COSMOLOGIE. — *Univers en interaction avec leurs images dans le miroir du temps.*

Note (*) de **Jean-Pierre Petit**, présentée par M. André Lichnerowicz.

Une analyse newtonienne conduit à des modèles d'univers en interaction avec leur image au temps $-t$. Le premier modèle conduit à une pseudo équation de Friedman, le second à une équation de type hyperbolique. Le premier modèle semble donner une représentation satisfaisante de la dualité matière-antimatière.

Unified newtonian models are presented, in which the universe at the time t depends on its state at the time $-t$. The first model gives a pseudo Friedman equation, while the second leads to a hyperbolic solution. The first model gives an accurate description of the matter antimatter duality.

1. INTRODUCTION. — Nous allons continuer ici une étude de cosmologie newtonienne qui a déjà fait l'objet des Notes (1), (2), (3) et (4). Dans la Note (4) deux populations chargées, situées dans des espaces des phases énantiomorphes dotés de temps propres opposés, interagissaient par l'intermédiaire des champs gravitationnels et électromagnétiques.

Dans l'approche newtonienne les champs sont censés se propager à vitesse infinie. Que se passe-t-il si l'on tente de tenir compte d'une vitesse de propagation finie, d'un couplage non instantané ?

Supposons que la distribution f_1 subisse une variation δf_1 dans une région $(\mathbf{r}_1, d_3\, r_1)$. La variation des champs due à cette perturbation va se propager à la vitesse c vers une région $(\mathbf{r}_2, d_3\, r_2)$ où se trouvent des éléments de l'espèce 2.

Il semble qu'il y ait la matière à paradoxe. Les populations 1 et 2 ont des temps propres opposés $(t_1 = -t_2)$. On ne voit pas dans ces conditions comment une information quelconque peut transiter d'une population à l'autre. En effet tout message émis par l'une des populations ne peut être à proprement parler reçu par l'autre, puisque, suivant son temps propre, elle l'émet également !

Ceci évoque la situation d'un personnage qui utiliserait sa propre image, reflétée par un miroir, pour nouer sa cravate. Si x est la distance du sujet au miroir, il utilise l'information émise par un sujet situé en $-x$, qui est sa propre image, énantiomorphe, et évoluant dans le temps $t-(2\,x/c)$. Remarquons que si nous nous identifions maintenant à cet Homme qui se trouve « de l'autre côté du miroir », celui-ci dicte sa conduite en observant son image énantiomorphe et « avancée », puisque correspondant au temps $t+(2\,x/c)$.

En reportant à plus tard le problème posé par une vitesse de propagation finie des champs, nous allons tenter de lever le paradoxe en supposant que la population f_2 n'est autre que l'image de la population f_1 à travers un miroir temporel. Ceci revient à dire que la population f_1 évoluant au temps t subit l'influence de son propre état antérieur, au temps $-t$. Le temps $t = 0$ se référant à l'instant zéro du big bang.

2. LE MIROIR TEMPOREL. — Cette situation est assez simple à formaliser. Nous avons cette fois un seul espace des phases $E(\mathbf{r}, \mathbf{w}, t, \times)$, où $\times$ désigne le produit vectoriel, et une seule population f d'éléments de masse m et de charge q. Nous écrirons l'équation de Vlasov donnant la solution f, en faisant intervenir des champs $\mathbf{g}_*$, $\mathbf{E}_*$, $\mathbf{B}_*$, qui seront définis plus loin. Ceux-ci vont être calculés à l'aide de $f(t)$ et de $f(-t)$. Nous allons choisir un mode

de couplage permettant de retrouver le résultat de la Note [4] :

$$\mathbf{g}^* = \mathbf{g}(t)+\mathbf{g}(-t), \tag{1}$$

$$\mathbf{E}^* = \mathbf{E}(t)-\mathbf{E}(-t), \tag{2}$$

$$\mathbf{B}^* = \mathbf{B}(t)+\mathbf{B}(-t). \tag{3}$$

Le mode de calcul de la solution est analogue à celui de la Note [4]. On retrouve une température variant comme la vitesse angulaire, et comme l'intensité du champ magnétique, uniforme, lui même variant comme l'inverse du carré de la dimension caractéristique du système, ce qui exprime que les lignes de champ sont « gelées » dans ce plasma à nombre de Reynolds magnétique infini. Et nous obtenons la pseudo equation de Friedman :

$$\boxed{\mathcal{R}^2 \ddot{\mathcal{R}} + \frac{1}{3} - \frac{2}{3\mathcal{R}}(\beta_R^2+\beta_R\,\beta_M) = 0.} \tag{4}$$

3. Un second modèle. — Ces choix (1), (2) et (3) sont évidemment arbitraires. Nous allons envisager un autre mode de couplage, plus symétrique :

$$\mathbf{g}^* = \mathbf{g}(t)-\mathbf{g}(-t), \tag{5}$$

$$\mathbf{E}^* = \mathbf{E}(t)-\mathbf{E}(-t), \tag{6}$$

$$\mathbf{B}^* = \mathbf{B}(t)-\mathbf{B}(-t). \tag{7}$$

On supposera de plus que le produit vectoriel s'inverse lorsqu'on passe par le point $t = 0$. Remarquons qu'à $t = 0$ l'espace n'est plus orientable. Un même style d'analyse peut être mené à bien. Mais, à la différence de la solution précédente, le potentiel gravitationnel est cette fois harmonique, c'est-à-dire que $\Delta\psi^* = 0$.

Ceci conduit à une équation qui n'est plus une pseudo équation de Friedman :

$$\boxed{\ddot{\mathcal{R}} = \frac{2}{3\mathcal{R}^3}(\beta_R^2+\beta_R\,\beta_M);} \tag{8}$$

équation dont la résolution est l'hyperbole : $\mathcal{R} = \lambda^2\sqrt{1+\mu^2 t^2}$, où λ et μ sont des constantes.

Une remarque immédiate : si nous nous servons d'un tel modèle pour calculer l'âge de l'univers à partir de la constante de Hubble, on obtient une valeur 1,5 fois plus élevée que celle qui découle du modèle classique d'Einstein-de Sitter.

4. Lien avec l'antimatière. — Les choix (1), (2), (3), puis (5), (6) et (7) ont été faits de manière à ce que les sens de giration des particules et des particules images apparaissent inverses, dans un champ magnétique, pour un observateur lié au temps t. Du point de vue d'une observation possible, tout se passe comme si les particules images p_* évoluaient

suivant le temps $-t$. Nous pouvons alors étudier l'interaction apparente entre une particule p et une particule p_* ou entre deux particules images. Le tableau ci-après résume ces différents résultats :

Premier modèle		Second modèle	
p p_*	p_* p_*	p p_*	p_* p_*
	Interaction gravitationnelle		
p court après p_* qui s'enfuit	Se repoussent	Se repoussent	Se repoussent
	Interaction électrostatique		
S'attirent	S'attirent	S'attirent	S'attirent

Le premier modèle est plus conforme à la représentation classique de l'antimatière.

Il est à noter que dans les deux modèles la particule image se comporte comme une particule de charge négative.

Examinons maintenant ce qui se passerait si une particule interagissait avec une particule image de masse différente. Seul le cas de l'interaction gravitationnelle correspondant au premier modèle [que l'on retrouve aussi dans le travail de la Note ([4])] demande examen. Situons l'observateur au centre de gravité : $\mathbf{r}_G = (m\mathbf{r}+m_* \mathbf{r}_*)/2$, lequel se trouve, dans ce cas, accéléré. Le mouvement apparent des deux particules correspond à la force apparente :

$$\mathbf{F} = \mathrm{G}\, m m_* \frac{(m_*-m)}{(m_*+m)} \frac{\mathbf{r}_*-\mathbf{r}}{|\mathbf{r}_*-\mathbf{r}|^3}; \qquad \mathbf{F}_* = -\mathbf{F}. \tag{9}$$

Si la particule image est la plus lourde, cette force correspond à une attraction. Et *vice versa*. Bien sur, si les particules ont même masse elles sembleront indifférente à l'observateur situé au centre de gravité, qui se trouvera en état d'accélération uniforme.

Considérons un mélange homogène de matière et d'antimatière. Une concentration de matière est équivalente à une masse $\mathrm{M} > m$. Suivant ce qui a été dit plus haut, l'antimatière environnante devrait se retrouver repoussée. Considérons maintenant une concentration M d'antimatière, celle ci va au contraire attirer la matière environnante, ce qui entraînera l'anihilation. Si un tel phénomène contribue à la séparation de la matière et de l'antimatière et éventuellement à la formation de proto galaxies, on en concluerait que les antigalaxies ne peuvent exister. Pour être plus précis, l'image, au temps $-t$, d'une galaxie, serait une lacune.

5. Conclusion. — Voici donc une représentation de l'univers ou tout objet cosmique est en interaction avec son image, symétrique par rapport au miroir temporel, c'est-à-dire située au temps $-t$. Cet univers image semble câdrer avec ce que nous connaissons de l'antimatière. Il conviendrait maintenant d'étudier plus en détail le phénomène d'instabilité gravitationnelle dans un tel système. On sait que nous ne disposons actuellement d'aucun modèle, solution de l'équation de Vlasov et de l'équation de Poisson, permettant de décrire une galaxie, en situation stationnaire ou instationnaire, de manière satisfaisante. Ceci représente peut-être une approche nouvelle du problème, toute galaxie étant alors dynamiquement indissociable du nuage d'antimatière qui l'environnerait.

Une solution newtonienne peut être considérée comme une solution asymptotique (c tendant vers l'infini) et tangente (écriture euclidienne) à une solution de la relativité généralisée. On se demande dans quel contexte placer cette dernière. Faudrait-il faire recours à une variété non orientable?

(*) Séance du 2 mai 1977.

(1) J.-P. Petit et G. Monnet, *Comptes rendus*, 280, série A, 1975, p. 1245.
(2) J.-P. Prtit et G. Monnet, *Comptes rendus*, 280, série A, 1975, p. 733.
(3) J.-P. Petit et G. Monnet, *Comptes rendus*, 283, série A, 1976, p. 1057.
(4) J.-P. Petit, *Comptes rendus*, 284, série A, 1977, p. 1315.

10, *rue du Félibre Gaut,*
13100 *Aix-en-Provence.*