TD7 : Traînée et portance

Florentin Daniel*, Mathilde Reyssat

1 Comment arrêter une balle de Magnum

Une vidéo surprenante tournée par National Geographic présente un tireur qui met en joue une succession de ballons remplis d'eau avec un Magnum 44. Combien de ballons va-t-il éclater ? La réponse est sur le lien suivant : `https://youtu.be/sqF7abOYCNY`

Quelle force la balle ressent-elle lorsqu'elle pénètre dans l'eau qui remplit les ballons ?
En déduire la dynamique de la balle. Peut-on estimer une longueur d'arrêt ?
Application numérique : la balle a une masse de 20 g, une vitesse initiale de l'ordre de 400 m/s, un rayon de 5 mm.

FIGURE 1 – Combien de ballons remplis d'eau seront nécessaires pour arrêter une balle de Magnum 44 ?

2 Jeu de balles

Tous les jeux de balle sont caractérisés par des trajectoires en cloche. Dans le cas de la pétanque ou du basket-ball, la trajectoire de la balle est très proche d'une parabole. Dans le cas d'un volant de badminton, la trajectoire a plutôt une forme triangulaire qu'a décrit le mathématicien italien Niccolò Tartaglia (Fig2).

Quelle est l'équation du mouvement d'une balle projetée à une vitesse U_0 ?
Quelle est la vitesse terminale U_∞ obtenue lorsque la traînée aérodynamique équilibre le poids de la balle ?
Décrire les deux configurations limites $U_0 \ll U_\infty$ et $U_0 \gg U_\infty$. Commenter les cas de la balle de basket et du volant de badminton.

*florentin.daniel@phys.ens.fr

En s'inspirant de l'exemple de la balle de Magnum stoppée par les ballons, déterminer une longueur d'arrêt ℓ_{max}. Commenter la comparaison de cette longueur avec celle des terrains de jeu (Fig2).
Les piscines de plongeon ont généralement une profondeur de 5 m pour un plongeoir de 10 m de haut. Aurait-on besoin d'augmenter la profondeur de ces piscines pour des compétitions de Red Bull cliff diving de 28m de haut ?

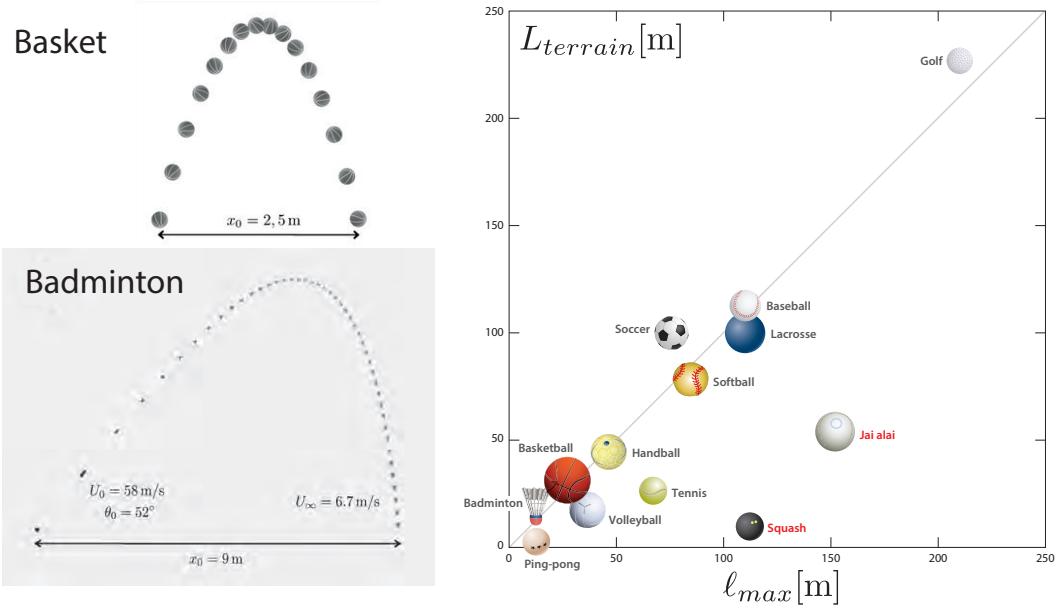

FIGURE 2 – Gauche : Chronophotographies de trajectoires de balles. Parabole décrite par un ballon de basket ($R = 12\,\mathrm{cm}$, $m = 650\,\mathrm{g}$, vitesse initiale $U_0 = 7\,\mathrm{m/s}$, angle initial $\theta_0 = 75°$. Forme triangulaire de type "Tartaglia" suivie par un volant de badminton ($R = 3\,\mathrm{cm}$, $m = 5\,\mathrm{g}$, vitesse initiale $U_0 = 58\,\mathrm{m/s}$, angle initial $\theta_0 = 52°$). Le pas de temps est de 100 ms sur la chronophotographie du basket et 50 ms sur la chronophotographie du badminton. Droite : Longueur des terrains de jeu utilisés dans différents sports en fonction de la distance $\ell_{max} = 2\pi R^2 \rho_f / m$ (pour info, le Jaï alaï est une forme de pelote basque). Données : Caroline Cohen & Baptiste Darbois-Texier.

3 Balistiques de spores

A une toute autre échelle, les champignons doivent libérer leurs spores afin de se disséminer. La plupart des espèces que l'on retrouve dans notre assiette ont développé une technique particulièrement astucieuse pour éjecter leurs spores du support sur lequel ils sont attachés : une catapulte capillaire !

Comment ça marche ? Le spore est initialement fixé sur une tige fragile. Une partie centrale du spore est recouverte d'une substance hydrophile sur laquelle un film d'eau se condense rapidement. Au pied du spore, une goutte de condensation se forme également sur un autre point hydrophile. La goutte croît progressivement et soudain touche le film (Fig3). La coalescence brutale de la goutte sur le film entraîne alors la rupture de la tige et l'éjection du spore.
Données numériques :
- masse du spore $m_S \sim 3.10^{-13}\,\mathrm{kg}$,
- rayon du spore $R_S \sim 3\,\mu\mathrm{m}$,
- masse de la goutte $m_D \sim 5.10^{-14}\,\mathrm{kg}$,
- rayon de la goutte $R_D \sim 2.2\,\mu\mathrm{m}$

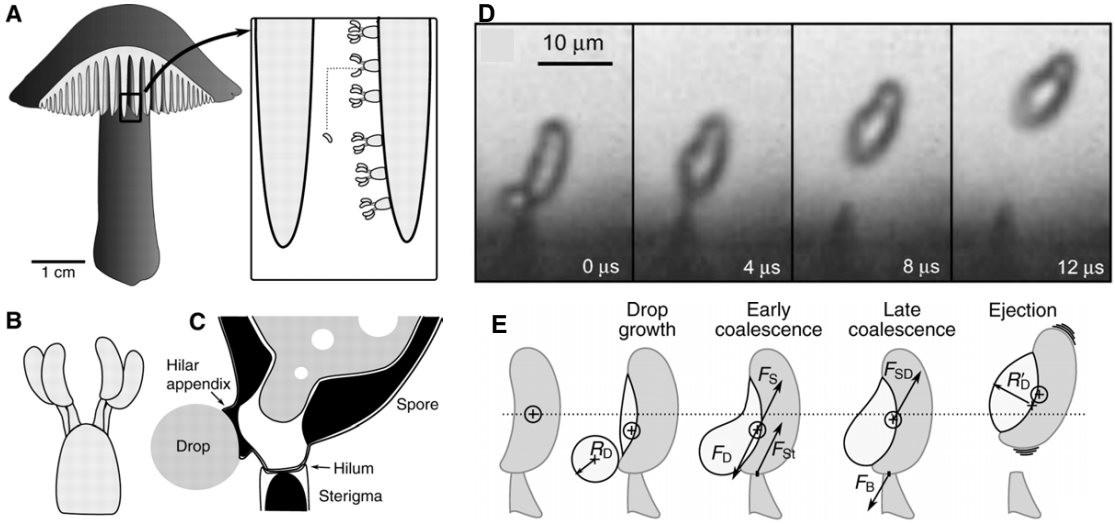

FIGURE 3 – Ejection de spores dans les champignons. Les spores initialement logés dans les lamelles du champignon doivent pouvoir s'éjecter afin de se disperser. Il utilisent pour cela un mécanisme de catapulte capillaire qui met en jeu la coalescence d'une goutte d'eau sur un film d'eau présent sur le spore. Seule une caméra ultrarapide a pu capturer la dynamique de cette éjection à 250 000 images/s (extrait de X.Noblin *et al.*, J. Experimental Biology, 212. 2835 (2009)).

Sachant que lors de la coalescence la goutte de rayon R_D s'étale dans le film déjà présent sur le spore, quel est le gain en énergie de surface ?
En déduire une estimation de la vitesse d'éjection du spore.
L'application numérique est-elle comparable à vitesse déduite des images de la vidéo ?

Quelle est alors la dynamique du spore ?
A quelle distance de son point d'attache le spore est-il éjecté ?

4 Ça plane pour moi

Certains oiseaux marins comme les albatros sont d'excellents planeurs (Fig5). Néanmoins s'il n'a pas de moyen de se propulser, le planeur, aussi optimisé soit-il, finit inexorablement par rejoindre le sol.

En supposant que l'angle d'attaque soit idéalement ajusté et que la contribution des forces aérodynamiques sur le corps du planeur soient négligeables, quel est l'angle de chute dans le cas le plus favorable ?
Quelle est la vitesse de translation du planeur ?
Application numérique pour l'aile illustrée Fig4 pour un planeur de masse 500 kg (avec pilote à bord) et une surface ailaire de $15\,\mathrm{m}^2$.

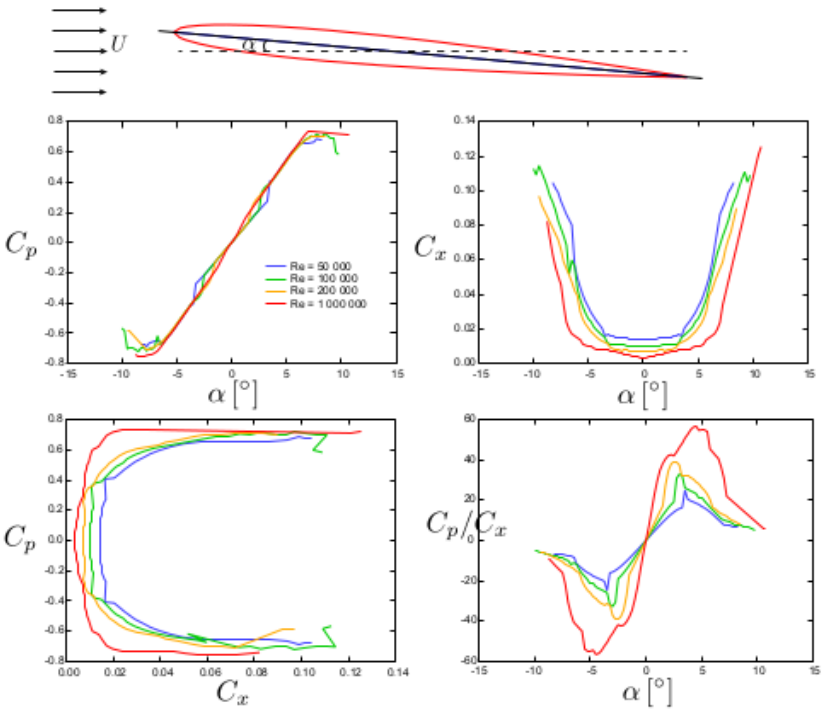

FIGURE 4 – Polaires obtenues numériquement pour un profil d'aile symétrique NACA-6 à différents nombres de Reynolds. On peut observer la linéarité de C_p avec α pour des incidences modérées et le décrochement au-delà d'un angle dincidence supérieur à $7 - 8^o$. La symétrie de cette aile impose la symétrie des profils, mais il existe bien d'autres profils non symmétriques dont on peut visualiser les caractéristiques sur le site : http://airfoiltools.com/

FIGURE 5 – Planeur et albatros. On remarquera l'élancement remarquable de leurs ailes.