

Attraction gravitationnelle entre deux corps massifs

Examinons maintenant une nouvelle hypothèse d'application du principe de la force de Casimir généralisée au cas d'un couple de corps célestes liés par la force gravitationnelle, comme par exemple la terre et la lune, et regardons comment nous pourrions appliquer le principe de la force de Casimir généralisée au calcul de la force d'attraction gravitationnelle s'exerçant entre deux corps célestes massifs.

L'idée fondamentale que nous avons exprimée dans les trois approches du calcul de l'accélération de la pesanteur en surface d'un corps massif en phase neutralisée est que c'est l'espace extérieur en phase neutre qui exerce une sorte de pression gravitationnelle — ce qui se traduit par une force exercée perpendiculairement en tous points de la surface — et non le corps massif lui-même qui attire vers lui les corps voisins. En fait, il s'agit d'une pression résiduelle, tout comme dans le modèle de la bulle de savon où la tension superficielle permet d'équilibrer les pressions externe et interne.

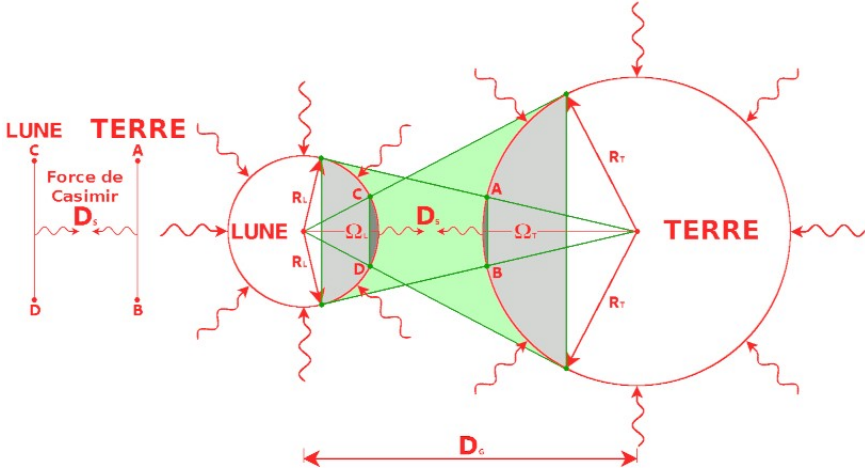
Le schéma ci-dessous nous montre comment, en suivant cette idée de pression venue de toutes les directions de l'espace, un corps massif projette une sorte « d'ombre gravitationnelle » conique dirigée vers le centre de gravité du corps voisin avec lequel il est en interaction.

La « lumière gravitationnelle » est ainsi partiellement voilée entre les deux corps, et c'est cette zone indiquée en vert sur le schéma suivant que nous allons regarder comme l'équivalent de l'espace compris entre les deux miroirs de l'expérience classique de l'effet Casimir, dont le principe est rappelé sur la gauche de l'image.

1 N'oublions pas que nous avons proposé une identification entre photon et graviton (voir masses-énergies des gravitons pages 185 et 186) et que, compte tenu du caractère hypersphérique de l'univers entier, cette « lumière gravitationnelle » provient en fait du pôle opposé de l'objet que nous prenons en considération dans l'hypersphère spatiale, sorte d'antiterre ou d'antilune dans la situation qui nous occupe ici. C'est pourquoi la projection de « l'ombre gravitationnelle » se fait dans un cône convergeant vers l'objet opposé et non divergent comme ce serait le cas pour une ombre créée par une source lumineuse ponctuelle dans un espace euclidien dépourvu de courbure interne.

FORCES

Fig. 8.13 : Force de Casimir généralisée (FCG) appliquée au système Terre / Lune



Notons que les segments AB et CD, représentant les diamètres des bases des deux calottes sphériques indiquées en gris foncé, sont égaux ce que démontrent les relations suivantes :

$$\frac{R_L}{D_G} = \frac{1/2 AB}{R_T} \quad \text{et} \quad \frac{R_T}{D_G} = \frac{1/2 CD}{R_L} \quad \Rightarrow \quad 2 \frac{R_T R_L}{D_G} = AB = CD \quad (8.37)$$

On retrouve ainsi une disposition très proche de l'expérience historique ayant permis de détecter l'effet Casimir, avec deux miroirs plans parallèles non chargés identiques se faisant face séparés par un faible écartement. Les miroirs sont ici également identiques mais circulaires, et les lentilles sphériques qu'ils soutiennent sont, selon les principes de la théorie NR, électromagnétiquement chargées, mais par une charge faible caractéristique de l'attraction gravitationnelle. A partir de la configuration décrite par la figure 8.9 page 291, nous pouvons calculer la force d'attraction entre les deux corps massifs de notre exemple, et ceci de deux manières, du point de vue de la terre puis du point de vue de la lune, et vérifier si les résultats sont compatibles avec la valeur donnée par l'équation de Newton 8.25 citée pages 267 et 274 : $F_{A/B} = G \frac{M_A M_B}{d^2}$ (8.25).

Ces équations sont les suivantes :

$$F_{T/L} = \Omega_T \left(\alpha^2 \frac{R_H}{R_N} \right)^{-1} M_T g_L \quad (8.38)$$

$$F_{L/T} = \Omega_L \left(\alpha^2 \frac{R_H}{R_N} \right)^{-1} M_L g_T \quad (8.39)$$

THÉORIE NR

F_{TL} = Force d'attraction gravitationnelle entre terre et lune
 F_{LT} = Force d'attraction gravitationnelle entre lune et terre
 Ω_T = Angle solide (lune vue depuis le centre de gravité de la terre)
 Ω_L = Angle solide (terre vue depuis le centre de gravité de la lune)
 α = Constante de structure fine électromagnétique
 R_H = Rayon de Bohr de l'atome d'hydrogène
 R_N = Rayon du neutron (section efficace selon calculs TNR)
 M_T = Masse de la terre
 M_L = Masse de la lune
 g_T = Accélération de la pesanteur terrestre
 g_L = Accélération de la pesanteur lunaire

Les angles solides **Ω_T** et **Ω_L** sont ainsi définis :

$$\Omega_T = 2\pi \left[1 - \cos \left(\arcsin \frac{R_{L0}}{R_{T0} + D_{SN} + R_{L0}} \right) \right] \quad (8.40) \quad \Omega_L = 2\pi \left[1 - \cos \left(\arcsin \frac{R_{T0}}{R_{L0} + D_{SN} + R_{T0}} \right) \right] \quad (8.41)$$

R_{L0} = Rayon neutralisé de la lune (**$R_L C_{L0}$**)
 R_{T0} = Rayon neutralisé de la terre (**$R_T C_{L0}$**)
 D_{SN} = Distance neutre entre les surfaces de la terre et de la lune
 avec : **$D_{SN} = (D_G - R_T - R_L) C_{SN}$**

Les équations 8.38 et 8.39 comportent quatre parties qui se justifient comme suit :

1. Les paramètres **Ω_T** et **Ω_L** sont exprimés en stéradian et se calculent à partir de la formule **$\Omega = 2\pi (1 - \cos \alpha)$** donnant l'angle solide d'un cône de révolution en fonction de son demi-angle d'ouverture **α** . Les rayons des corps célestes **R_T** et **R_L** sont corrigés par usage du coefficient TNR **C_{L0}** applicable aux objets neutralisés, et la distance **D_G** entre centres de gravité est elle corrigée par celui applicable à l'espace neutre **C_{LN}** pour la partie comprise entre surfaces des deux astres **D_S** , **C_{L0}** pour le reste à savoir les deux rayons **R_T** et **R_L** . Ces deux angles solides contiennent toutes les informations métriques fixant la géométrie du système étudié : **D_{SN}** , **R_{T0}** et **R_{L0}** .

FORCES

2. La formule ($\alpha^2 R_H/R_N$) caractérise la jauge de l'espace entre les deux corps concernés par le phénomène que nous avons nommé « ombre gravitationnelle », espace indiqué en vert sur la figure 8.13. Elle contient tout d'abord la constante de structure fine électromagnétique α « *l'un des plus grands mystères de la physique : nombre magique* » selon Richard Feynman (voir note en bas de la page 247). Son élévation au carré est typique des systèmes à deux corps — affectés d'une charge forte ou faible — comme le couple *atome d'hydrogène/proton* ou *terre/lune* dans le cas ici étudié. Viennent ensuite les rayons R_H et R_N , associés aux deux « *objets fondamentaux sources de la force gravitationnelle* » selon les principes de la théorie NR (voir Fig 8.7 page 282).
3. Les masses des deux astres M_T et M_L sont indiquées ici dans leur forme classique et exprimées en kilo.
4. Curieusement, les accélérations de la pesanteur g_T et g_L sont positionnées dans les équations non pas associées à la masse de l'astre correspondant mais en opposition. C'est ainsi l'accélération de la pesanteur lunaire qui agit sur la masse de la terre et réciproquement.

A partir de ces justifications, nous obtenons les deux tableaux suivants, le premier donnant la force gravitationnelle exercée par la terre sur la lune, l'autre celle exercée par la lune sur la terre :

Tab. 8.14 : Attraction gravitationnelle entre terre et lune

Force de gravitation entre deux corps massifs (système Terre / Lune)						
n°	Donnée	Symb.	Formule	Valeur	u (SI)	d (TNR)
1	Coefficient TNR (longueurs neutralisées)	CL ₀	Voir calculs tracé régulateur	1,0044939136	1	1
2	Coefficient TNR (longueurs neutres)	CL _N	Voir calculs tracé régulateur	1,0056703618	1	1
3	Rayon moyen de la lune (neutralisé)	RL ₀	$R_{L0} = R_L \cdot CL_0$	1 744 490	m	L
4	Rayon moyen de la terre (neutralisé)	RT ₀	$R_{T0} = R_T \cdot CL_0$	6 399 639	m	L
5	Distance terre lune moyenne (surfaces)	DS _N	$DS_N = (D_0 - R_T - R_L) \cdot CL_N$	378 431 738	m	L
6	Constante de structure fine électromagnétique	α	Expérimentale	7,29735257E-03	1	L ⁴ L ⁻⁴
7	Rayon de Bohr de l'atome d'hydrogène	R _B	Expérimental	5,29177211E-11	m	L
8	Rayon du neutron (section efficace)	R _n	Voir calculs rayons des fermions	9,00451234E-16	m	L
9	Masse de la terre	M _T	Expérimentale	5,97360000E+24	kg	L T ⁻¹
10	Accélération de la pesanteur lunaire (mesurée)	g _L	Expérimentale	1,6220000000	m s ⁻²	L T ⁻²
11	Masse de la lune	M _L	Expérimentale	7,34770000E+22	kg	L T ⁻¹
12	Constante gravitationnelle	G	Expérimentale	6,67430000E-11	m ³ kg ⁻¹ s ⁻²	L ² T ⁻¹
13	Angle solide (lune vue du centre de la terre)	Ω_T	$\Omega_T = 2 \cdot \pi \left[1 - \cos \left(\arcsin \frac{R_{L0}}{R_{T0} + D_{0N} + R_{L0}} \right) \right]$	6,39763317E-05	sr	L ² L ⁻²
14	Attraction gravitationnelle entre terre et lune	A _{T/L}	$A_{T/L} = \Omega_T \cdot \left(\alpha^2 \frac{R_{L0}}{R_N} \right)^{-1} \cdot M_T \cdot g_L$	1,98077310E+20	kg m s ⁻²	L ² T ⁻³
15	Force Terre / Lune (équation de Newton)	F _{T/L}	$F_{T/L} = G \frac{M_T \cdot M_L}{D_0^2}$	1,982540194E+20	kg m s ⁻²	L ² T ⁻³
16	Différence F _{T/L} – A _{T/L} (valeur absolue)	Δ	$\Delta = F_{T/L} - A_{T/L} $	1,76709782E+17	m	L
17	Pourcentage différence	% Δ	$\% \Delta = 100 \frac{\Delta}{F_{T/L}}$	0,08913301	%	%

Résultat 35 : L'attraction gravitationnelle entre terre et lune est ici évaluée en la comparant au résultat obtenu en utilisant l'équation classique d'Isaac Newton avec une précision inférieure à 1‰.

THÉORIE NR

Tab. 8.15 : Attraction gravitationnelle entre lune et terre

Force de gravitation entre deux corps massifs (système Lune / Terre)							
n°	Donnée	Symb.	Formule	Valeur	u (SI)	d (TNR)	
1	Coefficient TNR (longueurs neutralisées)	CL ₀	Voir calculs tracé régulateur	1,0044939136	1	1	1
2	Coefficient TNR (longueurs neutres)	CL _N	Voir calculs tracé régulateur	1,0056703618	1	1	1
3	Rayon moyen de la lune (neutralisé)	RL ₀	RL ₀ = RL CL ₀	1 744 490	m	L	L
4	Rayon moyen de la terre (neutralisé)	RT ₀	RT ₀ = RT CL ₀	6 399 639	m	L	L
5	Distance terre lune moyenne (surfaces)	DSN	DSN = (D ₀ - RT - RL) CL _N	378 431 738	m	L	L
6	Constante de structure fine électromagnétique	α	Expérimentale	7,29735257E-03	1	L ² L ⁻⁴	
7	Rayon de Bohr de l'atome d'hydrogène	R _B	Expérimental	5,29177211E-11	m	L	L
8	Rayon du neutron (section efficace)	R _n	Voir calculs rayons des fermions	9,00451234E-16	m	L	L
9	Masse de la lune	M _L	Expérimentale	7,34770000E+22	kg	L T ⁻¹	
10	Accélération de la pesanteur terrestre (mesurée)	g _T	Expérimentale	9,8066500000	m s ⁻²	L T ⁻²	
11	Masse de la terre	M _T	Expérimentale	5,97360000E+24	kg	L T ⁻¹	
12	Constante gravitationnelle	G	Expérimentale	6,67430000E-11	m ³ kg ⁻¹ s ⁻²	L ² T ⁻¹	
13	Angle solide (terre vue du centre de la lune)	Ω _L	$\Omega_L = 2, \pi \left[1 - \cos \left(\arcsin \frac{R_{T0}}{R_{T0} + D_{SN} + R_{L0}} \right) \right]$	8,61035537E-04	sr	L ² L ⁻²	
14	Attraction gravitationnelle entre lune et terre	A _{L/T}	$A_{L/T} = \Omega_L \left(G^2 \frac{R_{TL}}{R_N} \right)^{-1} M_L g_T$	1,98253824E+20	kg m s ⁻²	L ² T ⁻²	
15	Force Terre / Lune (équation de Newton)	F _{T/L}	$F_{T/L} = G \frac{M_T M_L}{D_{TL}^2}$	1,982540194E+20	kg m s ⁻²	L ² T ⁻²	
16	Différence F _{T/L} - A _{L/T} (valeur absolue)	Δ	$\Delta = F_{T/L} - A_{L/T} $	1,94953662E+14	m	L	
17	Pourcentage différence	% Δ	$\% \Delta = 100 \frac{\Delta}{F_{T/L}}$	0,00009834	%	%	

Résultat 36 : Le calcul réciproque de l'attraction gravitationnelle entre lune et terre donne un résultat d'une précision tout à fait étonnante, proche de **0,0001%**, soit moins d'un millionième ! Il est possible d'argumenter sur le fait que compte tenu de sa période de rotation beaucoup plus lente, de la relative faiblesse de son relief et de l'absence de marées océanique, la lune se rapproche beaucoup mieux que la terre de l'idée d'une sphère mathématique parfaite. Mais ce raisonnement est probablement insuffisant pour justifier une telle précision, qui pour une bonne part est probablement due au hasard.

La « gravitation quantique à bulles » de la théorie NR

Le philosophe français Claude-Henri de Rouvroy de Saint-Simon (1760-1825), fondateur du *saint-simonisme*, a recherché un principe universel qui serait le fondement de sa philosophie, essentiellement basée sur la science. Son idée fut de remplacer le concept de *Dieu* par la *Loi de la gravitation universelle*, à laquelle l'Univers entier serait soumis.

Les physiciens théoriciens contemporains recherchent eux la fameuse « *Théorie du tout* », qui viendrait parachever la « *Théorie de grande unification* », appelée GUT (*Grand Unified Theory*), rassemblant dans un même formalisme force électromagnétique, forces nucléaires faible et forte. Ces deux recherches d'unification sont basées sur l'idée que les différentes forces doivent progressivement fusionner avec l'augmentation de l'énergie.

FORCES

Ce présupposé implique nécessairement l'élaboration d'une théorie rendant compatibles la théorie de la relativité générale et la théorie quantique. Cette théorie unificatrice ultime n'a pas encore été découverte à ce jour, malgré l'intensité des recherches.

Les principales difficultés théoriques peuvent se résumer ainsi :

1. L'attraction gravitationnelle s'exerce entre corps de « charges » identiques. Il n'y a pas de masses positives et négatives.
2. La *constante de couplage* α_G de la force gravitationnelle est extrêmement faible comparée à celles des deux forces nucléaires et de la force électromagnétique. Les rapports sont voisins d'une quarantaine d'ordres de grandeur, ce qui est absolument considérable. Ce sujet de la *constante couplage gravitationnelle* sera abordé au chapitre 10 consacré à l'architecture de l'univers.
3. La portée de la force gravitationnelle est supposée être infinie selon les théories physiques actuelles, ce qui signifie que cette force n'est bornée ni par le bas, ni par le haut. Cependant, les recherches en gravité quantique, comme la théorie des cordes et la gravité quantique à boucles, posent toutes deux une échelle minimale qui est la longueur de Planck, ce qui se traduit par un niveau d'énergie absolument considérable, inaccessible à toute expérience actuellement menée dans le domaine de la physique des particules, et même dans le cadre du projet de nouvel anneau de cent kilomètres de circonférence étudié au CERN.

Venons en aux quelques idées sur la nature de l'attraction gravitationnelle développées dans le cadre de la théorie¹ NR². Quelles leçons tirer de ces différentes approches ? Quelles réponses apporter aux trois problèmes affectant la théorie actuelle de la gravitation qui viennent d'être évoqués ?

1 La théorie NR étant par définition un projet d'architecte, il faut prendre le mot *théorie* dans son acception ancienne datant de l'antiquité grecque : *Procession composée de théores et présidée par un archithéore, chef d'une délégation officielle (formée de théores) qui se rendait dans une ville dans le but de consulter un oracle.*

2 Observons que la « théorie du non rien » n'est pas la « Théorie du tout », mais seulement une « théorie de quelque chose ». C'est pourquoi nous parlons de l'univers, de d.i.e.u. (détente initiale de l'espace universel) et de théorie sans faire usage de lettres majuscules.

L'effet Casimir fait le constat d'une attraction mutuelle entre deux objets identiques, en l'occurrence deux miroirs parallèles non chargés électriquement et d'une surface suffisamment grande par rapport à l'écartement pour que les effets de bords puissent être négligés. Nous avons fait subir une transformation topologique à cette expérience en déformant les miroirs plans en sphères concentriques de tailles différentes par un processus d'enveloppement, ce qui par parenthèse aboutit à supprimer le problème des effets de bords. L'idée a été appliquée avec succès sur les exemples du proton et du neutron, ce qui nous a amenés à définir le concept de *Force de Casimir Généralisée* (voir section dédiée pages 231 à 235). Par esprit de suite, l'idée fut alors d'appliquer ce principe topologique à des objets macroscopiques sphériques, ce qui a également été concluant, soit en considérant les astres comme des objets uniques, les deux miroirs parallèles de l'expérience de Casimir devenant la surface et le centre de gravité, soit en étudiant le cas d'un couple d'astres, avec l'apparition du concept d'*ombre gravitationnelle projetée*. Au final, les astres peuvent ainsi être traités comme des particules élémentaires, dont les propriétés fondamentales, masse et charge, s'apprécient « en surface ».

L'adoption du **principe holographique** nous amène ainsi à une conception *quantique* de la gravitation, non pas pour décrire des objets extrémaux comme les trous noirs, mais bien pour caractériser n'importe quel objet céleste « ordinaire » comme la terre, la lune ou le soleil. La matière est ici considérée comme un assemblage des deux seuls objets fondamentaux que sont le neutron et l'atome d'hydrogène (Fig. 8.7 page 282), qui possèdent la même *charge faible* caractéristique de l'espace en phase neutralisée, où charges électriques positives et négatives se compensent. Les corps massifs sont ainsi *quantifiés* par le nombre de charges faibles qu'ils contiennent, ce qui nous a permis de proposer une équivalence entre l'équation d'Isaac Newton de la force d'attraction gravitationnelle entre deux corps massifs et celle d'Augustin Coulomb de la force s'exerçant entre deux objets électriquement chargés. A ces charges faibles sont associés des angles solides exprimés en stéradian, charges qui se combinent mais ne se projettent dans l'espace environnant qu'à partir de la surface de l'astre. Au final, c'est donc la surface d'un astre que nous considérons comme chargée et quantifiée.

FORCES

Tout comme les peintures murales, dont les surfaces se mesurent ordinairement en mètres carrés mais qui possèdent toutefois une certaine épaisseur, nous avons défini la notion d'**épaisseur de la surface holographique** E_P d'un corps massif et constaté que la surface S_H du cercle associé à une charge faible élémentaire évoluait en raison inverse de l'accélération de la pesanteur g en surface, ce qui nous a amenés à définir la *constante holographique* K_{SH} ayant la dimension d'une *action* $L^3 T^{-2}$ dans le système d'unités simplifié de la théorie NR. La division de cette constante par la surface élémentaire associée à une unique charge faible donne en retour l'accélération de la pesanteur en surface du corps massif considéré. Mais cette surface élémentaire est en fait celle du cercle équatorial des petites billes que nous utilisons pour paver la surface du corps massif, chacune de ces billes étant porteuse d'une unique charge faible élémentaire. Le diamètre d'une bille représente donc également l'épaisseur de notre « peinture holographique ». Nous avons par ailleurs observé que dans les cas de la terre et de lune, cette épaisseur était de l'ordre du *nanomètre* (10^{-9} m), caractéristique de la chimie moléculaire, précisément celle qui est mise en œuvre pour constituer les astres ordinaires comme la terre ou la lune.

Ceci nous laisse une marge importante, avant d'atteindre la longueur minimale admise par la théorie NR qui est celle de la norme N ($\approx 10^{-17} \text{ m}$), pour imaginer appliquer le principe holographique à des corps célestes exotiques beaucoup plus denses que la terre ou la lune, ce qui sera l'objet d'une section particulière au chapitre 10 consacré à l'architecture de l'univers.

Ceci étant, notre approche ainsi rendue quantique de la force d'attraction gravitationnelle est-elle conforme à l'idée novatrice d'Albert Einstein abolissant la notion de *force* s'exerçant à distance entre objets massifs au profit du concept géométrique de *courbure de l'espace* ? Nous avons noté, après avoir commenté « l'équation aux tiroirs » du champ gravitationnel proposée par Einstein, son impuissance à décrire un système aussi simple qu'un couple de corps massifs¹.

1 L'article WIKIPÉDIA https://fr.wikipedia.org/wiki/Problème_à_N_corps indique :

Problème à deux corps ou mouvement képlérien

Dans la mécanique de Newton, le problème à deux corps est entièrement résoluble analytiquement. Toutefois, dans les cadres de la relativité générale et dans celui de la relativité restreinte, le problème à deux corps n'admet pas de solution analytique exacte.

THÉORIE NR

C'est en réalité logique, car la vision géométrique de la théorie de la relativité générale et celle de la théorie NR se rejoignent, le couple formé par un objet massif et l'espace environnant étant un *problème à deux corps* ; celui formé par deux objets massifs et l'espace un *problème à trois corps*, réputé être mathématiquement insoluble.

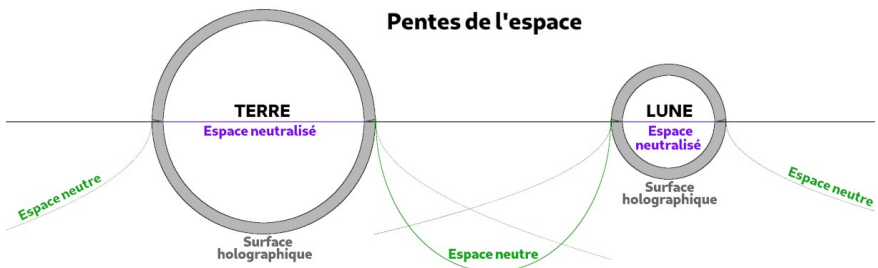
D'autre part, l'étude de l'attraction s'exerçant entre deux corps massifs a introduit le concept d'*ombre gravitationnelle*, ce qui peut se concevoir aussi bien comme une action à distance entre un corps massif et la « partie ombragée » de son vis-à-vis que comme une déformation de l'espace entre les deux corps, la partie de la structure fractale de l'espace de longueur d'onde supérieure à la distance entre les deux corps ayant disparu, selon le principe même de l'effet Casimir, appliqué ici à des échelles astronomiques.

Pas de contradiction donc entre visions relativiste et quantique de l'attraction gravitationnelle en théorie NR.

Mais il nous faut expliquer pourquoi la conception de la force gravitationnelle qui vient d'être développée n'entre pas en contradiction avec le concept de *pente de l'espace* censé en théorie NR unifier toutes les forces de la nature.

En effet, à partir de la surface holographique, le densité de l'espace diminue à mesure que l'on s'éloigne d'un corps massif, ce qui devrait signifier qu'un objet posé en surface est contraint de « descendre cette pente » et donc de s'envoler spontanément dans l'espace. Le croquis suivant résout ce paradoxe :

Fig. 8.14 : Gravitation et pentes de l'espace (principe holographique)



Ce qui s'interprète ainsi :

FORCES

Terre et lune sont ici représentées sous la forme de sphères matérielles en phase neutralisée (couleur violette). Les arcs de paraboles verts expriment la diminution de la densité de l'espace neutre (éloignement selon la loi du carré inverse) appliquée à partir de la surface et non du centre de gravité comme c'est traditionnellement le cas. En gris est indiquée la surface holographique dont l'épaisseur correspond à la transition entre l'espace neutre extérieur et l'espace neutralisé intérieur, d'où l'indication d'une pente vers l'intérieur dans l'épaisseur. Mais la symétrie des arcs de parabole ne permet pas par elle-même d'expliquer le phénomène d'attraction entre terre et lune, et il faut de nouveau faire appel au concept d'*ombre gravitationnelle* pour comprendre ce phénomène. La courbe verte joignant les surfaces des deux corps exprime cet effet, par addition des pentes.

Revenons maintenant sur l'interprétation de l'équation du champ gravitationnel d'Albert Einstein. Prenons la dans sa forme originelle de novembre 1915, sans tenir compte de la constante cosmologique Λ ajoutée en février 1917 dans le but de contrecarrer l'expansion et de donner ainsi un caractère stationnaire à l'entier Univers¹. Traduite en langage dimensionnel (TNR), l'équation prend la forme $(L^{-2} - L^{-2}) = (T^3 L^{-2}) (L^3 T^{-3} \times L^{-3})$ soit **(fluence - fluence) = (force⁻¹) (énergie x volume⁻¹)**. En remontant le terme inverse d'une force du coté gauche de l'équation, on obtient $(T^{-3} - T^{-3}) = (T^{-3})$ soit **(pression - pression) = (pression)**, ce qui ressemble étrangement à l'équation d'une bulle de savon **(Pint) - (4γ/R) = (Pext)** (voir équation 4.3 page 84). C'est ainsi que notre « peinture holographique » se transforme en « film d'eau savonneuse », et notre théorie de la force gravitationnelle en « **gravité quantique à bulles** » !

Reste le problème de l'extrême faiblesse de la constante de couplage de la force d'attraction gravitationnelle, ainsi que celui de sa portée supposée infinie. Ceci sera abordé au chapitre 10 consacré à l'architecture de l'univers, ce qui sera également l'occasion d'examiner les deux hypothèses controversées de la *matière noire* et de l'*énergie noire*, ainsi que l'approche théorique alternative à la gravitation newtonienne baptisée MOND.

1 Paradoxalement, c'est exactement la même idée que propose la théorie NR, avec le concept d'*univers fractal autopoïétique en expansion convergente*.