

## Chapitre Deux

### DIFFICULTÉS DE LA MÉCANIQUE NEWTONNIENNE

**1. Vitesse des particules.** -La Mécanique newtonnienne implique l'existence de vitesses aussi grandes qu'on veut pour les particules de matière. En effet, quelle que soit la vitesse  $\bar{v} > 0$  considérée pour une particule dans le référentiel  $\bar{\mathcal{R}}$ , elle sera plus grande dans le référentiel  $\mathcal{R}$  :  $v = \bar{v} + V$  ; or les lois de la mécanique étant les mêmes dans  $\mathcal{R}$  et dans  $\bar{\mathcal{R}}$ , une particule peut donc se déplacer à la vitesse  $v > \bar{v}$  dans  $\bar{\mathcal{R}}$ . Cependant l'expérience montre aussi bien en ce qui concerne les accélérateurs de particules que les rayons cosmiques qu'aucune particule de matière ne peut aller plus vite que la vitesse de la lumière.

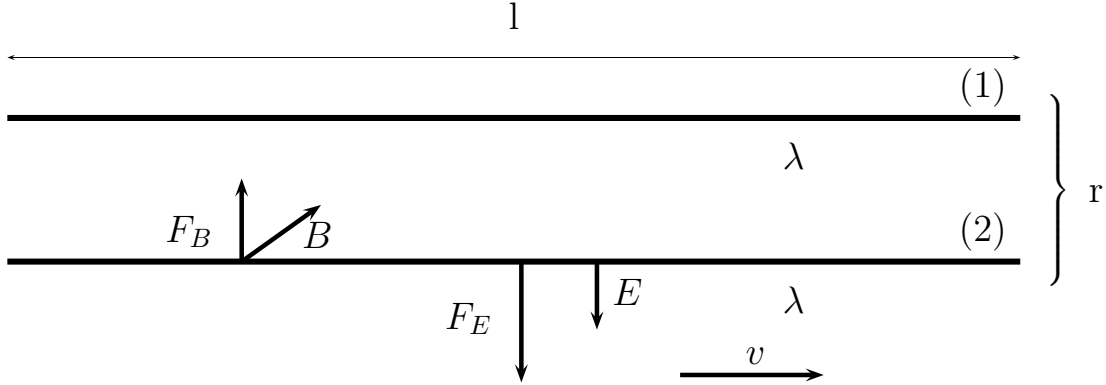
**2. Le problème de l'électromagnétisme.** -Les lois de la mécanique sont covariantes par la transformation de Galilée; cela veut dire que les équations sont les même dans deux référentiels différents, même si les variables peuvent prendre des valeurs différentes. Ainsi l'équation  $v = cte$  pour une particule libre dans  $\mathcal{R}$  s'écrit  $\bar{v} = cte$  dans  $\bar{\mathcal{R}}$ ;  $v \neq \bar{v}$  mais les deux équations sont identiques. Les équations de Maxwell ne sont pas covariantes par la transformation de Galilée; si elle sont vraies dans un référentiel elles sont fausses dans un autre. Cela se voit tout de suite lorsque l'on sait quelles impliquent l'existence d'ondes dont la lumière fait partie se propageant à la vitesse :

$$C = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}}$$

$\varepsilon_0$  et  $\mu_0$  étant mesurés par des expériences d'électrostatique et de magnétostatique. Cela implique en particulier que la vitesse de la lumière est la même dans toutes les directions. Mais si cela est vrai dans  $\bar{\mathcal{R}}$ , cela ne peut être vrai dans  $\mathcal{R}$  avec  $C = \bar{C} + V$ . L'expérience de Michelson et Morley a vérifié que la vitesse de la lumière est une constante universelle et ne dépend pas du référentiel. Remarquons que la covariance des lois de l'électromagnétisme correspond à une nécessité de simplicité : on voit mal les appareils électriques sur Terre fonc-

tionner différemment en janvier et en juillet, ou midi et minuit ( voir § 1 du chapitre 3 ).

**3. Expérience des deux barres.** -Pour illustrer sur un exemple concret la non covariance des équations de l'électromagnétisme, envisageons l'expérience de pensée suivante (fig. 2.1) : deux barres parallèles infinies (1) et (2) chargées d'électricité statique avec la densité linéique  $\lambda > 0$  à la distance  $r$  l'une de l'autre, sont immobiles dans  $\bar{\mathcal{R}}$ . Calculons la force subie par un élément de longueur  $l$  de la barre (2) (nous notons ici  $v$  la vitesse de  $\bar{\mathcal{R}}$  par rapport à  $\mathcal{R}$ ) :



**Fig. 2.1**

Soit  $\mathbf{E}$  le champ électrique créé par la barre (1) en un point de la barre (2) (idem  $\mathbf{B}$ ). Le théorème de Gauss donne :

$$2\pi r l E = \frac{\lambda l}{\epsilon_0} \Rightarrow E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r}$$

$$F_{\bar{\mathcal{R}}} = F_E = qE = \frac{\lambda^2 l}{2\pi\epsilon_0 r}$$

$F_E$  est une force répulsive. Dans  $\mathcal{R}$ ,  $F_E$  reste la même, mais les charges en mouvement correspondent un courant  $I = \rho v S = \lambda v$  car  $\lambda = \rho S$ ; le théorème d'Ampère donne :

$$2\pi r B = \mu_0 I \Rightarrow B = \frac{\mu_0 \lambda v}{2\pi r}$$

$$F_B = I B l = \frac{\lambda v \mu_0 \lambda v l}{2\pi r} = \frac{\mu_0 \lambda^2 v^2 l}{2\pi r}$$

$F_B$  est attractive. La force totale vaut :

$$F_{\mathcal{R}} = \frac{\lambda^2 l}{2\pi\epsilon_0 r} - \frac{\mu_0 \lambda^2 v^2 l}{2\pi r}$$

$F_{\mathcal{R}} \neq F_{\bar{\mathcal{R}}}$ , en contradiction avec l'invariance de la force en mécanique newtonienne.

Ainsi, nous avons supposé que les équations de l'électromagnétisme sont vraies dans  $\mathcal{R}$  et dans  $\bar{\mathcal{R}}$  et nous sommes arrivé à une contradiction avec la Mécanique newtonienne.