

# ARCHITECTURE DE LA MATIÈRE

## Architecture des atomes

### *L'atome du Modèle standard (Électrodynamique quantique QED)*

L'article de l'encyclopédie en ligne WIKIPÉDIA consacré à l'**Atome** commence ainsi sa section consacrée au **Nuage électronique** :

L'essentiel des propriétés physiques et chimiques des atomes est dû à leur nuage électronique. C'est la compréhension de la nature et de la structure de ce nuage électronique qui a ouvert la voie à la compréhension de la structure de l'atome et, *in fine*, a conduit au développement de la physique des particules.

Le noyau atomique étant chargé positivement, il forme un puits de potentiel pour les électrons, qui sont chargés négativement. Ce puits de potentiel est constitué de niveaux d'énergie définis par des nombres quantiques dont la combinaison détermine des orbitales atomiques conférant aux fonctions d'onde correspondantes des dimensions et des formes caractéristiques.

On comprend ainsi que les noyaux atomiques forment un puits de potentiel unique générant des *orbitales atomiques* aux formes variées. Cette section renvoie à un autre article intitulé **Configuration électronique** comportant une section dite **Application aux atomes** dont voici le début :

Dans le modèle quantique d'un atome ou d'une molécule, les électrons ne gravitent pas autour des noyaux atomiques comme dans le modèle planétaire de Rutherford ou le modèle de Niels Bohr, mais se répartissent dans un volume autour de ces noyaux de manière probabiliste. Cette probabilité est évaluée par la fonction d'onde associée à l'électron et se matérialise sous la forme d'une orbitale atomique ou d'une orbitale moléculaire selon qu'on considère un atome isolé ou une molécule.

Les physiciens atomistes ont donc renoncé à localiser les électrons d'un atome autrement qu'en terme de *probabilité de présence* dans une *orbitale atomique*. D'autre part, même dans le *modèle en couches* du noyau atomique, ils n'établissent pas de lien entre *couches nucléaires* et *couche et sous-couches électroniques*.

Un important élément de complexité a été ajouté à cette conception de l'atome, jusqu'ici relativement simple. Il s'agit du concept de *spin*, défini comme un *moment cinétique intrinsèque*, mais les physiciens ont renoncé à en donner toute image concrète, comme par exemple la rotation d'une toupie. Cette notion de *spin* s'applique au noyau atomique, aux électrons périphériques et à l'entier atome.

# THÉORIE NR

## **Principes de liaison entre noyaux et orbitales atomiques en théorie NR**

L'étude des noyaux atomiques nous a amenés à reconsidérer la présentation du tableau périodique des éléments classique attribué à Dmitri Mendeleïev, en lui donnant un aspect très *géométrique* reflétant le concept de *couche cylindrique* mis en évidence par la construction des graphes polaires et équatoriaux. Ces couches cylindriques ne doivent pas être confondues avec celles du *Modèle en couches* des noyaux atomiques qui sont de type *sphérique* et n'ont pas les mêmes caractéristiques que les *couches électroniques*, comme l'indique cette note en fin de l'article WIKIPÉDIA consacré à ce modèle de structure nucléaire :

N.B. dans ce graphique, chaque niveau d'énergie est appelé couche, mais il ne s'agit pas de couches au sens du nombre quantique principal.

C'est en effet le *nombre quantique principal*  $n$  qui caractérise une *couche électronique*, le *nombre quantique azimutal*  $\ell$  permettant lui de définir les *sous-couches électroniques*. Il n'y a donc pas de correspondance directe, selon ce modèle, entre la géométrie d'un noyau atomique et celle de l'entier atome pourvu de son cortège électronique.

En revanche, comme il vient d'être annoncé en toute fin de l'étude des noyaux atomiques, leur architecture particulière pourrait permettre de définir une nouvelle sorte de *géométrie projective*. Pourquoi nouvelle ? Parce que l'étude de la projection de la force électromagnétique par le quark up du proton (voir Tome 1 Chapitre 7 *Électromagnétisme* - Page 192 - Fig. 7.2 : *Projection du champ magnétique du proton*) nous a montré que la forme du puits de potentiel généré était du type *cardioïde de révolution* en non pas *conique*, comme c'est l'usage en géométrie projective classique. C'est donc une *géométrie projective cardioïde* que nous allons développer pour élaborer une nouvelle version de l'architecture des orbitales atomiques conforme aux principes développés par la théorie NR.

Il y a un deuxième principe qu'il nous faut prendre en compte, celui de la *division hexagonale du puits de potentiel du quark up du proton*, hypothèse qui nous avait permis d'accéder au calcul de *constante de structure fine électromagnétique* (voir Tome 1 - Chapitre 8 : *Forces* - Page 253 - Fig. 8.4 : *Description du processus topologique de double enveloppement*).

# ARCHITECTURE DE LA MATIÈRE

## **Couches et sous-couches électroniques du Modèle standard**

Pour des raisons historiques, la présentation faite par les physiciens des concepts de *couche électronique* et de *sous-couche électronique* est très complexe, et malgré plus d'un siècle et demi de recherches<sup>1</sup>, les performances des modèles de *configuration électronique*<sup>2</sup> restent limitées dès qu'on aborde la modélisation des atomes possédant un nombre élevé d'électrons périphériques. L'étude des cortèges électroniques des atomes s'est développée par la technique dite de *spectroscopie atomique*<sup>3</sup>, selon deux branches : la *spectroscopie optique*, en ce qui concerne les *électrons de valence* (périphériques), et la *spectroscopie des rayons X* s'agissant des *électrons de cœur* (proches du noyau atomique).

Avec l'avènement de la *Théorie des quanta* apparue au début du XX<sup>e</sup> siècle, la *configuration électronique* s'est précisée suite à la définition des quatre *nombre quantiques* permettant de spécifier l'*état quantique* d'un électron particulier dans le cortège électronique d'un atome. Voici ces quatre nombres :

Tab. 9.14 : *Nombres quantiques de l'électron dans le modèle de Hund-Mulliken*

Source article WIKIPÉDIA : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Nombre\\_quantique](https://fr.wikipedia.org/wiki/Nombre_quantique)

| Nom                                 | Symbole  | Analogie classique                                | Intervalle de valeurs          |
|-------------------------------------|----------|---|--------------------------------|
| Nombre quantique principal          | $n$      | Niveau d'énergie de l'électron dans l'atome       | 1, 2, 3, 4,                    |
| Nombre quantique azimutal           | $\ell$   | Moment angulaire orbital de l'électron            | 0, 1, 2, ... $n - 1$           |
| Nombre quantique magnétique         | $m_\ell$ | Projection du moment angulaire orbital sur un axe | $-\ell, \dots, 0, \dots, \ell$ |
| Nombre quantique magnétique de spin | $m_s$    | Projection du moment angulaire intrinsèque (spin) | $-1/2$ ou $+1/2$               |

Le premier *nombre quantique*  $n$  correspond aux sept lignes horizontales du tableau périodique des éléments chimiques classique baptisées *périodes*, lignes qui sont également associées à cette notion de *couches électroniques*, historiquement étiquetées par les lettres majuscules K, L, M, N, O, P et Q.

Le deuxième *nombre quantique*  $\ell$  est associé aux *sous-couches* électroniques. S'agissant des atomes, quatre lettres ont été historiquement choisies selon des termes issus de la spectroscopie.

Ces quatre lettres sont les suivantes :

1 Voir à ce propos l'article WIKIPÉDIA consacré au physicien suisse Johann Jakob Balmer (1825 – 1898) : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Johann\\_Jakob\\_Balmer](https://fr.wikipedia.org/wiki/Johann_Jakob_Balmer)

2 Voir article WIKIPÉDIA : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Configuration\\_électronique](https://fr.wikipedia.org/wiki/Configuration_électronique)

3 Voir article WIKIPÉDIA : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Spectroscopie\\_atomique](https://fr.wikipedia.org/wiki/Spectroscopie_atomique)

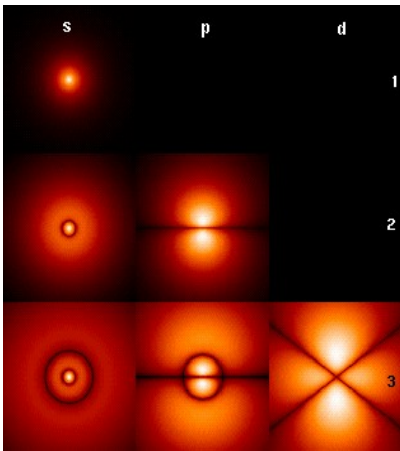
# THÉORIE NR

- **s** correspond à  $\ell = 0$ , pour *sharp* ou *simple* (métaux alcalins et alcalino-terreux).
- **p** correspond à  $\ell = 1$ , pour *principal* (métaux pauvres, métalloïdes, non-métaux et gaz nobles).
- **d** correspond à  $\ell = 2$ , pour *diffuse* (métaux de transition, 3 métaux pauvres, 1 lanthanide et 1 actinide).
- **f** correspond à  $\ell = 3$ , pour *fine* ou *fundamental* (14 lanthanides et 14 actinides).

Les deux *nombres quantique magnétique*  $m_\ell$  et  $m_s$  sont respectivement associés aux *moments angulaires orbital* et *intrinsèque*, sujets sur lesquels nous reviendrons dans des sections ultérieures.

A partir de ces définitions des *couches* et *sous-couches* électroniques et des *moments angulaires*, les physiciens ont développé ce type d'illustrations déjà complexes, bien qu'elles ne concernent que les atomes dits *hydrogénoïdes*<sup>1</sup>, atomes ne possédant qu'un unique électron, comme c'est le cas de l'atome d'hydrogène et des atomes ionisés de numéro atomique  $Z$  supérieur à 1, lorsqu'ils ont perdu tous leurs électrons sauf un.

Fig. 9.80 et 9.81 : Illustrations du concept d'orbitale atomique



Sections transversales des premières orbitales de l'atome d'hydrogène, le dégradé de couleurs représentant l'amplitude de probabilité de l'électron.

Source: <https://fr.wikipedia.org/wiki/Atome>

Isosurface d'une orbitale 4d d'un atome hydrogénoïde correspondant au triplet de nombres quantiques  $(n, \ell, m_\ell) = (4, 2, 0)$ . La fonction d'onde est positive en rouge et négative en bleu. Source : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Orbitale\\_atomique](https://fr.wikipedia.org/wiki/Orbitale_atomique)

Il existe donc bien, selon le modèle standard de la physique, une *géométrie* des atomes pourvus de leur cortège électronique, mais celle-ci reste floue, puisqu'elle ne fait qu'encadrer la *probabilité de présence des électrons* autour d'un noyau atomique.

Voyons donc ce qu'il en est en théorie NR.

1 Voir article WIKIPÉDIA : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Hydrogénoïde>

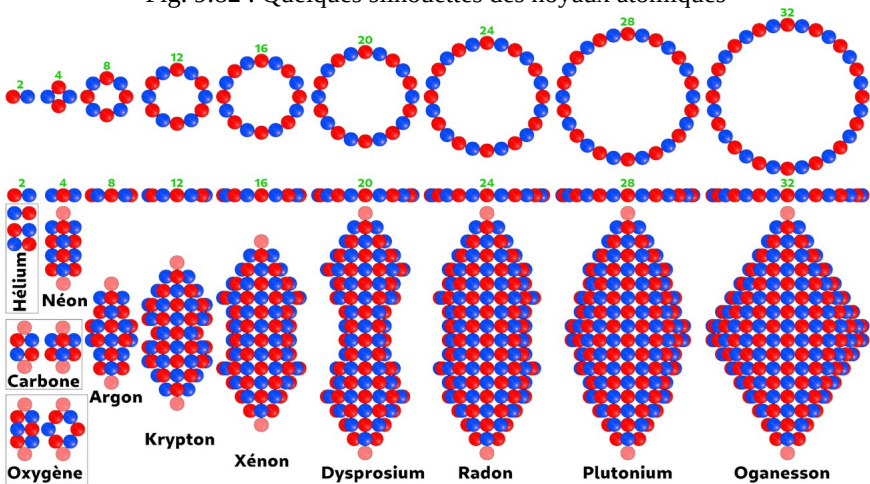
# ARCHITECTURE DE LA MATIÈRE

## Couches cylindriques de la théorie NR

La *géométrie projective cardioïde* recherchée a l'ambition d'être beaucoup plus précise que la *géométrie probabiliste* du Modèle standard de la physique des particules. Il nous faut donc illustrer cette hypothèse d'un lien direct entre *géométrie d'un noyau atomique* et *géométrie du cortège électronique* associé dans un atome particulier.

La *forme* des noyaux atomiques a fait l'objet d'une première approche schématique dans la section *Construction progressive des différents noyaux atomiques* (voir Page 24 - Fig. 9.11 : *Construction progressive des différents noyaux atomiques (coupes)*). Quant à la *taille* des noyaux atomiques, elle découle directement de l'étude de la taille des nucléons (voir Tome 1 - Page 91 à 96 - Chapitre 5 - *Taille des particules*). Ces deux premières approches peuvent maintenant être affinées, suite à l'étude des différents graphes polaires et équatoriaux des noyaux atomiques et à l'adoption du concept de *couche cylindrique*, ce qui nous permet de présenter quelques noyaux atomiques sous la forme de « silhouettes » :

Fig. 9.82 : Quelques silhouettes des noyaux atomiques



Les différentes couches cylindriques des noyaux atomiques sont tout d'abord présentées en *vues polaires*, sous la forme de couronnes, les couleurs rouge et bleue — pouvant suggérer la présence de protons et de neutrons — ayant cependant une signification limitée, puisqu'il n'est ici pas tenu compte de la présence éventuelle de neutrons de lest, sachant que ceux-ci devraient, dans la logique de l'étude, être positionnés tangents à l'intérieur des différentes couronnes.

## THÉORIE NR

Sont ensuite montrées des *vues équatoriales* des différentes couches cylindriques, ce qui permet par assemblage, en fonction du *taux d'occupation* de chaque couche (nombres verts), d'esquisser les silhouettes des quelques noyaux atomiques sélectionnés.

La « règle du jeu » établie pour concevoir les différents graphes polaires ou équatoriaux nous a imposé de rechercher des évolutions des couches cylindriques minimales, ceci afin de respecter au mieux le principe architectural métaphoriquement baptisé « bulle de savon ».

Un second principe a été adopté, celui qui consiste à « figer le calottes polaires ». C'est la combinaison de ces deux hypothèses qui permet d'expliquer la forme *bilobée* qu'adoptent les noyaux atomiques, à partir d'un certain niveau de développement, selon le processus que nous avons baptisé *nucléogenèse*. Le choix des onze silhouettes de noyaux atomiques présentées se justifie ainsi :

- Le noyau de l'atome d'*hélium 4* (particule  $\alpha$ ) est présenté en vue polaire (deux protons et deux neutrons assemblés en carré) et en vue équatoriale (un proton et un neutron).
- Le noyau de l'atome de *carbone 12*, représenté par deux vues équatoriales orthogonales, est constitué de deux particules  $\alpha$  superposées et de deux protons de lest (disques roses), les deux neutrons de lest internes n'étant pas indiqués.
- Le noyau de l'atome d'*oxygène 16* est également représenté par deux vues équatoriales, ce qui semble être la superposition de trois particules  $\alpha$ , mais la deuxième vue nous montre que ce noyau a en quelque sorte une forme de « tambour hexagonal », hypothèse qui nous sera très utile pour décrire dans une prochaine section l'architecture de la molécule d'eau H<sub>2</sub>O.
- Viennent ensuite les silhouettes des noyaux atomiques des quatre gaz nobles que sont le *néon 20*, l'*argon 36*, le *krypton 84* et le *xénon 122*. Ces noyaux atomiques possèdent une architecture que nous pourrions qualifier de « parfaite », en ce sens toutes leurs couches cylindriques obéissent strictement aux taux d'occupations dits « saturés », évoluant « quatre à quatre », suivant la série indiquée par des nombres verts dans la Figure 9.77. Le noyau de l'atome de *krypton 84* est ici représenté dans sa forme obtenue après *transition isomérique*, ce qui inaugure la série des noyaux atomiques à l'architecture *bilobée*.

## ARCHITECTURE DE LA MATIÈRE

- L'atome de **dysprosium 164** n'appartient pas à la famille des gaz nobles, mais son noyau atomique a été retenu en raison de sa silhouette particulière, « en forme d'haltère », ce qui lui permet de posséder le *moment magnétique* le plus élevé de tous les éléments chimiques (voir Page 71 - Fig. 9.46 : Graphe équatorial du noyau de l'atome de dysprosium et Page 73 Fig. 9.48 : Graphe du noyau de nickel 62 inscrit dans celui du dysprosium). Cette silhouette nous montre comment les calottes polaires figées de niveaux **4 8 12** et **16** se maintiennent à partir du noyau de l'atome de **xénon 122**.
- Les noyaux de l'atome de **radon 222** — gaz noble — et de **plutonium 244** — dernier élément chimique présent dans la nature sous forme de traces — viennent clore la séquence de la nucléogénèse que nous avons appelée *remplissage naturel*. L'architecture bilobée finit par disparaître au-delà de la genèse du noyau de l'atome de **radon 222**.
- La dernière silhouette est celle du noyau de l'atome d'**oganesson 294**, objet *synthétique* « à l'espérance de vie très limitée », inférieure au millième de seconde. Notons toutefois, malgré son caractère éphémère, le caractère « plus que parfait » de son architecture, puisque il s'agit en fait de l'assemblage complet de toutes les couches cylindriques définies en application des différents principes architecturaux de la théorie NR, laquelle n'envisage donc pas, contrairement à de nombreux physiciens théoriciens, la possibilité hypothétique de l'existence d'une *huitième période*<sup>1</sup> à ajouter au tableau périodique des éléments. Cette perfection géométrique se paye donc en terme de pérennité. Ainsi, il semble que pour conclure la nucléogénèse, la Nature ait sagement suivi le vieil adage exprimant cette idée que « *le mieux est l'ennemi du bien* ».

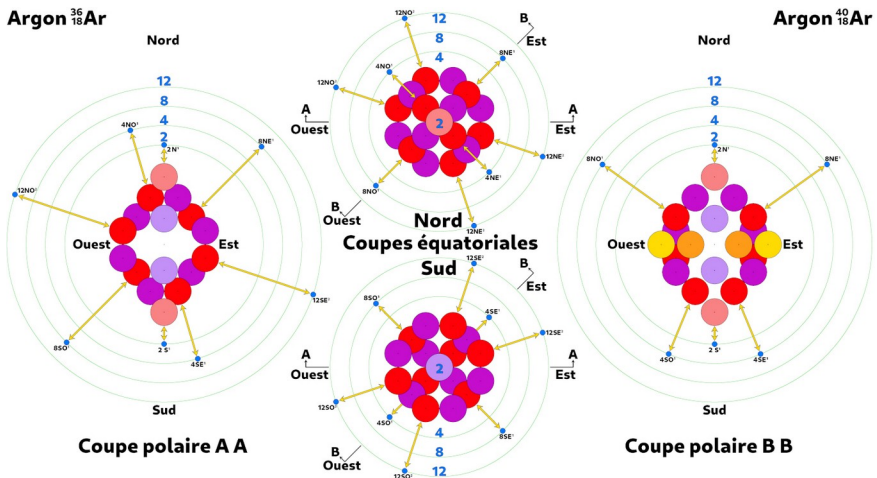
Ces silhouettes de noyaux atomiques sont, d'un point de vue géométrique, d'une portée limitée, car elles ne tiennent pas compte de l'encastrement partiel des différentes couches les unes dans les autres — ce qui implique d'imaginer un certain tassement vertical de ces différentes illustrations — et parce qu'elles ne permettent pas de visualiser les éléments importants des graphes polaires et équatoriaux que sont les neutrons de pointe et de lest ainsi que les emplacements libres. Il nous faut donc être plus précis.

1 Voir article WIKIPÉDIA : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Période\\_8\\_du\\_tableau\\_périodique](https://fr.wikipedia.org/wiki/Période_8_du_tableau_périodique).

## La géométrie projective cardioïde de la théorie NR

Le but poursuivi est donc d'établir un lien géométrique *précis* — et non pas seulement *probabiliste* comme ce fut proposé par les fondateurs de la Théorie quantique — entre les quarks up des protons d'un noyau atomique et les électrons périphériques de l'entier atome. Il nous faut donc aller au-delà des simples « silhouettes » présentées dans la précédente section, et proposer un outil graphique plus performant. C'est pourquoi nous allons étudier, à titre d'exemple, des *coupes polaires et équatoriales* de l'atome d'argon, nous permettant d'en représenter le profil en tenant compte de l'encastrement partiel des couches cylindriques, mais aussi de visualiser les objets complémentaires que sont les neutrons de pointe et de lest ainsi que les emplacements libres. Il nous faudra également indiquer les directions axiales des différents puits de potentiels générés par les quarks up des protons concernés par une coupe particulière.

Fig. 9.83 : Coupes polaires et équatoriales de l'atome d'argon



Le noyau de l'atome d'argon a précédemment été décrit comme soutenu par le *graphe polyédrique* d'un *dodécaèdre rhombique tronqué*<sup>1</sup> (voir Page 125 Fig. 9.79 : Polyèdres associés à la nucléogenèse intermédiaire croissante), polyèdre semi-régulier possédant six faces carrées et douze faces hexagonales aux angles inégaux. Toutefois, toutes les arêtes étant égales, ceci nous permet de réaliser les épures ci-dessus représentant un assemblage de sphères identiques.

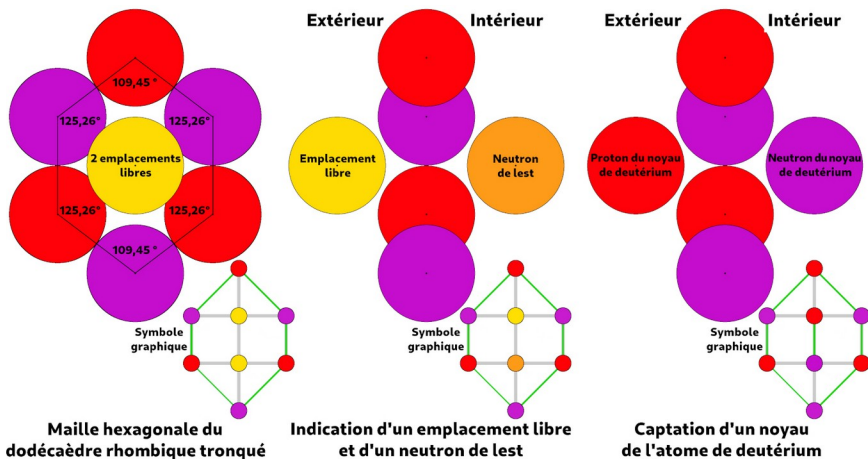
1 Voir article WIKIPÉDIA : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Dodécaèdre\\_rhombique\\_tronqué](https://fr.wikipedia.org/wiki/Dodécaèdre_rhombique_tronqué)

# ARCHITECTURE DE LA MATIÈRE

Le rayon de ces sphères est celui qui a été calculé en tant que *section efficace* d'un proton, c'est-à-dire sans tenir compte du *framboisement* (voir section dédiée Tome 1 Pages 106 à 109). La valeur de ce rayon a été fixée à  $R_P = 9,00451234 \cdot 10^{-16} \text{ m}$  (voir Tome 1 Page 94 Tab. 5.1 : *Tailles des fermions en théorie NR*), et il a été proposé que proton et neutron devaient avoir des sections efficaces identiques. Il a par ailleurs été établi en théorie NR que la *force nucléaire forte résiduelle*, s'exerçant entre nucléons dans un noyau atomique, opérait par contact entre protons et neutrons au niveau de la section efficace de ces nucléons ; cette force n'étant au final qu'un cas particulier d'application de la force électromagnétique, étant admis en conséquence du *processus topologique de double enveloppement* qu'un électron *réel* se trouvait confiné à l'intérieur de chaque neutron.

De ces deux principes nous pouvons déduire que les quatre coupes présentées ci-dessus ont une valeur *métrique* en ce qui concerne le noyau de l'atome d'argon étudié. La coupe polaire **AA** représente le noyau de l'atome d'**argon 36**, majoritaire dans les espaces interstellaires et dépourvu de neutrons de lest. En revanche, sur la coupe polaire **BB** ont été indiqués en jaune deux emplacements libres et en orange deux neutrons de lest, ce qui caractérise l'atome d'**argon 40**, dit « terrestre ». C'est pourquoi il importe de bien comprendre une limitation des graphes polyédriques équatoriaux, qui ne possèdent qu'une valeur *relationnelle* (indications des liaisons entre nucléons) et non pas *métrique*. Les trois schémas suivants explicitent cette limitation :

Fig. 9.84 : Maille hexagonale du dodécaèdre rhombique tronqué



## THÉORIE NR

S'agissant de l'entier atome, les doubles flèches jaunes de la Figure 9.78 ne font à ce stade qu'indiquer les directions axiales des puits de potentiel générés par les quarks up des protons, la distance entre électrons périphériques et noyaux atomiques étant elle régie par le *carré de la constante de structure fine électromagnétique* ( $\alpha^2 = 5,32513545 \times 10^{-5}$ ), les diamètres des différents atomes se situant dans une fourchette allant d'environ  $6 \times 10^{-11} \text{ m}$  (*hélium 4*) à  $6 \times 10^{-10} \text{ m}$  (*césium 133*), alors que la taille typique d'un noyau atomique est de l'ordre du *femtomètre* ( $10^{-15} \text{ m}$ ).

Les quatre coupes décrivant l'architecture de l'atome d'argon permettent donc de situer dans l'espace les *axes* des dix-huit puits de potentiel générés par les quarks up des protons, en fonction de la position de ces nucléons dans le noyau atomique. Il est posé, par hypothèse, que ces axes divergent à partir du centre géométrique du noyau étudié, hypothèse qu'il nous faudra bien sûr relativiser dans le cas des noyaux atomiques bilobés ou piriformes, qui ne sont pas quasi-sphériques (*non-convexes*).

Notons que ces quatre représentations nous permettent de visualiser les équivalents des quatre *nombres quantiques* de la théorie physique atomique contemporaine officielle, mais dans une vision géométrique beaucoup plus stricte, très éloignée du concept d'*orbitale atomique* souvent illustré sous l'aspect d'une « larme d'eau ». Cette correspondance peut être interprétée de cette manière :

Tab. 9.15 : Nombres quantiques de l'électron dans le modèle de la théorie NR

| Nom                                 | Symbole | Interprétation en théorie NR  | Intervalle de valeurs                            |
|-------------------------------------|---------|---|--|
| Nombre quantique principal          | $n$     | Indication de la position d'une couche cylindrique (cercles concentriques des graphes polaires et lignes horizontales de graphes équatoriaux)   | 2, 4, ... 28, 32, 32, 28, ... , 4, 2             |
| Nombre quantique azimutal           | $\ell$  | Projection sur le plan équatorial du rayon mesurant la distance entre le centre géométrique d'un noyau et un électron particulier (définition même de l' <i>azimut</i> en cartographie) | -16, -15, ... -1, 0, 1, ... 15, 16<br>(-16 = 16) |
| Nombre quantique magnétique         | $m\ell$ | Projection sur l'axe des nucléons de pointe du rayon mesurant la distance entre le centre du noyau et un électron particulier   | -8, ... 0, ... 8                                 |
| Nombre quantique magnétique de spin | $m_s$   | Projection du moment angulaire intrinsèque (spin) d'un électron sur l'axe des nucléons de pointe  | +1/2 (Nord)<br>-1/2 (Sud)                        |

La conception même des graphes polaires et équatoriaux — avec l'adoption d'une grille support à mailles carrées — permet une *quantification* automatique de l'architecture des noyaux atomiques, et par projection celle des puits de potentiel générés par les quarks up des protons d'un noyau atomique. Commentaires :

## ARCHITECTURE DE LA MATIÈRE

- Le *nombre quantique principal*  $n$  désigne ici une des dix-huit couches cylindriques potentiellement utilisées pour construire un noyau atomique, et non une des *périodes* correspondant aux sept lignes horizontales du tableau périodique des éléments. L'établissement de la correspondance entre *périodes* et *couches cylindriques* implique de regrouper ces dernières (**2** pour la 1<sup>ère</sup> période, **4** pour la 2<sup>ème</sup>, **3** pour les 4<sup>ème</sup> et 5<sup>ème</sup>, **4** verticales et **6** horizontales pour la 6<sup>ème</sup> et **8** horizontales pour la 7<sup>ème</sup>).
- Le *nombre quantique azimutal*  $\ell$  est un authentique *azimut*, mais défini dans une architecture rigoureuse possédant un *plan équatorial* défini par la géométrie de chaque noyau atomique.
- L'axe reliant les deux protons de pointe d'un noyau atomique particulier est l'équivalent de ce que les physiciens atomistes appellent l'*axe de quantification*. La projection du rayon orbital d'un électron sur cet axe représente ainsi sa capacité, sollicité par un champ magnétique extérieur, à faire basculer le plan équatorial d'un atome par rapport à cet axe que l'on peut considérer comme un *axe magnétique*, bien qu'en fait il relie deux nucléons de pointe possédant la même charge électrique **+1**. La désignation de *nombre quantique magnétique*  $m_\ell$  reste donc appropriée.
- L'étude du concept de *spin* des fermions (voir *Section dédiée - Tome 1 - Pages 197 à 200*) nous a amenés à considérer que cette notion n'a en théorie NR rien de très mystérieux, et nous évoquerons dans une prochaine section ce *nombre quantique magnétique de spin*  $m_s$ .

Cette approche *métrique* de la *géométrie projective* de la théorie NR nous apporte des informations nouvelles, en particulier parce qu'elle permet d'apprécier d'une manière réaliste l'encombrement d'un noyau atomique par les nucléons qui le composent, en particulier avec la coupe **BB** de la Figure 9.83 de la Page 134 représentant l'atome « terrestre » d'**argon 40** — possédant quatre neutrons de lest qu'il nous faut situer en retrait aux centres des quatre mailles hexagonales équatoriales — laquelle nous montre qu'à ce stade préliminaire de la nucléogénèse, peu de place est disponible à l'intérieur de la « coque » de son noyau pour accueillir les neutrons de pointe et de lest.

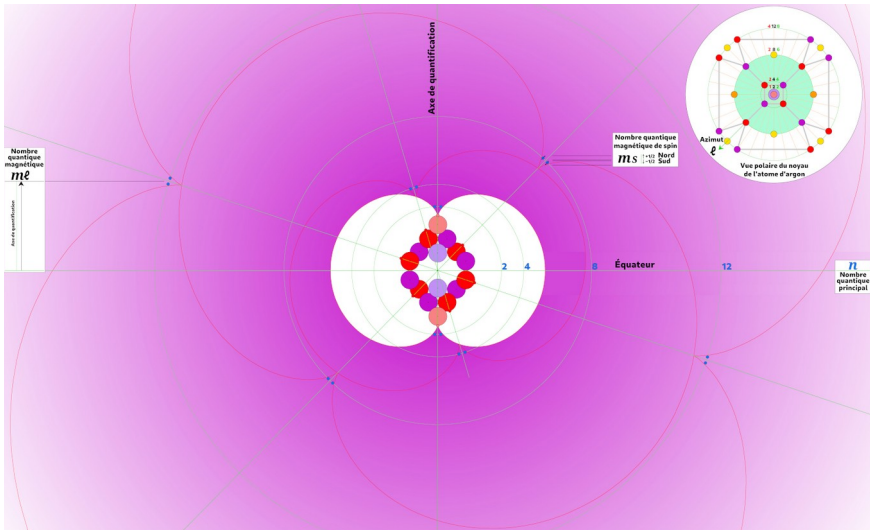
Par ailleurs, le principe que nous avons baptisé « *figer les calottes polaires* » va nous permettre dans les prochaines sections d'expliquer pourquoi les électrons des atomes sont projetés de plus en plus loin au fur et à mesure que la nucléogénèse se développe.

Venons en donc à l'étude de ces *puits de potentiel cardioïdes*.

## Puits de potentiel cardioïdes

La figure ci-dessous est construite à partir de la coupe **AA** de la Figure 9.83 de la Page 134 intitulée *Coupes polaires et équatoriales de l'atome d'argon*. Cette illustration est qualifiée de *schématique* car le rapport entre le diamètre d'un atome et celui de son noyau est particulièrement important, ce qui rend quasiment impossible l'idée de représenter graphiquement « à l'échelle » un atome et son noyau<sup>1</sup>. D'autre part, les *puits de potentiel* générés par les quarks up des protons sont ici symbolisés par des courbes *néphroïdes* joignant deux protons diamétralement opposés par rapport au centre du noyau atomique. C'est en réalité deux courbes cardioïdes se chevauchant qu'il nous faut imaginer, avec de surcroît un pincement des faisceaux de projection prenant en compte le facteur **23** caractéristique de la densité de l'espace neutralisé et le facteur **6** représentant la division hexagonale du quark up, soit au final le facteur **138**, qui n'est autre que l'inverse  $\alpha^{-1}$  de la *constante de structure fine électromagnétique* avant correction par les rapports  $(C_{SO}/C_{SN})^3$  et  $(g_e/g_\mu)^2$  (voir Tome 1 Annexe 12 Page 389).

Fig. 9.85 : Description schématique des puits de potentiel de l'atome d'argon



1 En effet, le diamètre du noyau de l'atome d'argon, tel que représenté ici dans la Figure 9.85, est évalué selon les principes de la théorie NR à  $3,60 \times 10^{-15}m$ , alors que le diamètre calculé de l'atome d'argon est lui fixé à  $7,10 \times 10^{-11}m$ . Le rapport est donc de **39 444**, soit approximativement *un quarante millième*.

## ARCHITECTURE DE LA MATIÈRE

Ces deux « corrections mentales » étant admises, quels enseignements tirer de cette Figure 9.85 ? Voici les principes qui ont prévalu pour élaborer cette illustration :

- Les puits de potentiel générés par les quarks up des protons du noyau de l'atome d'argon sont représentés par des courbes néphroïdes rouges. Les points de rebroussement de ces différentes courbes sont décalés lorsqu'on passe d'un puits de potentiel généré par une couche cylindrique particulière du noyau à la suivante, ce qui constitue une nouvelle « simplification graphique », puisque chaque puits de potentiel est en principe censé partir du quark up générateur. Le but est de montrer que quand une orbitale atomique particulière — identifiée par un cercle vert — est entièrement pourvue en électrons captifs, l'espace devenu neutralisé (symbolisé par la couleur violette) impose aux nouveaux entrants de se décaler au delà de cette enveloppe.
- Les électrons capturés dans les puits de potentiel sont dédoublés, ce qui illustre la structure hexagonale de ces puits, reflétant celle des quarks up qui les génèrent. Si nous considérons un atome unique, non lié dans un ensemble moléculaire, chaque puits de potentiel ne doit capturer qu'un unique électron, dont la trajectoire dans ce puits sera l'objet de la prochaine section. En revanche, nous verrons plus loin dans l'étude que la description des *liaisons hydrogène* moléculaires imposent d'envisager la présence de deux électrons voisins à l'interface de deux puits de potentiel associés à deux atomes liés.
- Quatre encadrés ont été insérés dans la Figure 9.85 afin d'illustrer graphiquement l'interprétation qui a été faite — selon les principes de la théorie NR avec le Tableau 9.15 de la Page 136 — des *quatre nombres quantiques* définis par les physiciens théoriciens.
- Le fond violet caractérisant l'espace neutralisé a été représenté avec un dégradé radial, signifiant que la densité de cet espace diminue avec l'éloignement du noyau atomique générateur des différents puits de potentiel. L'étude détaillée des interactions entre objets physiques générateurs des différentes phases de l'espace (*euclidienne, négative, positive, neutralisée et neutre*) se fera au chapitre 10 *Architecture de l'univers*.

Venons en au comportement des électrons dans les puits de potentiel.

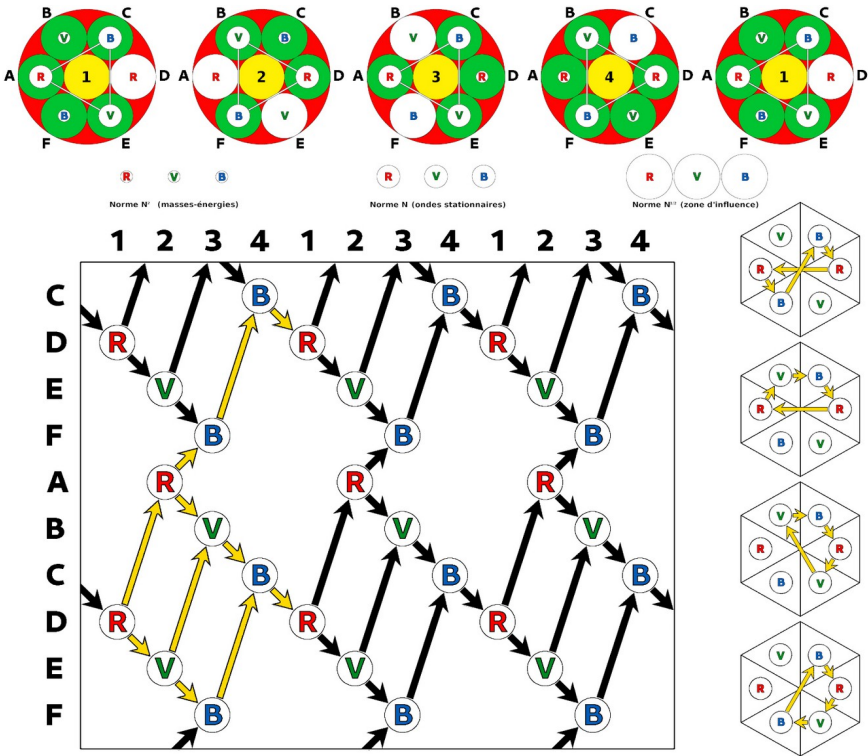
# THÉORIE NR

## Trajectoire des électrons dans les puits de potentiel des quarks up

Il nous faut maintenant aller au-delà de la seule notion de *puits de potentiel cardioïde* généré par le quark up d'un proton, et donner une vision précise du comportement d'un électron captif d'un atome, dans l'espace comme dans le temps.

La division hexagonale du puits de potentiel du quark up du proton a fait l'objet d'une étude spécifique, décrivant en particulier la phase des quarks (voir *Tome 1 - Chapitre 6 : Masses-énergies des particules - Page 132 - Fig. 6.11 : Flux des ondes de densité et phase des quarks*). L'illustration suivante reprend ce principe de phase des quarks à partir duquel est proposé une sorte d'*intégrale de chemin*<sup>1</sup>, pour reprendre le vocabulaire initié par le physicien Richard Feynman, spécialiste de la *Théorie de l'électrodynamique quantique* (QED) et de la *Théorie de la chromodynamique quantique* (QCD).

Fig. 9.86 : « Intégrale des quatre chemins » en théorie NR



1 Voir article WIKIPÉDIA : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Intégrale\\_de\\_chemin](https://fr.wikipedia.org/wiki/Intégrale_de_chemin)

## ARCHITECTURE DE LA MATIÈRE

La phase avait été divisée en quatre parties, chaque oscillateur harmonique (indiqués en vert et blanc en haut de la figure) composant la structure hexagonale d'un quark étant soit contracté (*norme énergétique  $N^2$* ), soit stationnaire (*norme métrique  $N$* ), soit dilué dans l'espace environnant (norme  $N^{1/2}$  associée à la *zone d'influence*).

Il a été convenu, par hypothèse, qu'un électron présent dans le puits de potentiel du quark up d'un proton participant à la construction d'un noyau atomique s'approche au plus près de ce noyau lorsque l'oscillateur harmonique auquel il fait face est dilué dans l'espace (voir Tome 1 - Page 194 section Stabilité de l'atome d'hydrogène).

L'encadré tire les conséquences de ce choix, en montrant quels chemins un électron est susceptible de suivre lors du déroulement de la phase du quark up en quatre temps. Les flèches jaunes nous indiquent les *quatre chemins* que peut suivre un électron situé face à l'oscillateur harmonique noté **D** au départ **1** de la phase. Deux possibilités s'offrent alors à lui, sauter soit en **A** soit en **E** au temps **2**. Au temps **3**, de nouveau deux choix sont possibles, les positions **B** et **F**. La fin de la phase est en quelque sorte un « passage obligé », le transit par la position **C** étant impératif, avant le retour au point de départ en position **D**, également sans autre choix possible. Bien entendu, de phase en phase un électron peut alterner différents chemins parmi les quatre disponibles, ce qui lui laisse ainsi la possibilité de passer par les six emplacements de la structure hexagonale du puits de potentiel dans lequel il se déplace. Les quatre chemins ainsi définis sont illustrés en bas à droite de la figure par des vues de face du puits de potentiel du quark up d'un proton. A noter que comme l'*hélicité* des particules a été par convention définie comme *gauche*, la phase est *antihoraire* vue de l'intérieur d'un proton, et donc *horaire* dans les neuf représentations ci-dessus, puisqu'elles sont en quelque sorte des « points de vue de l'électron ».

Comme ce fut souvent le cas depuis le début de la conception de la théorie NR, nous obtenons une vision de la trajectoire d'un électron « dans l'entre-deux ». Ce n'est pas celle des actuelles théories physiques décrivant conventionnellement des *orbitales atomiques* de formes variées<sup>1</sup>, dans lesquelles les électrons ne peuvent pas être localisés autrement qu'en terme d'une *probabilité de présence* (*isosurfaces* enveloppant *par convention* un volume où cette probabilité est de 90 %), présence qui « mathématiquement » peut même s'imaginer à l'intérieur des noyaux atomiques !

1 Voir article WIKIPÉDIA : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Orbitale\\_atomique](https://fr.wikipedia.org/wiki/Orbitale_atomique)

## THÉORIE NR

Ce n'est pas non plus une description en terme de *trajectoire déterministe*, tout d'abord parce que nous avons considéré l'électron comme un objet « agité » en raison de sa description symbolique sous la forme d'un empilement compact de onze sphères autour d'une centrale de même taille<sup>1</sup> ; ensuite parce que son comportement dans le puits de potentiel du quark up d'un proton reste *stochastique*, dans le cadre cependant très réduit d'une « *intégrale de quatre chemins pourvue d'aiguillages aléatoires* ».

Ainsi, métaphoriquement, l'électron présent dans le puits de potentiel du quark up d'un proton se comporte comme une « bille de roulette de casino », adoptant une trajectoire erratique, bousculé en passant de trou en trou, dont le nombre est cependant limité à six. La métaphore peut même être poussée un peu plus loin pour tenir compte des niveaux d'énergie que peut occuper un électron dans un puits de potentiel, ce qui revient à imaginer un « empilement fractal de plateaux de roulette de casino », dont le diamètre augmente jusqu'à atteindre le seuil d'ionisation (voir Tome 1 - Chapitre 7 : *Électromagnétisme* - Page 191 - Section : *Stabilité de l'atome d'hydrogène* - Figure 7.4 : *Puits de potentiel du proton et niveaux d'énergie de l'électron*).

Un résultat très important de cette conception architecturale est qu'un *lien géométrique réel* est établi entre les protons d'un noyau atomique et les électrons périphériques, lesquels sont en nombre égal dans le cas des atomes neutres, c'est-à-dire non *ionisés*. Ce lien géométrique — sur lequel nous allons fonder l'étude de la géométrie des molécules — est beaucoup plus précis que celui proposé par les physiciens théoriciens, avec les « larmes d'eau » issues de savants calculs d'*harmoniques sphériques*<sup>2</sup> fondés sur l'équation de Schrödinger.

Le but recherché de concevoir une *géométrie projective* décrivant le lien entre noyau atomique et électrons périphériques est donc bien atteint, nonobstant le caractère *stochastique* de la procédure envisagée.

---

1 L'électron est en effet sujet au phénomène baptisé en langue allemande *zitterbewegung*, ce qui peut se traduire en français par *tremblement* (voir Tome 1 - Chapitre 7 *Électromagnétisme* - Page 209 - Section *Calcul du facteur de Landé de l'électron*).

2 Voir article WIKIPÉDIA : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Harmonique\\_sphérique](https://fr.wikipedia.org/wiki/Harmonique_sphérique)