Machine d'ATWOOD

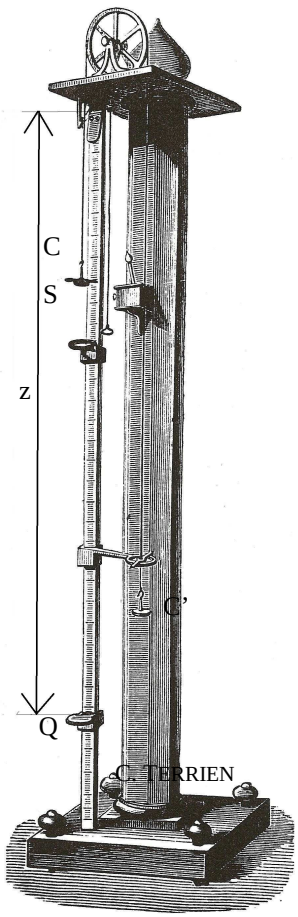
Fonction

➢ **Didactique**. Etude du mouvement d'un système mobile reproduisant la chute de corps au ralenti.

➢ Inventée en 1784 mais introduite dans l'enseignement français après la réforme de l'enseignement scientifique de 1902. Pendant plusieurs décennies, jusqu'au milieu des années 1970, les générations successives des lycéens français des classes terminales scientifiques ont donc eu affaire à la machine d'ATWOOD, en démonstration pendant les cours, en manipulation pendant les séances de travaux pratiques et surtout au travers de nombreux problèmes et exercices à résoudre, avec pour objectif la compréhension et l'assimilation des bases fondamentales de la Dynamique*. Elle a été délaissée à partir du moment où les capteurs optiques électroniques sont entrés dans les salles d'expériences.

ATWOOD *George (1745 ?-1807) : mécanicien et physicien anglais, titulaire de la chaire de chimie de Cambridge.*

Description



➢ L'appareil est constitué par une **poulie** très légère et très mobile, d'axe horizontal et située au sommet d'une colonne reposant sur un socle très stable. Un fil fin, qui porte deux **cylindres** identiques C et C' de même masse M se faisant équilibre dans toutes les positions, s'enroule dans la gorge de la poulie.

L'une des deux masses, C, se déplace le long d'une règle graduée sur laquelle peuvent être fixés à des hauteurs variables deux **curseurs**, l'un **à plateau**, l'autre **à anneau**. Des **surcharges** de même diamètre que les cylindres peuvent traverser le curseur à anneau et des surcharges à ailettes sont arrêtées par celui-ci.

Expériences

➢ **La loi des espaces.**

Une surcharge S, de masse m, placée sur C entraîne le mouvement du système de la position de départ jusqu'au choc de C sur le curseur à plateau Q. Un métronome permet de mesurer le temps du mouvement : il est en effet possible de faire coïncider le déclenchement de la chute avec un battement, le contact de C avec Q coïncidant avec le deuxième, ou troisième … battement. Après plusieurs mesures correspondant à des positions différentes du

curseur et donc à des durées de chute t de 1, 2, 3… secondes, on constate que les espaces parcourus z sont approximativement égaux à 4, 9… fois l'espace parcouru pendant la première seconde c'est-à-dire que les distances z sont proportionnelles aux carrés des temps.

Ou encore, même si les incertitudes de mesure du temps sont assez importantes, on peut écrire la relation entre z et t sous la forme, γ étant une constante : $z = \frac{1}{2}.\gamma.t^2$. On peut même en déduire une valeur expérimentale, γ_{exp}, de l'accélération. Un tel mouvement rectiligne à accélération constante est dit uniformément accéléré.

➢ La relation fondamentale de la Dynamique.

❖ En réalité, la machine d'Atwood n'est pas un appareil simple car d'une part le système (C, C', S) est déformable, chacune de ses parties effectuant une translation, d'autre part la poulie est mise en rotation autour de son axe avec d'inévitables – même s'ils sont faibles – frottements. L'étude se simplifie considérablement si l'on néglige la masse de la poulie et les frottements, ce qui n'est pas déraisonnable compte tenu des précautions prises lors de la construction : jante de la poulie très mince portée par des rayons très fins, dispositifs particuliers pour réduire les frottements.

❖ Force constante.

On montre théoriquement que pour une telle machine « idéale », tout se passe comme si les trois solides C, C' et S constituaient un seul corps de masse $2M + m$ entraîné dans une translation rectiligne sous l'effet d'une force égale au poids $m.g$ de la surcharge ou encore que l'accélération γ_{th} est telle que : $(2M+m)\gamma_{th} = m.g$, g étant l'accélération de la pesanteur du lieu de l'expérience. On reconnaît là la **relation fondamentale de la Dynamique que l'on vérifie ainsi indirectement**, **dans le cas où la force est constante**, en s'assurant que la valeur théorique γ_{th} est pratiquement égale au résultat expérimental γ_{exp}.

Si par exemple M = 240 grammes et m = 20 grammes on trouve que :

$\gamma_{th} = \frac{m.g}{(2M+m)} = \frac{g}{25}$. Le mouvement est bien faiblement accéléré et il peut être étudié plus facilement que la chute libre.

❖ Proportionnalité des accélérations aux forces motrices.

Si on dispose sur C un jeu de 6 surcharges identiques de masse m, la force motrice devient égale à 6 $m.g$, alors que la masse entraînée est $2M + 6m$. En conservant le mode opératoire précédent, on trouve une valeur expérimentale γ de l'accélération. Si on recommence l'expérience en transférant une surcharge de C sur C', à la nouvelle force motrice $4\ m.g$, alors que la masse totale n'a pas changé, il correspond une nouvelle valeur

expérimentale de l'accélération notée γ'. De même, après le transfert d'une autre surcharge de C sur C', l'accélération due à la force *2 m.g* devient γ''. On observe alors que :

$\frac{\gamma''}{2} = \frac{\gamma'}{4} = \frac{\gamma}{6}$, ce qui traduit la proportionnalité des accélérations aux forces et constitue une nouvelle vérification indirecte de la relation fondamentale de la Dynamique.

- **Le principe d'inertie.**

Si l'on refait l'expérience précédente en utilisant une surcharge à ailettes, le cylindre C traverse le curseur à anneau avec une vitesse déterminée alors que la surcharge est retenue. Désormais la force motrice est nulle mais le mouvement, bien sûr, se poursuit. On constate que les espaces parcourus dans des temps successifs égaux sont égaux, c'est-à-dire que le mouvement est rectiligne et uniforme conformément au principe d'inertie.

- **La loi des vitesses.**

Le curseur évidé est placé en un point déterminé par les expériences précédentes et tel que le corps C surmonté, d'une masse additionnelle à ailettes, le traverse après une seconde de chute en abandonnant la surcharge. On cherche ensuite, comme précédemment, la position du curseur plein telle que le mouvement devenu uniforme dure une seconde. La distance entre les deux curseurs est alors numériquement égale à la vitesse du mouvement uniforme ou encore la vitesse du mouvement varié précédent au moment du passage à travers le curseur évidé. Cette méthode permet donc de mesurer la vitesse du corps C à la hauteur du curseur évidé après, comme on vient de le faire une seconde de chute, mais aussi en renouvelant la manipulation, après 2, 3… secondes. On vérifie ainsi que les distances mesurées entre les curseurs évidé et plein, numériquement égales aux vitesses du mouvement accéléré après 2, 3… secondes de chute, sont égales à 2, 3… fois cette même distance après une seconde de chute.

Les vitesses sont bien proportionnelles aux temps. Il s'agit là d'une deuxième confirmation de la nature uniformément accélérée du mouvement de chute libre dans le vide.

Phénomènes ou lois physiques mis en jeu :

- **Pesanteur** ; **principe fondamental de la Dynamique** et l'une de ses conséquences : **principe d'inertie**.

* La Dynamique est l'étude des mouvements des corps en relation avec les forces qui s'exercent sur eux.