

8

Forces

«La mécanique n'est qu'un schéma général; elle devient une théorie seulement par l'indication explicite des lois de force, comme l'a fait Newton avec tant de succès pour la mécanique céleste».

Physique et réalité - Albert Einstein - 1936

Pente de l'espace

Notion de force en physique contemporaine

La notion de force est ainsi définie en physique classique : « *La force ou interaction résulte de l'action d'un objet sur un autre* ». Cette force peut s'exercer entre deux objets par contact ou à distance.

D'autre part, la force peut être représentée géométriquement par un vecteur avec un point d'application, une direction, un sens et une intensité. Son équation aux dimensions est $\mathbf{M L T^{-2}}$ dans le système d'unités internationales (SI) et $\mathbf{L^2 T^{-3}}$ dans le système simplifié de la théorie NR (TNR), en remplaçant la masse par une vitesse. Une force peut être vue comme une masse multipliée par une accélération ; ou encore comme une pression sur une surface. Une force multipliée par une distance donne une énergie. Les théories physiques élaborées au XX^e siècle que sont la théorie de la relativité générale et la physique quantique ont donné deux versions relativement incompatibles de cette notion de *force* :

- Albert Einstein a révolutionné la théorie de la gravitation universelle en remplaçant le concept d'action instantanée à distance entre deux masses datant d'Isaac Newton par celui d'action de la courbure locale de l'espace sur les corps massifs, ou même énergétiques puisque cette courbure de l'espace agit également sur les ondes électromagnétiques. Cette action est réciproque, les objets massifs ou énergétiques agissant en retour sur la courbure locale de l'espace.

THÉORIE NR

- Les théories de l'*électrodynamique quantique* (QED) et de la *chromodynamique quantique* (QCD) font dériver l'action à distance entre deux particules de l'échange de particules vecteurs de forces — qu'on appelle les *bosons vecteurs* — et décline ce principe en distinguant la force électromagnétique, la force nucléaire faible et la force nucléaire forte, regroupées dans la théorie de grande unification (GUT pour *Grand Unified Theory* chez les anglo-saxons) sous la forme d'un *groupe de jauge* baptisé $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$, et supposées se rejoindre à l'énergie colossale de 10^{15} gigaélectronvolts. Affaire de spécialistes. La force gravitationnelle n'est pas intégrée dans cette théorie et c'est tout l'objet de la recherche d'une unification complète des quatre forces, médiatisée sous le label *Théorie du tout*.

Notion de force en théorie NR

Les forces ne relèvent en théorie NR que d'un seul concept, celui de *pente de l'espace*, ce qui les unifie toutes, par principe. Cette notion de pente de l'espace — qui peut également s'exprimer comme le *gradient de la densité de l'espace* — se rattache assez simplement à la notion de *courbure locale de l'espace* en théorie de la relativité générale, sous réserve d'accepter un retour de l'*éther*, ce qui est implicite dans cette théorie. Il suffit de concevoir que « l'espace est fait d'espace » pour éviter une régression à l'infini. L'important est de donner des propriétés à cet espace, ce qui était précisément l'objet du chapitre 2.

C'est évidemment un peu plus difficile d'unir cette notion de pente de l'espace avec le concept des bosons vecteurs. Mais la théorie NR possède une ressource particulière, en ce sens que contrairement à la théorie quantique faite de nuages électroniques, de gouttes liquides, de particules virtuelles, assortis de probabilités, d'indétermination et de non-localité, elle possède une géométrie précise, facilement compréhensible puisqu'elle n'est guère éloignée de la géométrie descriptive utilisée par les tailleurs de pierre au temps des cathédrales, à ceci près que l'ajout d'une dimension spatiale supplémentaire représentative de la densité de l'espace lui confère une certaine souplesse.

FORCES

Cette grande unification principielle proposée par la théorie NR demande donc plusieurs développements, afin d'expliquer comment les forces identifiées par les théories physiques contemporaines se distribuent en direction et en intensité en fonction de leurs différents points d'application dans le cadre de la géométrie attribuée à l'espace et aux particules.

Force de Casimir

L'effet Casimir

Une expérience baptisée « effet Casimir »¹ a été prédite par le physicien néerlandais Hendrik Casimir en 1948. Le principe est le suivant. A très petite distance, une force attractive doit apparaître entre deux plaques-miroirs parallèles, conductrices mais dépourvues de charge électrique.

Cet effet est interprété en théorie de l'électrodynamique quantique comme une conséquence des fluctuations du champ électromagnétique, manifestation de l'énergie du vide. Hendrik Casimir a donné l'équation suivante de la force qui porte aujourd'hui son nom, à température thermodynamique nulle de 0°K :

$$F = \frac{\pi^2 \hbar c}{240} \frac{A}{L^4} \quad (8.1)$$

Cette équation peut être réécrite ainsi selon les principes de la théorie NR en remplaçant $\hbar$ par $\mu_\infty c / 2\pi$:

$$F = \frac{\pi \mu_\infty c^2}{480} \frac{A}{L^4} \quad (8.2)$$

F = Force de Casimir

ħ = Constante de Planck réduite

c = Vitesse de la lumière dans le vide

A = Aire de chaque miroir

L = Espacement entre les deux miroirs

μ_∞ = Perméabilité gravitationnelle du vide (TNR)

1 Voir article WIKIPÉDIA : https://fr.wikipedia.org/wiki/Effet_Casimir

THÉORIE NR

L'équation possède donc la forme d'une surface divisée par un hypervolume affectée d'un coefficient C_{FCG} dont l'équation aux dimensions est $L^4 T^{-3}$ (pouvant s'interpréter comme un hypervolume multiplié par une pression) et qui possède la valeur suivante :

$$C_{FCG} = \pi \mu_{\infty} c^2 / 480 = 1,30012577 \cdot 10^{-27} \text{ m}^4 \text{ s}^{-3}$$

Ainsi, la force de Casimir augmente avec la surface des miroirs et le facteur L^4 au dénominateur signifie qu'elle diminue en raison de la puissance quatrième de l'écartement, ce qui correspond en analyse dimensionnelle à un hypervolume.

L'équation 8.1 établie par Hendrik Casimir en 1948 contenait donc deux indices (π^2 et L^4) qui auraient pu attirer l'attention sur une possible relation entre la notion d'hypervolume possédant quatre dimensions spatiales¹ et la théorie quantique des forces et particules.

Notons en outre la présence du facteur A d'aire des miroirs au numérateur, que nous pouvons mettre en correspondance avec la notion de *densité surfacique* qui nous a permis d'approcher par le calcul les valeurs des masses des fermions.

La structure de l'espace en théorie NR, telle qu'elle a été définie au chapitre 2, est *a priori* compatible avec une vision quantique, en raison de son caractère fractal.

D'autre part, la maille unitaire de cet espace a été conçue à partir d'une fluctuation minimale, dotée d'une phase se décomposant en une oscillation, une translation et une rotation. Cette oscillation peut s'interpréter comme une variation de la densité de l'espace autour d'une valeur moyenne, et donc comme une variation locale alternative de la pente de l'espace. Cette variation a été analysée à l'aide d'un espace à quatre dimensions spatiales, la quatrième représentant la densité de l'espace. Ce n'est qu'un outil mathématique, destiné à décrire les propriétés de cet espace, outil à vocation restreinte puisqu'il ne tient compte à ce stade ni du temps ni de l'expansion de l'espace.

1 Précédemment citée page 100, la théorie de Kaluza-Klein ayant fait l'objet d'une publication dès 1921 possédait déjà cette caractéristique d'être élaborée dans un espace à quatre dimensions spatiales. Pour en savoir plus, voir l'article WIKIPÉDIA : https://fr.wikipedia.org/wiki/Théorie_de_Kaluza-Klein

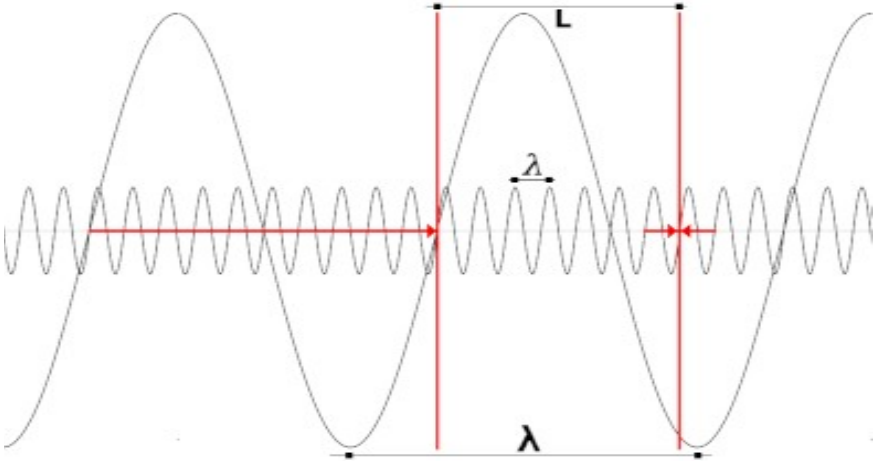
FORCES

Une métaphore aquatique, en deux ou trois dimensions, peut nous aider à comprendre l'apparition de forces dans un espace à maille oscillante (ce qui fait le bonheur des surfeurs). Considérons une planète entièrement couverte par un océan. La surface de cet océan est une 2-sphère, et possède donc deux dimensions spatiales, mais elle est susceptible de subir des déformations dans l'espace à trois dimensions, sous forme de risées, de vaguelettes, de vagues, voire de vagues géantes dites « scélérates », en réponse à certaines sollicitations, en l'occurrence celles du vent. Ces déformations sont harmonisées car elles obéissent à une hiérarchie fractale qui dépend de la taille de la planète liquide et elles peuvent s'interpréter comme des pentes d'un espace à deux dimensions spatiales. Autre point important, les hauts des vagues ne se vident pas par le fond des creux. En effet, si les sollicitations s'arrêtent, un calme plat va advenir, mais au final le niveau de l'eau sera l'intermédiaire entre celui des crêtes et celui des creux. Dernière particularité, pour une longueur d'onde donnée (écart entre deux crêtes de vagues) l'amplitude (hauteur des crêtes par rapport creux des vagues) peut être plus ou moins grande, et à partir d'une certaine hauteur la vague se met à déferler sous forme d'écume. En ajoutant une dimension spatiale supplémentaire, on obtient une 3-sphère, également appelée *boule*, dans laquelle peuvent apparaître des ondes de type acoustique, lesquelles oscillent dans notre quatrième dimension qui est représentative de la densité de l'espace. De la même manière, si les sollicitations s'arrêtent, la densité de l'espace se stabilise à un niveau moyen entre les sous-densités et les sur-densités caractéristiques des ondes acoustiques. Enfin, le processus d'apparition de la matière à partir des fluctuations des nappes de bosons de X décrit aux pages 41 à 45 ressemble fort à celui du déferlement des vagues.

La matière serait en quelque sorte « l'écume de l'espace ».

Il nous faut maintenant faire le lien avec l'effet Casimir et pour cela regarder comment les oscillations de différentes longueurs d'ondes se superposent. Descendons donc en dimensions **1** et **2** pour illustrer ce phénomène. Le graphe suivant nous montre deux oscillations de longueurs d'ondes différentes représentées par des courbes sinusoïdales de dimension **1** oscillant dans la dimension **2**. Les traits rouges symbolisent les deux miroirs de l'expérience.

Fig. 8.1 : Principe de l'effet Casimir



Les deux flèches rouges en opposition à droite du graphique montrent que la pression de la radiation de petite longueur d'onde s'annule, du fait qu'elle correspond à un niveau fractal de la structure de l'espace compatible avec l'écartement L des deux miroirs. En revanche, la flèche rouge de gauche indique que les radiations de longueur d'onde supérieure à cet écartement L ne peuvent être compensées, ce qui explique la force extérieure s'exerçant sur les deux miroirs, sorte de *pression de l'espace* que la théorie quantique interprète comme étant liée à l'*énergie du vide*. En théorie NR, cette énergie est consubstantielle à la structure de l'espace, puisque la maille unitaire a été définie comme une fluctuation minimale de la densité, et donc comme un exemple de ce que les physiciens appellent un *oscillateur harmonique*.

Mais il nous faut cependant expliquer pourquoi les fluctuations de densité de longueur d'onde supérieure à l'écartement des miroirs L ne produisent pas une poussée puis une traction en sens inverse pendant chaque phase, comme on le ressent au passage d'une vague quand on se baigne en mer. Il faut pour cela introduire l'*effet cliquet*.

En effet, les plus petites ondes électromagnétiques se propageant entre les deux miroirs sont quantifiées, ce qui implique que tout mouvement de rapprochement va se traduire par la disparition de certaines harmoniques. C'est donc l'aspect quantique du problème qui provoque cette brisure de symétrie, transformant un *mouvement alternatif* en un *mouvement pulsé* à sens unique.

Force de Casimir généralisée (FCG)

Il convient maintenant de généraliser le principe d'apparition de la force de Casimir entre deux miroirs parallèles, pour l'appliquer à la géométrie des fermions telle qu'elle a été définie en théorie NR par la description du processus topologique d'enveloppement. C'est ce que nous appellerons la *Force de Casimir Généralisée* (FCG).

La stabilisation d'un ballon festif est assurée parce que son enveloppe caoutchouteuse élastique maintient l'équilibre entre pression intérieure et pression extérieure grâce à la réalisation d'un nœud refermant l'orifice de gonflage. Il nous faut donc trouver des substituts microscopiques et quantiques aux deux éléments de cette métaphore, l'enveloppe et le nœud.

Un fermion a été envisagé au chapitre 3 dans la section consacrée à l'apparition de la matière comme une triple enveloppe, disposition assez courante dans le monde macroscopique, que ce soit en ce qui concerne les bulles de savon dont la structure comporte un mince film d'eau emprisonné entre deux couches de *phospholipides amphiphiles*¹, ou dans le domaine de la biologie avec l'existence de nombreuses enveloppes faites d'un *épiderme*, d'un *derme* et d'un *hypoderme*. C'est donc cette disposition qu'il nous faut envisager, l'enveloppe externe jouant le rôle des miroirs de l'expérience de Casimir, en considérant que c'est l'excédent de pression de radiation extérieure qui agit sur le fermion, la pression de l'espace assurant sa stabilité sphérique. Cependant, cette idée de stabilisation par la pression de l'espace extérieur semble bien insuffisante pour contrebalancer l'immense pression intérieure, ces particules ayant été créés selon la théorie NR au cœur des « forges cosmiques » que sont les quasars. Mais l'étude de la masse des fermions nous a appris qu'une partie de celle-ci est diluée dans la zone d'influence de la particule, raison pour laquelle ce sont des hypervolumes et non des volumes qui nous ont donné la clé de la hiérarchie des masses. Il y a donc un phénomène d'amplification de la pression de l'espace à l'approche d'une particule — considérée dans sa section efficace correspondant aux sphères circonscrites des tracés régulateurs — semblable à celui d'augmentation de la hauteur des vagues venant du large lorsqu'elles rencontrent un atterrissement sablonneux.

1 Voir article WIKIPÉDIA : https://fr.wikipedia.org/wiki/Bulle_de_savon

Concernant l'équivalent du nœud assurant la fermeture d'un ballon festif, le blocage des fermions est assuré par les quarks ainsi qu'il a été exposé dans la même section du chapitre 3. De la très petite taille de ces quasi-particules, il résulte une très forte pression de l'espace extérieur au fermion et donc le blocage de sa structure fractale.

Reste à expliquer pourquoi le processus d'enveloppement topologique ne se défait pas, tout comme les cordes d'une guitare ne se détendent pas après avoir été accordées, en raison de l'utilisation de clefs avec vis sans fin. C'est de nouveau l'effet cliquet qu'il nous faut invoquer, le caractère fractal des dispositions géométriques des particules rendant le processus d'enveloppement topologique quasiment non réversible, en l'absence de choc violent comme cela peut advenir dans les accélérateurs de particules.

Au final, la force de Casimir généralisée (FCG) résulte de la combinaison de plusieurs dispositions :

- La triple enveloppe gérant la densité surfacique et l'équilibre entre pression intérieure et pression extérieure ;
- Les quarks assurant le blocage du processus topologique enveloppement ;
- La zone d'influence provoquant l'amplification de la pression de l'espace extérieur ;
- L'effet cliquet rendant le phénomène quasiment non réversible.

Calculs avec la Force de Casimir Généralisée (FCG)

A titre d'exemple, regardons comment nous pourrions tirer partie du concept de force de Casimir généralisée en l'appliquant au cas particulier du proton, objet de nombreuses expériences complexes récentes qui ont permis de mesurer outre sa masse connue depuis longtemps, son rayon de charge et sa pression interne :

- La mesure du rayon de charge du proton a été abordée au chapitre 5 consacré à la taille des particules. Trois résultats calculés ont été proposés (Tab. 5.1 page 94) sur la base des principes de la théorie NR, en particulier celui du framboisement.
- En ce qui concerne la pression interne du proton, un article publié dans la revue *Nature* le 5 juin 2019¹ nous donne les informations suivantes :

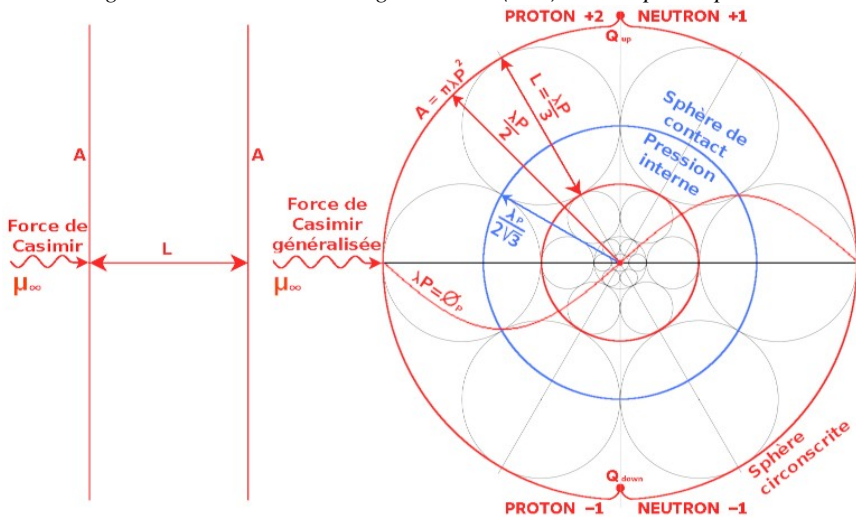
1 Voir article *Nature* : <https://www.nature.com/articles/s41586-018-0060-z>

FORCES

We find a strong repulsive pressure near the centre of the proton (up to **0.6 femtometres**) and a binding pressure at greater distances. The average peak pressure near the centre is about **10^{35} pascals**, which exceeds the pressure estimated for the most densely packed known objects in the Universe, neutron stars.

L'épure ci-dessous reprend à gauche la coupe de principe illustrant la force de Casimir apparaissant entre deux miroirs plans dépourvus de charge électrique séparés par la distance **L** et à droite le tracé régulateur d'un proton, ce même écart **L** étant maintenant appliqué à l'épaisseur du niveau fractal externe de cette particule :

Fig. 8.2 : Force de Casimir généralisée (FCG) - Exemple du proton



Il nous faut considérer le passage de la partie gauche à la partie droite du schéma comme une illustration du premier processus topologique d'enveloppement — bien que le proton soit en fait issu du deuxième, mais c'est sans importance pour notre propos — c'est-à-dire, en reprenant la métaphore de la boule de pétanque et du torchon, que nous disposons à gauche d'un carré de tissu plat d'épaisseur **L** et de surface **A**, et que nous l'enveloppons autour d'une sphère — symbolisée par le petit cercle rouge — dimensionnée de telle manière que le niveau fractal externe, qui est en fait une coquille sphérique, conserve l'épaisseur **L** du tissu, ce qui fixe par voie de conséquence les valeurs des rayons de la section efficace et de la sphère de contact, ainsi que la surface **A** de la sphère circonscrite du tracé régulateur. Une longueur d'onde de courbe sinusoïdale a été ajoutée, égale au diamètre de la sphère circonscrite.

THÉORIE NR

Ces dispositions étant prises, nous pouvons aborder le calcul de la Force de Casimir Généralisée appliquée au cas du proton et tenter d'en déduire les valeurs de la masse et de la pression interne de cette particule, ce qui est l'objet du tableau ci-dessous :

Tab. 8.1 : Divers calculs avec la force de Casimir généralisée (FCG)

Force de Casimir Généralisée – Pression interne – Masses du proton et du neutron						
n°	Donnée	Symb.	Formule	Valeur	u (SI)	d (TNR)
1	Longueur d'onde de Planck Einstein neutre	λ_{BKN}	Voir longueurs d'onde boson de X	9,88149502E-18	m	L
2	Perméabilité gravitationnelle du vide (TNR)	μ_{∞}	$\mu_{\infty} = h/c$	2,21021904E-42	kg m	L ² T ⁻¹
3	Vitesse de la lumière dans le vide	c	Expérimentale	2,99792458E+08	m s ⁻¹	L T ⁻¹
4	Facteur de conversion Joule - électronvolt	F _{JEV}	1 eV = F _{JEV} x J	1,60217663E-19	1	1
5	Coefficient TNR hypervolumes positifs	C _{HN}	Voir calculs tracé régulateur	1,1085519493	1	1
6	Effet de pointe applicable aux surfaces	C _{SH} /C _{SN}	Voir calculs tracé régulateur	0,9976617386	1	1
7	Longueur d'onde associée au proton (TNR)	λ_P	$\lambda_P = 243 \lambda_{BKN}$	2,40120329E-15	m	L
8	Force de Casimir sur proton (Newtons)	F _P	$F_P = \frac{\pi^2 \mu_{\infty} c^3}{6} \frac{C_{SH}}{C_{SN}} \left(\frac{\lambda_P}{\lambda_{BKN}} \right)^2$	6,26767869E+04	kg m s ⁻²	L ² T ⁻³
9	Pression interne du proton (Pascals)	P _P	$P_P = \left(\frac{F_P}{2 \sqrt{3}} \right)^2$	1,30445803E+35	kg m ⁻¹ s ⁻²	T ⁻³
10	Énergie du proton (Joules)	E _P	$E_P = \lambda_P F_P$	1,50499707E-10	kg m ² s ⁻²	L ³ T ⁻³
11	Masse du proton calculée (eV/c ²)	M _{P (C)}	$M_{P (C)} = \frac{E_P}{F_{JEV}}$	9,39345287E+08	eV/c ²	L ³ T ⁻³
12	Masse du proton (mesurée)	M _{P (M)}	Expérimentale	9,38272000E+08	eV/c ²	L ³ T ⁻³
13	Différence M _{P (M)} – M _{P (C)} (valeur absolue)	Δ	$\Delta = M_{P (M)} - M_{P (C)} $	1,07328714E+06	eV/c ²	L ³ T ⁻³
14	Pourcentage différence	% Δ	$\% \Delta = 100 \frac{\Delta}{M_{P (M)}}$	0,11438977	%	%
15	Masse du neutron calculée (eV/c ²)	M _{N (C)}	$M_{N (C)} = M_{P (C)} \left(\frac{C_{SH}}{C_{SN}} \right)^{-1}$	9,41546870E+08	eV/c ²	L ³ T ⁻³
16	Masse du neutron (mesurée)	M _{N (M)}	Expérimentale	9,39565400E+08	eV/c ²	L ³ T ⁻³
17	Différence M _{N (M)} – M _{N (C)} (valeur absolue)	Δ	$\Delta = M_{N (M)} - M_{N (C)} $	1,98146983E+06	eV/c ²	L ³ T ⁻³
18	Pourcentage différence	% Δ	$\% \Delta = 100 \frac{\Delta}{M_{N (M)}}$	0,21089217	%	%

Principes du calcul (voir détails en annexe 11 page 380) :

Ligne 1 : Rappel de la longueur d'onde du boson de X en phase neutre

Ligne 2 : Rappel de la constante μ_{∞} substituée à la constante de Planck **h**

Lignes 3 et 4 : Rappel de deux constantes de la physique

Lignes 5 et 6 : Rappel de deux coefficients de la théorie NR

Ligne 7 : Calcul de la longueur d'onde associée au proton

Ligne 8 : Calcul de la force de Casimir généralisée exercée par l'espace fractal en surface du proton

Ligne 9 : Calcul de la pression interne du proton

Lignes 10 et 11 : Calcul de la masse du proton

Lignes 12 à 14 : Comparaison entre masses du proton calculée et mesurée

Ligne 15 : Calcul de la masse du neutron

Lignes 16 à 18 : Comparaison entre masses du neutron calculée et mesurée

Ce tableau a été établi sur les bases suivantes :

1. L'équation de la force de Casimir est ici reprise dans sa forme réécrite (équation 8.2 p. 227) et en introduisant les valeurs de **A** et de **L** indiquées sur le tracé régulateur du proton ou du neutron de la figure 8.2.

FORCES

2. Le diamètre λ_P du proton utilisé est *énergétique* et non purement *métrique*, car il n'est pas tenu compte du facteur d'harmonisation radiale $3/4$. Sa valeur neutre est obtenue en multipliant la longueur d'onde associée au boson de X en phase neutre dodécaédrique par le facteur 3^5 (cinq niveaux fractals).
3. La force de Casimir généralisée appliquée par l'espace en surface du proton est calculée en utilisant deux corrections pour tenir compte de l'effet de pointe (deux effets positifs au niveau du quark up et un négatif pour le quark down, soit au final un seul effet positif) et de la structure interne positive du proton.
4. La pression interne du proton est établie au niveau de la sphère de contact en suivant les équations aux dimensions données par la colonne de droite du tableau : $L^2 T^3 / L^2 \rightarrow T^3$.
5. Même principe pour le calcul de l'énergie du proton exprimée en joules, en utilisant maintenant le produit $L^2 T^3 \times L \rightarrow L^3 T^3$.
6. La masse du proton est finalement calculée à partir de son énergie exprimée en joules, en utilisant le facteur de conversion joules $\rightarrow$ électronvolt $F_{Jev} = 1,60217663.10^{-19}$.
7. La masse du neutron est établie en supprimant le facteur C_{So} / C_{Sn} présent dans l'équation de la ligne 8 reflétant l'effet de pointe. En effet, dans le cas du neutron, les effets de pointe au niveau des deux quarks en opposition se compensent.

Au final, nous avons ainsi établi une nouvelle équation de Casimir sous une forme sphérique dite *généralisée* (FCG). Nous retrouvons par une approche nouvelle les principes précédemment établis en ce qui concerne l'origine de la masse des particules, que nous avons reliée aux concepts d'*hypervolume* et *zone d'influence*, de *densité surfacique* et de *pression de l'espace*.

Résultat 24 : La pression interne du proton est évaluée au rayon de **0,69 femtomètres** ($\lambda_P / 2\sqrt{3}$) avec pour valeur **$1,30.10^{35}$ Pascals**, résultat très proche de celui publié le 5 juin 2019 (*Revue Nature*).

Résultat 25 : La masse du proton est calculée une deuxième fois avec une précision passant de **1,82 ‰** (voir Tab.6.4 p. 118) à **1,14 ‰**.

Résultat 26 : La masse du neutron est calculée une deuxième fois avec une précision passant de **1,79 ‰** (voir Tab.6.4 p. 118) à **2,11 ‰**.