



**HAL**  
open science

## SUR LE PRINCIPE DE MACH

D. Sciama

► **To cite this version:**

D. Sciama. SUR LE PRINCIPE DE MACH. Journal de Physique Colloques, 1973, 34 (C7), pp.C7-33-C7-34. 10.1051/jphyscol:1973705 . jpa-00215351

**HAL Id: jpa-00215351**

**<https://hal.science/jpa-00215351>**

Submitted on 4 Feb 2008

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## SUR LE PRINCIPE DE MACH

D. W. SCIAMA

University Observatory, Oxford, GB

**Résumé.** — Le principe de Mach est encore sujet à controverse. Cependant, il y a eu pendant ces dernières années deux développements significatifs sur lesquels porte cette communication. Le premier relève de l'observation, le second est de nature théorique. L'étape nouvelle sur le plan de l'observation est un gain par six ordres de grandeur dans la précision avec laquelle on peut affirmer qu'un système inertiel local de référence est dépourvu de rotation par rapport à l'Univers entier. Le développement théorique récent consiste en une nouvelle méthode d'approche pour le problème du choix des conditions aux limites pour les équations du champ d'Einstein en Relativité Générale, permettant d'insérer le principe de Mach d'une façon rigoureuse.

La raison pour laquelle on dispose d'une plus grande précision dans la comparaison des rotations du système inertiel local avec un système global est la possibilité de mesurer le mouvement de la Terre par rapport au rayonnement du corps noir universel à 3 K. Les observations actuelles permettent simplement d'obtenir une limite supérieure de 300 km/s pour ce mouvement, mais ceci est suffisant pour donner une limite supérieure de  $10^{-6}$  s d'arc par siècle pour toute rotation de l'Univers par rapport au système inertiel de référence local. On explique en quoi ceci est un fort argument empirique en faveur du principe de Mach.

Le développement théorique découle de la découverte récente qu'une fonction de Green retardée peut être définie pour les équations du champ en dépit de la non-linéarité des équations d'Einstein. Ceci rend possible une expression rigoureuse du principe de Mach en Relativité Générale.

La relativité restreinte affirme l'équivalence entre les repères inertiels en translation uniforme les uns par rapport aux autres. Dans ceux-ci un corps d'épreuve, non soumis à une force, se déplace d'un mouvement uniforme, en ligne droite.

Le philosophe Berkeley, le physicien Mach puis Einstein se sont posés la question de savoir s'il existait réellement un espace absolu ou si, les positions relatives et les vitesses des différentes masses contenues dans l'Univers ne déterminaient pas à elles seules le comportement dynamique de la matière libre.

Il faut trouver alors un principe physique qui explique pourquoi la force centrifuge s'annule dans les repères galiléens et non pas dans un autre système en rotation par rapport à ces derniers. Ce principe connu sous le nom de « *principe de Mach* » est que les repères galiléens sont privilégiés en ce sens que l'ensemble des masses de l'Univers est dépourvu de rotation par rapport à eux alors que dans tous les autres repères l'ensemble des masses de l'Univers serait doué de rotation.

En d'autres termes, en l'absence d'espace absolu, l'origine de l'inertie et de la force centrifuge devrait être recherchée dans une interaction à longue portée avec l'ensemble des masses de l'Univers.

La relativité générale a permis d'essayer de retrouver le principe de Mach à partir des équations d'Einstein. Malheureusement, la non-linéarité de ces équations rend le problème difficile. En gros, si la métrique au voisinage d'un point  $A$  dépend substantiellement des conditions aux limites du système différentiel, alors ces conditions aux limites équivalent à restaurer

un espace absolu. Si, au contraire, la solution en  $A$  ne dépend plus des conditions aux limites lorsque les limites sont suffisamment reculées, alors le principe de Mach peut être intégré dans la théorie.

Deux résultats nouveaux, l'un dérivé de l'observation, l'autre théorique, accroissent les chances de validité de principe de Mach.

Le premier résultat, dérivé de l'observation, est que l'absence de rotation des repères inertiels par rapport aux galaxies lointaines, déjà connu avec une précision correspondant à celle de la rotation galactique ( $1/2''$  par siècle, avec une erreur en plus égale à 10 %) peut maintenant être affirmée avec une précision supérieure de 5 ordres de grandeur grâce à la découverte du rayonnement cosmologique à 3 K.

Supposant que l'on voit le rayonnement cosmologique à une distance  $R$  correspondant au dernier processus de diffusion Thomson du photon, on peut trouver une limite supérieure de  $R\omega$ , où  $\omega$  est la vitesse angulaire de rotation du repère par rapport à l'Univers.

Cette limite supérieure résulte de l'effet Doppler que l'on observerait sur le rayonnement du corps noir cosmologique.

Des mesures dans différentes directions faites par plusieurs radio-astronomes [1] permettent de conclure que cet effet Doppler est inférieur à 300 km/s et que  $\omega$  est inférieur à une révolution en  $10^{14}$  ans [2]. Bien que ne constituant pas une preuve du principe de Mach, cette observation accroît les chances qu'il y ait un lien physique entre l'inertie et le contenu de l'Univers.

Le deuxième résultat, d'essence théorique, est qu'il paraît possible [3], [4], [5] de clarifier la formulation du principe de Mach en Relativité Générale.

Si l'on cherche à résoudre les équations déterminant le tenseur métrique par une fonction de Green appropriée on peut mettre ce tenseur sous la forme d'une somme de deux intégrales :

$$g^{ij}(x) = 2K \int_{\Omega} G_b^{ija'} \left( T_{a'}^{b'} - \frac{1}{2} T_{c'}^{c'} \delta_{a'}^{b'} \right) \times \\ \times (-g(x'))^{1/2} d^4x' + \int_{d\Omega} G_a^{ija'} ; \sigma' [-g(x')]^{1/2} ds_{\sigma'}$$

dont la deuxième correspond aux conditions limites. Jusqu'à présent on considérait que la deuxième inté-

grale devait s'annuler lorsque le volume  $V$  augmente indéfiniment pour que le principe de Mach soit satisfait. Raine [6] a montré que des conditions moins strictes permettaient de satisfaire le principe de Mach.

On peut donc dire que le principe de Mach a aussi gagné du terrain sur le plan théorique.

Pour fixer les idées sur l'entraînement du repère inertiel par des masses en rotation, on peut citer le cas des étoiles à neutrons où la rotation de l'étoile entraîne une rotation du repère inertiel en pôle de l'ordre de 10 % de la vitesse de rotation de l'étoile soit plusieurs tours par seconde.

Notre propre galaxie ne contribue que dans une proportion de l'ordre de  $10^{-6}$  à la définition du repère inertiel auquel nous rapportons son mouvement.

### Bibliographie

- [1] SCIAMA, D. W., *Modern Cosmology* (Cambridge) 1971 Chapter 16.  
 [2] COLLINS, C. B. and HAWKING, S. W., *Mon. Not. Roy. Astr. Soc.* **162** (1973) 307.  
 [3] ALTSHULER, B. L., *Sov. Phys. J. ETP* **24** (1967) 766 ; **28** (1969) 687.  
 [4] LYNDEN-BELL, D., *Mon. Not. Roy. Astr. Soc.* **135** (1967) 413.  
 [5] SCIAMA, D. W., WAYLEN, P. C. and GILMAN, R. C., *Phys. Rev.* **187** (1969) 1762.  
 [6] RAINE, D. J., to be published.