

Solutions approchées des équations de Navier-Stokes : résistances françaises aux théories de la couche limite et de la turbulence

François Charru

Institut de mécanique des fluides de Toulouse - CNRS - Université de Toulouse

1. 1900-1930 : trois questions de mécanique des fluides
2. Travaux en France

Tournant des années 1900 : trois questions

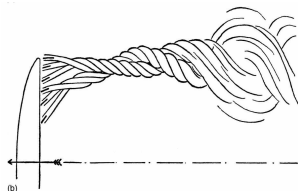
1. Force de portance ?

Lanchester : circulation de la vitesse (1907)

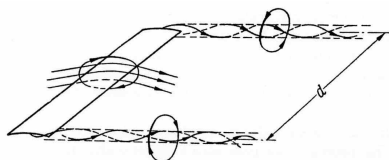
objections de Rayleigh

Kutta, Joukovski (1902-1910)

Ailes d'envergure finie :



Lanchester (1907)

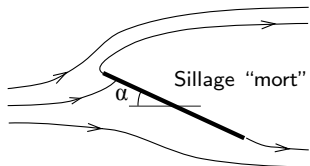


Prandtl (1913)

...

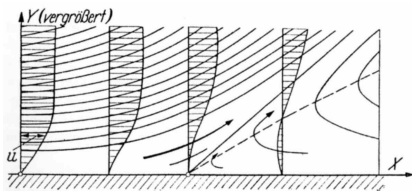
2. Force de traînée ?

Les surfaces de discontinuité lèvent (mal) le "paradoxe" de d'Alembert (Helmholtz, Kirchhoff, 1870-1880)



Traînée non nulle (Rayleigh 1876)

Le bon concept :
la couche limite (Prandtl 1904)



Couche limite, décollement (Prandtl 1904)

...

3. Turbulence ?

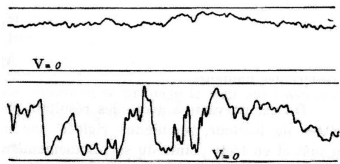
Saint-Venant, Boussinesq, Reynolds

Taylor (1915... 1936) : statistiques

Prandtl (1913...) : modèles semi-empiriques

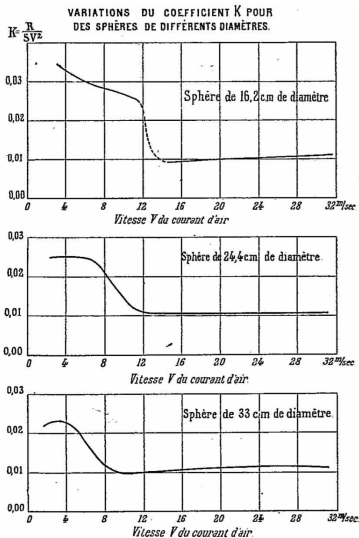
Magnan, Burgers (1923...) : fil chaud

Transition : Reynolds (1883), Orr (1907) ...

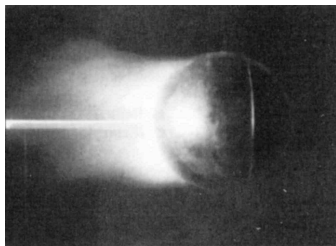
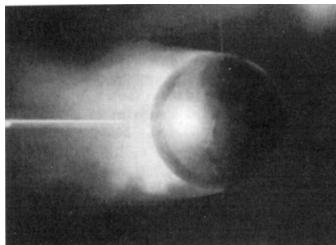


A. Magnan, vent sur l'Île de Ré (1925)

Un problème unificateur : la "crise de traînée"



Gustave Eiffel (1912)



Carl Wieselsberger & Ludwig Prandtl (1914)

Entre-deux-guerres : internationalisation

internationalisation de la mécanique des fluides :

1922 : congrès organisé par von Kármán à Innsbruck, succès

1924 : premier *International Congress of Applied Mechanics* (ICAM) à Delft

1926 : second ICAM à Zurich, Français et Allemands s'y retrouvent

L'université en France organisée autour de chaires

peu de recherche, culte de la belle expérience, peu de théorie

à la Sorbonne : culte de la "science pure et désintéressée"

en province : dynamiques instituts techniques dans les facultés des sciences

1923 : création d'une chaire de *Mécanique des fluides et applications* à la Sorbonne, fondée par le secr. d'État à l'Aéronautique

titulaire : P. Painlevé, mathématicien

maîtrise : A. Métral, physicien

ingénieur : D. Riabouchinsky

organisation de conférences

1928 : Henri Villat succède à Painlevé



P. Painlevé (1863-1933)



D. Riabouchinski

1929 : fondation des instituts de mécanique des fluides

par le ministère de l'Air (Albert Caquot)

L'institut de Paris (1929) :

Chaire théorique : H. Villat (dir.), A. Beghin

Chaire expérimentale : H. Bénard, A. Foch

Directeur adjoint : D. Riabouchinsky

Rattachements de la chaire d'aviation (L. Marchis)
et de l'Inst. aérotech. de Saint-Cyr (A. Toussaint)

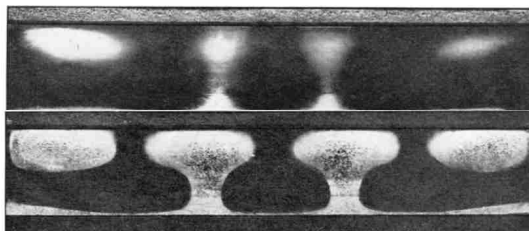


Question des locaux, installation de Bénard à la Cité de l'Air (4, rue de la Porte d'Issy)
1932 : L'IMF devient Institut de mécanique

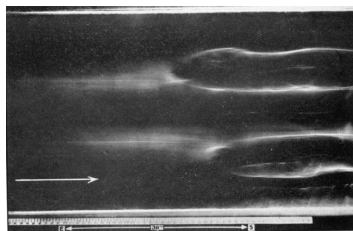
J. Pérès (dir. IMF Marseille) succède à Beghin

Villat : recherche de solutions exactes aux équations de Navier-Stokes
peu d'intérêt pour l'expérimentation
théorie de la couche limite pas enseignée (théorie sans rigueur)
turbulence ignorée

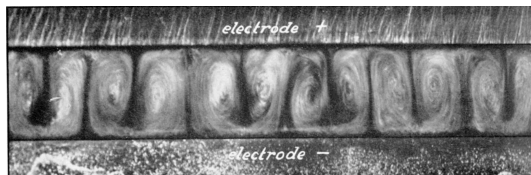
Pérès et L. Malavard : analogies rhéoelectriques, contrats avec l'industrie aéronautique



Structures thermo-convectives (Avsec & Bénard 1939)



Thermoconvection avec écoulement

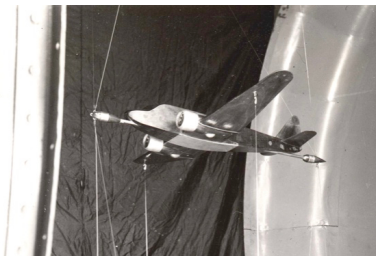


Électroconvection (Avsec & Bénard 1939)

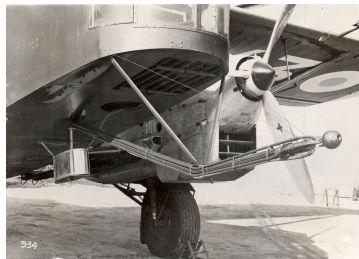
Relations avec la Commission de la Turbulence Atmosphérique du ministère de l'Air

L'institut de Lille

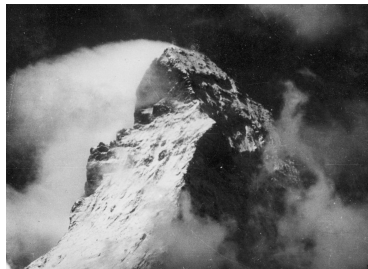
Dir. J. Kampé de Fériet, travaux pour la Commission de la Turbulence Atmosphérique



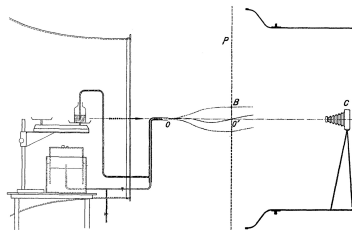
Mesures aérodynamiques en soufflerie



Avion Potez et son anémoclinomètre



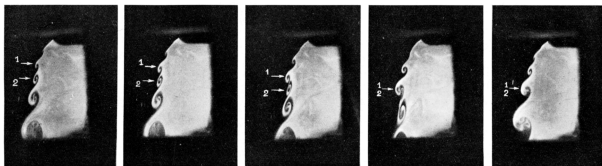
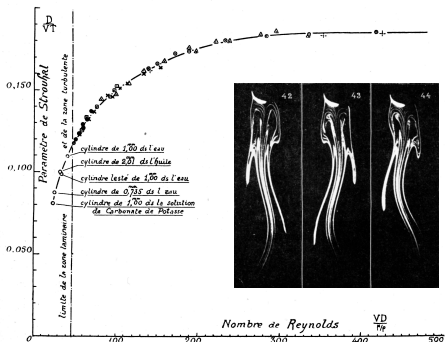
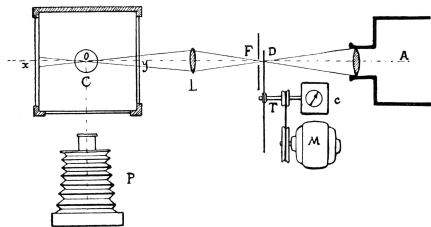
Étude des mouvements atmosphériques



Diffusion de gouttes par la turbulence

Toulouse : le laboratoire d'hydraulique devient IMF (1930)

Sillages, tourbillons, régimes transitoires,
transition à la turbulence ... résolution μm , ms



Analyse et conclusions

H. Villat, 1920 : « Le présent petit Livre a pour but de donner (...) les résultats théoriques que l'on peut obtenir en appliquant les équations de l'Hydrodynamique des fluides parfaits, à l'étude du mouvement d'un solide dans un fluide. Il ne s'agit donc pas ici d'un livre technique, avec description d'expériences. »

H. Villat, préface d'une thèse, à propos de la turbulence, 1949 : « Le lecteur sera frappé, dans la partie historique de l'exposé, par la précarité de certaines des hypothèses faites, souvent en vue de commodité pratique, étrangères à des bases solides : ainsi, les définitions, par leurs introducteurs, des coefficients de transfert, ou de la longueur de mélange, ne satisfont guère le logicien pur... »

M. Roy, 1975 : « Vers les années 1925 et même plus tard, j'entendis d'éminents mathématiciens exprimer leur dédain pour cette théorie [de la couche limite] qu'ils jugeaient d'insuffisante rigueur, ce qui était faux. N'a-t-elle pas depuis suscité, par la méthode des développements asymptotiques raccordés, un progrès notable de la Mathématique appliquée à de tels problèmes ? »

En dépit des freins opposés par Villat aux nouvelles idées, la mécanique des fluides française dans l'entre-deux-guerres est créative :

tourbillons et instabilités : Bénard, Camichel

turbulence atmosphérique et diffusion turbulente : Kampé de Fériet

“solutions turbulentes” des équations de Navier-Stokes (théorème, 1933) : Jean Leray