

Force nucléaire faible

Rappel des précédentes observations

L'*électrodynamique quantique* (*quantum electrodynamics* QED) est l'actuelle théorie physique ayant permis l'unification de la force électromagnétique et de la force nucléaire faible, unification qui a pris le nom d'*interaction électrofaible*¹.

Cette interaction dite *faible* a précédemment fait l'objet en théorie NR de trois approches concernant les neutrinos, les bosons intermédiaires Z^0 et W^\pm , ainsi que le concept d'hélicité :

- **Masse des neutrinos** : Fig 6.7 page 122 *Géométrie fractale des neutrinos et principe de la désintégration β* .
- **Masses-énergies des bosons intermédiaires** : Fig 6.26 page 174 *Symétrie de jauge interaction électromagnétique / interaction faible* et Fig 6.27 page 175 *Tracé régulateur « mousse » des bosons vecteurs de la force faible*.
- **Hélicité** : Fig 7.7 page 201 : *Hélicité des fermions et des bosons*.

Ces différentes études entrent toutes dans le cadre de la géométrie fractale de la théorie NR, laquelle propose une interprétation de l'architecture des particules à partir de quatre éléments de base :

1. **Les « bulles »**, représentées par des cercles verts dans les tracés régulateurs, qui sont des « morceaux d'espace neutre harmonisés » issus du processus topologique de double enveloppement à l'origine de l'apparition des fermions.
2. **Les « élastiques »**, que l'on schématise comme les arcs de cercles qui joignent les points de contact entre bulles d'un même niveau fractal dans un tracé régulateur.
3. **Les « ressorts »**, qui sont identifiés comme les vecteurs radiaux d'un tracé régulateur, joignant soit le centre d'un fermion à un point du tracé régulateur, soit deux points du tracé régulateur situés sur un même rayon issu du centre.

1 Voir WIKIPÉDIA : https://fr.wikipedia.org/wiki/Interaction_électrofaible

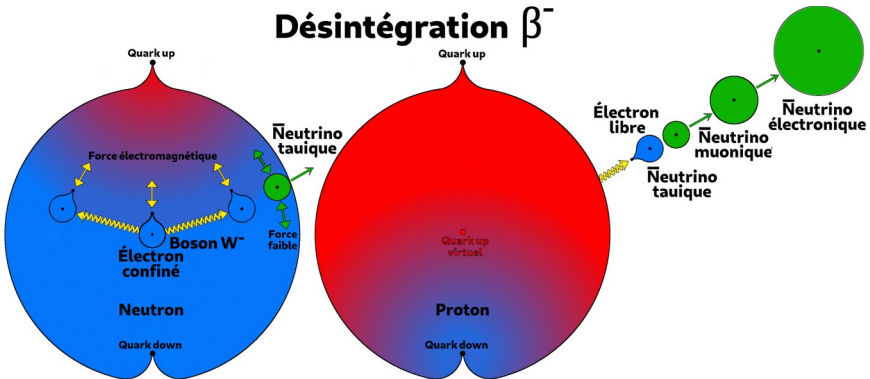
FORCES

4. **Les « valves »**, prenant la place des fameux quarks du Modèle standard de la physique des particules, qui ne sont pas des particules mais des « détails techniques » d'un fermion issus du processus topologique de double enveloppement. Ces valves ne sont pas représentées dans les tracés régulateurs.

Dans ce cadre architectural, les vecteurs représentatifs des bosons Z^0 et W^\pm ont été situés sur la figure 6.27 de la page 175 dans un tracé régulateur « mousse », c'est-à-dire en se référant à l'architecture interne d'une réelle mousse de savon qui présente des faces planes entre bulles adjacentes, ce qui supprime les zones rouges violettes ou bleues des tracés régulateurs symbolisant la courbure positive (douze sphères tangentes), neutralisée (onze ou douze sphères tangentes selon le niveau fractal) ou négative (onze sphères tangentes) des fermions.

D'autre part, la figure 6.26 de la page 174 nous a montré comment les vecteurs associés aux bosons Z^0 et W^\pm peuvent être « unifiés » dans le cadre d'une *symétrie de jauge* avec ceux représentant l'action des photons sur un fermion. Il s'agit au final d'une sorte de *symétrie miroir*, produite par un miroir initialement plan ayant subi une transformation topologique identique à celle que nous avons utilisé à propos de la force de Casimir généralisée, le dit miroir devenant sphérique, ce qui est une manière simple et élégante de procéder dans une vision architecturale à l'unification baptisée *interaction électrofaible* entre la force électromagnétique et la force nucléaire faible. Par ailleurs, la figure 6.7 de la page 122 nous a proposé une interprétation graphique du processus de désintégration β , le schéma suivant en reprenant les principes :

Fig. 8.15 : Principe de la désintégration β^- en théorie NR



THÉORIE NR

La partie gauche du schéma nous montre l'état d'un neutron issu du deuxième processus topologique d'enveloppement, après que l'électron interne ait quitté sa position d'origine face au quark down.

L'électron dit *confiné* s'est alors retourné, attiré par la zone rouge de courbure positive associée au quark up. Mais il ne peut chuter vers ce quark, écarté de la même manière qu'un électron externe dit *libre*, mais en fait *lié* car pris dans le sextuple puits de potentiel externe généré par un proton. En effet, le pincement de la structure fractale interne d'un fermion — qui n'est pas représenté dans les tracés régulateurs — crée un sextuple puits de potentiel interne, par la même *symétrie de jauge* à laquelle nous avons fait appel pour justifier l'identité de nature entre photon et boson de jauge électrofaible.

Mais ces puits de potentiels externe et interne « symétriques de jauge » ne sont pas statiques, dans un espace structuré par des oscillateurs harmoniques. Précisément, ils oscillent selon un rythme à deux temps comme tous les « morceaux d'espace » limités par les ondes stationnaires (effet piscine) et de surcroît ils pivotent selon le rythme ternaire caractéristique de l'architecture interne des quarks (voir Fig 6.10 page 131). De ce fait, l'électron confiné à l'intérieur d'un neutron se comporte à la manière du battant d'une cloche dont on manœuvre la robe (voir note 1 page 101). Tout comme le battant finit par heurter la robe, l'électron confiné tente de forcer la peau la plus externe du neutron, ce qu'il finit inévitablement par faire avec une probabilité stable, la durée moyenne caractéristique de la désintégration du neutron libre étant d'environ un quart d'heure (**880,3 ± 1,1 secondes**).

A l'intérieur du neutron est indiqué en vert un neutrino tauique participant à la « peau externe » comme indiqué sur la figure 8.15 de la page 311. Les deux doubles flèches vertes symbolisent la force nucléaire faible¹, ce qui équivaut à la *tension superficielle* responsable de la stabilité d'une bulle de savon, au détail près que nous sommes ici dans le monde quantique et c'est en réalité six doubles

1 Notons que selon ce principe, la portée de l'interaction faible correspond au rayon de l'électron dont la valeur a été établie à **3,335 10⁻¹⁷ m** (voir Tab 5.1 ligne 3 page 94). L'article WIKIPÉDIA *Interaction faible* indique :

L'interaction faible a une portée très courte, et son influence est limitée au noyau atomique. On peut l'expliquer par la masse des bosons W et Z, qui est d'environ **90 GeV.c⁻²**, ce qui leur donne une durée de vie inférieure à **10⁻²⁴ s** et confère à l'interaction faible une portée théorique d'environ **10⁻¹⁷ m**.

FORCES

flèches vertes situées en surface d'un neutron autour d'un neutrino tauique encore confiné qu'il nous faut imaginer (voir équation 6.22 page 178).

A droite de la figure 8.15 ci-dessus, le neutron s'est transformé en proton, l'électron initialement confiné ayant percé la peau du neutron, entraînant avec lui un neutrino tauique, lequel va « s'habiller » au fur et à mesure que la densité de l'espace neutre environnant va baisser (voir arcs de parabole de la figure 8.13 page 301), devenant successivement un neutrino muonique puis un neutrino électronique.

La flèche jaune hélicoïdale représente le « ressort » qui accompagne la désintégration β^- . Son correspondant dans la théorie de l'électrodynamique quantique est le boson W^- . La théorie NR propose de le considérer comme équivalent au vecteur de pression interne d'un neutron, stabilisé par la pression externe de l'espace et la tension superficielle, principe régissant l'équilibre statique d'une bulle de savon.

Il ne s'agit donc pas vraiment d'une particule, mais à l'instar de son « cousin de jauge » le photon, d'une onde se propageant au travers de l'espace structuré par les bosons de X .

La violation de la symétrie CP (*charge et parité*) a été expliquée par la différence entre fermions et bosons (voir Fig 7.7 page 201).

C'est pourquoi la figure 8.15 utilise un graphisme du type « tire-bouchon » tournant à gauche pour symboliser l'hélicité gauche des bosons se propageant dans l'espace en expansion.

Constante de couplage de la force nucléaire faible

Il nous reste un point à examiner dans cette section consacrée à la force nucléaire faible, celui de la valeur de sa *constante de couplage* α_w , équivalente à sa cousine la *constante de structure fine électromagnétique* α .

Nous allons une nouvelle fois faire appel à la *symétrie de jauge*, en l'appliquant maintenant au couple neutron / atome d'hydrogène que nous avons utilisé comme source de la force gravitationnelle.

Le croquis suivant illustre cette symétrie :

THÉORIE NR

Fig. 8.16 : Constante de couplage de la force nucléaire faible (symétrie de jauge)



La double flèche de gauche nous donne le *rayon électromagnétique* du neutron, c'est-à-dire son rayon métrique égal à celui du proton (voir Tab 5.1 ligne 6 page 94) pris dans sa section efficace sans tenir compte du framboisement, réduit de deux fois le rayon de l'électron (voir ligne 3 du même tableau) et multiplié par le facteur de Landé du neutron (voir Tab. 7.2 ligne 8 page 221), ce qui au final revient à remplacer le *centre géométrique* du neutron par un *centre électromagnétique*.

Coté droit, la même procédure est appliquée au rayon de Bohr de l'atome d'hydrogène (voir Tab 8.7 ligne 3 page 263), mais avec utilisation du facteur de Landé du proton (voir Tab 7.2 ligne 12 page 221), considérant que la structure électromagnétique interne du proton, issue de la désintégration β^- du neutron, se projette dans le puits de potentiel externe du quark up dans lequel se loge l'électron devenu libre. Sur ces bases, la constante de couplage α_w de la force nucléaire faible (l'indice w faisant référence à l'anglais *weak*) répond à l'équation suivante :

$$\alpha_w = \frac{C_{S0}/C_{SN}}{C_{S+}} \frac{(R_N - 2 R_e) g_N}{(R_H - 2 R_e) g_P} \quad (8.42)$$

Le coefficient C_{S0}/C_{SN} exprime l'effet de pointe en hypervolume associé au quark up, puisque comme dans le cas de la constante de structure fine, nous nous référons à des angles hypersolides de dimension $L^4 L^{-4}$. Quant au coefficient C_{S+} , il agit sur la *densité surfacique* commune au neutron et au proton (douze sphères autour d'une) en lui redonnant par division une valeur euclidienne, ce qui permet de rendre la surface miroir de la symétrie de jauge homogène avec les longueurs euclidiennes des trois rayons R_N , R_e et R_H . Vient ensuite le rapport entre les deux rayons électromagnétiques interne et externe de la symétrie de jauge.

FORCES

Au final, nous obtenons le nombre adimensionnel suivant :

Tab. 8.16 : Calcul de la constante de couplage α_w de la force nucléaire faible

Calcul de la constante de couplage de la force nucléaire faible α_w					
n°	Donnée	Symb.	Formule	Valeur	U (SI)
1	Effet de pointe en hypervolume	C_{H0}/C_{HN}	Voir calculs avec le tracé régulateur	0,9953289447	1
2	Coefficient TNR applicable aux surfaces positives	C_{S+}	Voir calculs avec le tracé régulateur	1,0528779366	
3	Rayon métrique du neutron (section efficace)	R_N	Voir calculs rayons des fermions	9,00451234E-16	m
4	Rayon métrique de l'électron (section efficace)	R_e	Voir calculs rayons des fermions	3,33500457E-17	m
5	Rayon de Bohr de l'atome d'hydrogène	R_H	Voir calculs avec le tracé régulateur	5,29177211E-11	m
6	Facteur de Landé du neutron	g_N	Voir calculs des facteurs de Landé	3,8260854500	1
7	Facteur de Landé du proton	g_p	Voir calculs des facteurs de Landé	5,5856947020	1
8	Constante de couplage de la force nucléaire faible (calculée)	$\alpha_{W(C)}$	$\alpha_{W(C)} = \frac{C_{H0}/C_{HN}}{C_{S+}} \frac{R_N - 2 R_e}{R_N - 2 R_e} g_N$	1,02023903E-05	1
9	Constante de couplage de la force nucléaire faible (mesurée)	$\alpha_{W(M)}$	expérimentale	1,01800000E-05	1
10	Différence $\alpha_{W(M)} - \alpha_{W(C)}$ (valeur absolue)	Δ	$\Delta = \alpha_{W(M)} - \alpha_{W(C)} $	2,23903462E-08	1
11	Pourcentage différence	% Δ	% $\Delta = \frac{\Delta}{\alpha_{W(M)}}$	0,2199444614	%

Résultat 37 : La constante de couplage de la force nucléaire faible est calculée avec une précision de **2,20 %** en se référant à la valeur expérimentale de **1,018 x 10⁻⁵**, donnée par le site internet suivant : <http://feynman.phy.ulaval.ca/marleau/pp/06dimensions/Chapitre4.htm>

Électrodynamique quantique et théorie NR

A partir de l'article WIKIPÉDIA *Interaction faible*, comparons les principes exprimés par la théorie de l'électrodynamique quantique (QED) et l'approche géométrique de la théorie NR :

C'est la seule interaction fondamentale capable de changer la saveur des quarks ;

La QED considère que les processus de désintégration β^- transforme un quark down q_d du neutron en un quark up q_u du proton, dans un cadre physique qualifié de *mer de quarks et de gluons*. L'architecture précise de la théorie NR indique que le neutron contient *réellement* un électron issu du double processus topologique d'enveloppement. Celui-ci est pour le neutron « une sorte d'individu allogène venu de l'espace en phase négative », dont la présence crée une instabilité globale, en raison de l'incompatibilité entre structures fractales (onze ou douze sphères autour d'une). C'est cette instabilité structurelle qui est à l'origine de la désintégration β^- . Le supposé changement de saveur des quarks est alors vu comme la perte du quark q_e de l'électron (création TNR) et son remplacement par un quark up q_u du proton, qualifié de « central et virtuel » car ce n'est pas une « valve » mais un point de concentration de la structure fractale du proton qui se crée spontanément par harmonisation interne.

THÉORIE NR

C'est la seule qui viole la symétrie P (parité) ;
C'est aussi la seule qui viole la symétrie CP (charge et parité) ;

En théorie NR, la violation de la symétrie P (symétrie miroir d'inversion de l'espace) s'explique par la différence entre un boson intermédiaire Z^0 ou W^\pm confiné à l'intérieur du neutron et libéré après désintégration β .

Cette situation relève de la même logique qui nous a amenés à attribuer aux fermions soustraits à l'expansion de l'espace le spin $1/2$, en raison du croisement des fluctuations internes et aux bosons libres dans l'espace accompagnant l'expansion le spin 1 (voir Fig 7.7 page 201).

Quant à la violation de la symétrie CP, elle relève directement du précédent point étudié, à savoir l'apparition du quark up q_u du proton qualifié de « central et virtuel », puisque celui-ci ne possède pas la nature de « valve » attribuée aux « quarks polaires », ce qui constitue à l'évidence une brisure de symétrie, aussi bien C que P ou même par combinaison CP.

Elle est portée par des bosons munis d'une masse importante, cette caractéristique inhabituelle étant expliquée dans le modèle standard par le mécanisme de Higgs ;

Le mécanisme de Higgs¹ vise à résoudre le problème du défaut de symétrie entre le photon et les bosons intermédiaires Z^0 ou W^\pm , en particulier le problème de la masse supposée nulle s'agissant du photon, mais très élevée « de l'autre côté du miroir de jauge », ceci dans le but d'aboutir à l'unification baptisée *interaction électrofaible*.

Notons au passage que ce mécanisme n'explique qu'une petite partie du concept de masse d'une particule, en particulier il ne permet pas d'accéder aux masses des nucléons, neutron ou proton.

Le problème ne se pose pas en théorie NR, puisque qu'une masse est attribuée aux photons (voir section dédiée pages 170 à 173). La symétrie de jauge entre photons et bosons intermédiaires a ainsi été expliquée très simplement (voir Fig 6.26 page 174).

1 Voir article WIKIPÉDIA : https://fr.wikipedia.org/wiki/Mécanisme_de_Brout-Englert-Higgs-Hagen-Guralnik-Kibble

FORCES

C'est la seule qui ne produit aucun état lié connu entre corpuscules, qui serait comparable aux orbites des planètes autour des étoiles pour la gravitation, à celles des électrons autour des noyaux pour l'interaction électromagnétique, et aux liaisons entre quarks dans les nucléons pour l'interaction forte ;

La théorie NR associe à la force nucléaire faible la notion de *tension superficielle*, telle qu'elle apparaît dans un phénomène macroscopique comme celui d'une bulle de savon. La figure 8.17 ci-dessous illustre cette notion, les couleurs des flèches rouge bleue et verte exprimant le caractère triphasé de cette tension. L'image 8.18 montre comment, à partir d'un pavage de sphères principales (en vert-jaune clair), on peut remplir les interstices, ce qui explique que la structure fractale d'un nucléon se répercute en surface, en imaginant bien entendu que chaque grande sphère contient elle-même l'image globale réduite d'un facteur **3**. La théorie NR voit ainsi la force nucléaire faible comme un état lié des neutrinos tauques τ présents en surface d'un nucléon.

Fig. 8.17 : Tension superficielle

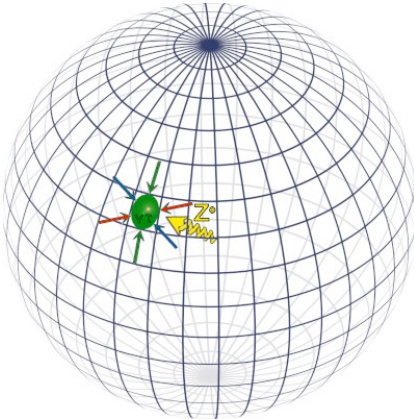
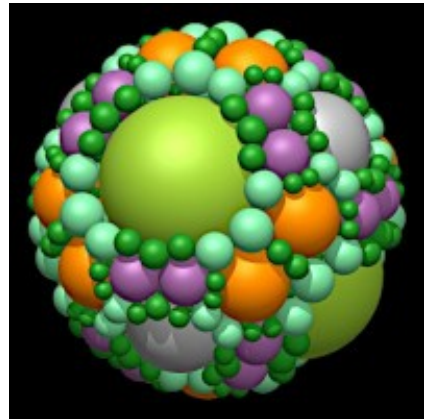


Fig. 8.18 : Sphères d'Apollonius¹



L'interaction faible a une portée très courte, et son influence est limitée au noyau atomique. On peut l'expliquer par la masse des bosons W et Z, qui est d'environ $90 \text{ GeV} \cdot c^{-2}$, ce qui leur donne une durée de vie inférieure à 10^{-24} s et confère à l'interaction faible une portée théorique d'environ 10^{-17} m , soit cent fois moins que l'interaction forte (les autres interactions fondamentales – électromagnétique et gravitationnelle – ont une portée infinie) ;

1 Source : <http://aesculier.fr/fichiersMaple/cerclesApollonius/cerclesApollonius.html>

THÉORIE NR

Il y a un très bon accord entre la QED et la théorie NR en ce qui concerne la portée de l'interaction faible, puisqu'au niveau de sa section efficace un rayon de $3,33 \cdot 10^{-17} \text{ m}$ a été attribué à l'électron, ainsi qu'au neutrino tauique τ emporté par la désintégration β^- . Ceci étant, l'explication de cette faible portée par la masse élevée des bosons intermédiaires n'est pas très convaincante, puisqu'en principe, selon le Modèle standard de la physique des particules, *courte portée* rime avec *haute énergie*. Pourquoi dans ces conditions, la constante de couplage est-elle si faible, alors que comme on le verra dans la prochaine section consacrée à la force nucléaire forte, cette dernière a une portée théorique de 10^{-15} m ? Le paradoxe est résolu en théorie NR, avec la métaphore de la bulle de savon, la tension superficielle n'étant que la relativement faible différence entre pression extérieure et pression intérieure.

Cette force fondamentale est la plus faible des interactions non gravitationnelles. Aux énergies habituellement considérées en physique nucléaire, on la modélise par une interaction effective simplifiée (force de Fermi) dont la constante de couplage est environ 10 000 fois moindre que celle de l'interaction électromagnétique et 1 000 000 fois moindre que celle de l'interaction nucléaire forte. Cela s'explique entre autres par le fait que son champ d'action est très limité. Cependant, son intensité croît rapidement avec l'énergie des particules en présence, ce qui fait qu'elle rattrape l'interaction électromagnétique vers quelques dizaines de GeV ;

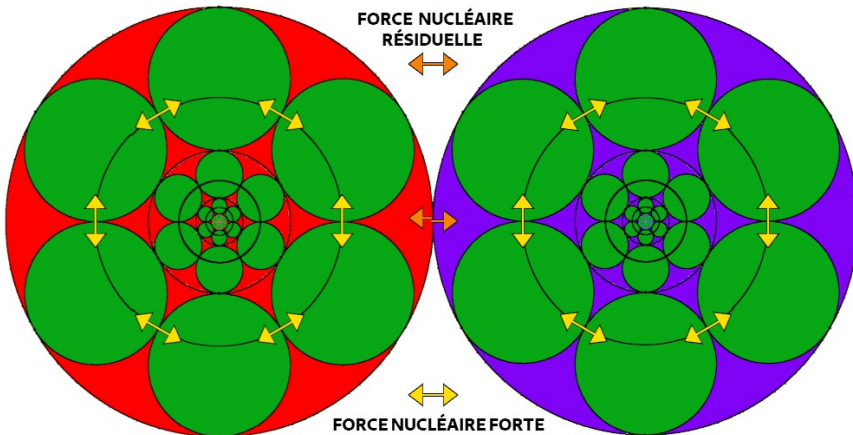
Ce problème de la hiérarchie de l'intensité des quatre forces fondamentales de la nature, représentée par les différentes constantes de couplage, fera l'objet d'un examen détaillé dans les conclusions de ce premier tome. Disons simplement qu'en théorie NR, la force nucléaire faible se manifestant en surface des nucléons comme une tension superficielle, elle ne dépend que du niveau d'énergie de cette surface, ce que nous traduisons comme une forme d'*énergie potentielle*, le caractère *potentiel* étant lié au fait que les particules subatomiques sont soustraites à l'expansion de l'espace, et que ce potentiel ne se manifeste qu'avec le processus de désintégration β^- . Notons que nous n'avons pas abordé le phénomène spécifique du *courant faible neutre* associé au boson Z^0 . Ce n'est en théorie NR qu'une « désintégration β^- ratée », où l'électron a poussé le neutrino τ sans parvenir à s'éjecter lui-même.

Force nucléaire forte

Métaphore de la mousse de savon

L'étude de l'interaction faible nous a amenés à regarder les nucléons — neutron et proton — comme des bulles de savon uniques stabilisées par l'opposition des pressions interne ↔ externe et la tension superficielle, ce qu'exprime bien la figure 8.16 qui nous a permis de calculer la constante de couplage α_w . L'entrée dans le domaine de l'interaction nucléaire forte va nous conduire vers une architecture plus complexe, celle d'une « mousse de savon », métaphore que nous avons souvent utilisée et même choisie comme illustration de couverture. Le tracé régulateur présenté ci-dessous montre la vision symbolique de l'assemblage d'un proton et d'un neutron, ce qui forme le noyau d'un atome de *deutérium*, premier isotope de l'hydrogène. La force nucléaire ainsi apparaît sous deux formes, en tant que liaison entre nucléons (double flèche orange) et comme force interne assurant la stabilité de l'architecture d'un nucléon (doubles flèches jaunes). La première est parfois appelée *force nucléaire résiduelle*, et sa transmission est assurée selon les principes de la *chromodynamique quantique* (*quantum chromodynamics* QCD) par des particules instables appelées *pions*¹, également dénommées *mésons* π . La force interne est censée être véhiculée par des bosons cousins des photons baptisés *gluons*².

Fig. 8.19 : La force nucléaire forte sur le tracé régulateur du noyau de deutérium



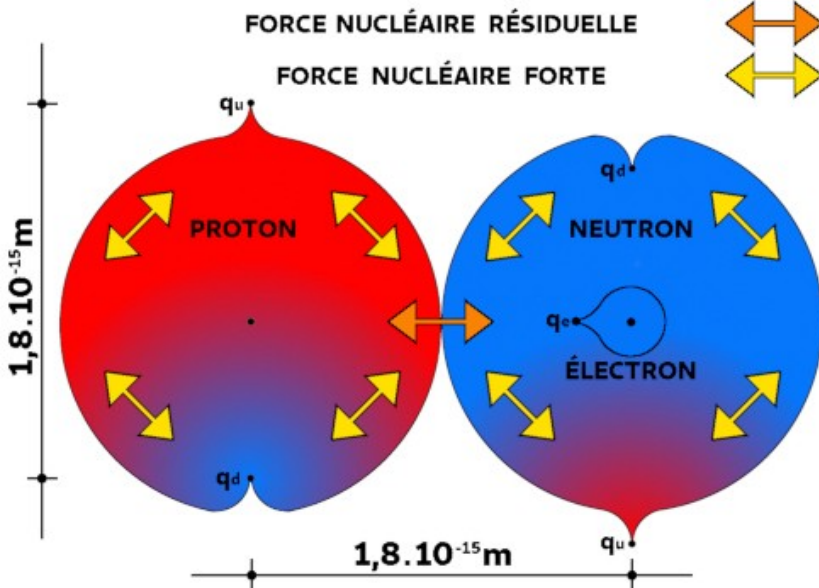
1 Voir article WIKIPÉDIA : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Pion_\(particule\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Pion_(particule))

2 Voir article WIKIPÉDIA : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Gluon>

THÉORIE NR

La figure 8.19 est en quelque sorte une « coupe parallèle » à l'équateur des deux sphères formant le noyau de deutérium. Le schéma suivant est une « coupe méridienne » passant par les pôles que constituent les quarks up et down.

Fig. 8.20 : La force nucléaire forte sur la coupe méridienne du noyau de deutérium



La double flèche orange nous suggère que la force nucléaire résiduelle n'est au final qu'une variante de la force électromagnétique s'exerçant entre particules de charges opposées, symbolisées ici par les couleurs rouge et bleue, sachant que la théorie NR prévoit la présence réelle d'un électron au sein du neutron, et non pas son apparition par une sorte de « génération spontanée » lors d'une désintégration β^- (voir Fig 8.15 page 311)¹.

Les doubles flèches jaunes sont intéressantes dans cette configuration graphique, car elles illustrent le phénomène appelé par les physiciens *liberté asymptotique*², ce qui n'a rien de très mystérieux en théorie NR, puisque le résultat du processus topologique de double

1 Extraits de l'article WIKIPÉDIA consacré au neutron :

[...] Ayant découvert l'existence du noyau atomique en 1911, Ernest Rutherford émet en 1920 l'hypothèse de l'existence du neutron comme une association proton-électron. [...] De plus, en 1934 Enrico Fermi explique la radioactivité β comme la transformation d'un neutron par l'émission d'un électron (créé au moment de son émission) ainsi qu'un neutrino (qui restait encore à découvrir une vingtaine d'années plus tard). [...]

2 Voir article WIKIPÉDIA : https://fr.wikipedia.org/wiki/Liberté_asymptotique

FORCES

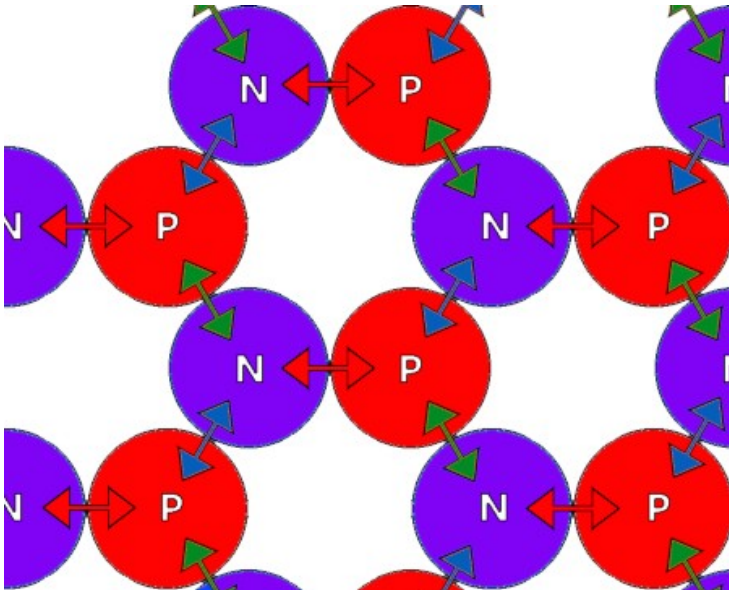
enveloppement que nous avons décrit transforme par pincement les sphères égales des tracés régulateurs en sortes d'élastiques qui relient entre eux les quarks opposés.

La conséquence est que la force médiatrice croît avec la distance, contrairement aux autres forces, gravitationnelle ou électromagnétique.

Force nucléaire forte dite résiduelle

Le chapitre 9 du tome 2 consacré à l'*architecture de la matière* reviendra dans le détail sur la manière dont la force nucléaire forte dite résiduelle s'exerce au sein des noyaux atomiques. Nous pouvons cependant d'ores et déjà lever un coin du voile, le croquis suivant venant s'opposer à la vision traditionnelle des noyaux atomiques apparaissant dans de nombreux articles scientifiques où protons et neutrons sont assemblés en boule, partant du principe ces particules sont également sensibles à la force nucléaire forte. Mais la figure 8.20 nous a montré que cette force n'était finalement qu'une « variante architecturale » de la force électromagnétique, ce qui nous oblige à imaginer une autre vision que la simple « mise en boule » des nucléons, sous la forme d'un maillage développé en surface, plane dans l'illustration, sphérique en réalité :

Fig. 8.21 : Pivotement triphasé de la force nucléaire forte résiduelle entre nucléons



THÉORIE NR

Plusieurs enseignements peuvent être tirés de cette disposition :

1. Ce maillage hexagonal garantit que seules des liaisons du type noyau de deutérium (proton \leftrightarrow neutron) sont possibles, ce qui exclut l'éventuelle existence de liaisons répulsives du type proton \leftrightarrow proton.
2. La présence de vides au milieu des mailles implique qu'un nucléon ne peut posséder des paires de liaisons diamétralement opposées.
3. Le caractère triphasé des quarks indiqués sur la figure 8.20 se transmet à l'ensemble de la structure d'un nucléon, ce qui fait que seules les liaisons de même couleur sur la figure 8.21 sont simultanément actives, et comme il n'y a pas de liaisons diamétralement opposées, c'est l'intégralité de la force électromagnétique qui est disponible à chaque tiers de phase dans une direction donnée, rouge bleue ou verte.
4. On aboutit ainsi, avec cette conception très géométrique de l'application de la force nucléaire forte résiduelle entre nucléons, à une sorte de *chromodynamique quantique sur réseau*¹, la version de la théorie NR n'ayant cependant pas grand-chose de commun avec cette théorie spéculative, puisqu'il s'agit ici d'un réseau de nucléons et non de l'utilisation d'un espace-temps discrétisé, venant remplacer l'espace-temps continu de la chromodynamique quantique du Modèle standard de la physique des particules.

Constante de couplage de la force nucléaire forte

Comme dans l'étude de la force nucléaire faible, il nous reste à aborder le calcul de la *constante de couplage de la force nucléaire forte* α_s (indice *s* signifiant *strong*) et l'hypothèse d'une éventuelle différenciation à envisager entre force nucléaire forte liant les quarks et force nucléaire résiduelle associant des nucléons. Les manuels de physique théorique présentent cette constante de couplage comme étant approximativement égale à l'unité (≈ 1).

Nous allons voir que la théorie NR est beaucoup plus radicale. En effet, elle entend bien donner à la constante de couplage de la

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

FORCES

force nucléaire forte α_s la valeur unité, non pas *approximativement* mais *rigoureusement* (= 1), ce qui appelle quelques explications.

Nous avons associé page 239 la charge électrique élémentaire e à l'angle solide correspondant à la face d'un tétraèdre régulier vu depuis le sommet opposé. La charge e ainsi transformée est donc considérée comme exacte, pour une raison géométrique et non suite à une décision prise à la conférence générale des poids et mesures (CGPM) lors de sa vingt sixième réunion du 16 novembre 2018, décision applicable à compter du 20 mai 2019.

Cet angle solide est parfaitement *euclidien*, et ce n'est qu'en tentant de paver l'espace avec des tétraèdres réguliers (ce qui est un procédé *dual* de celui consistant à le paver avec des sphères ou des dodécaèdres) que nous sommes obligés de rendre l'espace « souple » pour résorber la *frustration géométrique*, « défaut congénital » de l'espace euclidien à trois dimensions spatiales. Ce problème a été résolu en théorie NR en proposant d'ajouter une quatrième dimension spatiale à l'espace euclidien tridimensionnel classique, dimension représentative de la *densité de l'espace* (ou *jauge de l'espace*), ce qui est beaucoup plus simple que de faire appel au concept de *courbure de l'espace* inhérent à la géométrie riemannienne. Ainsi, contrairement au problème du calcul de la constante de couplage de la force électromagnétique α objet du tableau 8.5 page 256, nous ne sommes pas dans le cas d'une projection lointaine de la force due au pincement du quark up du proton et au fait que l'électron vient se loger dans seulement un sixième du faisceau, mais dans une situation de symétrie où le quark q_e de l'électron confiné dans le neutron fait face au quark q_p (central et virtuel) du proton, ce qui signifie que les deux angles solides associés à ces deux quarks — de charge égale en valeur absolue mais de signe contraire — sont égaux.

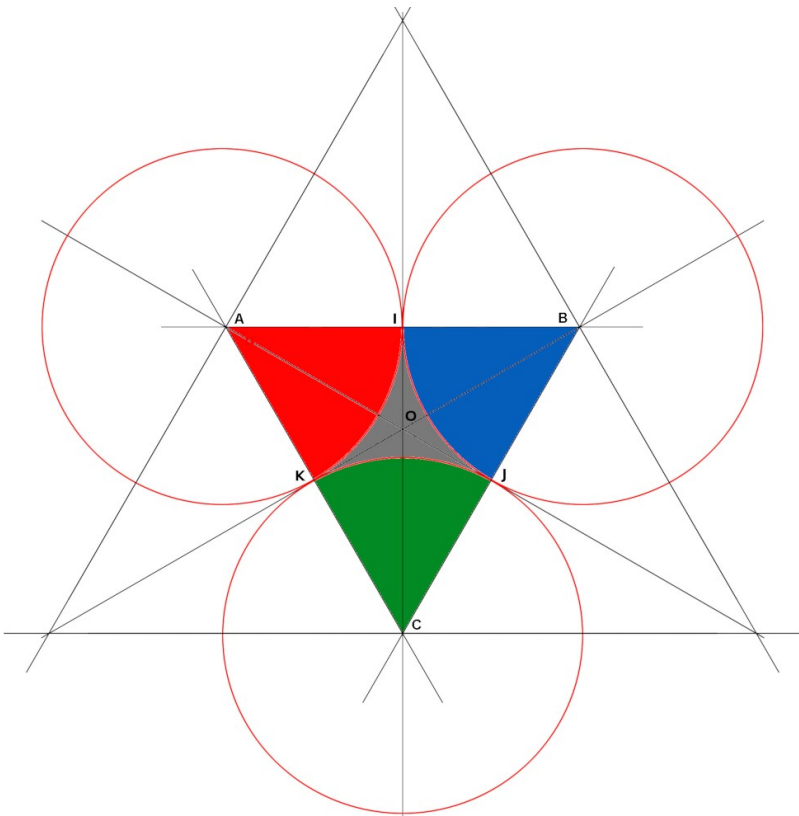
Une constante de couplage étant un nombre adimensionnel, sa valeur doit provenir d'un rapport entre *angles solides*, comme dans le cas présent où nous avons affaire à une interaction par contact en surface ; ou d'un rapport entre *angles hypersolides* dans le cas la constante de couplage électromagnétique α , où il s'agit d'une interaction par projection, ce qui mobilise deux dimensions spatiales supplémentaires, celle radiale et celle associée à la densité de l'espace.

THÉORIE NR

De ces considérations, nous déduisons que la valeur de la constante de couplage de la force nucléaire forte α_s est rigoureusement égale à l'unité, puisque quotient de deux angles solides égaux à celui associé à la charge électrique élémentaire e , ce qui procède des deux principes suivants :

1. L'angle solide associé au quark up de l'électron confiné dans le neutron est égal à celui associé à la charge électrique élémentaire e , donné à ligne 12 du tableau 8.2 de la page 237 sous la forme $e = (\mathbf{S}_+ - \mathbf{S}_0)/R^2$, différence entre les surfaces des sphères de contact positive et neutralisée, divisée par le rayon de cette sphère de contact fixé à la valeur 1 .
2. L'angle solide associé au quark central virtuel du proton est illustré par le croquis suivant, basé sur la figure 2.1 de la page 25 qui nous a permis de calculer les différents coefficients de la théorie NR (voir tableaux 2.1 à 2.4 page 29) :

Fig. 8.22 : Mode de transmission de l'interaction forte entre nucléons



FORCES

Ce croquis demande deux petits efforts de visualisation.

Premièrement, le plan de la feuille doit être imaginé comme étant celui d'une sphère¹, les cercles rouges représentant symboliquement trois sphères posées sur une sphère centrale d'égal rayon centrée au point **O**, celle-ci devant être visuellement placée dans la profondeur, derrière les trois sphères.

Ensuite, les segments **AB**, **BC** et **CA** doivent être considérés comme rectilignes et non sphériques comme ce fut le cas lors du calcul des coefficients de la théorie NR. Ils représentent ainsi la base d'un tétraèdre régulier dont le sommet opposé se situe au point **O**, ce qui illustre le principe précédemment évoqué d'une relation de *dualité* entre le pavage de l'espace par des sphères et celui par des tétraèdres réguliers.

Subséquentement, nous obtenons la démonstration graphique que le triangle **ABC**, dans sa version plane comme dans sa version sphérique, correspond bien à l'angle solide que nous avons associé à la charge électrique élémentaire **e**. Or, il nous faut considérer que le neutron tout comme le proton possède selon les principes du tracé régulateur un « exoderme » composé de douze sphères jointives, ce qui génèrent vingt quatre triangles **ABC**, dont un seul est mobilisé pour permettre la transmission de la force nucléaire forte résiduelle d'un nucléon à un autre, selon le principe du maillage illustré par la figure 8 .21. De surcroît, cette transmission est « triphasée », raison pour laquelle les couleurs rouge bleue et verte ont été reportées dans le triangle **ABC** de la figure 8.22.

Au final, l'angle solide que nous associons à la charge élémentaire du quark virtuel central du proton est celui de l'entier espace euclidien soit 4π , divisé par **24**, et multiplié par le coefficient **C_{s+}** assurant la résorption de la frustration géométrique en surface d'un nucléon.

A partir de ces deux principes, nous sommes en mesure de proposer le tableau suivant, attestant de l'égalité des angles solides associés à l'interaction forte résiduelle entre neutron et proton, ainsi que la valeur **1** de la constante de couplage α_s :

1 Problème bien connu des cartographes qui utilisent diverses méthodes de projection de la surface d'une sphère sur un plan.

THÉORIE NR

Tab. 8.17 : Calcul de la constante de couplage α_s de la force nucléaire forte

Calcul de la constante de couplage de la force nucléaire forte α_s					
n°	Donnée	Symb.	Formule	Valeur	U (SI)
1	Coefficient TNR applicable aux surfaces positives	C_{S+}	Voir calculs avec le tracé régulateur	1,0528779366	1
2	Angle solide associé à la charge électrique élémentaire	e	Voir calcul des phases de l'espace	0,5512855984	1
3	Angle solide associé à la charge du quark q_e	$a(q_e)$	$a(q_e) = e$	0,5512855984	1
4	Angle solide associé à la charge du quark virtuel q_v	$a(q_v)$	$a(q_v) = \frac{4\pi}{24} C_{S+}$	0,5512855984	1
5	Constante de couplage de la force nucléaire forte (calculée)	$\alpha_{s(c)}$	$\alpha_{s(c)} = \frac{a(q_e)}{a(q_v)}$	1,0000000000	1
6	Constante de couplage de la force nucléaire forte (mesurée)	$\alpha_{s(m)}$	expérimentale	1,0000000000	1
7	Différence $\alpha_{s(m)} - \alpha_{s(c)}$ (valeur absolue)	Δ	$\Delta = \alpha_{s(m)} - \alpha_{s(c)} $	0,0000000000	1
8	Pourcentage différence	% Δ	% $\Delta = \frac{\Delta}{\alpha_{s(m)}}$	0,0000000000	%

Résultat 38 : La constante de couplage de la force nucléaire forte α_s est en théorie NR exacte par définition et égale à l'unité.

Chromodynamique quantique et théorie NR

Comme nous l'avons fait à propos de l'interaction faible, comparons à partir de l'article WIKIPÉDIA *interaction forte* les principes de la théorie de la chromodynamique quantique (QCD) avec ceux de la théorie NR :

L'interaction forte affecte les quarks et les particules constituées de quarks (les hadrons). Elle n'affecte pas les leptons. L'interaction forte affecte en revanche les gluons, ce qui fait d'elle la seule interaction fondamentale à affecter les bosons qui la transportent. En effet, les photons n'ont pas de charge électrique et ne sont donc pas affectés par les champs électromagnétiques, les gravitons, particules hypothétiques porteuses de l'interaction gravitationnelle, sont prévus sans masse, et si les bosons W^+ et W^- de l'interaction faible possèdent une charge électrique, les conséquences sur l'interaction faible sont négligeables.

Si la théorie NR s'accorde sur le fait que l'interaction forte affecte les particules constituées de quarks, en revanche elle diffère sensiblement pour ce qui est de la suite du propos. En effet, le neutron possédant un électron *réel* en son sein, ce nucléon est bien affecté par la force nucléaire forte, puisque c'est précisément elle qui « fixe » l'électron, ce qui a pour conséquence que les neutrons liés aux protons selon le principe de la figure 8.21 ne se désintègrent pas par le processus β^- .

Quant à l'affirmation que l'interaction forte soit la seule à affecter les bosons qui la transportent, c'est dresser sur la route de

FORCES

la *Grande unification* (GUT pour *Grand Unified Theory*), voire même sur celui de la théorie du Tout (TOE pour *Theory Of Everything*) incluant la force gravitationnelle, un obstacle quasi insurmontable. La théorie NR donnant une masse-énergie à tous les bosons vecteurs et unifiant toutes les forces sous le concept de *pente de l'espace* ou de *gradient de densité de l'espace*, ce problème ne se pose donc pas.

La portée de l'interaction forte est d'environ 10^{-15} m, c'est-à-dire la taille d'un noyau atomique. C'est cent fois plus que l'interaction faible, mais négligeable devant les portées infinies de la gravitation et de l'interaction électromagnétique. Cette portée limitée s'explique par le fait que les gluons sont eux-mêmes sensibles à l'interaction forte, ce qui produit un phénomène appelé confinement.

De nouveau, un accord est trouvé sur la portée de la force nucléaire forte, la cote de $1,8 \cdot 10^{-15}$ m indiquée sur la figure 8.20 donnant le diamètre d'un nucléon pris dans sa section efficace, ce qui correspond à la distance entre quark up q_u et quark down q_d (force nucléaire forte) et également à celle entre le centre de l'électron interne au neutron et le proton adjacent (force nucléaire résiduelle). Il est donc effectivement possible d'associer ces deux versions de la force nucléaire forte, bien qu'elles ne soient pas de même nature, celle entre nucléons n'étant en théorie NR qu'une nouvelle *symétrie de jauge* de la force électromagnétique (voir Fig 8.16 page 314 relative à la *symétrie de jauge de la force nucléaire faible*), associant maintenant à un proton un électron confiné à l'intérieur d'un neutron. Ceci étant, ce texte ne résout toujours pas le paradoxe de la hiérarchie inversée entre portée d'une force et énergie potentielle d'un boson vecteur confiné susceptible d'engendrer une force au moment de sa libération dans l'espace par le processus de désintégration β^- . Cette inversion est parfaitement logique dans la vision géométrique de la théorie NR, la force forte transportée par les gluons s'exerçant entre quarks situés en positions opposées dans l'architecture des nucléons, ce qui les fait entrer dans la catégorie des « élastiques » précisément responsables du *confinement* des quarks, alors que les flèches *radiales* (par rapport au centre du neutrino τ) illustrant la tension superficielle de la force nucléaire faible ont le caractère de « ressorts ».

THÉORIE NR

L'interaction forte est la plus forte des interactions fondamentales. Sa constante de couplage est environ cent fois plus grande que celle de l'interaction électromagnétique, un million de fois plus que celle de l'interaction faible, et 10^{39} fois plus que celle de la gravitation.

Ce problème de la hiérarchie des constantes de couplage des quatre forces fondamentales de la physique fera l'objet d'un paragraphe dédié dans les conclusions de ce premier tome.

La théorie prévoit que l'intensité de l'interaction forte tend vers zéro quand la distance tend vers zéro. Ce phénomène est appelé liberté asymptotique, et permet aux quarks de se déplacer librement au sein des hadrons. Lorsque la distance augmente, l'intensité de l'interaction forte augmente (contrairement aux autres forces). Au-dessus d'une distance limite, l'énergie est suffisante pour créer des paires quark-antiquark qui reforment des hadrons. Cette propriété est appelée confinement de couleur. C'est ce principe qui explique que la force n'existe probablement plus dans les trous noirs.

En théorie NR, les quarks ne se déplacent pas librement au sein des nucléons, puisqu'ils ont en tant que « détails techniques » des positions assignées dans l'architecture de ces particules. Ils peuvent cependant se mouvoir, mais dans les limites où un nucléon à l'architecture dite « bulle de savon » est susceptible de se déformer sous l'effet d'actions extérieures, éventuellement exercées par des photons, ou lors de collisions entre fermions. Cette image confirme le caractère « élastique » de la liaison entre quarks, assurée par les gluons, suivant les dispositions de la chromodynamique quantique.

D'après cette théorie [QCD], chaque quark porte une charge de couleur qui peut prendre trois valeurs : « bleue », « verte » ou « rouge ». Ces « couleurs » n'ont rien à voir avec la perception visuelle, c'est une analogie choisie pour rendre compte du fait qu'on obtient une charge neutre en combinant les trois charges de base, comme on peut obtenir du blanc en combinant de la lumière bleue, verte et rouge. Les antiquarks de leur côté portent une charge « antibleue » (nommée aussi jaune, et équivalente à vert+rouge), « antiverte » (nommée aussi magenta = bleu+rouge) ou « antirouge » (nommée aussi cyan = bleu+vert). Un hadron ne peut exister que si sa couleur totale est neutre ou « blanche » (ce que l'on appelle aussi un singulet de couleur) [...].

FORCES

Le choix a été fait en théorie NR de conserver cette « analogie tricolore » développée par la chromodynamique quantique, mais d'en faire une application au caractère *triphasé* de l'architecture des particules de matière que sont les fermions. En effet, le processus topologique d'enveloppement, décrit pages 41 à 45 du chapitre 3 consacré à l'espace-temps, part de nappes planes de bosons de X (voir Fig 3.1 page 37) — réputées instables dans un espace tridimensionnel affecté par la frustration géométrique — et « les met en boule » pour obtenir les fermions soustraits à l'expansion de l'espace. Mais les bosons de X possèdent déjà, avant déformation topologique, une triple harmonisation interne concernant la dilatation/contraction radiale (phase), le décalage d'un tiers de cette phase dans les trois directions de la maille hexagonale plane (couleurs), et une transmission de l'*héllicité* des fluctuation minimales qui se répercute à tous les niveaux fractals.

[...] Une autre conséquence est que la force entre deux quarks est à peu près constante, à la différence des autres interactions où la force est proportionnelle à l'inverse du carré de la distance. Si l'on cherche à séparer deux quarks, on devra donc dépenser une énergie de plus en plus grande au fur et à mesure que la distance augmentera. À un moment, on aura fourni assez d'énergie pour créer de nouveaux quarks ou antiquarks qui vont s'associer aux quarks initiaux pour créer de nouveaux hadrons. Ceci explique le fait que l'on ne peut pas observer un quark seul, toute tentative pour isoler un quark (ou un gluon) amène à la création de nouveaux quarks qui vont former un hadron avec le premier. Ce phénomène est appelé confinement. [...]

Tous ces phénomènes sont très simples à interpréter en théorie NR. Les points de contact entre cercles du tracé régulateur d'un nucléon sont assez nombreux — en particulier si l'on tient compte d'éventuelles interactions entre niveaux fractals adjacents — pour expliquer tout le « bestiaire exotique » créé par les physiciens, tant expérimentateurs que théoriciens, au fil des années. Il suffit, en prenant par exemple la figure 8.19 de la page 319, de joindre deux points du tracé régulateur du noyau d'un atome de deutérium pour créer par désintégration des centaines de particules fugaces différentes, ce qui métaphoriquement revient à planter une épingle dans une mousse de savon, entraînant inévitablement la modification l'architecture interne de cette mousse.