

REPERES GALILEENS ET ETOILES FIXES

Ce propos n'a pas la prétention de reprendre les hypothèses de base de la mécanique classique, mais simplement d'évoquer la détermination de la direction des axes d'un référentiel galiléen.

En effet, de nombreux ouvrages de physique, lorsqu'ils traitent cette question, font allusion à des repères astronomiques. En voici trois exemples qui vont permettre de situer le problème.

1- De l'Encyclopédie Bordas (Astronomie):

"Imaginons une chambre rigoureusement en forme de cube; la position d'un point M à l'intérieur de cette pièce est parfaitement déterminée si nous connaissons la distance qui sépare le point M du plancher et des deux murs choisis arbitrairement comme murs repères; on peut aussi définir ce repère par les trois arêtes du cube considéré (référentiel). Toute description du lieu où se produit un événement doit avoir aussi son référentiel. Pratiquement on le définit par certaines conventions: par exemple O est le centre de la Terre, Oz la direction verticale, Ox et Oy orthogonales à Oz. Si nous adoptons un tel référentiel nous allons rencontrer une difficulté: en raison de la rotation de la Terre sur elle-même, la droite Oz balaye en 23h 56min un vaste cercle; il en sera de même des autres directions Ox et Oy. Un tel référentiel ne peut convenir car il fait effectuer aux étoiles dites fixes un mouvement de rotation; or les étoiles fixes qui sont très éloignées les unes des autres et pratiquement à l'abri de toute attraction mutuelle, sont des corps auxquels s'appliquent, avec une grande précision, la loi fondamentale dite de l'inertie et qui peut s'exprimer ainsi: un corps suffisamment éloigné d'autres corps ne peut être qu'en repos ou en mouvement rectiligne uniforme. Ce principe fondamental doit être respecté et, pour cela, il faut se donner un référentiel tel que, par rapport à lui, les étoiles fixes n'effectuent aucun mouvement, sinon rectiligne et uniforme. Finalement on choisira un système de coordonnées dont l'état de mouvement reste compatible avec le principe de l'inertie. Un tel système est dit système de coordonnées galiléen. Il pourra être figuré, par exemple, par quatre étoiles fixes, l'une figurant le point O et les trois autres les directions Ox, Oy et Oz. Par rapport à un tel référentiel, les lois de la physique classique sont valables".

2- Du Cours de Physique : Mécanique I (Dévoré et Rivaud):

"Les lois de la dynamique et par suite de la statique sont valables par rapport à un repère galiléen. Le centre du Soleil (de façon plus précise le centre du système solaire) et trois directions joignant ce point à des étoiles fixes constituent un tel repère."

3- Du traité de Mécanique Physique (Fleury et Mathieu)

"... A première vue, il paraîtrait naturel de choisir un système de référence lié à la Terre; mais il se trouve que les lois de la dynamique ont une forme plus simple si les mouvements sont rapportés à des systèmes galiléens. On appelle ainsi des systèmes d'orientation constante par rapport aux étoiles fixes."

On en arrive donc toujours à ce repère lié aux étoiles fixes. D'où l'inévitable question que les professeurs de physique posent aux astronomes dès qu'une occasion se présente:

- Quels sont les noms des étoiles fixes qui servent effectivement à définir le repère galiléen ?

Pour répondre à cette question revoyons quels sont les principaux mouvements connus dans l'Univers.

a) Le mouvement diurne (rotation de la Terre sur elle-même). Un point au repos à la surface de la Terre subit une accélération centripète donnée par

$$\gamma_T = \omega^2 R_T$$

La Terre (rayon $R_T = 6,4 \cdot 10^6 \text{ m}$) tourne de 2π radians en $\sim 8,6 \cdot 10^4 \text{ s}$

$$\gamma_T = (2\pi / 8,6 \cdot 10^4)^2 \times 6,4 \cdot 10^6 \sim 0,034 \text{ m s}^{-2}$$

Bien que faible par rapport à l'accélération de la pesanteur ($g = 9,8 \text{ m s}^{-2}$) c'est une partie importante de la variation de cette accélération g entre le pôle Nord et l'équateur (le reste étant dû à l'aplatissement de la Terre aux pôles). Cette accélération centripète n'en est pas moins significative lorsqu'on s'intéresse à la déviation d'un pendule de Foucault ou encore à la déviation vers l'Est lors de la chute des corps.

b) L'accélération de la Terre sur son orbite autour du Soleil est un ordre de grandeur plus petite que la précédente: la Terre parcourt son orbite (rayon: $1,5 \cdot 10^{11} \text{ m}$) en un an:

$$\gamma_S = \left(\frac{2\pi}{365 \times 24 \times 60 \times 60} \right)^2 \times (1,5 \cdot 10^{11}) \sim 6 \cdot 10^{-3} \text{ m s}^{-2}$$

c) Le Soleil fait partie de la Galaxie, ensemble de plusieurs dizaines de milliards d'étoiles liées entre elles par gravité. On a pu déterminer, à

partir du déplacement Doppler des raies spectrales, que la vitesse du Soleil par rapport au centre de la Galaxie est environ $2,7 \times 10^5 \text{ m s}^{-1}$. Si le Soleil est sur une orbite circulaire autour du centre de la Galaxie qui se trouve à une distance approximative de 32 000 a.l. ($3 \times 10^{20} \text{ m}$) alors l'accélération du Soleil autour du centre galactique est :

$$\gamma_G \sim 2,4 \times 10^{-10} \text{ m s}^{-2}$$

C'est une valeur très petite, mais toutes les étoiles de la Galaxie effectuent un mouvement analogue. La rotation de la Galaxie est différentielle et, au voisinage du Soleil, la période de révolution est d'environ 225 millions d'années.

d) Notre Galaxie fait partie du Groupe Local, ensemble de quelques dizaines de galaxies, liées par gravitation; aussi le centre de la Galaxie subit-il certainement une accélération, celle-ci étant toutefois difficile à déterminer expérimentalement.

e) Enfin, les observations du décalage vers le rouge (redshift) pour les spectres des galaxies lointaines nous indiquent que celles-ci s'éloignent du Groupe Local de galaxies à une vitesse proportionnelle à leur distance (loi de Hubble).

Ainsi, dans cet Univers en mouvement il paraît difficile d'aller "accrocher" un repère galiléen à l'une ou l'autre de ces milliards d'étoiles. Cependant, revenons un peu sur Terre et considérons plutôt le degré de précision requis pour telle ou telle expérience; très souvent on pourra, avec une excellente approximation, considérer les axes terrestres comme galiléens (par exemple dans le cas d'une expérience sur table soufflante). Dans les vols spatiaux, les positions des satellites ou des sondes sont repérées par rapport à des étoiles, qui, bien que pourvues d'un mouvement propre, permettent par exemple dans le cas de la sonde Voyager I de passer près de Saturne à moins d'un kilomètre de la trajectoire calculée, après un voyage de plus d'un milliard et demi de km.

J. Dupré