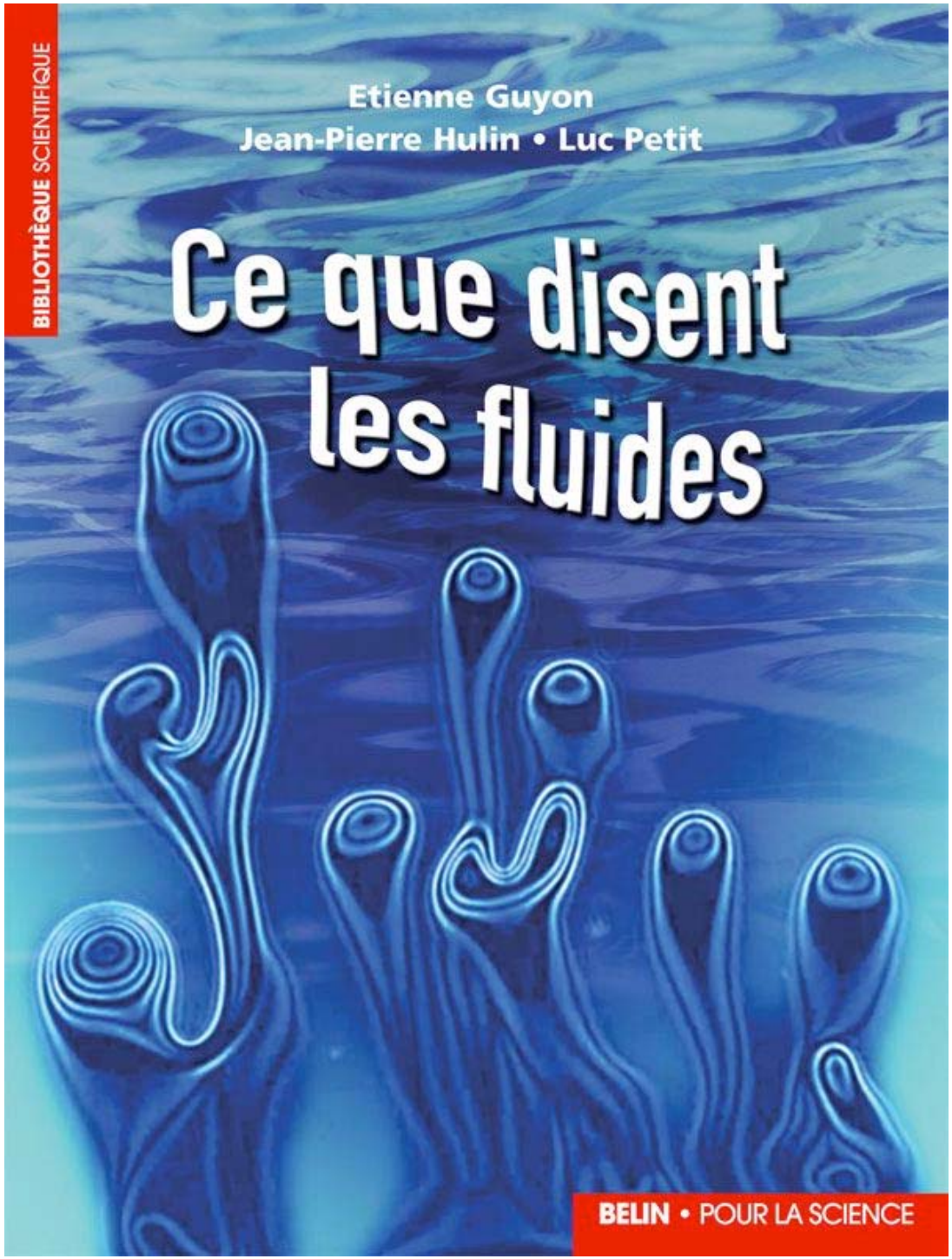
Balles et ballons (Dijon 26/08/08)

Etienne Guyon
Physique et mécanique des milieux hétérogènes
ESPCI (Paris)
Guyon@pmmh.espci.fr

Références générales

Hydrodynamique physique
E.G.; J.P. Hulin et L. Petit (EDP sciences)

Multimedia fluid dynamics DVD (diffusé par C.U.P)



Avec la complicité de

Jean Pierre Hulin
et Luc Petit

images de sport

de Marc Fermigier

de Christophe Clanet

Teaching with images and movies

Terminologie : le sport en langue française

Les bons exemples

- Document les mots , éléments vivants de l'identité sportive
- Cd (insep) lexique des sports olympiques

- *Les exemples douteux*

Référentiel bondissant (aléatoire)

- *Nouvelle proposition*

Engins de jeux ?

- I Les trajectoires : *l'effet de la gravité*

- II Les trajectoires : *l'effet des écoulements*

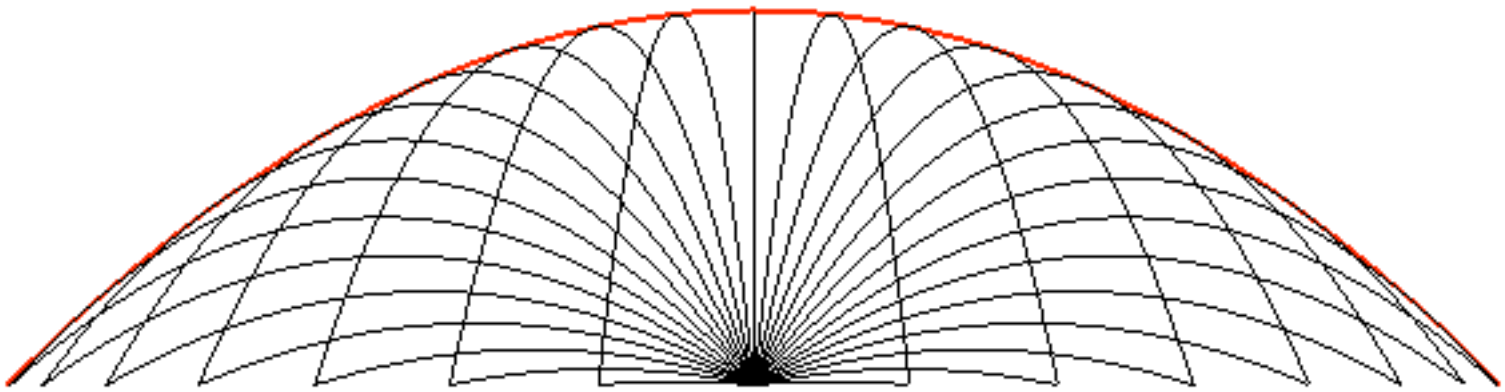
- III Les frappes : *Balles pleines et balles gonflées*

La chute libre d’une balle

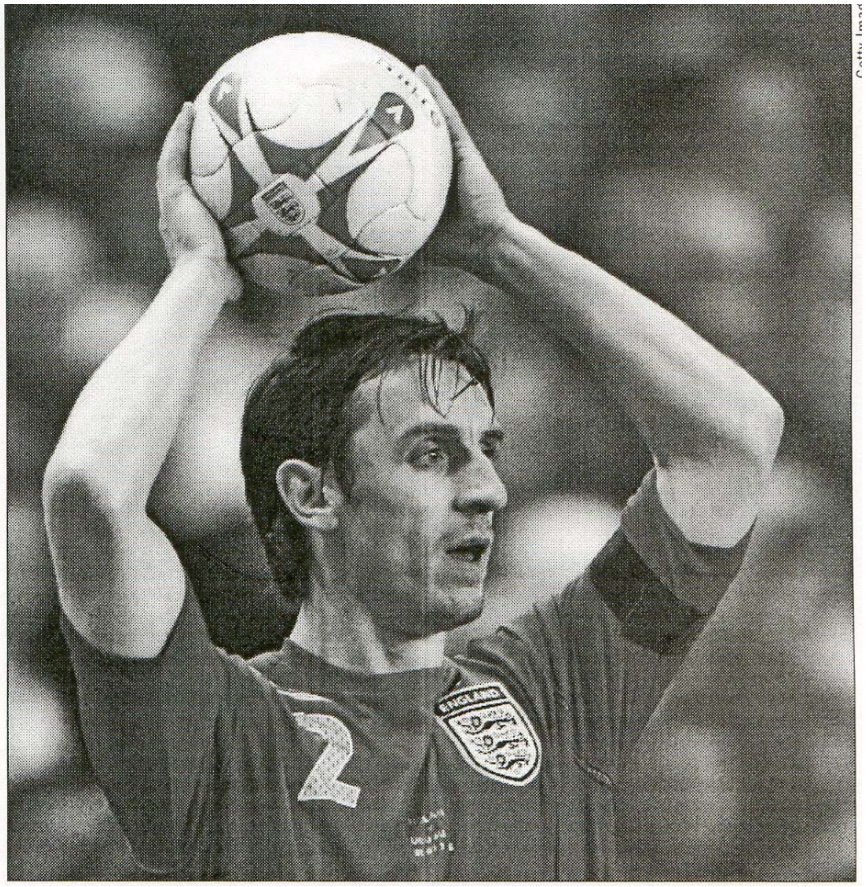
De Galilée à Allègre en passant par Pierre Gassendi

Comparer le poids mg
Et la force de frottement $\propto (\rho\, v).v.S = \rho\, S\, v^2$

La trajectoire d’une balle
Parabole de tir



L’équation logistique
On peut inclure le frottement



•Touche au football

Gary Neville
(GB- Allemagne 2006)
Premier but
après une rentrée de touche de 40 mètres

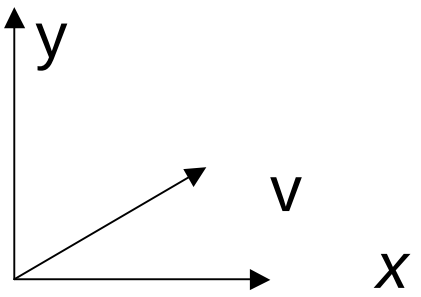
• lancement du poids

Pour une vitesse de 13 m/s et une hauteur de départ de 2,4 m/s

Et un angle de départ de	*30 ,*	*35,*	*40 ,*	*45*	*degrés*
	19,2	*20,1*	*20,55*	*20, 45*	*mètres*

- Pourquoi l'angle optimal est de 45 degrés?

La vitesse v (v_x v_y)



Temps balistique $t = 2\, v_y / g$
Distance horizontale $v_x . t = 2\, v_x . v_y / g$
Le maximum du produit pour une valeur de $v_x^2 + . v_y^2$ *donné correspond à* $v_x = v_y$

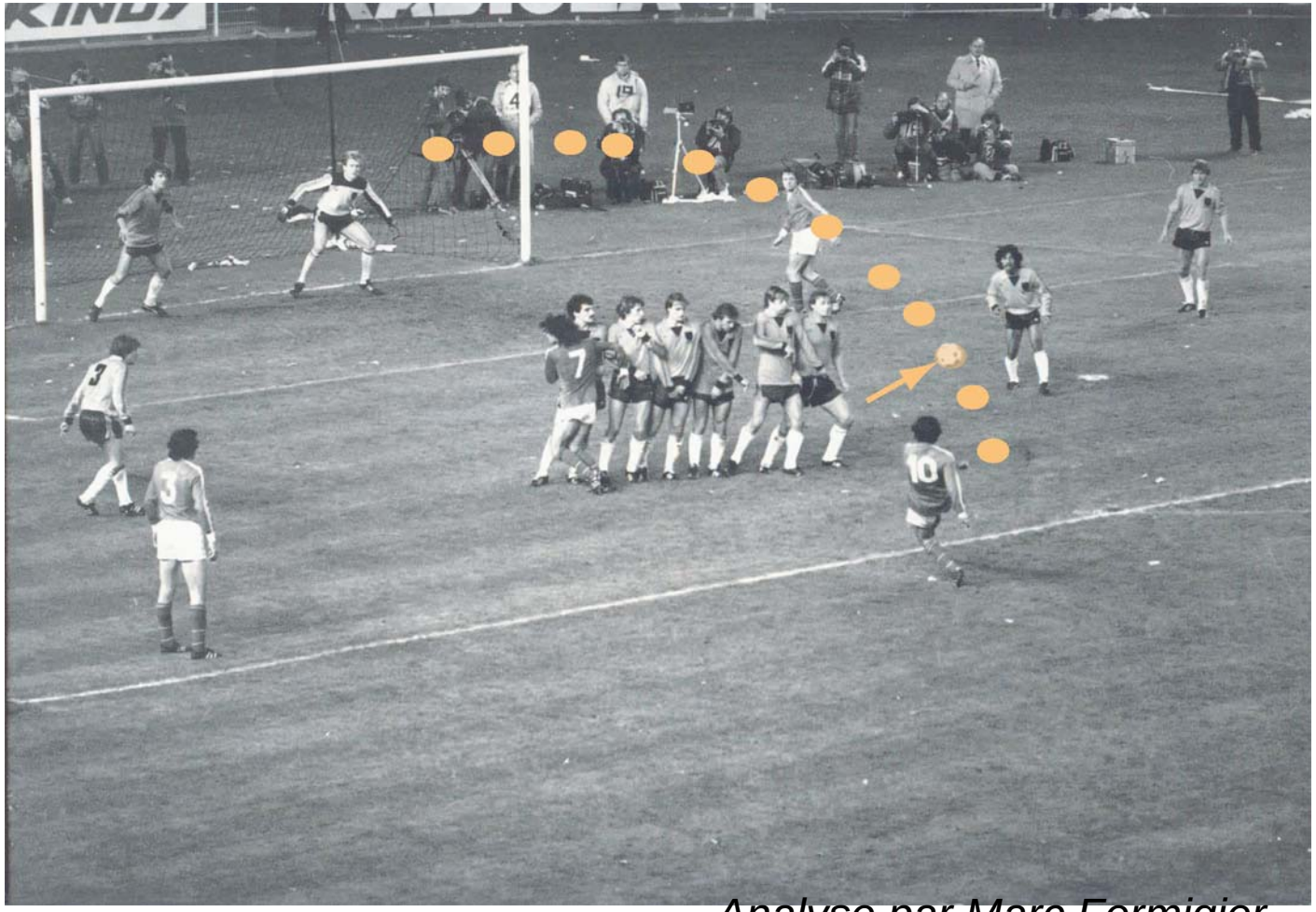
- Effet du lancer à partir d'un point au dessus du sol ?

On augmente la distance à peu près d'une quantité égale à la hauteur *(l'angle de la parabole est à peu près 45°)*

II Les trajectoires : *l'effet des écoulements*

Coup de pied de Platini

(France- Pays Bas 1981)



Analyse par Marc Fermigier

Coup de pied Carlos

France Brésil 1997)

Les 22 coups francs de Junhino à l'O.L.

Lobes avec effets de balles coupées
Ballon pris par en desous (petits pieds favorables)

http://www.footballistique.com/forum-foot/video/vt235.foot

Le nombre de Reynolds

Convection contre diffusion

Re = force d'origine inertielle / force d'origine visqueuse

$\rho S V^2$ / $\eta S V / R$

$= V. R \rho / \eta$

La viscosité cinématique $\eta/\rho = 1{,}4. 10^{-5}$ m ^{2}/ s pour l'air

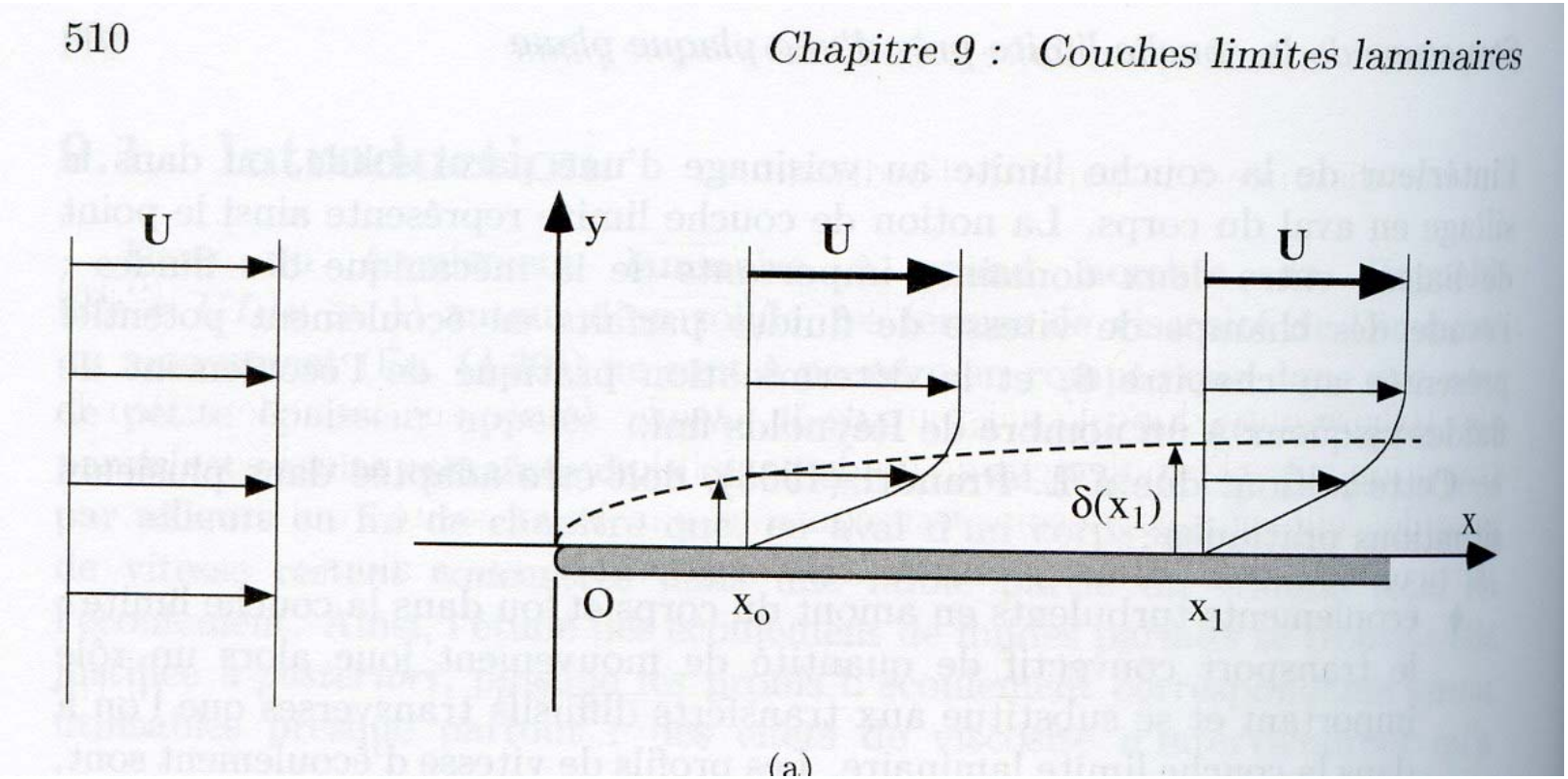
type	Vitesse (m/s)	Diamètre (cm)	Re (x 10^5)	Masse (Kg)	Trainée/mg C_D = 0,5
Base ball	40	7	2	0,15	1,7
Basket ball	9	24	1,4	0,6	0,2
golf	60	4,3	1,7	0,05	3,8
Foot ball	30	22	4,3	0,4	2,3
tennis	45	6,5	2	0,06	3,8
volleyball	30	21	4,2	0,27	3,8
Lancer poids	15	11	1	7,2	0,01

$$\text{Trainée} = C_D \ \rho \ S \ V^2$$

La couche limite laminaire

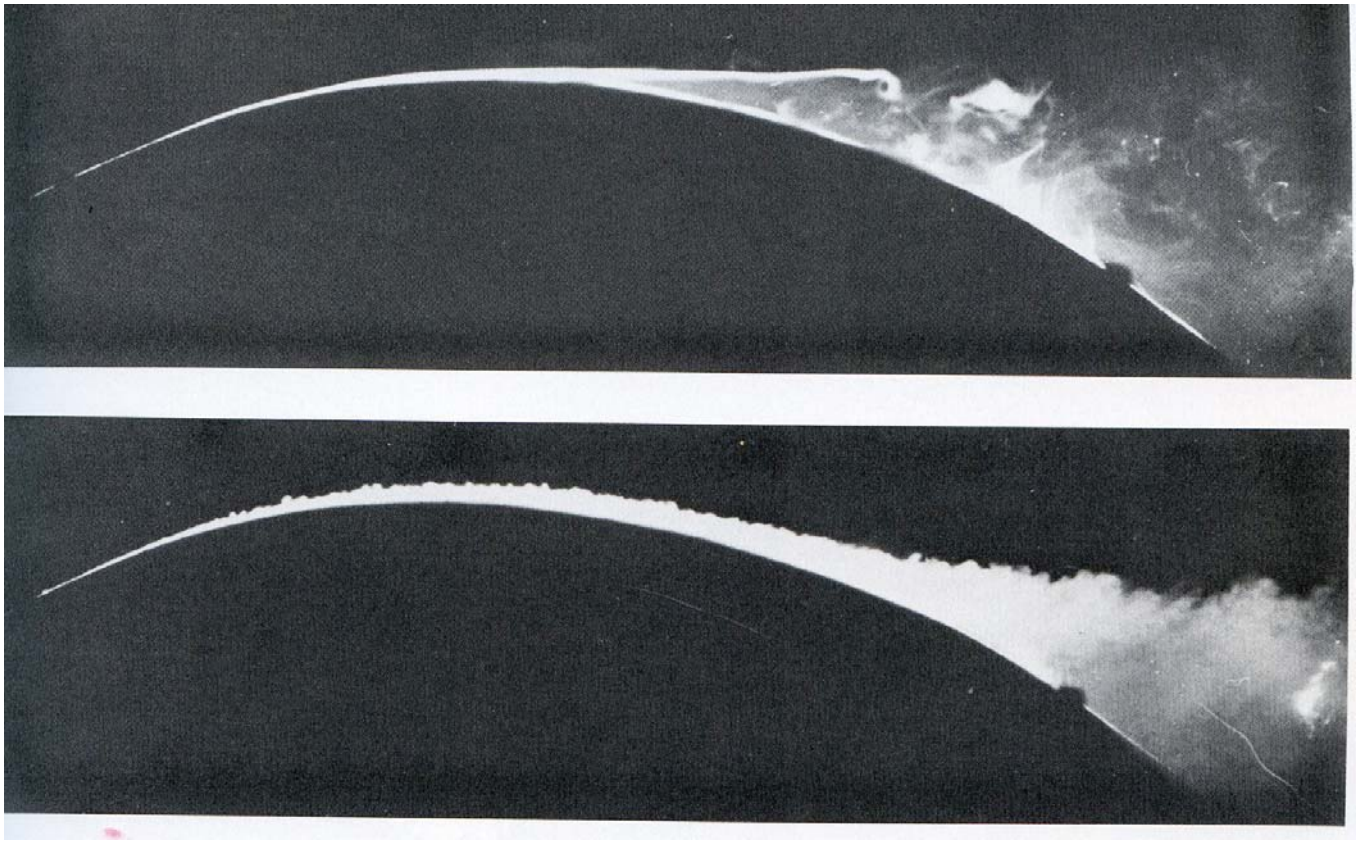
Un exemple de convection contre diffusion

Hydrodynamique physique

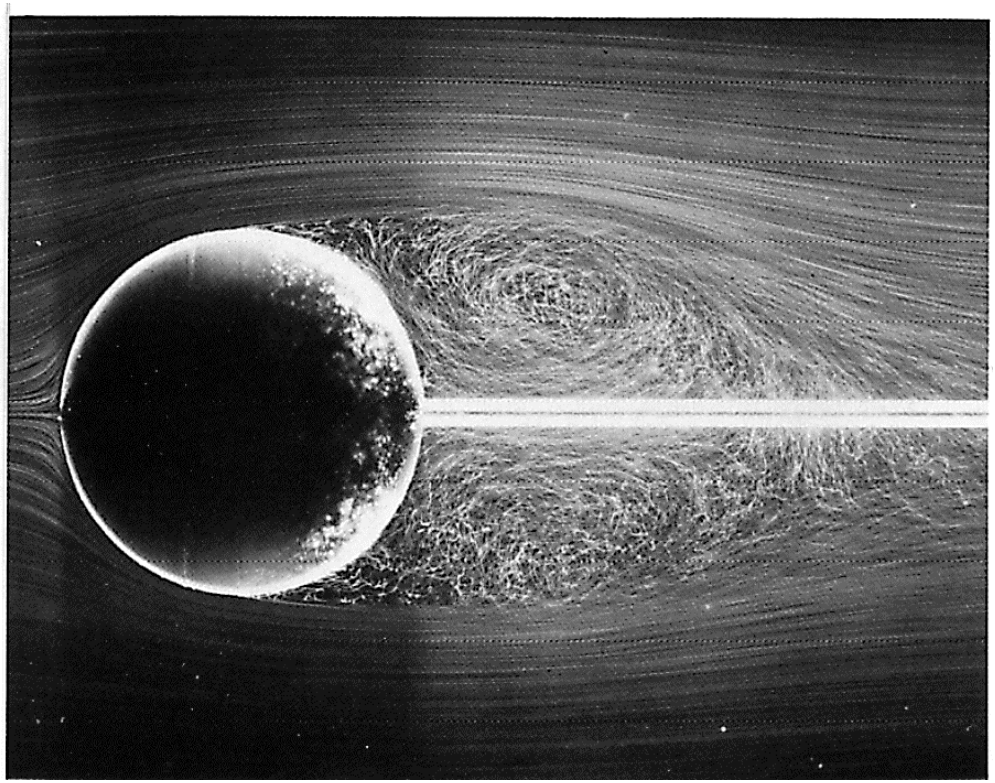


$\delta = (\nu\ t)^{1/2}$ $\quad x = U\,t$ $\quad \delta = (\nu\, t / U)^{1/2} = x / (Re)^{1/2}$

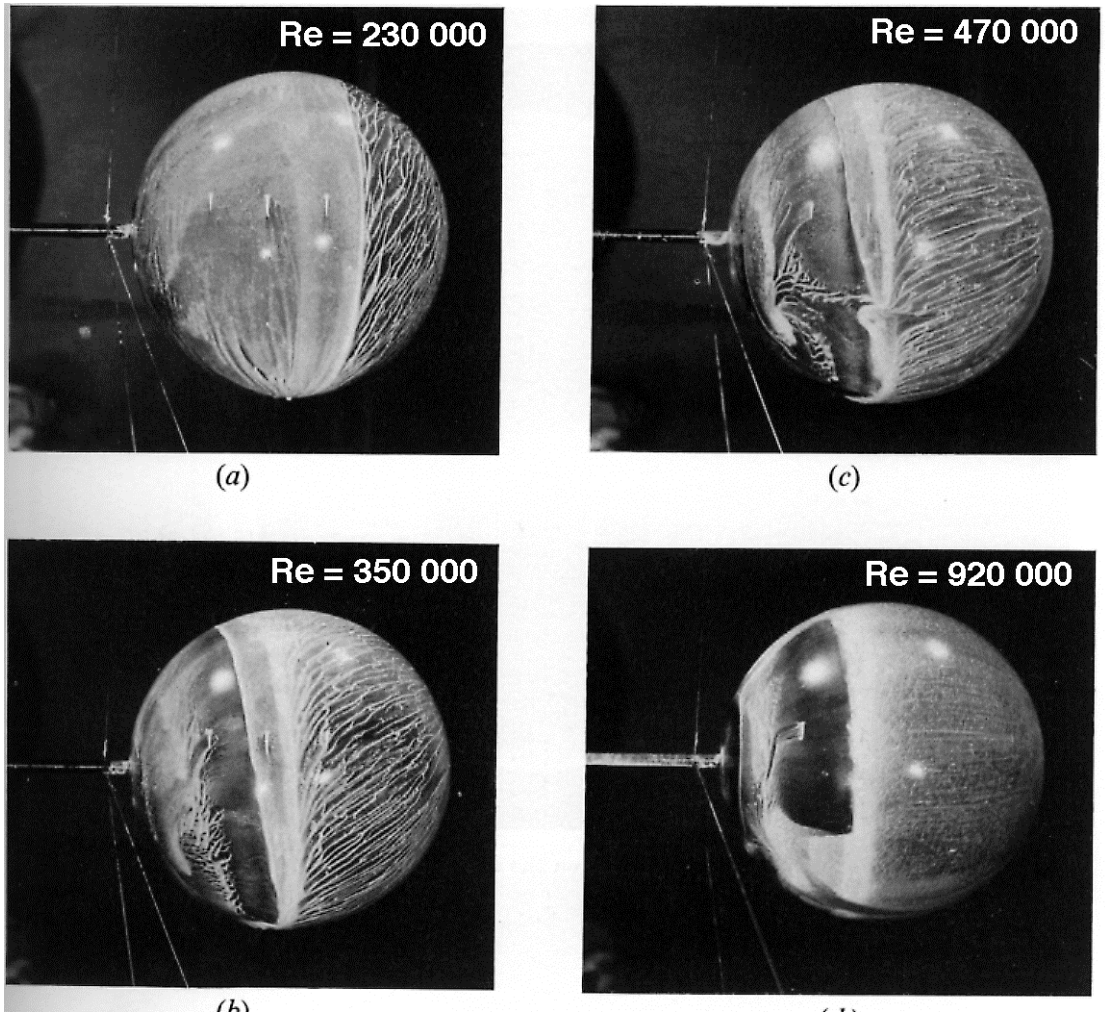
Couche limite laminaire et turbulente



Recirculation derrière une sphère (Werlé)



Couche limite autour d'une sphère



Couche limite autour de balle de base ball

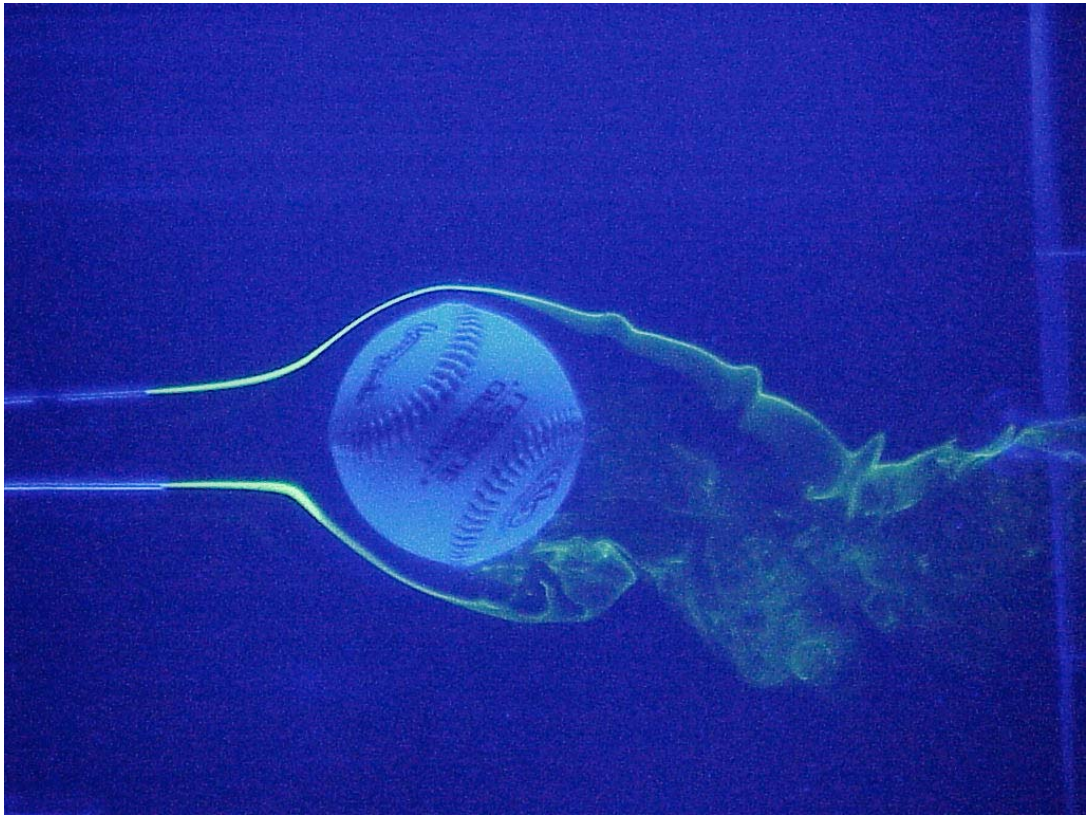
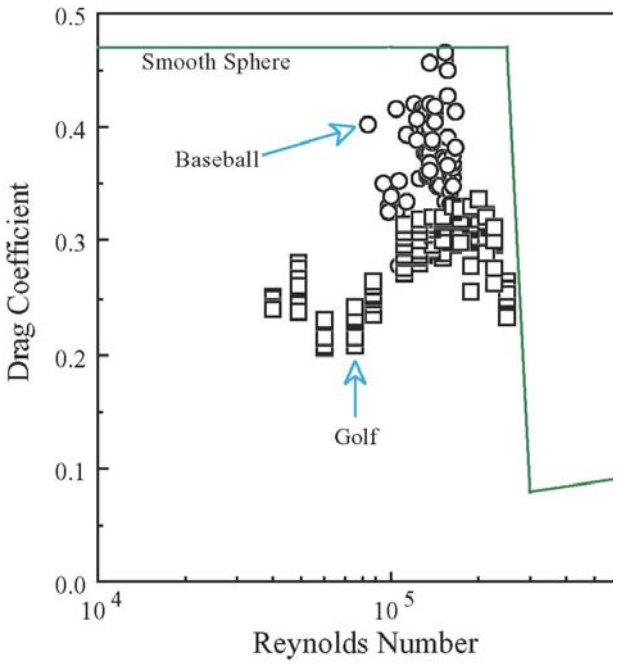
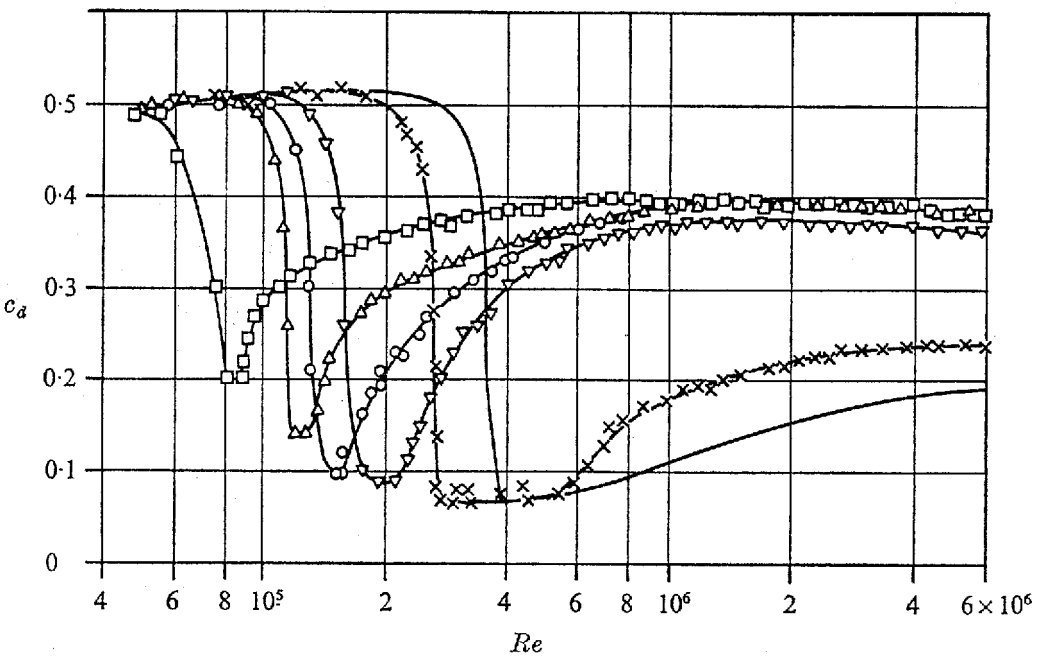


Figure 1 – Ce cliché a été obtenu en injectant du colorant en amont d'une balle de base-ball placée dans un écoulement d'eau de nombre de Reynolds 3400. On observe le décollement des deux filets de colorant sur les coutures de la balle. Celle-ci est également animée d'un mouvement de rotation à 0,5 t/s qui explique la déflexion des filets de colorant (Document J.M. Pallis et R.D. Mehta)

Crise de trainée





traînée laminaire

Hydrodynamique physique

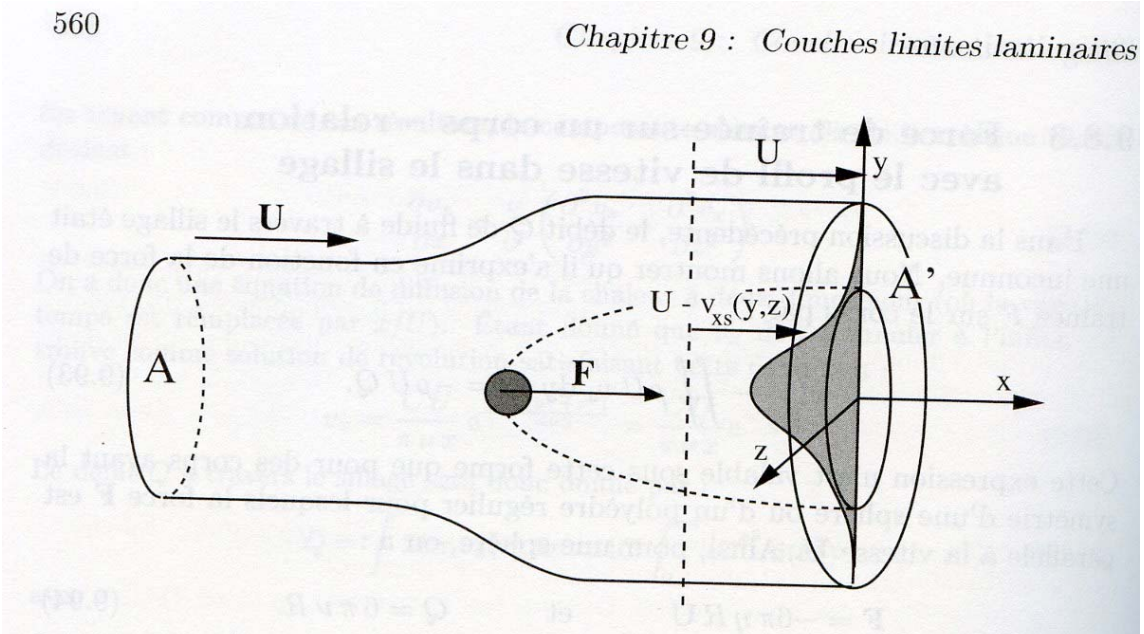


FIG. 9.23 – *Évaluation de la force de traînée sur un corps de révolution au repos à partir du débit de fluide dans le sillage. Loin du corps, le fluide est en mouvement à la vitesse U.*

$F = -\rho U Q$ où Q est le débit dans le sillage

Effet Magnus

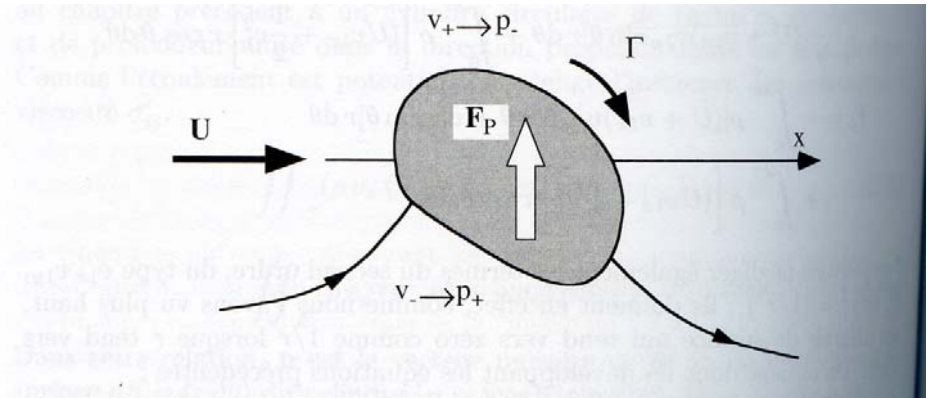
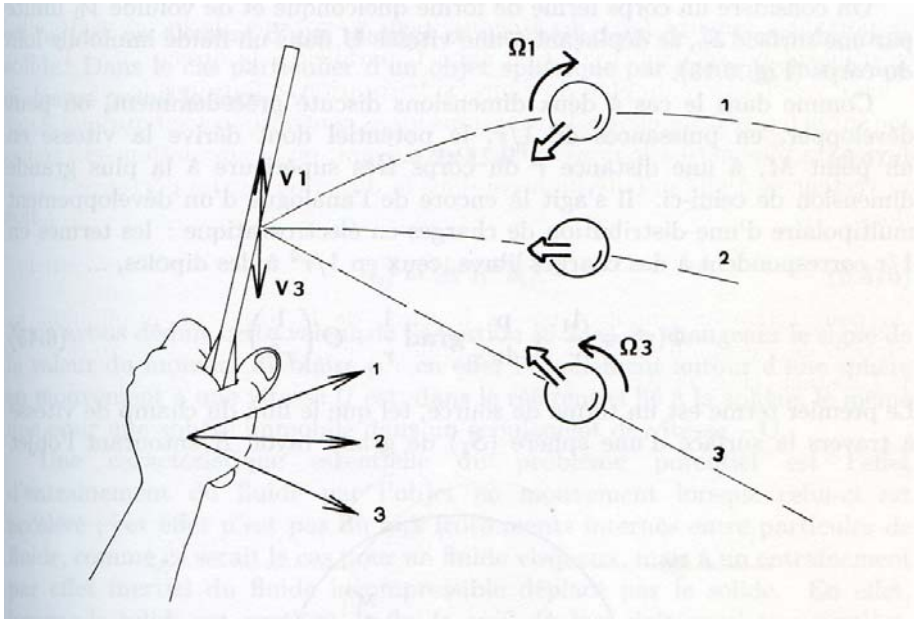
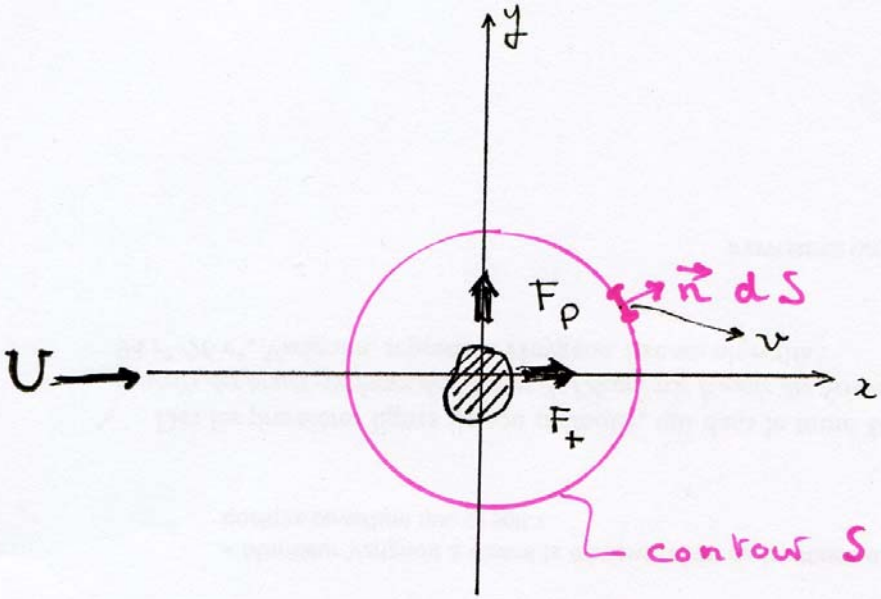


FIG. 6.13 – *Détermination du sens de la portance* $\mathbf{F}_p$ *en fonction du sens de la circulation* Γ *par application de la relation de Bernoulli.*



Principe de la démonstration voir *GHP page 322*



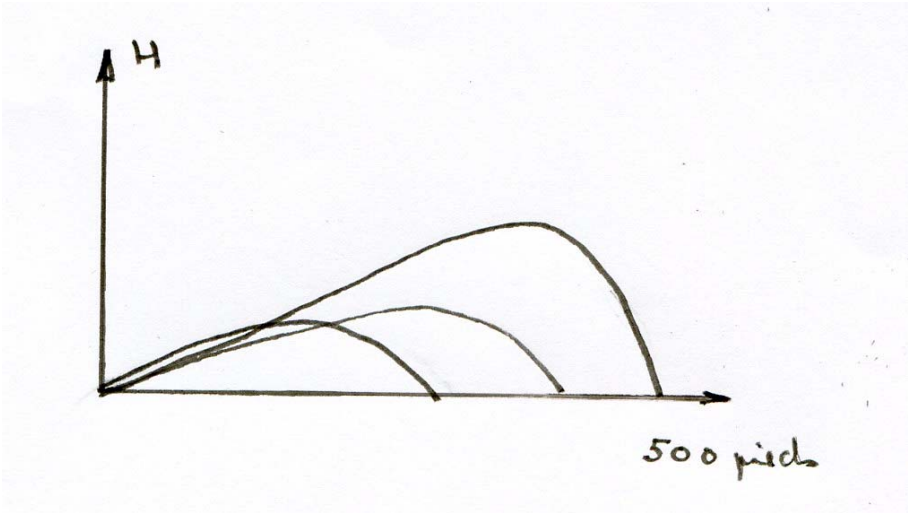
$$F_p = -\iint_S \left[\underbrace{\rho v_y \left(\vec{v}.\vec{n}\right)} + \underbrace{p\, n_y} \right] dS$$

flux de qté de mouvement suivant y

effet de pression

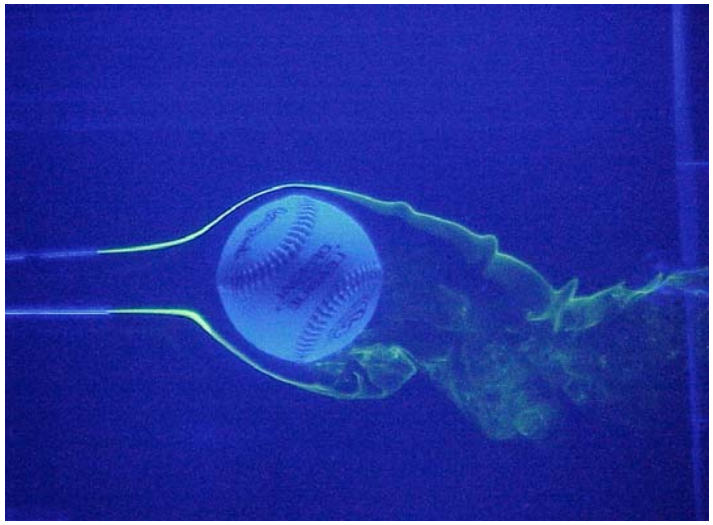
$$p + \frac{1}{2}\rho v^2 = cst$$

Tait (1896)



Mesure l’effet de rotation sur Balle de golf
La rotation croissante donne une trajectoire plus longue

Au base ball :

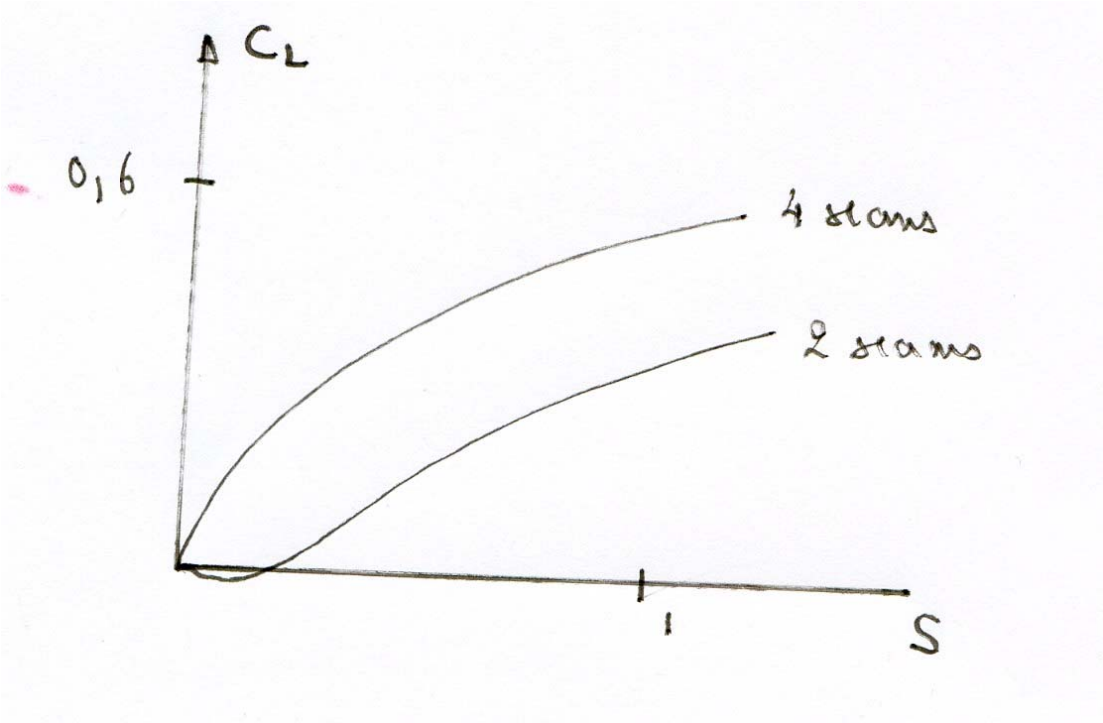


)

La balle rapide à deux ou quatre coutures
(*two seams et four seams*)

Voir exposé Renaud Seigneuric

Portance balle de base ball

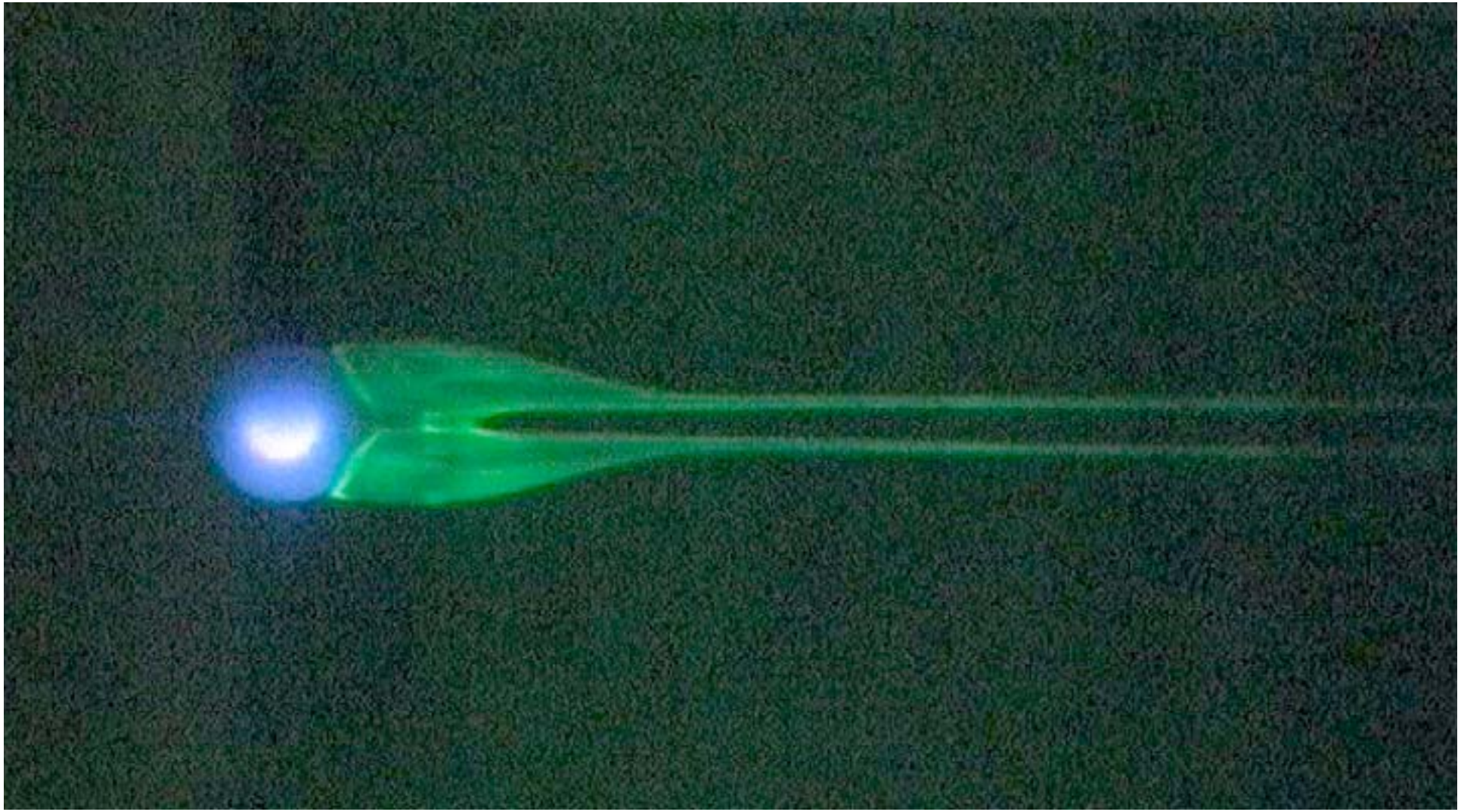


Portance $= C_L \rho S V^2$

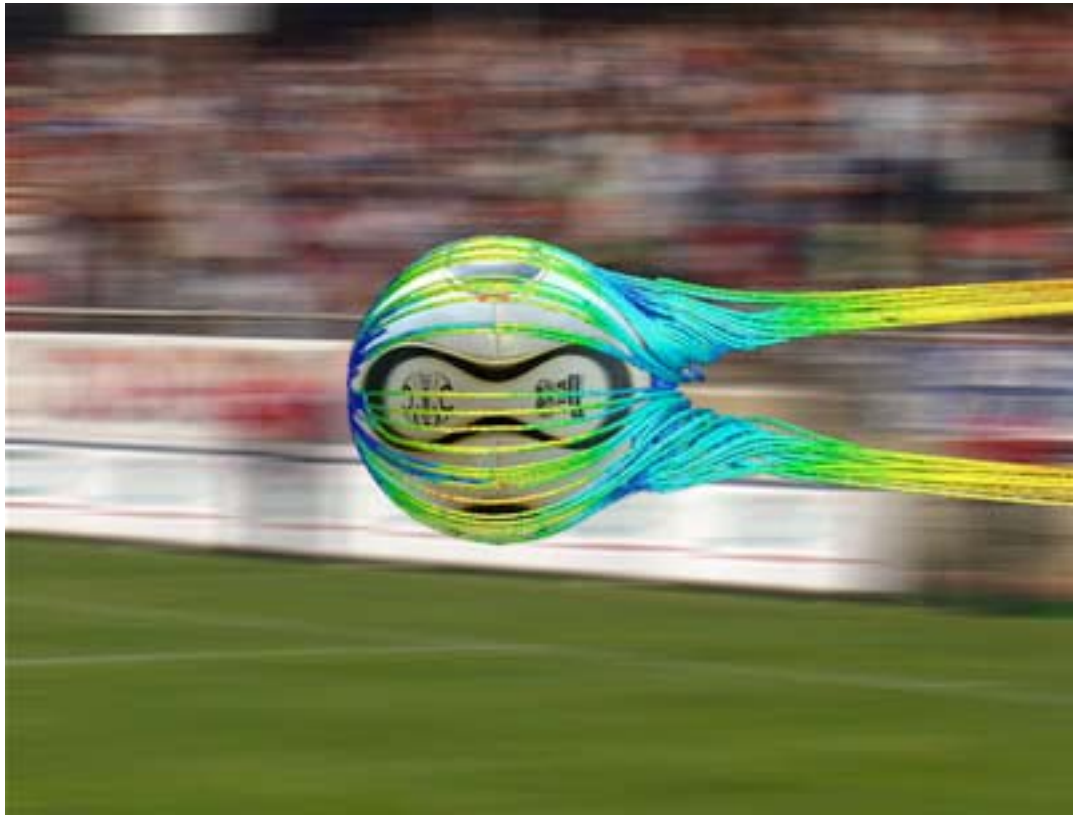
Absence d’effet de rotation

Le service (ou la balle) flottant au volley ball

Trainée derrière une balle Re = 220



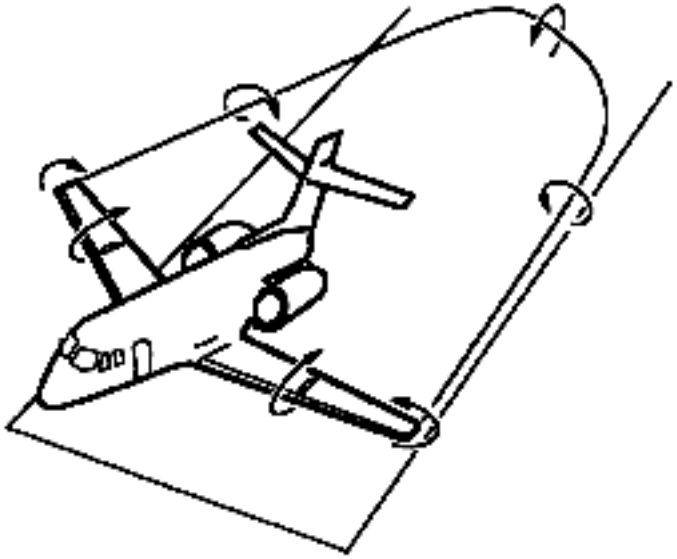
Expéreince modèes Sophie Goujon à l’ESPCI



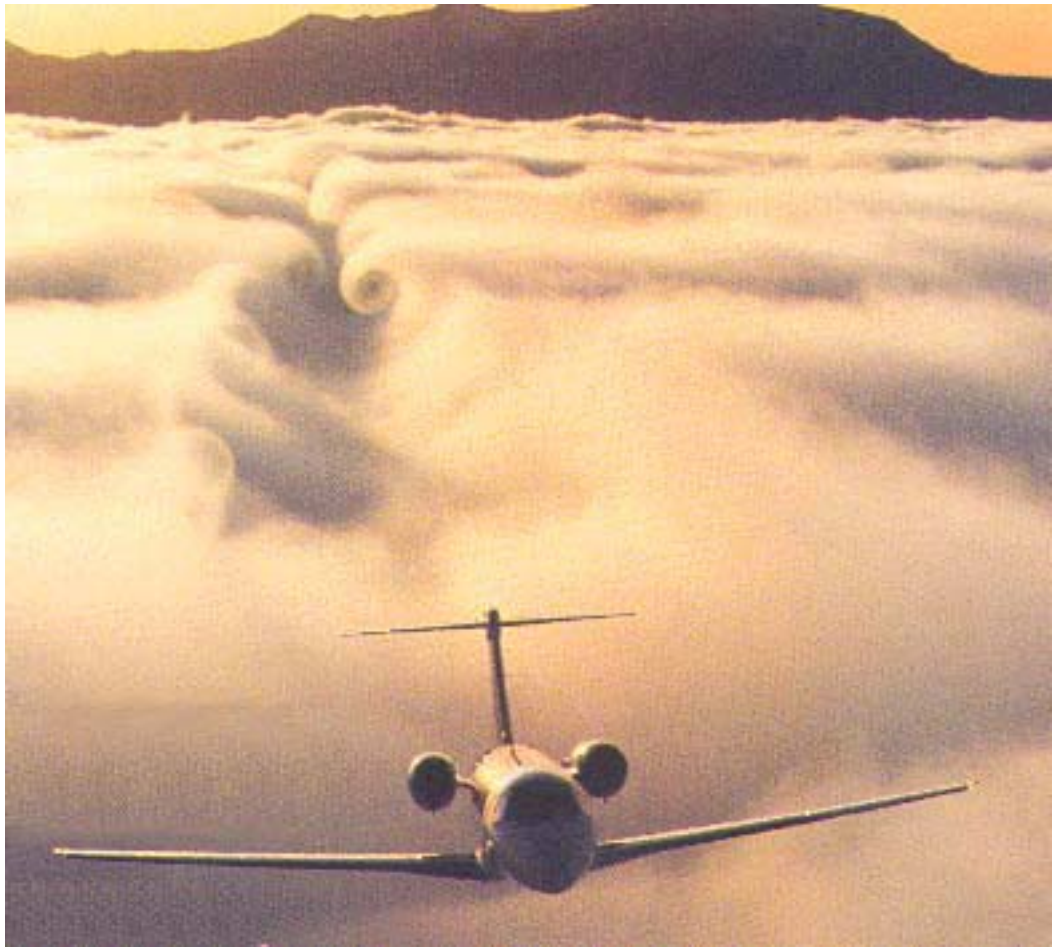
L’instabilité de ces structures de tourbillons à grand nombre de Reynolds conduit à des trajectoires flottantes (qualifiées de *papillons* par les québécois)

Vortex de bout d'aile

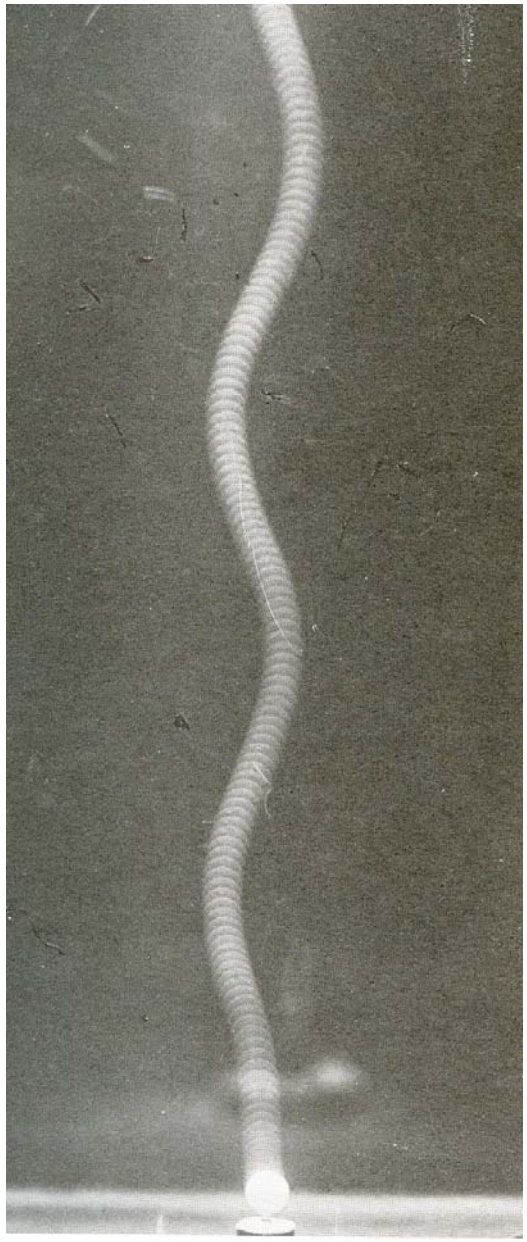
n peut comparer ces deux tourbillons derrière une sphère aux tourbillons de bout d'aile d'un avion



Ce *ce que disent les fluides* p. 82



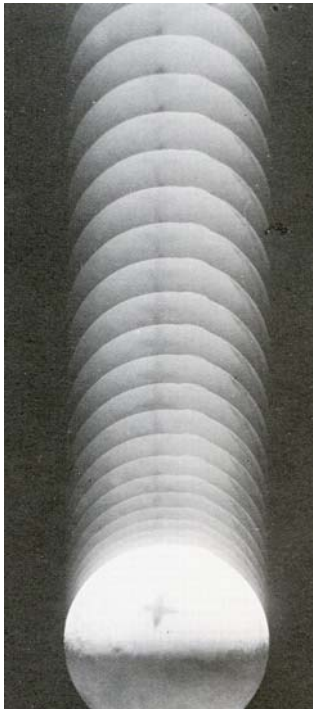
Cessna à 300 km/h



Effet pop off

E. Guyon et al Eur.j.phys. (1984)

Une balle de ping pong lachée sous l'eau monte en zig zag
Et ne ressort pas de l'eau en surface (effet de turbulence)

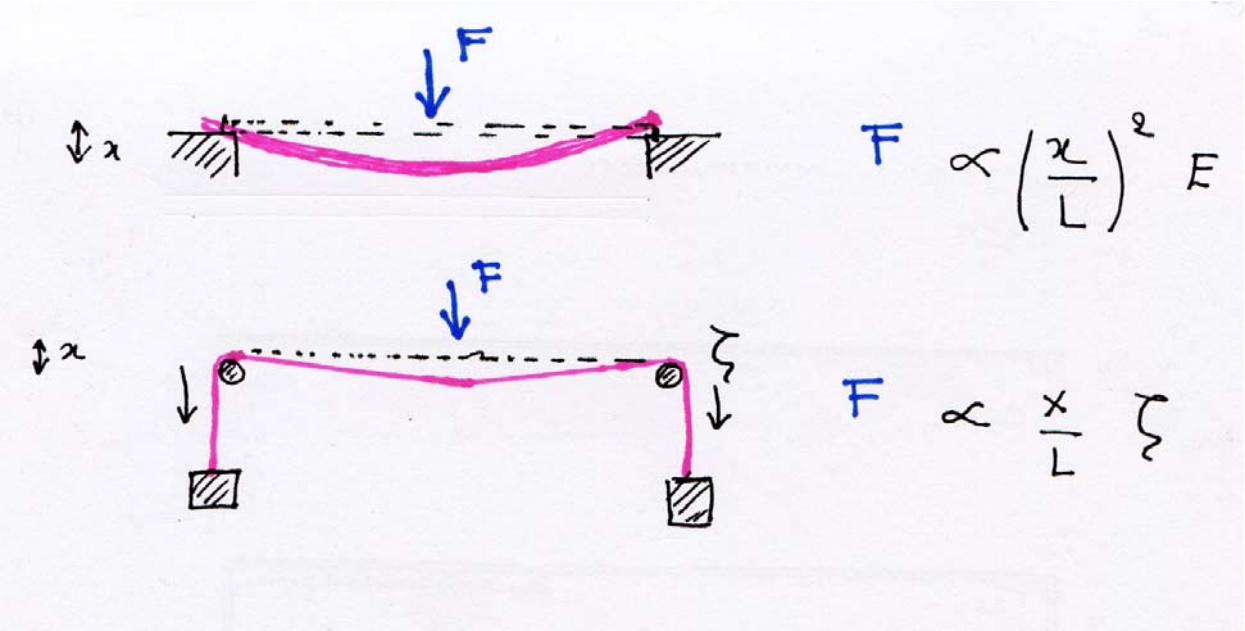


L. de Vinci avait observé et dessiné la trajectoire oscillante d’une bulle montant dans l’eau

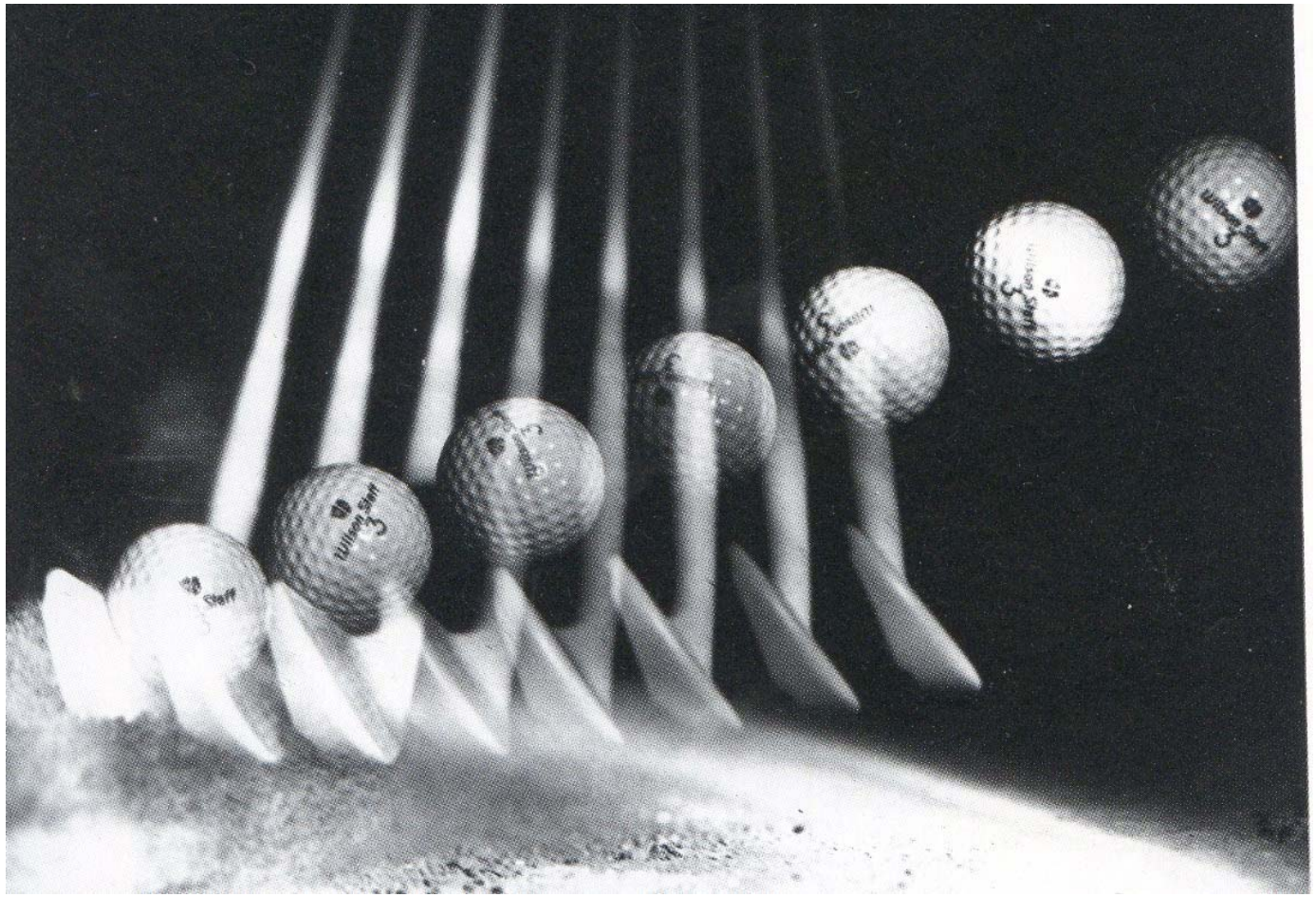
III Les Frappes

13e éd
FÊTE DE

La mécanique de l'impact
: *Balles pleines et balles gonflées*

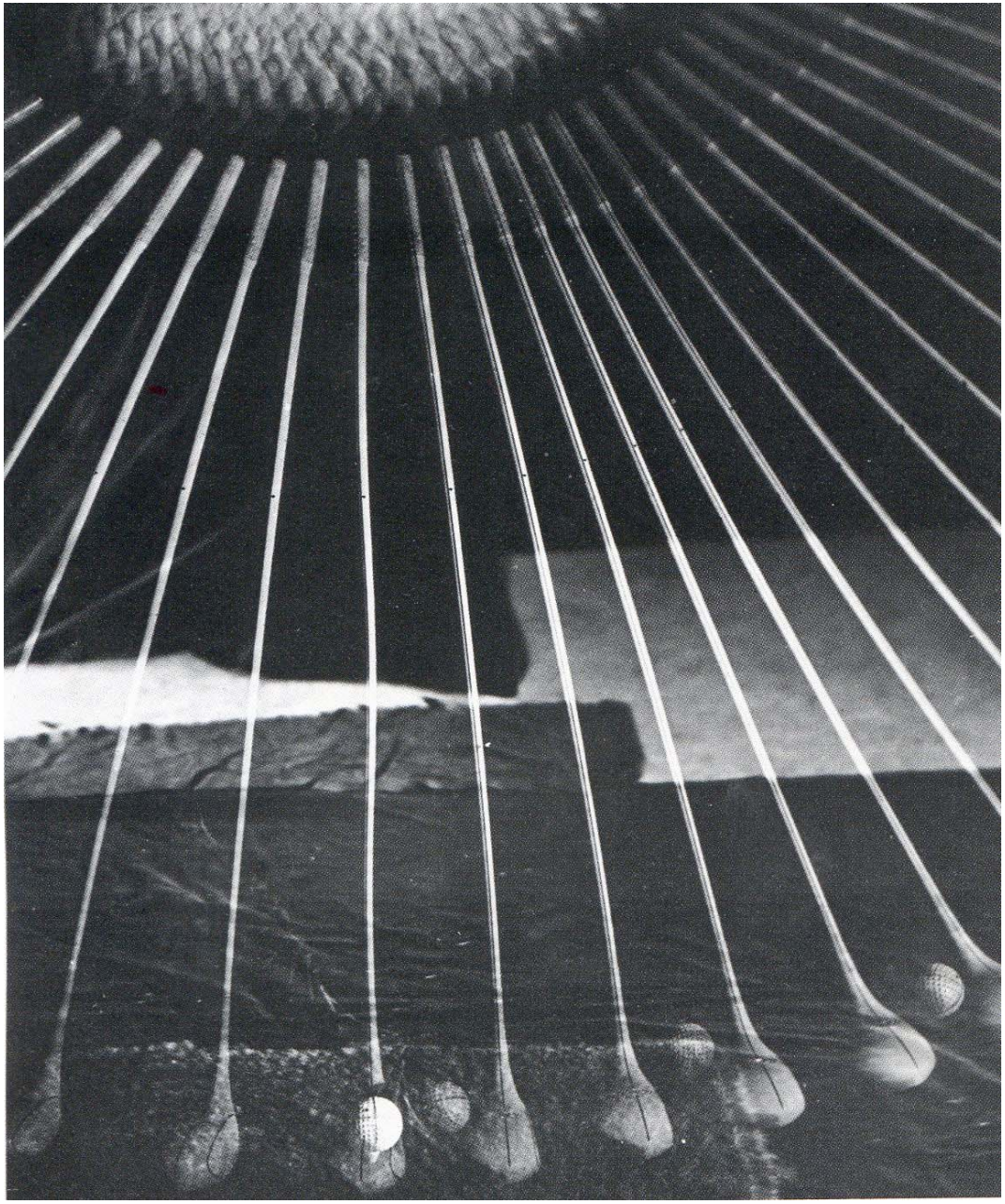


Documents Edgerton moments of vision

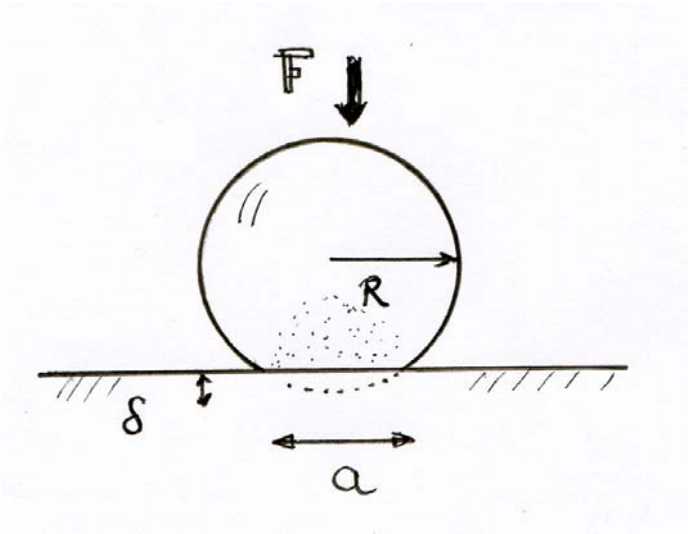


Photos séparées de 1/1000 seconde : la balle tourne sur elle m^me en 4 clichés
Correspond à 250 tours par seconde

2000 (drive) à plus de 10000 tours minutes (ici)



Contact de Hertz (son sujet de thèse)



Argument du à P.G. de Gennes

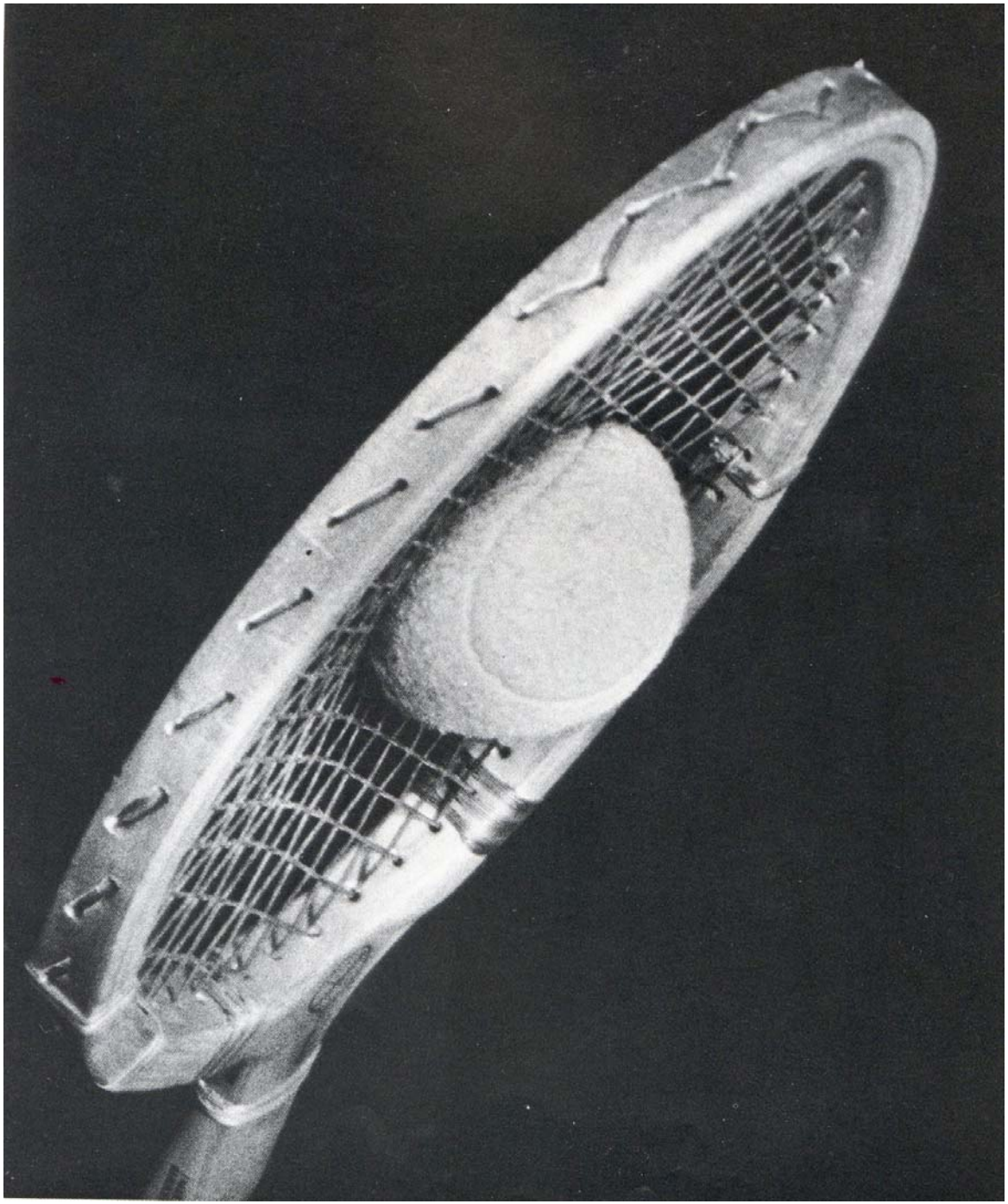
La géométrie impose la condition $\delta.R = a^2$

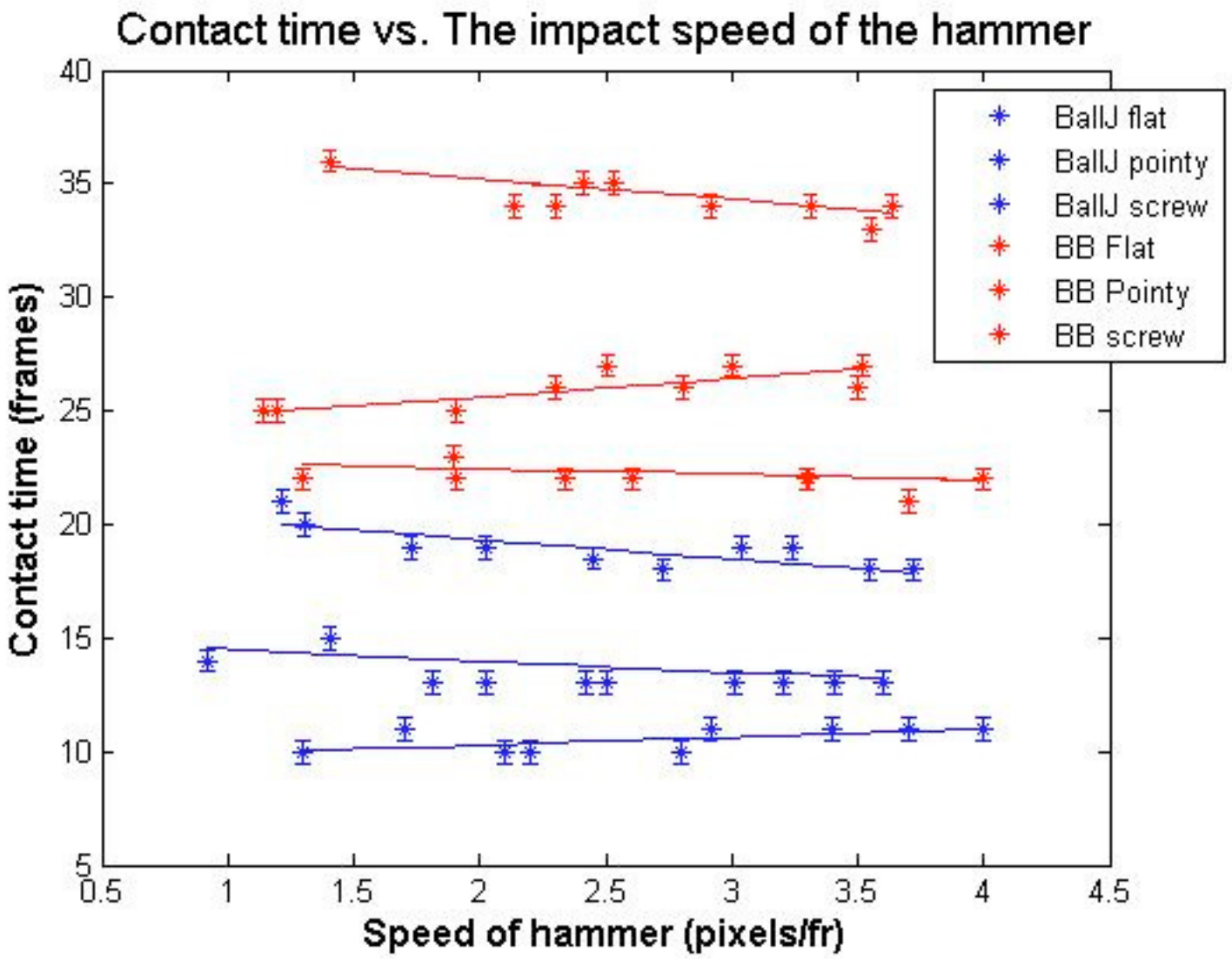
La déformation relative est de l'ordre $\varepsilon = \delta/a$

L'énergie élastique totale est de l'ordre de
$E.\varepsilon^2 V = E.(\delta^2/a^2).a^3 = E.R^{1/2}.\delta^{5/2}$ E est le module d'Young

Par différentiation par rapport à δ , la force de Hertz est de l'ordre
$F = E.R^{1/2}.\delta^{3/2}$

la force de résistance élastique F *augmente plus vite que la déformation* δ





Ballon de foot

Ballon de plage

Vitesse d'impact

Stage R. Movassagh avec C.Clanet (printemps 2008)

Justification d'un temps de contact constant

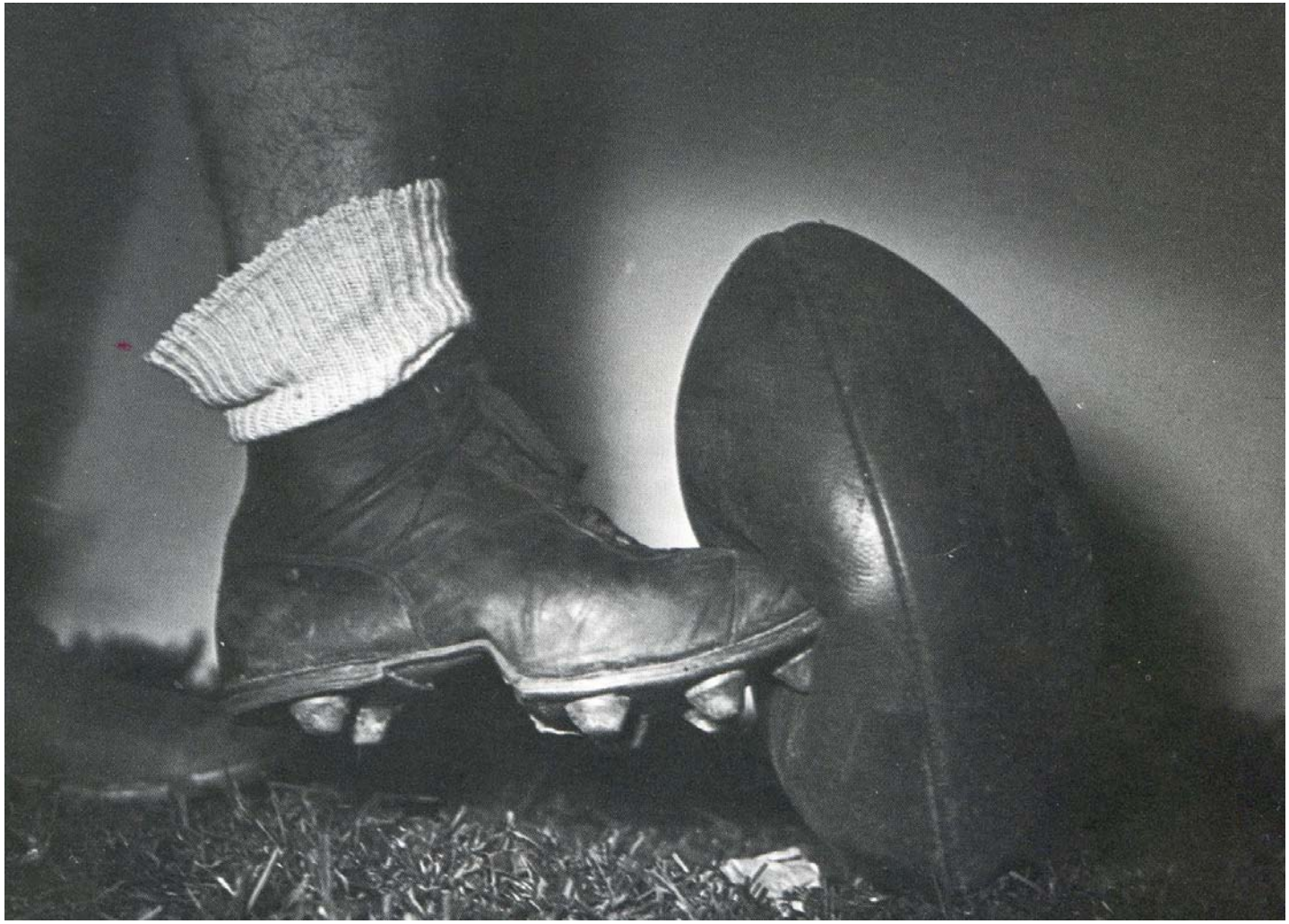
- Conservation de l'énergie

  $K\,\delta x^2 = 1/2\ m\ v^2$

- $\delta x = (K/m)^{1/2}\ v$

- Temps de contact $\delta x / v = (K/m)^{1/2}$

Football americain



- *L’équivalent de cette étude pour les objets non sphériques reste très ouverte*