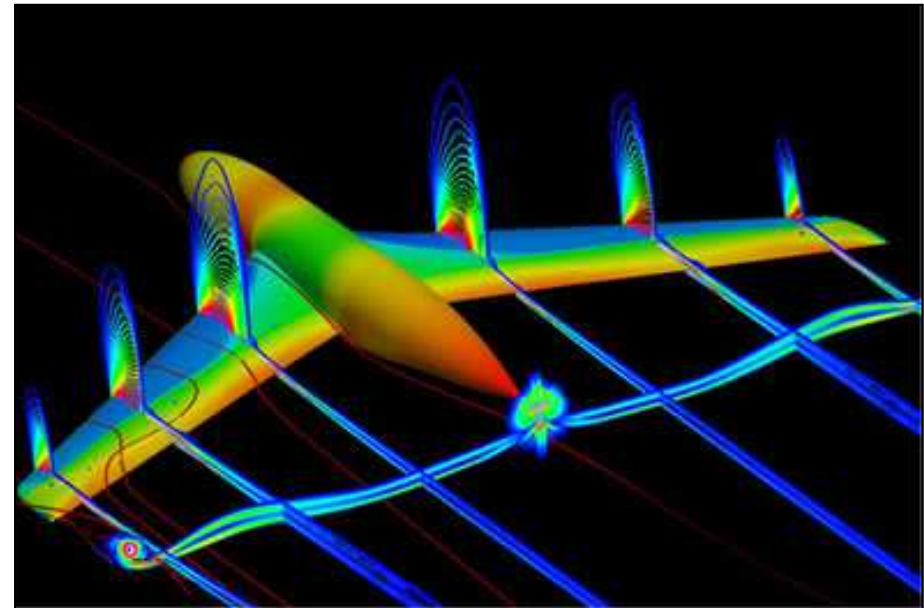
Conclusion

Les souffleries ont-elles encore un avenir ?

C'est un moyen coûteux et bruyant de résoudre les équations de Navier-Stokes, qui régissent les mouvements fluides !

On sait résoudre numériquement les équations N-S, mais il faut encore les simplifier en particulier, **en modélisant la turbulence**

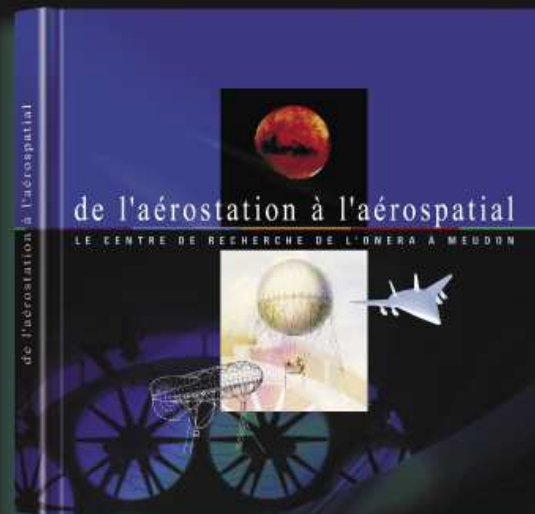
D'où la nécessité de conserver les souffleries pour valider les calculs numériques



Construction de nombreuses souffleries en Inde, Chine, Afrique du Sud, Brésil ...

de l'aérostation à l'aérospatial

LE CENTRE DE RECHERCHE DE L'ONERA À MEUDON



Un livre historique
et scientifique
sur la conquête de l'air
et de l'espace à Meudon

de l'aérostation à l'aérospatial

LE CENTRE DE RECHERCHE DE L'ONERA À MEUDON

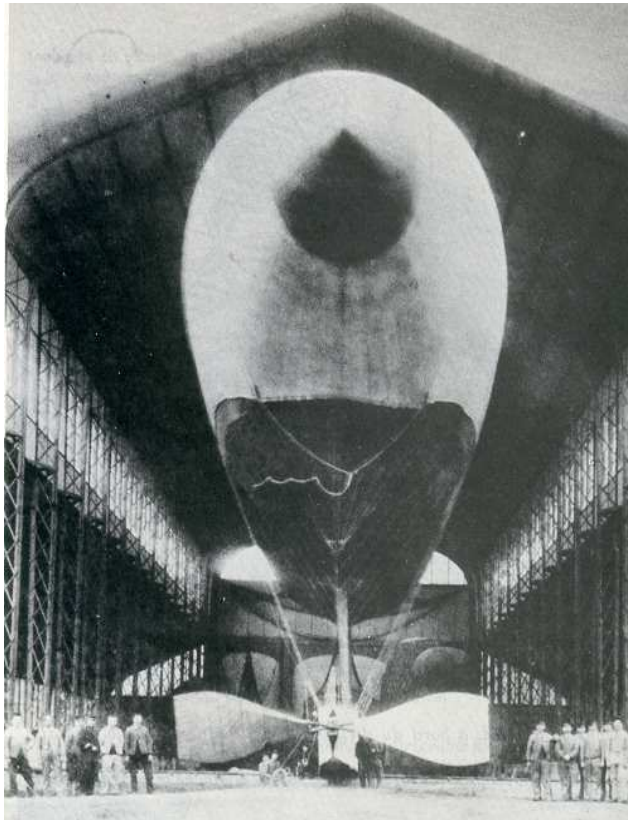
Une promenade à la découverte de différentes thématiques scientifiques et avancées technologiques

5 chapitres, 5 lieux emblématiques, 5 époques



1 À la conquête du ciel	16
Du plus léger au plus lourd que l'air	22
Les dirigeables dans l'air du temps	36
Comment vole un aérostat ?	40
Comment vole un avion ?	41
2 Le temps des grandes souffleries	42
L'âge d'or du subsonique	48
Les souffleries basses vitesses aujourd'hui	62
La balance aérodynamique	66
Le nombre de Reynolds	67
3 À l'assaut du mur du son	68
Du Mystère II à Concorde, cap sur le supersonique	74
L'avenir du transport supersonique	84
Le mur du son	86
Les différentes souffleries	87
4 En route vers l'espace	88
De Diamant à Ariane et l'ère de l'hyperonique	94
Les souffleries à l'heure du numérique	106
L'aérocapture	110
Le black-out	111
5 L'aéronautique de demain	112
Nouveaux enjeux, nouvelles configurations	118
Voir l'invisible, mesurer sans perturber	126
Chronologie	130

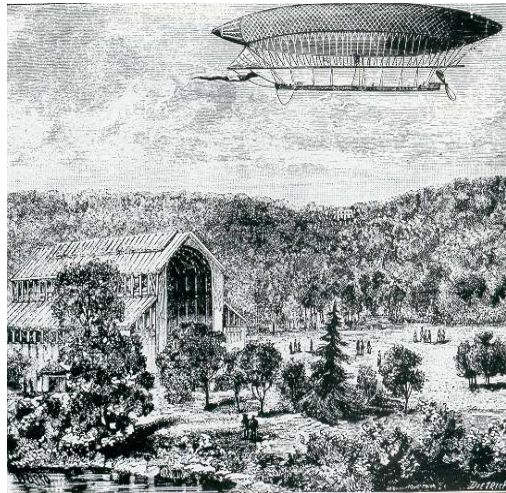
Le Centre de Onera de Chalais-Meudon



Le premier vol dirigé de l'Histoire

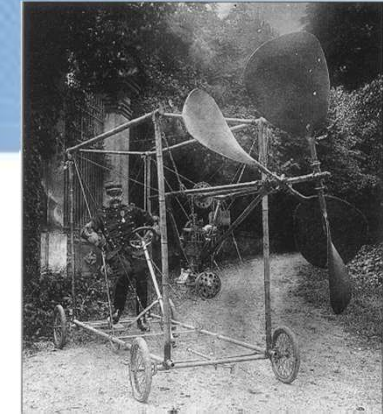
1877 : création d'un centre d'aérostation militaire

1884 : premier voyage aérien en boucle



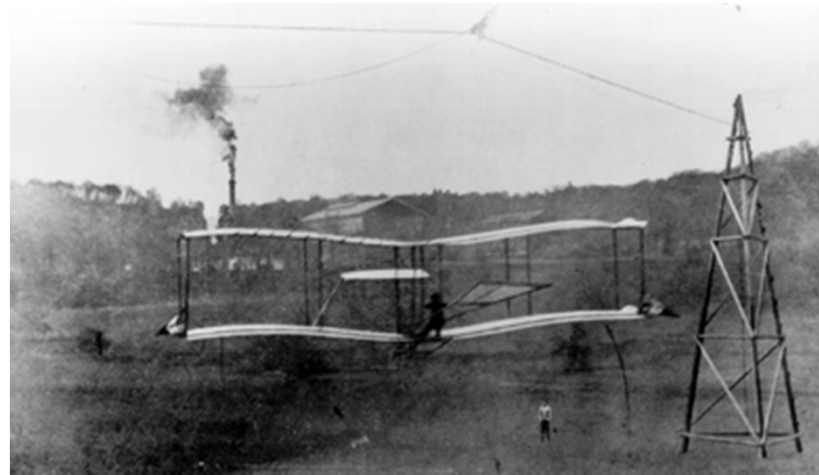
Le Centre Onera de Chalais-Meudon

Ferdinand Ferber, un pionnier de l'aviation



1905 : premier vol européen stable et officiellement contrôlé

1904 : exécution de 300 "glissades" sur fil tendu



Le Centre Onera de Chalais-Meudon



La “ saucisse ” d’Albert Caquot, un ballon captif plus stable

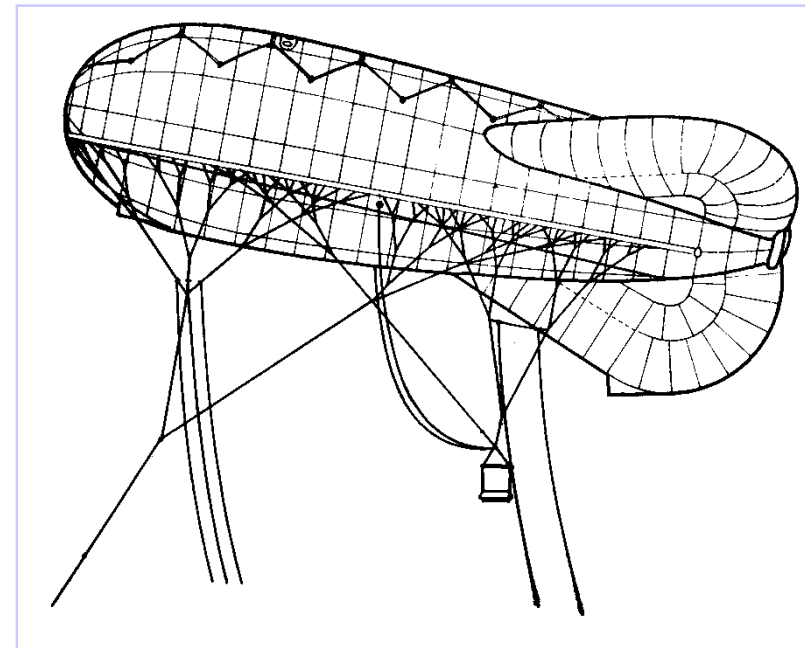
1914 : développement d’un ballon captif

avec empennage trilobé

1918 : production mensuelle

de 320 ballons par mois

pour les Armées Alliées



Un livre de vulgarisation scientifique avec l'histoire pour trame

Auteurs :

Maurice Bazin, Jean Carpentier,
Bruno Chanetz, Marie-Claire Coët,
Khoa Dang-Tran, Jean Délery,
Nicole Landré, Jean-Pierre Marec

Témoins : une trentaine de scientifiques interviewés

Documentation historique et technique : Marcel Pierre

