

## Trous noirs. Décalage spectral gravitationnel

Pascal DUBOIS

La présente note répond aux questions suivantes :

1. Comment étendre les lois de la gravitation en dehors des conditions de champ faible, dans le cadre desquelles elles ont été établies ?
2. Quelles en sont les conséquences pour ce qui concerne les trous noirs ?
3. Quelles en sont les conséquences pour ce qui concerne le décalage spectral d'une source gravitationnelle ?

### 1. Généralisation des lois de la gravitation

#### 1.1. Rappel des principes retenus

Dans la note intitulée « *Une autre approche de la relativité* » nous avons proposé de nouvelles lois de la gravitation en champ faible (c'est-à-dire lorsque le ratio  $Gm/c^2r$  est suffisamment petit devant 1).<sup>1</sup>

Ces lois découlent des principes rappelés ci-dessous :

##### **Premier principe : champ gravitationnel et énergie potentielle**

La gravitation créée par une source gravitationnelle de masse  $m$  peut être caractérisée par un champ gravitationnel conférant une énergie potentielle aux particules qui y sont présentes.

La variation de l'énergie potentielle d'une particule, de masse nulle ou non nulle, est proportionnelle à l'énergie totale  $E$  de celle-ci, calculée dans le référentiel lié à la source ; elle est donnée par la relation :

$$dE_g = 2 (Gm/ c^2r^2) E dr$$

##### **Deuxième principe : conservation de l'énergie**

La variation d'énergie totale d'une particule est égale à l'inverse de la variation d'énergie potentielle majorée du travail des forces extérieures s'il y a lieu :

$$dE = dE_x - dE_g$$

---

<sup>1</sup> Ces lois permettent de prédire les résultats des expériences considérées comme tests de la théorie de la relativité générale. En conclusion, la note explique les similitudes et différences avec cette théorie.

### ***Troisième principe : influence de la gravitation sur l'énergie et la quantité de mouvement d'une particule***

L'énergie au repos d'une particule de masse non nulle varie avec sa distance à la source.

En l'absence de forces extérieures, la variation d'énergie associée à l'énergie au repos et la variation d'énergie associée à la quantité de mouvement sont chacune égale et opposée à la moitié de la variation de l'énergie potentielle.

### ***Quatrième principe : équivalence entre gravitation et accélération***

La loi fondamentale de la dynamique est applicable pour déterminer la relation entre la variation de l'impulsion de la particule et la variation d'énergie associée à cette impulsion sous l'effet du champ gravitationnel.<sup>2</sup>

## **1.2. Rappel des caractéristiques du champ gravitationnel**

Dans la note intitulée « *Champ gravitationnel, Principe fondamental de la dynamique et Mécanique quantique* » nous avons présenté un modèle de champ gravitationnel en cohérence avec les lois rappelées au paragraphe précédent.

Le champ associé à une masse  $m$  peut être considéré comme une distribution d'énergie au-delà de la sphère de Schwarzschild de rayon :  $R_g = 2 Gm/c^2$ . L'énergie contenue dans une coque de rayon  $r$  décroît en raison inverse du carré de ce rayon.<sup>3</sup>

Un mécanisme de rafraîchissement du champ adapte en permanence ce dernier aux variations d'énergie de sa source ; ce mécanisme met en œuvre des ondes gravitationnelles constituant un système que l'on peut considérer comme équivalent à la masse de la source.

L'interaction gravitationnelle consiste en un échange d'énergie entre les sources gravitationnelles et le champ global créé par ces sources.

On montre que l'on peut déduire le principe fondamental de la dynamique des propriétés attribuées au champ gravitationnel.

***Remarque*** : Il est important de noter que le raisonnement qui conduit à ce résultat permet de justifier le troisième principe du paragraphe 1.1.<sup>4</sup>

On montre également que les caractéristiques de l'onde gravitationnelle qui accompagne une particule en mouvement lui permettent de jouer le rôle d'onde pilote (en référence au concept introduit par la théorie de Louis de Broglie) et d'expliquer ainsi le comportement ondulatoire de la particule.

---

<sup>2</sup> Compte tenu du troisième principe, l'équivalence ne peut pas être considérée comme complète.

<sup>3</sup> La densité d'énergie du champ varie donc comme  $1/r^4$ .

<sup>4</sup> Cf. « *Champ gravitationnel, Principe fondamental de la dynamique et Mécanique quantique* » § 2.3.

Finalement le mouvement d'une particule apparaît entièrement commandé par le champ gravitationnel qui lui est associé.

### 1.3. Extension des lois de la gravitation en dehors des conditions de champ faible

Le modèle de champ gravitationnel que nous venons de présenter s'exprimant de manière identique quelle que soit la distance à la source, on est enclin à considérer que la formulation des lois de la gravitation est également indépendante de cette distance.

Dans notre modèle, ce qui pourrait être plus particulièrement discuté est le partage à parts égales de l'énergie potentielle entre la variation de l'énergie liée à l'énergie au repos et la variation de l'énergie liée à la quantité de mouvement. Pourquoi ce partage serait-il indépendant de la distance de la source ?

La remarque faite au paragraphe précédent apporte la réponse : le partage à parts égales est une conséquence du modèle retenu pour le champ.

**Nous ferons donc l'hypothèse que les lois de la gravitation sous leur forme incrémentale sont valables dans toute l'étendue du champ gravitationnel :**

Variation d'énergie potentielle :	$dE_g = 2 (Gm/ c^2 r^2) E dr$
Variation d'énergie au repos :	$dE_0 = - (Gm/ c^2 r^2) E_0 dr$
Variation d'énergie totale :	$dE = dE_x - 2 (Gm/ c^2 r^2) E dr$
Variation de vitesse ( $\gamma = (1 - v^2/c^2)^{-1/2}$ ) :	$d\gamma = - (Gm/ c^2 r^2) \gamma dr$ <sup>5</sup>

Cela conduit aux expressions suivantes de l'énergie de la particule soumise à l'action du champ :

$$E_0 = E_{0\infty} \exp (GM/ c^2 r) \quad (1.1)$$

Et, en l'absence de forces extérieures :

$$E = E_\infty \exp (2 GM/ c^2 r) \quad (1.2)$$

$$\gamma = \gamma_\infty \exp (GM/ c^2 r) \quad (1.3)$$

Pour être validé, ce choix d'extension des lois de la gravitation nécessiterait des confrontations expérimentales. Nous en donnons ci-après les conséquences pour ce qui concerne la notion de trou noir ainsi que le décalage spectral de sources gravitationnelles\_ qui apparaissent comme des préliminaires à toute vérification expérimentale.

---

<sup>5</sup> On a :  $E = \gamma E_0$ . Le partage à parts égales de l'énergie potentielle se traduit par :  $\gamma dE_0 = E_0 d\gamma$ .

## 2. Trous noirs

En astrophysique un trou noir est un objet céleste si compact que l'intensité de son champ gravitationnel empêche toute forme de matière ou de rayonnement de s'en échapper.

Rappelons que, dans la théorie de la relativité générale, les trous noirs sans moment cinétique, ni charge, sont caractérisés par leur rayon de Schwarzschild  $R_g$  qui délimite l'horizon des événements en deçà duquel aucune particule, de masse nulle ou non nulle, ne peut s'échapper du trou noir.

Les équations (1.1), (1.2) et (1.3) donnent les résultats suivants pour  $r = R_g$  :

$$E_0 = E_{0\infty} \exp(1/2)$$

$$E = E_{\infty} \exp(1)$$

$$Y = Y_{\infty} \exp(1/2)$$

A la différence de la relativité générale, on ne voit pas apparaître de singularité.

**Cela n'est pas incompatible avec l'existence de trous noirs si l'on corrige leur définition comme suit : aucune énergie ne peut s'échapper d'un trou noir sauf celle qui est transportée par les ondes gravitationnelles qui assurent le rafraîchissement du champ.**<sup>6</sup>

Nous avons vu, qu'en champ faible pour un photon, on pouvait faire l'hypothèse d'une conservation du produit  $c_g v_g$  (vitesse x fréquence).<sup>7</sup> Si ce postulat est étendu à la totalité du champ gravitationnel, au rayon de Schwarzschild, la vitesse du photon est alors :

$$c_{R_g} = c/\exp(1)$$

## 3. Décalage spectral gravitationnel

Sortons maintenant du cadre des trous noirs et intéressons-nous au décalage spectral gravitationnel d'une source de masse  $m$  émettant un rayonnement de fréquence  $\nu_0$ .

Si l'équation (1.2) relative à l'énergie totale reste valable à la surface d'une source de rayon  $R$ , à l'infini la fréquence reçue tend vers :

$$\nu_{\infty} = \nu_0 \exp(-2GM/c^2R) \quad (3.1)$$

Rappelons le résultat donné par la relativité générale :

$$\nu_{\infty} = \nu_0 (1 - 2GM/c^2R)^{1/2} \quad (3.2)$$

---

<sup>6</sup> Ces ondes ne peuvent pas être assimilées aux ondes gravitationnelles de la relativité générale.

<sup>7</sup> On peut toutefois s'interroger dans le cas des photons isolés : la règle postulée pour une onde électromagnétique est-elle encore valable ?