

Le modèle XijieDong des particules

Auteur : Jacques Xijie Dong

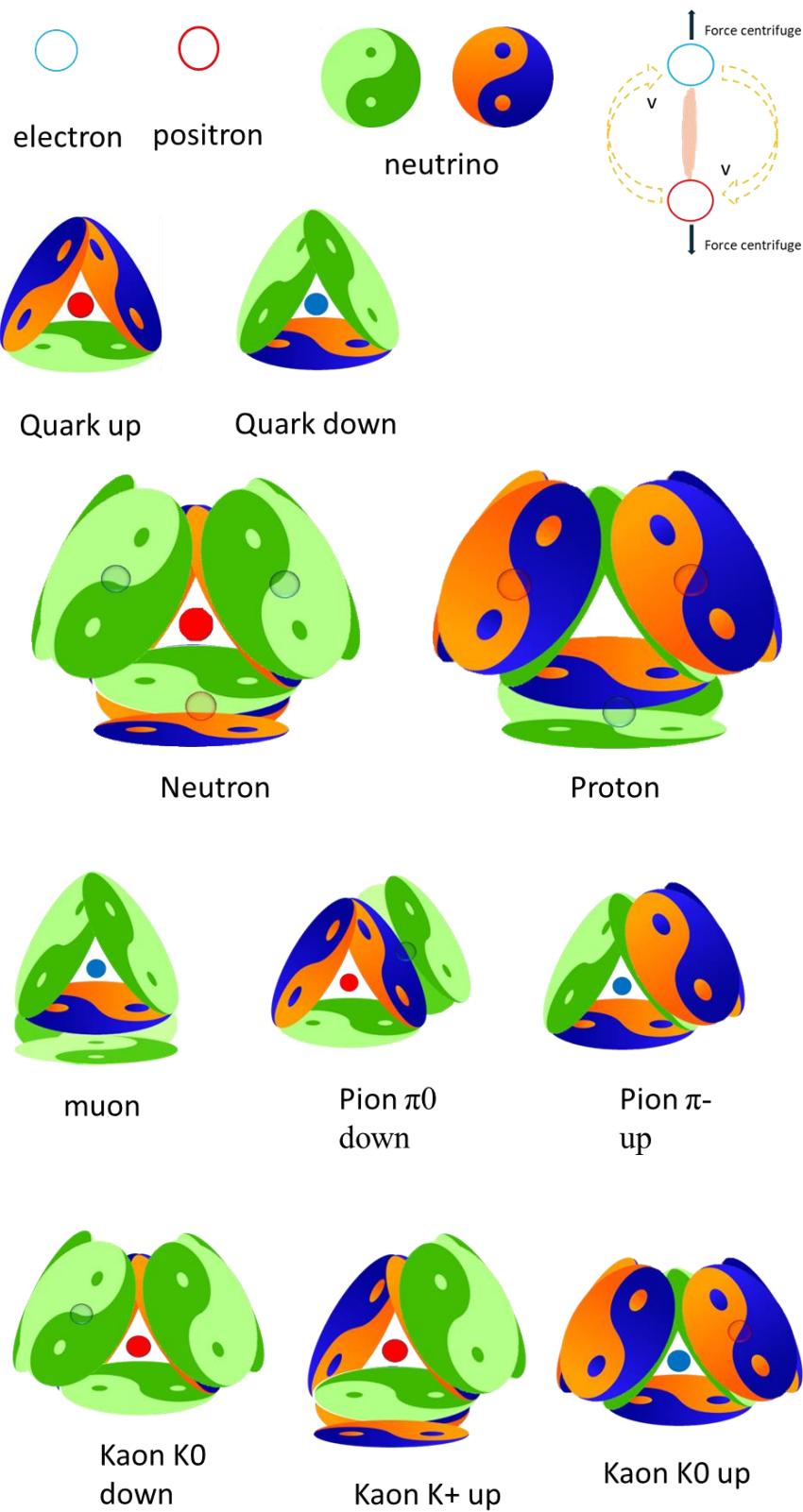


Table of Contents

1	Résumé	6
2	Introduction.....	6
3	Matériels et méthodes	7
3.1	Matériels	7
3.2	Méthodes.....	7
3.2.1	Charginette ☽.....	8
3.2.2	Chrominette Δ	8
3.2.3	Nucléonette 品	8
4	Résultats	9
4.1	Matières de base de l' univers.....	9
4.2	Modélisation des 3 matières de base	9
4.2.1	Photon 中	9
4.2.2	Electro 口	10
4.2.3	Champ 古	11
4.3	Modélisation des 8 particules composées.....	11
4.3.1	Electrinette e	11
4.3.2	Charginette ☽.....	13
4.3.3	Chrominette Δ	15
4.3.4	Nucléonette 品	17
4.3.5	Quark U ⁺	18
4.3.6	Quark D ⁻	19
4.3.7	Proton p ⁺	20
4.3.8	Neutron n ⁰	21
4.4	Modélisation d' autres particules composées.....	22
4.4.1	Particules neutres	22
4.4.2	Particules visibles.....	23
4.5	Modélisation de quatre forces fondamentales	25
4.5.1	La force électrique	25
4.5.2	La force magnétique	26
4.5.3	La force gravitationnelle	27
4.5.4	La force potentielle.....	28
4.6	Modélisation de l' éther.....	29
4.6.1	Définition	29

4.6.2	Composition de l' éther	29
4.6.3	Conséquences de la composition de l' éther.....	30
4.6.4	L' énergie potentielle.....	31
4.7	Modélisation de la masse inerte.....	35
4.7.1	Définition	35
4.7.2	L' origine de la masse inerte.....	36
4.7.3	Le déplacement d' une électrinette	36
4.7.4	La relation entre la masse inerte et la masse grave	37
4.7.5	Vectorisation de la masse inerte	38
4.8	Modélisation de la stabilité des 8 particules composées	39
4.8.1	Stabilité des électrinettes e	39
4.8.2	Stabilité des charginettes Θ	39
4.8.3	Stabilité des chrominettes Δ	43
4.8.4	Stabilité des nucléonettes 品^b	60
4.8.5	Stabilité des quarks U^+	103
4.8.6	Stabilité des quarks D^-	103
4.8.7	Stabilité des protons H^+	104
4.8.8	Stabilité des neutrons n^0	104
4.8.9	Stabilité des nucléonettes 品^h	104
4.9	Modélisation des noyaux atomiques	110
4.9.1	Modélisation des liaisons entre électrinettes libres : L_0	111
4.9.2	Modélisation des liaisons entre électrinettes libres : LL_0	116
4.9.3	Modélisation des liaisons entre électrinettes liées	125
4.9.4	Modélisation des liaisons entre 2 nucléonettes.....	132
4.9.5	Modélisation du noyau de deutérium.....	132
4.9.6	Modélisation du noyau de tritium.....	135
4.9.7	Modélisation du noyau d' hélium 4.....	145
4.9.8	Modélisation du noyau de lithium 6.....	181
4.9.9	Interprétation de la courbe d' Aston.....	185
4.9.10	Modélisation des fusions	185
4.9.11	Modélisation des fissions	195
4.9.12	Modélisation des radioactivités β	198
4.10	Modélisation de grandes structures à base de nucléons	199
4.10.1	Modélisation de structures à base de neutrons	199
4.10.2	Modélisation de structures à base de protons	203

4.10.3	Modélisation de structures à base de proton-neutron.....	205
4.10.4	Modélisation de structures à base de symétrie de proton-neutron.....	205
4.10.5	Modélisation de structures à base de deutérium et sa symétrie	208
5	Prédictions.....	210
5.1	Deux particules suffisent pour bâtir l' univers.....	210
5.2	L' énergie potentielle se trouve dans l' environnement.....	210
5.3	La conservation des matières est une loi stricte.....	210
5.4	Un quark possède une charge électrique élémentaire entière e^+ ou e^-	210
5.5	La masse inerte est vectorielle.....	210
5.6	Le photon a une masse inerte et une masse grave	211
5.7	Le photon peut sortir des trous noirs	211
5.8	La vitesse du photon peut être supérieure à c	211
5.9	L' expansion accélérée de l' univers n' a pas besoin d' énergie noire.....	211
5.10	Il existe des océans de particules neutres gravitant autour des centres massifs.....	212
5.11	L' aspect ondulatoire des particules n' appartient pas à ces particules	212
5.12	La fusion des noyaux nucléaires nécessite des conditions	212
5.13	Il existe un solide 100 000 fois plus résistant que le diamant	212
5.14	Il existe un super conducteur de photons, y compris le rayon gamma.....	212
5.15	Il existe un supra conducteur électrique à toute température	213
6	Abréviations.....	213
7	Appendice A : Utilisation de Matlab Simulink.....	214
7.1	Appendice A.1 : Caractéristique des charginettes.....	214
7.2	Appendice A.2 : Le système d' équations différentielles d' une chrominette.....	215
7.3	Appendice A.3 : Le système d' équations différentielles d' une nucléonette	216
8	Références.....	217

Figure 1 - Champ gravitationnel d' un photon	10
Figure 2 - Champ électrique d'une électrinette	12
Figure 3 - Champ magnétique d'une électrinette	13
Figure 4 - Structure d'une charginette	14
Figure 5 - Structure d'une chrominette à $t = 0$	16
Figure 6 - Structure d'une nucléonette	17
Figure 7 - Structure d'un quark Up	18
Figure 8 - Structure d'un quark Down	19
Figure 9 - Structure d'un proton.....	20
Figure 10 - Structure d'un neutron.....	21
Figure 11 - La force électrique.....	26

Figure 12 - La force magnétique.....	27
Figure 13 - La force gravitationnelle.....	28
Figure 14 - Schéma de l'énergie potentielle.....	31
Figure 15 - Vecteurs de déplacement de l'électrinette.....	36
Figure 16 - Mouvement des électrinettes.....	39
Figure 17 - Dynamique d'une charginette.....	40
Figure 18 - Caractéristique des charginettes.....	43
Figure 19 - Schéma de structure chrominette	44
Figure 20 - Distance moyenne FI	51
Figure 21 - Distance moyenne FG.....	51
Figure 22 - Distance moyenne HA	53
Figure 23 - Distance moyenne HI	53
Figure 24 - Oscillation des charginettes de chrominette	60
Figure 25 - Rayon du proton.....	60
Figure 26 - Structure de nucléonette	62
Figure 27 - Vue axiale de la chrominette ABCDEF.....	62
Figure 28 - Vue axiale de la chrominette GH Γ Σ Ω Φ	64
Figure 29 - Moyenne distance FC	76
Figure 30 - Moyenne distance FE	76
Figure 31 - Moyenne distance H Γ	77
Figure 32 - Moyenne distance H Ω	78
Figure 33 - Moyenne distance BE	78
Figure 34 - Moyenne distance BA	79
Figure 35 - Moyenne distance Σ Ω	79
Figure 36 - Moyenne distance Σ G	80
Figure 37 - Oscillation des charginettes de nucléonette.....	101
Figure 38 - Liaison entre électrinettes libres.....	111
Figure 39 - Vue de dessus neutron-proton décalés	112
Figure 40 - Vue de droite neutron-proton	112
Figure 41 - Liaison radiale de 2 couples Proton-Neutron.....	116
Figure 42 - Coordonnées d'un proton et d'un neutron côté à côté	117
Figure 43 - Liaison entre électrinettes liées	125
Figure 44 - Nucléons symétriques	199
Figure 45 - Structure d' une neutronette	200
Figure 46 - Neutron triple.....	200
Figure 47 - Neutronette double	201
Figure 48 - Grande Structure à neutronettes.....	202
Figure 49 - Structure d' une protonette	203
Figure 50 - Proton triple	203
Figure 51 - Protonette double	204
Figure 52 - Grande Structure à protonettes.....	205
Figure 53 - Structure d' une deutériumelle.....	206
Figure 54 - Tritiumelle	206
Figure 55 - Héliumelle	207
Figure 56 - Grande Structure à héliumelles.....	207
Figure 57 - Alternancelle	208
Figure 58 - Solide à base d'alternancelle.....	209

1 Résumé

Le Modèle Standard (SM) des particules^[1] n'explique pas la matière noire et modélise la masse par le champ de Higgs trop artificiel. Un autre modèle est attendu depuis longtemps. Le présent modèle réinterprète les résultats expérimentaux en respectant la conservation des matières de manière stricte. Le résultat obtenu est une famille de particules neutres correspondant à la matière noire.

Deux particules élémentaires suffisent pour bâtir l'univers.

2 Introduction

SM admet d'office l'existence du champ de Higgs^[2] dont le potentiel est caractérisé par :

$$V(\psi) = \mu^2 |\psi|^2 + \lambda |\psi|^4$$

D'un point de vue physique, cela revient à admettre l'existence de l'ETHER en lui donnant un autre nom et qu'il possède la caractéristique ci-dessus.

SM considère que le photon possède la dualité onde et corpuscule. Mais ces deux états sont physiquement incompatibles.

SM attribue une charge électrique d'un tiers ou de deux tiers à un quark. C'est en contradiction avec la plus petite charge électrique qui vaut un.

SM modélise le résultat de la neutralisation d'un électron et d'un positron comme deux photons^[9]
^[15]. Il y a une violation manifeste du principe de la conservation de la matière. En effet, un photon est différent d'une charge électrique. Pourquoi cette neutralisation ne pourrait pas donner une particule invisible en libérant les photons ?

Le présent XijieDong modèle sera désigné par le nom court : XM.

XM donne une modélisation différente de SM, plus simple, plus intuitive et plus facile à comprendre. XM utilise les référentiels galiléens.

Les principaux sujets se résument comme suit :

1. Description de 3 matières élémentaires
2. Description de 8 particules composées
3. Modélisation de 4 forces fondamentales
4. Modélisation de l'éther
5. Démonstration de la stabilité des 8 particules composées
6. Annonce de quelques prédictions en conséquence du présent modèle

Convention :

Par abus de langage et par la simplicité, le présent document utilise le nom d'un atome pour désigner son noyau. En effet, le sujet principal de la présente étude est le noyau atomique. Sauf bien sûr, si le contexte exige le contraire.

3 Matériels et méthodes

3.1 Matériels

Les matériels utilisés sont :

- Un Ordinateur Personnel (PC)
- Une connexion to Internet
- Le logiciel système d'exploitation : Windows 7 ou supérieur
- Le logiciel Matlab : version 2019a ou supérieure

3.2 Méthodes

Il est à préciser que les principes utilisés sont ceux de la mécanique classique.

Les méthodes consistent à utiliser la procédure suivante :

1. Consulter les documents cités en référence
2. Examiner les analyses et les conclusions
3. La masse nécessite un champ, ce qui conduit à l'existence de l'éther
4. Réexaminer les équations de transformation en respectant la conservation de la matière de manière stricte.
5. Cela oblige l'introduction de nouvelle particule (charginette) non décrite dans SM.
6. En examinant l'inverse des équations, l'obligation de l'océan de particules neutres apparaît.
7. En prenant la chromodynamique, les fractions tiers et 2 tiers des charges électriques pour les quarks sont choquantes. Cela conduit à repenser la structure des quarks.
8. En examinant toutes les particules du SM, elles sont presque toutes chargées électriquement. Ce qui signifie qu'elles ne sont pas élémentaires.
9. Par élimination, il ne reste plus que le photon et la charge électrique comme particules élémentaires.
10. En essayant de combiner ces deux, on obtient que des électrinettes et des charginettes.
11. En essayant toutes les combinaisons possibles avec les charginettes, on obtient la structure triangulaire de la chrominette.
12. Et en continuant la construction avec le même procédé, on obtient la nucléonette.
13. Par chance, la structure de la chrominette permet de loger une électrinette en son centre. Ce qui donne les quarks et les nucléons.
14. L'existence de l'énergie potentielle conduit aussi à l'existence de médium dans l'environnement.
15. L'existence de l'océan de particules neutres permet de repenser le phénomène ondulatoire des particules.

L'opération la plus difficile réside dans la démonstration de la stabilité des particules composées. En effet, plus la particule grossisse, plus la démonstration est difficile. Il s'agit des particules suivantes :

La charginette, la chrominette et la nucléonette. Les méthodes utilisées sont détaillées pour chaque particule.

3.2.1 Charginette ☀

Une charginette est composée de deux électrinettes. Il s'agit d'un problème à 2 corps. La solution à un problème à 2 corps est connue depuis longtemps en astronomie. Donc, c'est cette méthode qui est utilisée ici.

La seule différence est qu'ici, c'est la force électrique à la place de la force gravitationnelle.

La solution sera une expression algébrique. Le rayon r d'une charginette est fonction de la vitesse orbitale et de la masse des électrinettes.

La représentation graphique sera réalisée avec l'outil logiciel Matlab.

3.2.2 Chrominette Δ

Une chrominette est une particule composée de 3 charginettes. Donc, il y a 6 électrinettes. Le problème à 6 corps n'a pas de solution connue aujourd'hui.

La résolution consiste en étapes suivantes :

1. Modéliser une charginette comme un disque solide en raison de sa petite dimension et sa grande vitesse de rotation.
2. L'introduction du champ d'énergie et de la rémanence magnétique plaide également en la faveur de ce modèle du solide.
3. Les 2 électrinettes continuent de tourner au bord du disque.
4. Choisir une structure triangulaire afin d'obtenir 3 points de contact pour les 3 charginettes. Il faut bien sûr choisir les fréquences de rotation des charginettes afin que la force électrique soit attractive aux 3 points de contact.
5. Modifier la formule de Coulomb afin que l'énergie tende vers une valeur finie quand la distance tend vers 0. Car une énergie infinie est physiquement absurde.
6. Cette formule modifiée permet à 2 électrinettes de se rapprocher sans se neutraliser. La vraie neutralisation nécessite plus de conditions.
7. Avec la rotation des charginettes, la force électrique maintient périodiquement le collage des charginettes.
8. Ceci n'est valable qu'avec une condition. En dehors des voisinages des 3 points de contact, le déplacement cumulatif des charginettes ne s'éloigne pas trop.
9. Les déplacements de chaque charginette sont supposés parallèles à son axe de rotation. Les autres déplacements sont supposés négligeables.
10. Cette condition est garantie par la neutralisation des champs électriques au sein de chaque charginette causée par la rotation de deux électrinettes de signes opposés sur un même cercle.
11. Etablir les équations différentielles en tenant compte des hypothèses précédentes.
12. Résoudre le système d'équations différentielles avec Matlab Simulink.

3.2.3 Nucléonette ☒

Une nucléonette est une particule composée de 3 chrominettes. Donc, il y a 18 électrinettes. Le problème à 18 corps n'a pas de solution connue aujourd'hui.

La résolution consiste en étapes suivantes :

1. Commencer par prendre une chrominette nommée le cœur.
2. Puis prendre deux charginettes, combiner à une des trois charginettes du cœur pour fabriquer une deuxième chrominette.
3. Ainsi, il y a deux chrominettes qui partagent une charginette. Sur cette charginette mitoyenne, les 4 points de contact sont répartis uniformément sur son cercle.
4. Recommencer les étapes 2 et 3 précédentes pour fabriquer la troisième chrominette sur un des 2 côtés libres du cœur.
5. Recommencer les étapes 2 et 3 précédentes pour fabriquer la quatrième chrominette sur le côté libre du cœur.
6. Etablir les équations différentielles en suivant la même façon que pour la chrominette.
7. La règle des écrans électriques sera utilisée ici. Quand deux électrinettes sont séparées par une charginette, leur force électrique sera négligée.
8. Résoudre le système d'équations différentielles avec Matlab Simulink.

4 Résultats

4.1 Matières de base de l'univers

Ce paragraphe décrit les matières de base à partir desquelles l'univers peut être construit.

XM utilise les 3 matières de base suivantes :

1. photon 中 : une particule élémentaire de type 1
2. électro 口 : une particule élémentaire de type 2
3. champ 古 : un champ d'énergie

4.2 Modélisation des 3 matières de base

Ce paragraphe décrit les modélisations de chacune des matières de base.

4.2.1 Photon 中

Le photon est une matière regroupant les particules élémentaires de type 1. Il possède les caractéristiques suivantes :

- 中 : un photon possède une charge neutre 中. Le sens physique de cette charge neutre est équivalent à une masse. Son unité est kg. 中 peut prendre n'importe quelle valeur réelle positive.
- c : un photon libre possède une vitesse de déplacement linéaire c qui est celle du SM.
- 中⁺ : un photon possède une rotation autour de sa direction de déplacement. Si elle dans le sens de la main droite, elle sera notée polarité +.
- 中⁻ : si cette rotation est dans le sens de la main gauche, elle sera notée polarité -.
- un photon est modélisé comme un corpuscule. Il n'est pas une onde.
- m_l : un photon possède une masse d'inertie linéaire dans le sens du déplacement m_l . $m_l = \infty$.
- m_r : un photon possède une masse d'inertie perpendiculaire au sens du déplacement m_r . $m_r = 中$.

- 中⁺中⁻ : deux photons polarités opposées peuvent se coller ensemble pour devenir une particule composée 中⁺中⁻. Elle est appelée : photonette. Une fois formé en couple, les deux photons sont liés. Le comportement de l'un est lié à celui de l'autre. Même s'ils sont séparés après. Ce phénomène est appelé intrication.
- 重 : un photon 中 placé dans le champ 古 (décrit plus loin), entre en interaction avec ce champ et génère un champ gravitationnel 重. Ce vecteur peut être illustré par le schéma suivant :

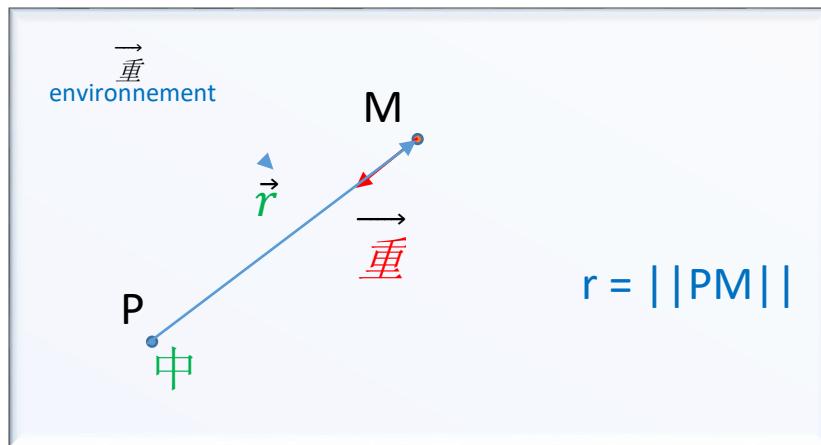


Figure 1 - Champ gravitationnel d'un photon

Le vecteur 重 en un point M dans l'espace peut s'exprimer comme suit :

$$\vec{\text{重}} = -G \cdot \frac{\vec{r}}{r^3 + \gamma^3}$$

Équation 1 - Formule du champ gravitationnel

Avec :

- G : le coefficient d'amplitude = $6,674\,08 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$.
- 中 : la charge neutre du photon.
- r : la distance séparant les deux particules ayant les 2 photons. \vec{r} est son vecteur.
- γ : est une constante = 1×10^{-18} mètre.

4.2.2 Electro □

L'électro est une matière regroupant les particules élémentaires de type 2. Il possède les caractéristiques suivantes :

- □ : un électro possède une charge électrique pure □. Le sens physique de cette charge électrique est équivalent à celle du SM^[3][4], mais dépourvue de photon. □ peut prendre 2 valeurs entières : +1e ou -1e. e représente la plus petite charge électrique.
- Un électro est modélisé comme un corpuscule. Il n'est pas une onde.
- Il n'a pas de masse inerte. Il n'a pas de masse gravitationnelle.
- Deux électro de signes opposés peuvent se trouver ensemble en formant une particule composée □⁺□⁻.

- Deux électro de même signe ne peuvent pas se trouver ensemble.
- Un électro peut capturer un photon via le mécanisme suivant : $\square^+ \square^- + \square^+ \square^- = e^+ + e^-$ (La combinaison d'une paire d'électro et d'une paire de photons donne un électron plus un positron. Ces 2 derniers sont aussi appelés : électrinettes.)

4.2.3 Champ 古

Le champ 古 est une matière constituant l'origine des énergies^[8]. Il possède les caractéristiques suivantes :

- 古 : le champ 古 est un champ d'énergie supposé réparti dans l'espace de l'univers. Il possède 4 composantes : 电, 磁, 重 et 山.
- 电 : la composante 电 est un champ électrique. En présence d'une électrinette, la densité de ce champ est perturbée. La valeur du champ 电 est modifiée dans l'espace en fonction de la distance par rapport à cette électrinette.
- 磁 : la composante 磁 est un champ magnétique. En présence d'une électrinette, la densité de ce champ est perturbée par la rotation de cette électrinette. La valeur du champ 磁 est modifiée dans l'espace en fonction de la distance par rapport à cette électrinette.
- 重 : la composante 重 est un champ gravitationnel. En présence d'un photon, la densité de ce champ est perturbée. La valeur du champ 重 est modifiée dans l'espace en fonction de la distance par rapport à ce photon.
- 山 : la composante 山 est un champ sensible à la densité de matières constitutives du champ 古. En présence d'un photon ou d'un électro, la densité de matière est modifiée. La valeur du champ 山 est modifiée dans le voisinage de cette matière. Le champ 山 est également appelé champ potentiel.
- Le champ 古 a un lien privilégié avec le photon qui se déplace à une vitesse linéaire constante c lorsque ce photon est seul dans le champ 古. Pour une photonette, le champ 古 réserve aussi un lien privilégié entre ses deux photons. Un peu comme une corde élastique qui les attache ensemble. Ce lien reste actif même quand les 2 photons sont séparés d'une grande distance.
- Le champ 古 n'est pas statique. Les substances soutenant le mécanisme sous-jacent du champ 古 sont sensibles à la gravitation. Ces substances sont constamment en mouvement. Ce qui signifie que dans un repère absolu, le champ 古 suit le mouvement des grandes masses.

4.3 Modélisation des 8 particules composées

Ce paragraphe décrit les modélisations de 8 particules composées.

4.3.1 Electrinette e

L'électrinette regroupe les particules composées : électron et positron. Elle possède les caractéristiques suivantes :

- e : une électrinette est composée d'une charge électrique unitaire $+1e$ ou $-1e$ et un photon^[6].
- 中 : La charge neutre 中 du photon au sein de l'électrinette dépend des conditions de création de la paire électron-positron.

- En interaction avec le champ \vec{B} , une électrinette génère un champ électrique vectoriel : \vec{E} .

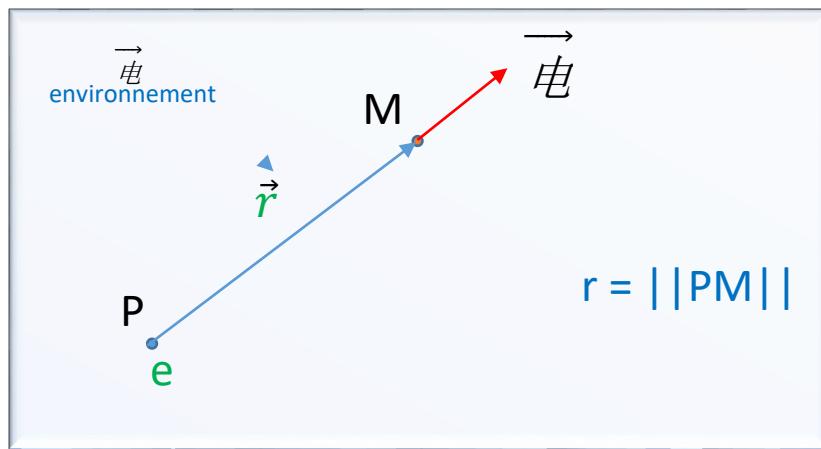


Figure 2 - Champ électrique d'une électrinette

Le vecteur \vec{E} en un point M dans l'espace peut s'exprimer comme suit :

$$\vec{E} = k_e \frac{q \vec{r}}{r^3 + \beta^3}$$

Équation 2 - Formule du champ électrique

Avec :

- k_e : le coefficient électrique = $1/(4\pi\epsilon_0)$
- ϵ_0 : représente la permittivité diélectrique du vide de référence = $8,854\ 187^* 10^{-12}\ F\ m^{-1}$.
- r : la distance séparant le point P et le point M.
- β : est une constante = $1 * 10^{-18}$ mètre.
- q : la charge électrique pondérée :

$$q = e \frac{\text{中}}{\text{中}_{ref}}$$

Équation 3 - Formule de la charge électrique pondérée

- e : la charge électrique unitaire
- 中 : la charge neutre de l'électrinette au repos.
- 中_{ref} : la charge neutre de l'électron de référence ayant servi à la détermination de ϵ_0 .

- Une électrinette possède une rotation autour d'un axe passant par son centre. Cette rotation est à l'origine du champ magnétique ^[18].

Le sens de rotation d'un positron est illustré par le schéma suivant selon la convention de la main droite :

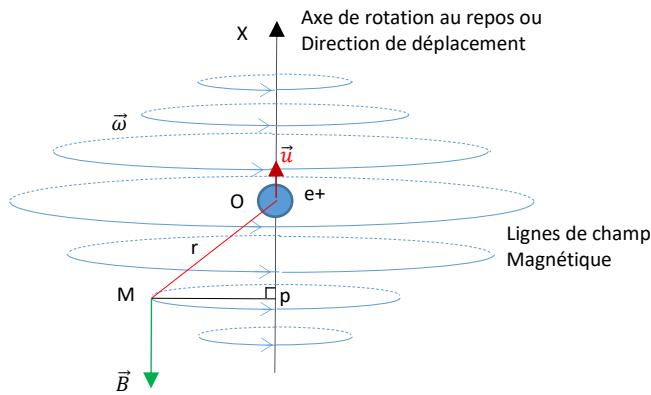


Figure 3 - Champ magnétique d'une électrinette

Le sens de rotation d'un électron est dans le sens opposé. Le champ magnétique \vec{B} s'exprime comme suit en utilisant la loi de Biot et Savart :

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{q \cdot \vec{u} \wedge \vec{r}}{r^3 + \beta^3}$$

Équation 4 - Formule du champ magnétique

Où :

- μ_0 : coefficient magnétique
- q : la charge électrique pondérée définie comme pour le champ électrique.
- \vec{u} : le vecteur unitaire de l'axe de rotation.
- \wedge : est l'opérateur du produit vectoriel.
- r : la distance séparant le point O où se trouvent l'électrinette et le point M quelconque de l'espace en dehors de l'axe de rotation. \vec{r} est son vecteur.
- β : est la même constante que pour le champ électrique.

- Le champ magnétique d'une électrinette au repos n'est pas détectable. La raison est que l'axe de rotation n'a pas une direction fixe. Lorsqu'une électrinette est en mouvement linéaire, la direction du mouvement devient aussi l'axe de rotation. A ce moment, le champ magnétique devient détectable.
- Lors du déplacement d'une électrinette en quittant un point P, elle laisse un trou dans le champ \vec{B} au point P. Ce trou ne disparaît pas immédiatement. Il reste un petit délai t_R . Le champ magnétique reste aussi durant ce délai t_R . Ce qui entraîne la multiplication du champ magnétique généré par un électron traversant une bobine de fil en cuivre.

4.3.2 Charginette ☀

Une charginette est une particule composée d'un électron et d'un positron ayant une même charge neutre $\frac{1}{2}e$. Elle possède les caractéristiques suivantes :

- r : les 2 électrinettes tournent l'une autour de l'autre. Leur trajectoire est un cercle dont le rayon est r . Ce rayon est mesuré entre le centre de symétrie et le centre d'une électrinette.
- v : la vitesse de rotation orbitale des électrinettes autour de leur axe de symétrie.

- $中_0$: la charge neutre d'une des 2 électrinettes au repos. L'autre électrinette a strictement la même charge neutre.
- $中_g$: la charge neutre globale de la charginette. $中_g > 2 * 中_0$.
- La rotation de deux charges électriques de signes opposés sur un même cercle rend la charginette neutre si la mesure est faite à une distance suffisamment grande.
- O : la structure d'une charginette peut être assimilée à un cercle. Elle est illustrée par le schéma suivant :

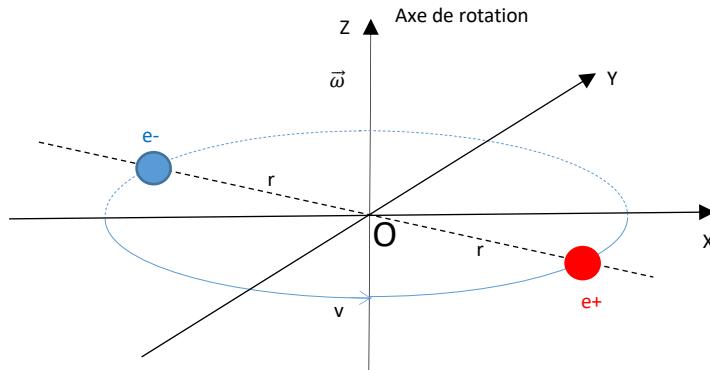


Figure 4 - Structure d'une charginette

- D_s : bien que la structure de la charginette peut être assimilée à un cercle. Mais les propriétés physiques du champ 古 feront d'une charginette comme un disque solide (voir la figure suivante). Ceci empêche une électrinette de traverser le disque délimité par le cercle.



- k_n : le champ électrique engendré par les 2 électrinettes est grandement atténué par leurs rotations orbitales. Cette atténuation k_{n0} est estimée proportionnelle à la fréquence de rotation f . Il s'agit du nombre de tour par seconde. Le coefficient d'atténuation est estimé comme suit :

$$k_{n0} = \frac{10^3}{f}$$

Équation 5 – Coefficient d'atténuation de la charginette k_{n0}

Avec :

f : le nombre de tour par seconde. $f > 1000$. Si $f \leq 1000$, le coefficient k_{n0} reste à 1. Si $f > 10^{14}$, alors, k_{n0} reste à 10^{-11} .

Mais cette atténuation n'est pas applicable au voisinage d'une électrinette. On estime que k_n tend vers 1 quand la distance tend vers 0. D'où la formule d'atténuation pour tout l'espace et pour chaque électrinette :

$$k_n = 10^{-\frac{D}{r \cdot 100}} + k_{n0} = 10^{-\frac{D}{r \cdot 100}} + \frac{10^3}{f}$$

Équation 6 - Coefficient d'atténuation K_n forme 1

Où :

- r : est le rayon de la charginette.
- D : est la distance qui sépare l'électrinette intervenant et le point considéré.

Pour la force électrique, deux cas de figure se présentent :

1. l'électrinette externe est libre sans sa propre atténuation interne, $k_{n02} = 1$:

$$k_n = 10^{-\frac{D}{r_1 \cdot 100}} + k_{n01} \cdot k_{n02} = 10^{-\frac{D}{r_1 \cdot 100}} + k_{n01} = 10^{-\frac{D}{r_1 \cdot 100}} + \frac{10^3}{f_1}$$

Équation 7 - Coefficient d'atténuation K_n forme 2

Où :

- r_1 : est le rayon de la charginette ayant l'électrinette 1.
- f_1 : est la fréquence de rotation de la charginette ayant l'électrinette 1.
- D : est la distance qui sépare les 2 électrinettes.

2. l'électrinette externe est libre avec sa propre atténuation interne, $k_{n02} = 10^3/f_2$:

$$k_n = 10^{-\frac{D}{r_1+r_2 \cdot 200}} + k_{n01} \cdot k_{n02} = 10^{-\frac{D}{r_1+r_2 \cdot 200}} + \frac{10^3}{f_1} \cdot \frac{10^3}{f_2} = 10^{-\frac{D}{r_1+r_2 \cdot 200}} + \frac{10^6}{f_1 \cdot f_2}$$

Équation 8 - Coefficient d'atténuation K_n forme 3

Où :

- r_2 : est le rayon de la charginette ayant l'électrinette 2.
- f_2 : est la fréquence de rotation de la charginette ayant l'électrinette 2.

- ? : la neutralisation des deux électrinettes de signes opposés rend caduque la règle de De Broglie ici [5]. (Rappel de cette règle : la période de rotation orbitale de la charginette doit être un multiple de la période propre de chacune des 2 électrinettes donnée par la formule $E = h/T$ où E est l'énergie de chacune des électrinettes. T est la période propre. Le coefficient h est la constante de Planck)

4.3.3 Chrominette Δ

Une chrominette est une particule composée de 3 charginettes. Elle possède les caractéristiques suivantes :

- Δ : les 3 charginettes forment une sorte de triangle. La structure peut être illustrée par le schéma suivant :

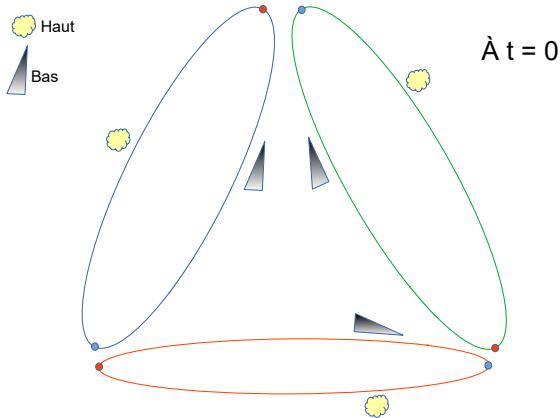
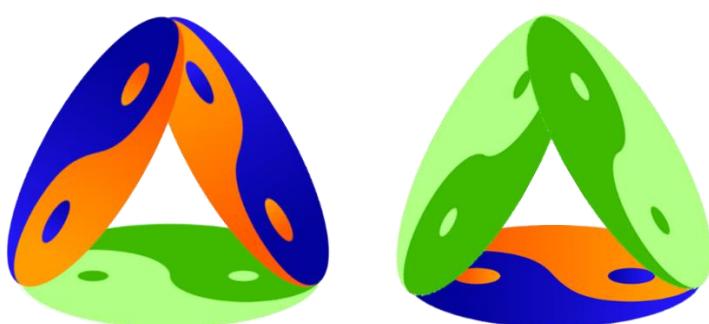


Figure 5 - Structure d'une chrominette à $t = 0$

- 3 : 3 points de contacts apparaissent. Tout se passe comme si on attache les 3 cercles en une chaîne. On obtient donc 2 points de contact. Ensuite, on attache les deux cercles des 2 extrémités. Ainsi, la boucle est bouclée.
- T : Une condition nécessaire est que les périodes de rotation des 3 charginettes sont égales ou des multiples de 3. Considérons la période la plus petite T_0 . Pour chacune des 2 autres périodes, elle est soit égale à T_0 , soit à $3nT_0$. n est un entier positif.
- E : une autre condition est que les 3 charginettes ne peuvent pas avoir toutes les 3 le même niveau d'énergie. En effet, la règle d'exclusion ne permet que deux électrons de même énergie. Ils se distinguent par leur sens de rotation autour de soi-même. Ce qui implique qu'au maxima, deux charginettes peuvent avoir le même niveau d'énergie. Les électrons de la troisième charginette doit avoir un niveau d'énergie différent.
- 0 : une chrominette a une apparence électriquement neutre. Il y a 2 raisons pour cela. La première est que chacune des 3 charginettes est déjà presque neutre avec sa rotation orbitale. La deuxième est que la chrominette n'a pas une direction fixe, au même titre qu'une électrinette qui ne montre pas son champ magnétique.
- r : un cas particulier est que les 3 charginettes aient le même rayon r . Dans ce cas, en restant le plus simple possible, on prend 2 charginettes de même niveau d'énergie. Cela donne forcément le même rayon de rotation orbitale r et la même vitesse orbitale v_1 . La troisième charginette doit avoir une vitesse de rotation soit 3 fois v_1 , soit un tiers de v_1 .
- $\Delta^h \Delta^b$: en fonction des niveaux d'énergie des 3 charginettes constitutives. On distingue deux types de chrominette. On note v_i la vitesse de la charginette ch_i . Lorsque $v_3 = 3 v_1$, et $v_2 = v_1$, la chrominette est de type haut. Lorsque $v_3 = (1/3) v_1$, et $v_2 = v_1$, la chrominette est de type bas.
- La figure suivante montre une vue artiste des chrominettes :



- Inspiration source^[19].

Pour les 3 points de contact de la chrominette, il y a un e quasi neutralisation. Cela introduit une énergie potentielle appelée énergie de liaison. Cette énergie de liaison induit par équivalence entre masse et énergie une masse de liaison. C'est cette énergie de liaison qui explique le fait que la masse d'une particule composée est très supérieure à la somme des masses de tous les composants.

4.3.4 Nucléonette 品

Une nucléonette est une particule composée de 3 chrominettes. Elle possède les caractéristiques suivantes :

- 品 : les 3 chrominettes forment une sorte de chaîne rebouclée un peu comme pour la chrominette. La structure peut être illustrée par le schéma suivant :

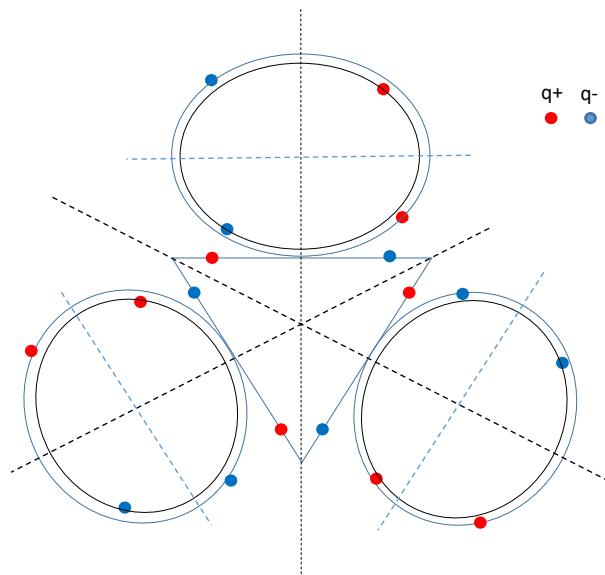
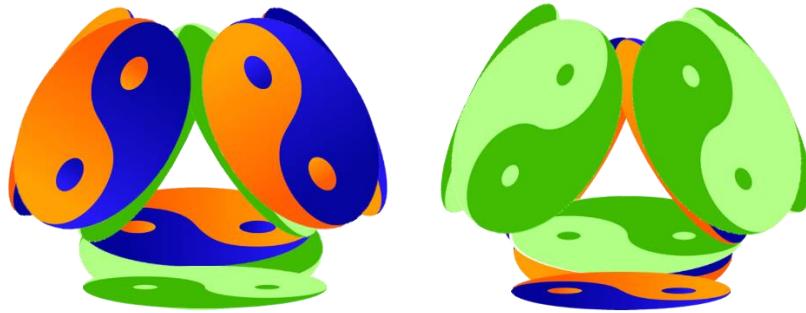


Figure 6 - Structure d'une nucléonette

- Pour comprendre le schéma ci-dessus, il faut d'abord prendre une chrominette comme point de départ. C'est le triangle du milieu. Pour chaque côté du triangle qui est une charginette, donc un cercle, on peut rajouter deux charginettes pour former une nouvelle chrominette. Sur le cercle mitoyen, les 4 points de contact sont placés de sorte qu'ils soient uniformément répartis.
- X : La règle d'exclusion s'applique au sein de chaque chrominette.
- !X : la règle d'exclusion ne s'applique pas sur les charginettes inter chrominettes. La raison est que les charginettes inter chrominettes sont soit suffisamment éloignées, soit séparées par un écran électrique formé par une charginette de niveau d'énergie différent.
- 0 : une nucléonette a une apparence électriquement neutre. Les raisons sont les mêmes que pour la chrominette.
- r : un cas particulier est que toutes les charginettes ont le même rayon r .
- 品^h 品^b : en fonction du type de chrominette se trouvant au centre de la nucléonette, on distingue deux types de nucléonette. Une nucléonette est de type haut si la chrominette du centre est du type bas. Réciproquement, une nucléonette est de type bas si la chrominette du centre est du type haut.

- La figure suivante montre une vue artiste des nucléonettes :



- Inspiration source^[20].

4.3.5 Quark U⁺

Le quark Up est une particule composée d'une chrominette haute et d'un positron. Elle possède les caractéristiques suivantes :

- e^+ : le positron se niche au sein de la chrominette. La structure peut être illustrée par le schéma suivant :

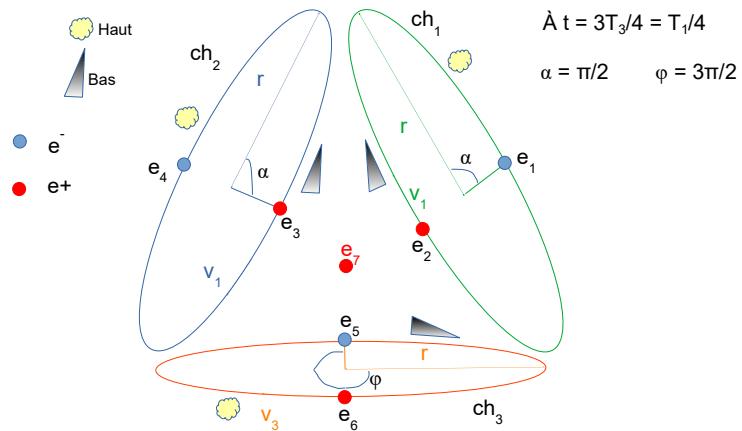


Figure 7 - Structure d'un quark Up

- Le fonctionnement de la chrominette induit un trou potentiel d'énergie au centre. Le positron y est stable. Mais cette stabilité est toute relative. En effet, la différence de potentiel d'énergie entre le centre et son voisinage n'est pas très grande. Donc, si le quark subit une accélération trop rapide, le positron au centre n'arrive pas à s'accrocher à la chrominette. Et le quark se transforme en une chrominette et un positron.
- La figure suivante montre une vue artiste du quark U+ :



- Inspiration source ^[20].

4.3.6 Quark D⁻

Le quark Down est une particule composée d'une chrominette basse et d'un électron. Elle possède les caractéristiques suivantes :

- e^- : l'électron se niche au sein de la chrominette. La structure peut être illustrée par le schéma suivant :

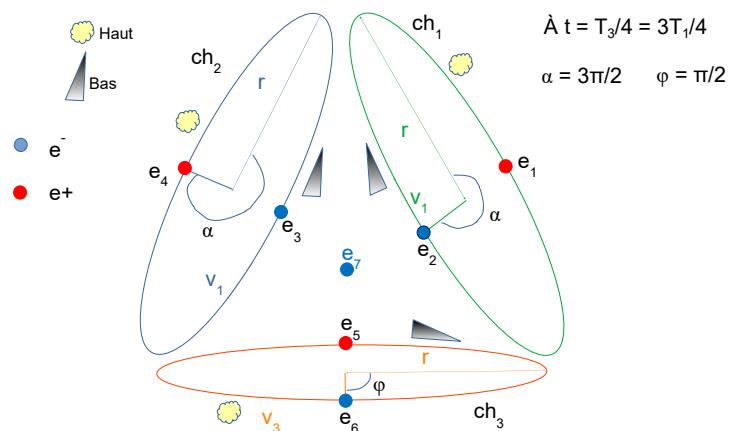


Figure 8 - Structure d'un quark Down

- Comme pour le quark Up, le quark Down possède une relative stabilité.
- La figure suivante montre une vue artiste du quark D⁻ :



- Inspiration source ^[20].

4.3.7 Proton p^+

Le proton est une particule composée d'une nucléonette du type bas et de 3 électrinettes. Elle possède les caractéristiques suivantes :

- 品^b : la chrominette du centre du proton est du type haut. Il n'y a pas d'électrinette nichée à son centre.
- $e^- e^+$: Il y a deux chrominettes basses et une chrominette haute à la périphérie du proton. Un électron est niché au centre de la chrominette haute. 2 positrons sont nichés chacun aux centres de chaque chrominette basse. La répartition des électrinettes peut être illustrée par le schéma suivant :

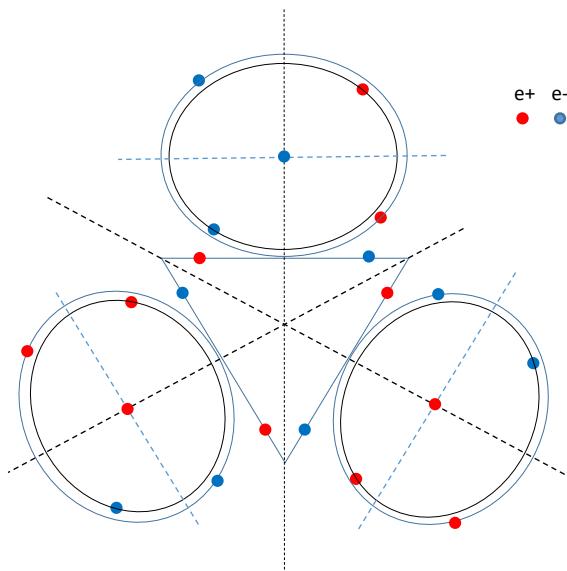
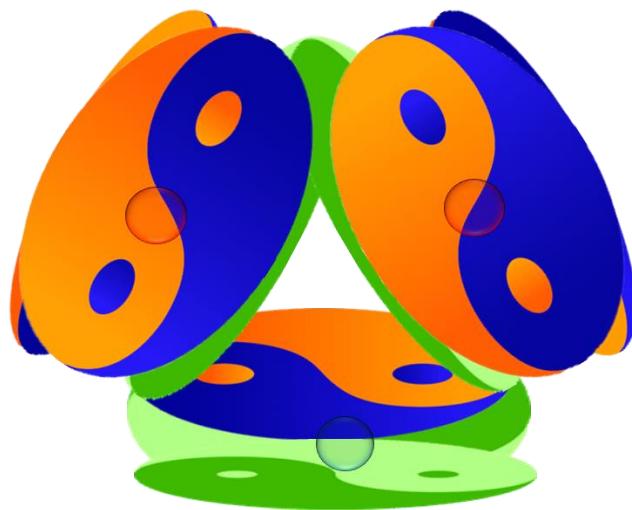


Figure 9 - Structure d'un proton

- L'addition des charges électriques des 3 électrinettes est égale à : $+1e$.
- La figure suivante montre une vue artiste du proton p^+ :



- Inspiration source^[20].

4.3.8 Neutron n^0

Le neutron est une particule composée d'une nucléonette du type haut et de 4 électrinettes. Elle possède les caractéristiques suivantes :

- H^{h+} : la chrominette du centre du proton est du type bas. Il y a un positron niché à son centre.
- $e^- e^+$: Il y a deux chrominettes hautes et une chrominette basse à la périphérie du neutron. Un positron est niché au centre de la chrominette basse. 2 électrons sont nichés chacun aux centres de chaque chrominettes hautes. La répartition des électrinettes peut être illustrée par le schéma suivant :

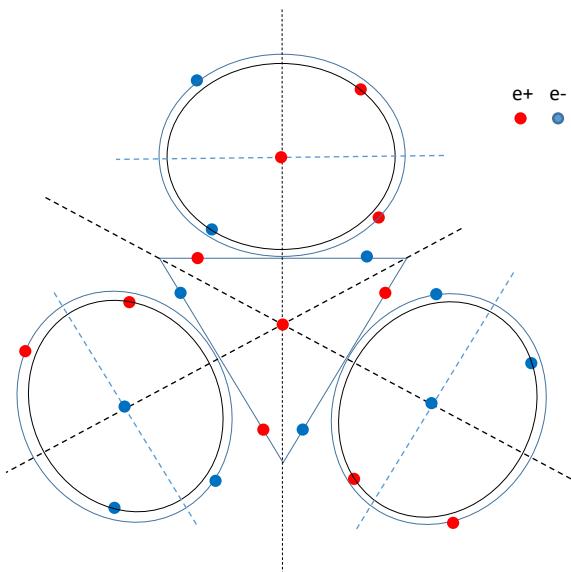
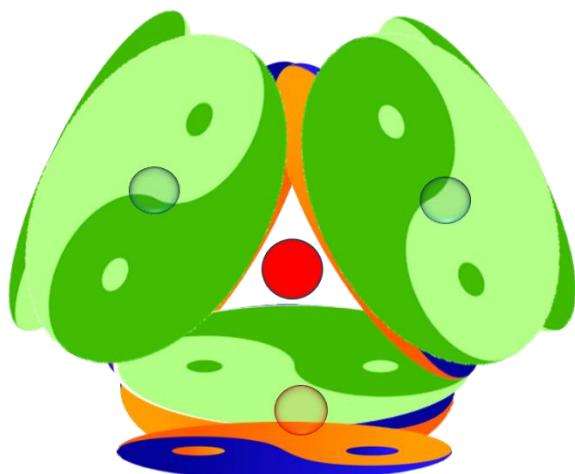


Figure 10 - Structure d'un neutron

- L'addition des charges électriques des 4 électrinettes est égale à : 0.
- La répartition géométrique des 4 électrinettes fait apparaître un moment électrique et un moment magnétique lors de la rotation du neutron autour de son axe de symétrie. Donc, le neutron est visible malgré sa charge électrique apparente 0.
- La figure suivante montre une vue artiste du neutron n^0 :



- Inspiration source^[20].

4.4 Modélisation d'autres particules composées

4.4.1 Particules neutres

Le paragraphe précédent a décrit 4 particules composées neutres. D'autres particules neutres peuvent s'obtenir en combinant les charginettes de différents niveaux d'énergie.

Par exemple :

En suivant la méthode de construction de la nucléonette, et en partant d'une chrominette, il est possible de rajouter à chaque fois deux charginettes de même niveau d'énergie E_2 sur une charginette de niveau d'énergie E_1 . Et on obtient ainsi une nouvelle particule composée neutre.

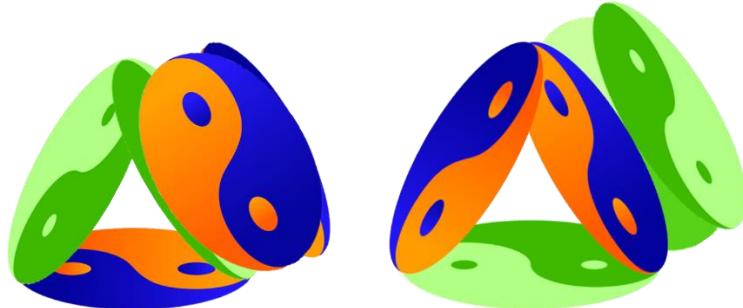
Les particules ainsi obtenues sont théoriquement stables. Surtout si elles forment des chaînes bouclées.

Mais si la chaîne est trop grande, elles peuvent être instables.

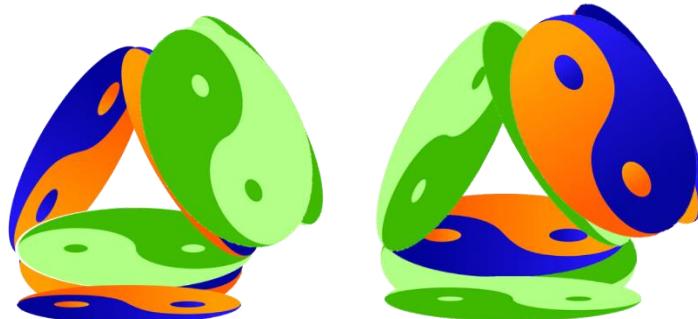
4.4.1.1 Chrominette jumelle up et down



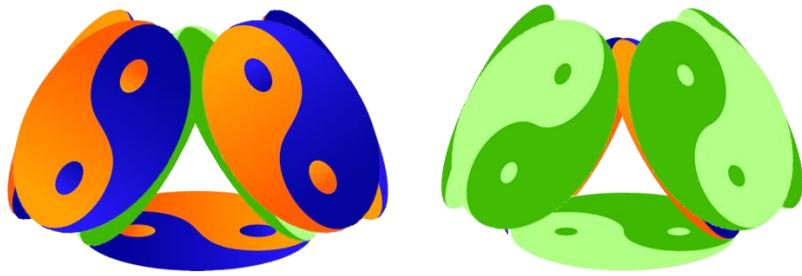
4.4.1.2 Chrominettes Double up et down



4.4.1.3 chrominette triple up 4-3 et down 3-4



4.4.1.4 chrominette triple up 5-2 et down 2-5



4.4.2 Particules visibles

Pour qu'une particule composée soit visible, il suffit qu'elle contienne un ensemble de charges électriques non nulle. Ou bien, la répartition des charges électriques n'est pas symétrique. Ce qui fait apparaître un moment électrique, ainsi qu'un moment magnétique.

Par exemple :

Pour chaque particule neutre précédemment obtenue, il suffit ajouter un nombre d'électrinettes en les répartissant une par centre de chrominette de sorte que la somme de ces électrinettes ne soit pas nulle.

Ou bien de sorte que la répartition de ces électrinettes soit géométriquement asymétrique.

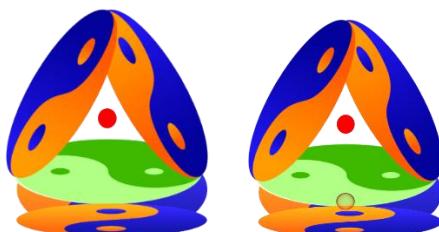
Les particules ainsi obtenues sont en général instables pour les mêmes raisons que celles des quarks Up et Down.

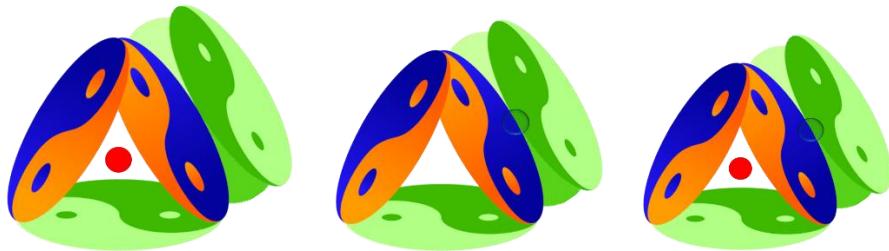
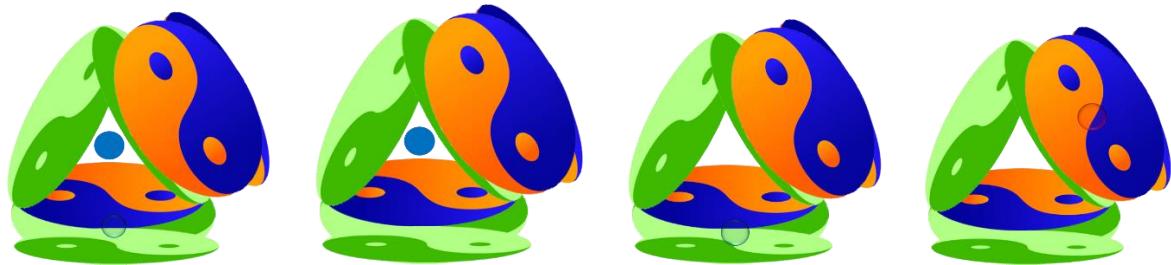
Un exemple concret, les particules du groupe pion^[13] sont composées de deux chrominettes partageant une charginette mitoyenne, avec au sein de chaque chrominette, une ou 0 électrinette. S'il n'y a qu'un électron, on a un π^- . S'il n'y a qu'un positron, on a un π^+ . S'il y a un électron et un positron, on a un π^0 . Théoriquement, il devrait avoir aussi π^{2-} , s'il y a 2 électrons, et π^{2+} , s'il y a 2 positrons. Mais en pratique, il est difficile de différentier π^- de π^{2-} , et π^+ de π^{2+} , à cause de la faible durée de vie de ces particules.

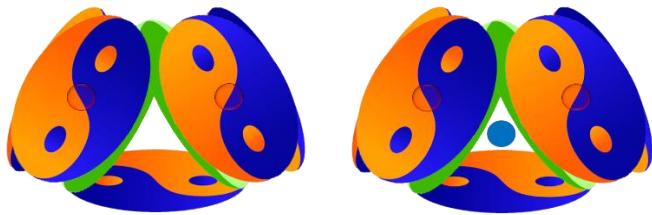
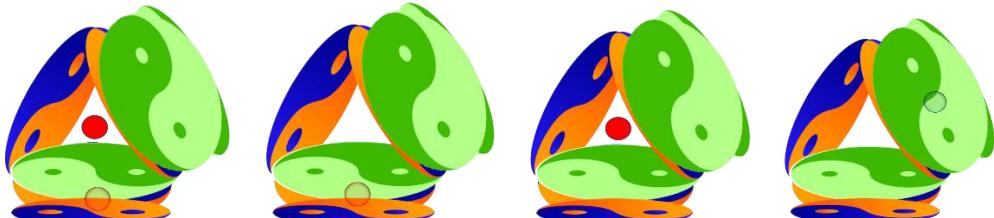
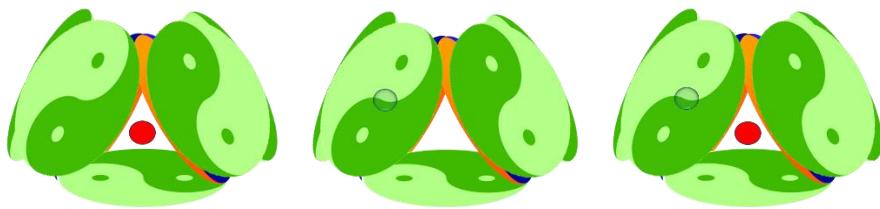
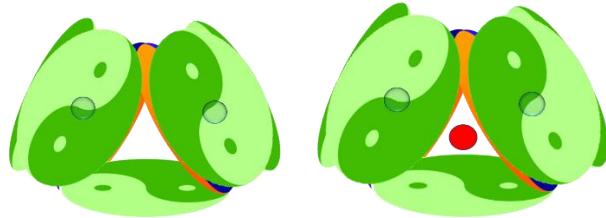
4.4.2.1 Muon μ^- et μ^-



4.4.2.2 Muon μ^+ et μ^{++}



4.4.2.3 Pion π^+ down, π^- down, π^0 down4.4.2.4 Pion π^+ up, π^- up, π^0 up4.4.2.5 Kaon k^- , K down 3-4 et K^+ down 3-44.4.2.6 Kaon K^0 down 3-4 et K^{-+} down 3-44.4.2.7 Kaon K^+ , K et K^0 up 5-2

4.4.2.8 Kaon K^{++} et K^{++} up 5-24.4.2.9 Kaon K^{++} , K^+ et K up 4-34.4.2.10 Kaon K^{++} , K^0 up 4-34.4.2.11 Kaon K^+ , K , K^0 down 2-54.4.2.12 Kaon K^- et K^{+-} down 2-5

4.5 Modélisation de quatre forces fondamentales

4.5.1 La force électrique

Quand 2 électrinettes sont placées dans le champ 古, chacune subit une force électrique causée par le champ électrique de l'autre dans l'axe qui les relie^[21]. Elle peut être illustrée par le schéma suivant :

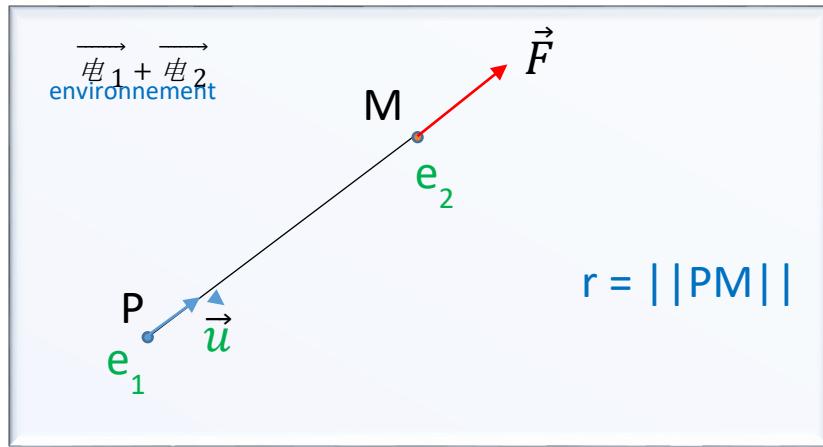


Figure 11 - La force électrique

La force électrique F subie par l'électrinette e_2 , exercée par e_1 s'exprime comme suit :

$$\vec{F} = k_e \frac{q_1 q_2 r \vec{u}}{r^3 + \beta^3}$$

Équation 9 - Formule de la force électrique

Où :

- q_i : la charge électrique pondérée de l'électrinette e_i (avec $i = 1$ ou 2) :

$$q_i = e \frac{\text{申} i}{\text{申} \text{ref}}$$

Équation 10 - Formule de la charge électrique pondérée

- $\text{申} i$: la charge neutre de l'électrinette e_i au repos.
- r : la distance séparant les points P et M où se trouvent respectivement e_1 et e_2 .
- \vec{u} : le vecteur unitaire de l'axe reliant les points P et M .
- $?$: les autres paramètres sont décrits dans le paragraphe décrivant l'électrinette.

Cette force a une valeur maximale quand :

$$r = \frac{\beta}{\sqrt[3]{2}} = 0.7937 \cdot 10^{-18} \text{ m}$$

Équation 11 - Valeur de r pour force électrique maximale

Quand $r \gg \beta$, β peut être éliminé de la formule. On retrouve la forme classique de la force de Coulomb. Mais Quand $r \ll \beta$, l'énergie globale causée par la force quand r tend vers 0 tend vers une constante finie au lieu de tendre vers l'infinie avec la forme classique.

4.5.2 La force magnétique

Quand 2 électrinettes sont placées dans le champ \vec{B} , chacune subit une force magnétique causée par le champ magnétique de l'autre dont la direction dépend de 2 produits vectoriels^{[3][4]}. Elle peut être illustrée par le schéma suivant :

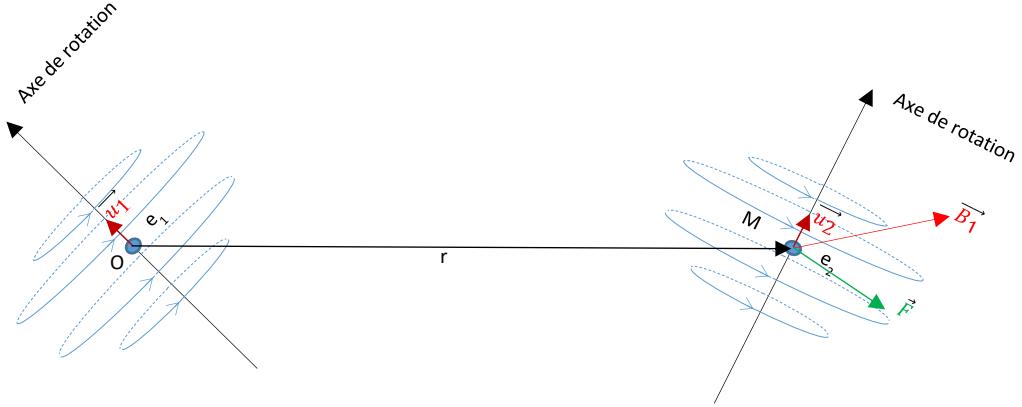


Figure 12 - La force magnétique

La force magnétique F subie par l'électrinette e_2 , exercée par e_1 s'exprime comme suit :

$$\vec{F} = q_2 \cdot \vec{u}_2 \wedge \vec{B}_1$$

Équation 12 - Formule de la force magnétique

Où :

- q_2 : la charge électrique pondérée de l'électrinette e_2 .
- \vec{u}_2 : le vecteur unitaire de l'axe de rotation de l'électrinette e_2 .
- \wedge : l'opérateur du produit vectoriel.
- \vec{B}_1 : le champ magnétique engendré par l'électrinette e_1 au point M situé à une distance r du point O où se trouve l'électrinette e_1 .

Il est à noter que la présente formule est applicable à 2 électrinettes au repos. En pratique, les électrinettes sont en mouvement. Il faut tenir compte de la rémanence magnétique. Cela revient à faire l'addition d'une succession d'électrinettes par équivalence interagissant avec une autre succession d'électrinettes par équivalence.

4.5.3 La force gravitationnelle

Quand 2 particules ayant au moins un photon sont placées dans le champ 古, chacune subit une force gravitationnelle causée par le champ gravitationnel de l'autre dans l'axe qui les relie ^[22]. Elle peut être illustrée par le schéma suivant :

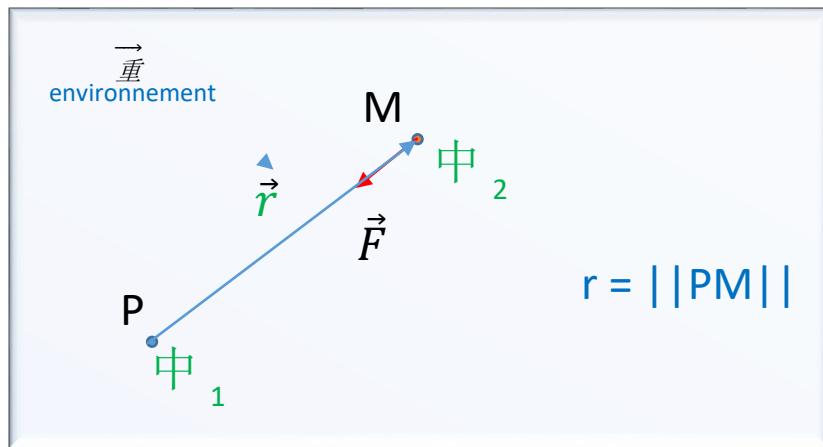


Figure 13 - La force gravitationnelle

La force gravitationnelle \vec{F} subie par le photon 中_2 , exercée par 中_1 s'exprime comme suit :

$$\vec{F} = -G \cdot \frac{\text{中}_1 \text{中}_2 \vec{r}}{r^3 + \gamma^3}$$

Équation 13 - Formule de la force gravitationnelle

Où :

- 中_i : la charge neutre du photon i (avec $i = 1$ ou 2).
- r : la distance séparant les deux particules. \vec{r} est son vecteur.
- γ : les autres paramètres sont décrits dans le paragraphe Photon 中 .

Quand $r \gg \gamma$, γ peut être éliminé de la formule. On retrouve la forme classique de la force de Newton. Mais Quand $r \ll \gamma$, l'énergie globale causée par la force quand r tend vers 0 tend vers une constante finie au lieu de tendre vers l'infinie avec la forme classique.

4.5.4 La force potentielle

La force potentielle provient du champ potentiel $\vec{\psi}$. Et ce champ s'exprime comme suit :

$$\vec{\psi} = -\vec{\nabla} \psi$$

$$\vec{F} = D_m \vec{\psi}$$

Équation 14 - Formule de la force potentielle et du champ potentiel

Où :

- $\vec{\nabla}$: est l'opérateur gradient Nabla.
- ψ : est la densité des matières.
- \vec{F} : la force potentielle
- D_m : la densité en matière potentielle pour une particule

Pour un M de l'espace, la présence d'un photon ou d'un électro modifie la densité des matières. Les interactions entre les particules modifient aussi cette densité. Surtout la neutralisation entre 2 électrinettes de signes opposés qui mobilise beaucoup d'énergie. La densité d'énergie est grandement modifiée au voisinage du point M où la neutralisation a lieu. Ce point M sera appelé le centre actif.

Une autre caractéristique importante est la rémanence de ce champ. En effet, lorsque la cause de la modification de la densité disparaît, les conséquences ne disparaissent pas immédiatement. Le champ \rightarrow met un certain temps non nul à homogénéiser son milieu. Pendant ce temps, le champ \overrightarrow{LL} continue d'agir.

Cette force potentielle est nécessaire pour expliquer la capture d'un photon par un électro. En effet, les 3 forces électrique, magnétique et gravitationnelle n'arrivent pas à expliquer cette capture.

Ce champ ressemble au champ gravitationnel, mais il y a les différences suivantes :

- Ce champ agit à la fois sur le photon et l'électro. Tandis que le champ gravitationnel n'agit que sur le photon.
- La portée de ce champ est plus courte que le champ gravitationnel. Elle est estimée à : 10^{-10} m.
- .

4.6 Modélisation de l'éther

4.6.1 Définition

Une définition a déjà été donnée il y a des milliers d'années qui considère que l'univers est baigné dans une substance nommée éther^[8].

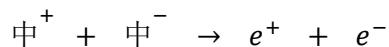
4.6.2 Composition de l'éther

L'éther n'est pas une substance pure et uniforme. Il contient au moins deux des composantes suivantes :

1. Un champ d'énergie définie précédemment
2. Un océan de particules neutres
3. Peut-être d'autres éléments non identifiés ... ?

L'existence de la composante 1 est évidente car sans ce type de champ, la masse inerte n'existerait pas.

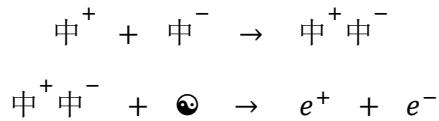
L'existence de la composante 2 provient de la réaction suivante selon SM :



Cette réaction signifie : un photon + et un photon - en collision donne un positron et un électron. Cette réaction est vérifiée en laboratoire pour un certain niveau d'énergie des photons.

Il y a un problème d'interprétation : deux photons se sont transformés en deux électrinettes. L'effet Compton nous informe que l'électron est une particule composée d'électro et de photon. La transformation ci-dessus fait apparaître deux électro à partir de néant. Ce qui est en contradiction avec la loi de conservation de la matière.

La réalité de la réaction ci-dessus devrait s'écrire comme suit :



Cette réaction signifie : première étape : un photon + et un photon en collision donne une paire de photons. Deuxième étape : une paire de photons + une charginette faiblement énergisée en collision donne un positron et un électron^[10]^[16].

Ainsi, la loi de conservation de la matière est respectée.

Une question se pose : d'où vient la charginette ?

Sachant qu'en laboratoire, la charginette n'est pas fournie. Et de toute façon, la charginette est une particule neutre. Il n'y a ce jour aucun moyen de la manipuler.

Donc, il n'y a qu'une seule possibilité : la charginette existe partout dans l'espace. Du moins, dans l'espace où il y a de la matière visible. C'est parce que les particules neutres sont attirées par la gravitation.

4.6.3 Conséquences de la composition de l'éther

Le fait que l'éther n'est pas une substance pure et uniforme conduit immédiatement à une première conséquence : les résultats des expériences réalisées précédemment impliquant l'éther sont à remettre en cause.

En effet, les interprétations des résultats expérimentaux sont basées sur l'hypothèse que l'éther est une entité pure et uniforme.

Deux expériences suivantes seront réinterprétées ici :

1. La dualité du photon
2. L'expérience de Michelson et Morley

4.6.3.1 La dualité du photon

En fonction des conditions expérimentales, le photon peut se comporter comme onde électromagnétique ou bien comme une particule^[1].

Il est difficile d'interpréter ces 2 phénomènes sans éther ou avec un éther pur. Mais avec un éther contenant un océan de particules neutres, l'interprétation devient simple.

En se déplaçant dans l'espace, le photon rencontre sans cesse des charginettes faiblement énergisées. Pour chaque charginette rencontrée, le photon est capturé puis libéré par l'une ou l'autre électrinette de la charginette, en faisant un arc électrique. Cela donne l'illusion d'une onde électromagnétique dont la fréquence dépend de l'énergie du photon.

En présence d'autres photons, les électrinettes énergisées par la capture de photons, entrent en interaction électrique conduisant à des interférences ondulatoires.

D'où : l'aspect ondulatoire du photon correspond aux vagues provoquées par le déplacement du photon dans l'océan des charginettes.

4.6.3.2 L'expérience de Michelson et Morley^[17]

Le prérequis de cette expérience est que la Terre se déplace à une vitesse v dans l'éther et que l'éther est statique dans un repère absolu.

Or le champ \vec{E} suit le mouvement de la Terre, ainsi que les charginettes. Ce qui signifie que l'éther et la Terre sont fixes dans le repère local de la Terre. Ce qui est concordant avec la conclusion de l'expérience.

Cette expérience révèle que dans un repère absolu, la vitesse du photon n'est pas constante partout. Si un repère local se déplace à une vitesse v_0 dans un repère absolu. Alors la vitesse du photon dans le repère absolu est :

$$\vec{v}_a = \vec{v}_0 + \vec{v}_c$$

Où :

- v_a : est la vitesse du photon dans le repère absolu.
- v_0 : est la vitesse du repère local dans le repère absolu.
- v_c : est la vitesse du photon dans le repère local.

Ce qui veut dire qu'un photon traversant différentes zones qui se déplacent dans des directions différentes n'a pas une trajectoire droite. Et que sa vitesse absolue à chaque instant est supérieure ou égale à c .

4.6.4 L'énergie potentielle

Lors d'une interaction entre deux particules, une quantité d'énergie potentielle est mise en jeu^[14]. Cette énergie ne se trouve ni dans la première particule, ni dans la deuxième, mais dans l'espace répartie dans le champ générant l'interaction.

A titre d'exemple, ce paragraphe illustre la détermination de l'énergie potentielle électrique.

Le champ électrique causé en un point M de l'espace par deux électrinettes peut être schématisé comme suit :

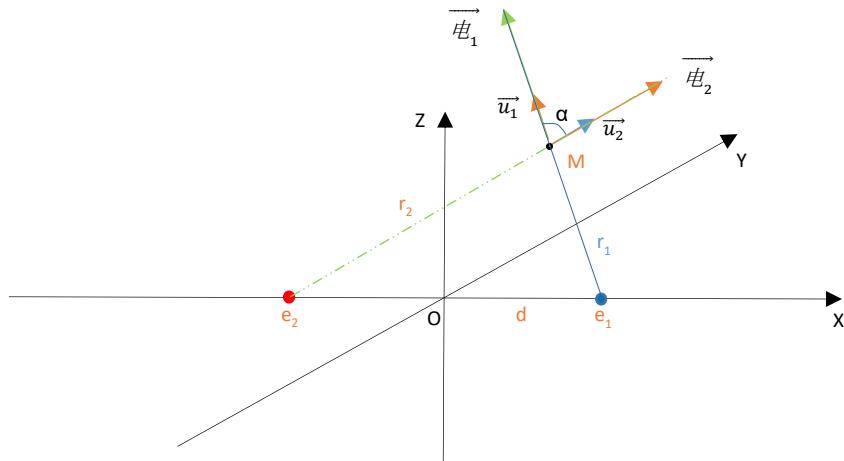


Figure 14 - Schéma de l'énergie potentielle

En négligeant le paramètre β , le champ électrique résultant peut être exprimé par la formule suivante :

$$\vec{\text{电}} = \vec{\text{电}_1} + \vec{\text{电}_2} = k_e \frac{q_1}{r_1^2} \vec{u}_1 + k_e \frac{q_2}{r_2^2} \vec{u}_2$$

Avec :

$$q_1 = \frac{\Phi_1}{\Phi_{ref}} \cdot e$$

$$q_2 = \frac{\Phi_2}{\Phi_{ref}} \cdot e$$

La densité d'énergie électrique s'écrit :

$$\begin{aligned} \rho_e &= \frac{1}{2} \varepsilon_0 \vec{\text{电}}^2 = \frac{1}{2} \varepsilon_0 \left(k_e \frac{q_1}{r_1^2} \vec{u}_1 + k_e \frac{q_2}{r_2^2} \vec{u}_2 \right)^2 \\ \rho_e &= \frac{1}{2} \varepsilon_0 k_e^2 \left(\frac{q_1^2}{r_1^4} \vec{u}_1^2 + \frac{q_2^2}{r_2^4} \vec{u}_2^2 + 2 \frac{q_1}{r_1^2} \frac{q_2}{r_2^2} \vec{u}_1 \cdot \vec{u}_2 \right) \\ \rho_e &= \frac{1}{2} \varepsilon_0 k_e^2 \left(\frac{q_1^2}{r_1^4} + \frac{q_2^2}{r_2^4} + 2 \frac{q_1}{r_1^2} \frac{q_2}{r_2^2} \cos(\alpha) \right) \\ \rho_e &= \rho_{e1} + \rho_{e2} + \rho_{e12} \end{aligned}$$

Avec :

$$\rho_{e1} = \frac{1}{2} \varepsilon_0 k_e^2 \left(\frac{q_1^2}{r_1^4} \right)$$

$$\rho_{e2} = \frac{1}{2} \varepsilon_0 k_e^2 \left(\frac{q_2^2}{r_2^4} \right)$$

$$\rho_{e12} = \varepsilon_0 k_e^2 \left(\frac{q_1}{r_1^2} \frac{q_2}{r_2^2} \cos(\alpha) \right)$$

Équation 15 - Densité d'énergie potentielle

L'interprétation physique de ces 3 termes est la suivante :

1. ρ_{e1} : représente la densité d'énergie de l'électrinette e_1 si elle était seule.
2. ρ_{e2} : représente la densité d'énergie de l'électrinette e_2 si elle était seule.
3. ρ_{e12} : représente la densité d'énergie de l'interaction entre les 2 électrinettes e_1 et e_2 .

On modélisera l'énergie d'interaction entre les électrinettes e_1 et e_2 par l'intégration de cette densité ρ_{e12} dans tout l'espace :

$$E_{e12} = \iiint_0^\tau \rho_{e12} \cdot d\tau = \iiint_0^\tau \varepsilon_0 k_e^2 \frac{q_1}{r_1^2} \frac{q_2}{r_2^2} \cos(\alpha) \cdot d\tau$$

Équation 16 - Définition de l'énergie potentielle

Dans le calcul suivant, le cas de 2 charges de même signe est pris en compte. e_1 est une charge positive. e_2 est aussi une charge positive. Les vecteurs \vec{r}_1 et \vec{r}_2 tiennent compte de cette polarité des charges électriques. En coordonnée, on a :

$$M(x, y, z) = M(r \cdot \sin \theta \cos \varphi, r \cdot \sin \theta \sin \varphi, r \cdot \cos \theta)$$

$$e_1 \left(\frac{d}{2}, 0, 0 \right)$$

$$e_2 \left(-\frac{d}{2}, 0, 0 \right)$$

$$\vec{r}_1 \left(x - \frac{d}{2}, y, z \right)$$

$$\vec{r}_2 \left(x + \frac{d}{2}, y, z \right)$$

$$r_1^2 = \left(x - \frac{d}{2} \right)^2 + y^2 + z^2$$

$$r_2^2 = \left(x + \frac{d}{2} \right)^2 + y^2 + z^2$$

$$\cos(\alpha) = \frac{\left(x - \frac{d}{2} \right) \left(x + \frac{d}{2} \right) + y^2 + z^2}{\sqrt{\left(x - \frac{d}{2} \right)^2 + y^2 + z^2} \cdot \sqrt{\left(x + \frac{d}{2} \right)^2 + y^2 + z^2}}$$

Posons l'intégrale :

$$\begin{aligned} \frac{E_{e12}}{\varepsilon_0 k_e^2 q_1 q_2} &= \iiint_0^\tau \frac{\cos(\alpha)}{r_1^2 r_2^2} \cdot d\tau = I \\ I &= \iiint_0^\tau \frac{\left(x - \frac{d}{2} \right) \left(x + \frac{d}{2} \right) + y^2 + z^2}{\left[\sqrt{\left(x - \frac{d}{2} \right)^2 + y^2 + z^2} \right]^3 \left[\sqrt{\left(x + \frac{d}{2} \right)^2 + y^2 + z^2} \right]^3} \cdot d\tau \end{aligned}$$

En coordonnée sphérique :

$$\begin{aligned} I &= \int_{\varphi=0}^{2\pi} \int_{\theta=0}^{\pi} \int_{r=0}^{\infty} \frac{\left(x - \frac{d}{2} \right) \left(x + \frac{d}{2} \right) + y^2 + z^2}{\left[\sqrt{\left(x - \frac{d}{2} \right)^2 + y^2 + z^2} \right]^3 \left[\sqrt{\left(x + \frac{d}{2} \right)^2 + y^2 + z^2} \right]^3} \cdot r^2 \sin \theta \cdot dr \cdot d\theta \cdot d\varphi \\ I &= \int_{\varphi=0}^{2\pi} \int_{\theta=0}^{\pi} \int_{r=0}^{\infty} \frac{-\frac{d^2}{4} + r^2}{\left[\sqrt{\left(r^2 + \frac{d^2}{4} \right)^2 - (xd)^2} \right]^3} \cdot r^2 \sin \theta \cdot dr \cdot d\theta \cdot d\varphi \end{aligned}$$

$$-I = \int_{\varphi=0}^{2\pi} \int_{\theta=0}^{\pi} \int_{r=0}^{\infty} \frac{r^2 - \frac{d^2}{4}}{\left[\sqrt{\left(r^2 + \frac{d^2}{4}\right)^2 - d^2 \cdot r^2 \cdot (\cos \varphi)^2 [1 - (\cos \theta)^2]} \right]^3} \cdot r^2 \sin \theta \cdot dr \cdot d\cos(\theta) \cdot d\varphi$$

L'intégrale sur θ peut s'écrire :

$$-I_\theta = \int_{\theta=0}^{\pi} \frac{a}{\left[\sqrt{b - c \cdot (1 - (\cos \theta)^2)} \right]^3} \cdot d\cos(\theta)$$

En posant : $u = \cos(\theta)$, on a :

$$\begin{aligned} -I_\theta &= \int_{u=1}^{-1} \frac{a}{\left[\sqrt{b - c \cdot (1 - u^2)} \right]^3} \cdot du \\ -I_\theta &= \frac{a \cdot u}{(b - c) \sqrt{b + c \cdot u^2 - c}} \Big|_{u=1}^{-1} = \frac{-2a}{(b - c) \cdot \sqrt{b}} \end{aligned}$$

Avec :

$$a = r^2 \left(r^2 - \frac{d^2}{4} \right)$$

$$b = r^2 \left(r^2 + \frac{d^2}{4} \right)^2$$

$$c = r^2 d^2 [\cos(\varphi)]^2$$

$$u = \cos(\theta)$$

L'intégrale I devient :

$$I = \int_{\varphi=0}^{2\pi} \int_{r=0}^{\infty} \frac{2r^2 \left(r^2 - \frac{d^2}{4} \right)}{\left[\left(\frac{d^2}{4} + r^2 \right)^2 - d^2 r^2 (\cos \varphi)^2 \right] \left(\frac{d^2}{4} + r^2 \right)} \cdot dr \cdot d\varphi$$

L'intégrale sur ϕ peut s'écrire :

$$I_\phi = \int_{\varphi=0}^{2\pi} \frac{s}{[b - w(\cos \varphi)^2]} \cdot d\varphi = \frac{s \cdot \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{b} \cdot \tan(\varphi)}{\sqrt{b - w}} \right)}{\sqrt{b} \sqrt{b - w}} \Big|_{\varphi=0}^{2\pi}$$

Avec :

$$s = \frac{2r^2 \left(r^2 - \frac{d^2}{4} \right)}{\left(\frac{d^2}{4} + r^2 \right)}$$

$$b = \left(\frac{d^2}{4} + r^2 \right)^2$$

$$w = d^2 r^2$$

On remarque que les fonctions tangente et arc tangente ne sont pas continues sur intervalle $[0, 2\pi]$.
Donc, il faut traiter par sous intervalles $]-\pi/2, \pi/2[$ et $]\pi/2, 3\pi/2[$.

En examinant tous les cas de figure, on obtient :

$$I_\phi = \frac{\pm 4\pi r^2}{\left(\frac{d^2}{4} + r^2 \right)^2}$$

Donc, la solution est divisée en 2 intervalles pour $r : [0, d/2[$ et $[d/2, \infty[$

$$I = \int_{r=0}^{\frac{d}{2}} \frac{-4\pi r^2}{\left(\frac{d^2}{4} + r^2 \right)^2} \cdot dr + \int_{r=\frac{d}{2}}^{\infty} \frac{4\pi r^2}{\left(\frac{d^2}{4} + r^2 \right)^2} \cdot dr$$

$$I = \frac{4\pi}{d} = \frac{E_{e12}}{\epsilon_0 k_e^2 q_1 q_2}$$

D'où :

$$E_{e12} = I \epsilon_0 k_e^2 q_1 q_2 = \frac{4\pi \epsilon_0 k_e^2 q_1 q_2}{d} = \frac{k_e q_1 q_2}{d}$$

Or :

$$q_i = \frac{\text{q}_i}{\text{q}_{ref}} \cdot e$$

D'où la formule de l'énergie potentielle issue de l'interaction entre 2 électrinettes :

$$E_{e12} = k_e \frac{\text{q}_{10} \text{q}_{20}}{\text{q}_{ref}^2} \cdot \frac{e^2}{d}$$

Équation 17 - Formule de l'énergie potentielle

4.7 Modélisation de la masse inerte

4.7.1 Définition

La masse inerte mesure la résistance qu'oppose le corps à toute accélération ou à toute modification de l'état de mouvement. Tandis que la masse grave est modélisée comme la charge neutre.

Il existe une relation entre ces deux masses.

4.7.2 L'origine de la masse inerte

L'origine de la masse inerte est une conséquence des interactions des particules avec le champ d'énergie 古. La première cause observable est à travers la rémanence magnétique. La deuxième est mesurée à travers la masse inerte des particules composées dues à l'énergie potentielle (le proton par exemple). Le point commun de ces deux phénomènes est le champ d'énergie 古. Mais la loi régissant cette masse inerte est inconnue.

Un indice est le photon. Pour accélérer un électron, il faut de l'énergie, donc des photons. Pour accélérer une particule composée, on pourrait assimiler chaque énergie potentielle à son point de contact. En effet, chaque énergie potentielle participant à la masse est constituée d'un couple d'électrinettes de signes opposés et elles s'approchent de très près pour donner un point de contact. Ce point de contact est assimilé à une électrinette. Son déplacement introduit également des trous de rémanence analogue à la rémanence magnétique.

4.7.3 Le déplacement d'une électrinette

Une électrinette est composée d'une charge électrique et un photon. Son déplacement peut être représenté par le schéma suivant :

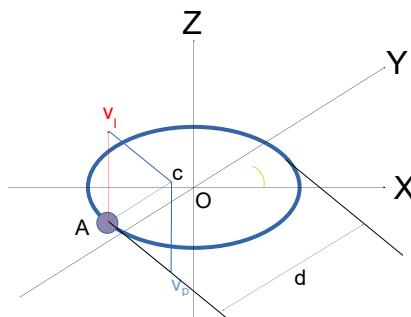


Figure 15 - Vecteurs de déplacement de l'électrinette

Le photon capturé par la charge électrique fait un mouvement circulaire dans la cavité de la charge. Lorsque l'électrinette se déplace linéairement, la vitesse du photon \vec{c} peut être représentée par deux vecteurs perpendiculaires \vec{v}_l et \vec{v}_p . Et :

$$\vec{c} = \vec{v}_l + \vec{v}_p$$

Intuitivement, la masse inerte est proportionnelle à la vitesse linéaire v_l et inversement proportionnelle à la vitesse perpendiculaire v_p . L'expression la plus simple de la masse s'écrit :

$$m = m_0 + m_0 \cdot \frac{v_l}{v_p}$$

En remplaçant la vitesse v_p par son expression (v_l), on a :

$$m = m_0 + m_0 \cdot \frac{v_l}{\sqrt{c^2 - v_l^2}}$$

Équation 18 - Formule masse inerte $f(m_0, v)$

Quand la vitesse est très inférieure à c , la masse inerte est quasiment égale à la masse au repos. Comme au repos la masse est égale à la charge neutre, on a donc que la masse inerte est égale à la masse grave à faible vitesse.

4.7.4 La relation entre la masse inerte et la masse grave

L'énergie E acquise pendant l'accélération d'une électrinette peut s'exprimer en fonction de la masse inerte selon la formule suivante :

$$E = \int_0^x F dx = \int_0^x m a dx = \int_x^x m \cdot \frac{d^2 x}{dt^2} \cdot dx$$

Où :

- F représente la force d'accélération
- x représente le déplacement
- m représente la masse inerte
- a représente l'accélération
- t représente le temps

L'énergie totale de l'électrinette peut s'exprimer par l'équation suivante :

$$E_0 + \int_0^x m a dx = k \cdot \text{电荷} \cdot c^2$$

Où :

- E_0 est l'énergie initiale au repos de l'électron.
- $电荷$ représente la charge neutre totale associée à l'électrinette.
- k est un coefficient permettant d'avoir la même unité d'énergie.

En dérivant cette équation par rapport à x , on obtient :

$$m \cdot a = k c^2 \cdot \frac{d \text{电荷}}{dx}$$

Soit :

$$\begin{aligned} m \cdot \frac{dv}{dt} &= k c^2 \cdot \frac{d \text{电荷}}{dx} \\ m \cdot \frac{dv}{dt} \cdot dx &= k c^2 \cdot d \text{电荷} \\ m \cdot v \cdot dv &= k c^2 \cdot d \text{电荷} \end{aligned}$$

$$\int_0^v m \cdot v \cdot dv = \int_{\text{电荷}_0}^{\text{电荷}} k c^2 \cdot d \text{电荷}$$

En remplaçant m par son expression et v_i par v , on obtient :

$$\int_0^v \left(m_0 + m_0 \cdot \frac{v}{\sqrt{c^2 - v^2}} \right) \cdot v \cdot dv = \int_{\text{电荷}_0}^{\text{电荷}} k c^2 \cdot d \text{电荷}$$

On obtient l'égalité :

$$k \gamma c^2 - k \gamma_0 c^2 = \frac{1}{2} m_0 v^2 + \frac{1}{2} m_0 c^2 \cdot \tan^{-1} \left(\frac{v}{\sqrt{c^2 - v^2}} \right) - \frac{1}{2} m_0 v \sqrt{c^2 - v^2}$$

Pour avoir la même unité de l'énergie pour les deux côtés de l'égalité, $k = \gamma_0$.

Or $\gamma_0 = m_0$, donc :

$$\gamma = \gamma_0 + \gamma_0 \cdot \left(\frac{v}{c} \right)^2 + \gamma_0 \cdot \tan^{-1} \left(\frac{\frac{v}{c}}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c} \right)^2}} \right) - \gamma_0 \cdot \frac{v}{c} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c} \right)^2}$$

Équation 19 - Formule de la charge neutre

D'où la masse m en fonction de la charge neutre γ (partant de l'équation 18 Formule masse inerte $f(m_0, v)$) :

$$m = \gamma \cdot \frac{1 + \frac{v}{c}}{1 + \left(\frac{v}{c} \right)^2 + \tan^{-1} \left(\frac{\frac{v}{c}}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c} \right)^2}} \right) - \frac{v}{c} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c} \right)^2}}$$

Équation 20 – Formule entre la masse inerte et la masse gravitationnelle

Remarque :

La fonction réciproque de la tangente n'est pas unique. Il faut donc l'adapter pour que les valeurs obtenues correspondent à la réalité.

Quand $v = 0$, $m = \gamma$.

Quand $v = c$, $m = \infty$. $\gamma = [2 + (2n+1)\pi/2]\gamma_0$. Avec $n =$ un entier dans $[0, \infty[$.

Conclusion :

Bien que l'inertie d'une particule tende vers l'infini quand sa vitesse tend vers c , sa masse grave tend vers une quantité finie. Mais cette quantité finie pourrait devenir infinie si le sens physique l'exige.

4.7.5 Vectorisation de la masse inerte

La modélisation vectorielle du photon montre deux composantes : un vecteur dans la direction du déplacement linéaire et un vecteur dans la direction perpendiculaire. Ce qui donne deux masses inertes suivantes :

1. m_l : la masse inerte linéaire, observable dans la direction du déplacement
2. m_p : la masse inerte perpendiculaire

Dans le cas particulier d'une particule au repos, la masse linéaire se confond avec la masse perpendiculaire : $m_l = m_p = m_0 = \gamma_0$.

Dans le cas particulier du photon 中, sa vitesse linéaire étant égal à c , la masse linéaire $m_l = \infty$. La masse perpendiculaire $m_p = 中$.

La masse inerte linéaire est dépendante de la vitesse de déplacement. La masse inerte perpendiculaire est indépendante de la vitesse de déplacement.

4.8 Modélisation de la stabilité des 8 particules composées

Dans les expériences réalisées à l'aide des collisionneurs, il y a un grand nombre de particules observables. Mais très peu sont stables. Donc, dans tout modèle de particules fondamentales, la démonstration de la stabilité des particules est un élément central qui mérite d'être détaillée. Ce chapitre décrit les modèles de stabilité des 8 particules composées listées précédemment.

4.8.1 Stabilité des électrinettes e

Une électrinette est composée de 1 charge électrique pure et un photon. Leurs stabilité n'est plus à démontrer. En effet, les électrons apparaissent dans beaucoup d'équipements électriques de la vie courante.

La structure d'une charge électrique pure est modélisée comme une boule creuse où un photon peut être capturé à l'intérieur de cette cavité. Ainsi, une électrinette est née.

La cavité de la charge électrique pure peut contenir un photon dont le niveau d'énergie dépend de son environnement et de sa vitesse linéaire. Lorsque l'électrinette est en mouvement linéaire, toute son énergie n'est pas contenue dans sa cavité. Il y a une partie qui reste dans le sillon laissé par son déplacement. Le schéma suivant illustre le mouvement d'une paire d'électrinettes :



Figure 16 - Mouvement des électrinettes

Quand une électrinette est accélérée, il faut fournir des photons supplémentaires. Quand une électrinette est décélérée, des photons seront libérés. C'est l'effet Compton [6].

Les trous laissés derrières l'électrinette sont vérifiables par l'effet de rémanence magnétique. Le nombre de trous est proportionnel à la vitesse v . La durée de vie de ces trous est égale à la durée de rémanence magnétique. A la disparition d'un ancien trou, l'énergie correspondante sera restituée via le champ d'énergie 古 à un trou nouvellement créé.

4.8.2 Stabilité des charginettes ☺

Une charginette est composée de 2 électrinettes de signes opposés. La comparaison des intensités des 4 forces conduit à ne retenir que la force électrique \vec{F}_e .

Le comportement général d'un tel système binaire est la rotation de l'un autour de l'autre dans un plan (OXY) selon deux trajectoires périodiques. Le schéma suivant illustre les trajectoires des deux charges électriques ainsi que les repères cartésien (O, X, Y) et polaire (O, r, α) :

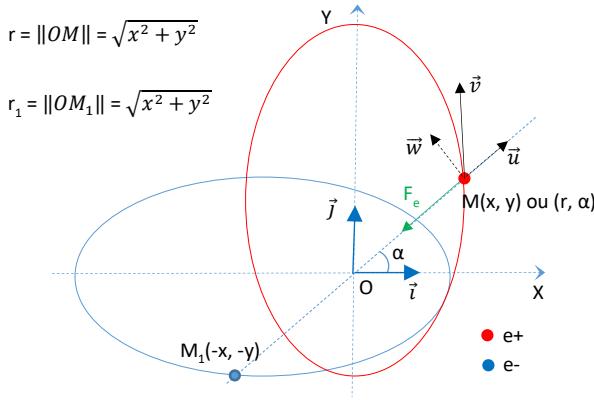


Figure 17 - Dynamique d'une charginette

Selon la loi fondamentale de la dynamique, on a l'équation suivante l'électrinette e^+ au point M , de masse inerte m :

$$-\vec{F}_e = m \cdot \vec{a} = m \cdot \ddot{\vec{r}}$$

Or selon la relation entre les deux repères, on a :

$$\vec{u} = \cos(\alpha) \vec{i} + \sin(\alpha) \vec{j}$$

$$\vec{w} = -\sin(\alpha) \vec{i} + \cos(\alpha) \vec{j}$$

Donc, en dérivant d'abord une fois le vecteur $\vec{r} = \overrightarrow{OM}$, on a :

$$\dot{\vec{r}} = (r\vec{u})' = \dot{r} \cdot \vec{u} + r \cdot \dot{\vec{u}} = \dot{r} \cdot \vec{u} - r\dot{\alpha} \cdot \sin(\alpha) \vec{i} + r\dot{\alpha} \cdot \cos(\alpha) \vec{j} = \dot{r} \cdot \vec{u} + r\dot{\alpha} \cdot \vec{w}$$

Ensuite, en dérivant une deuxième fois le vecteur $\dot{\vec{r}}$, on a :

$$\ddot{\vec{r}} = \ddot{r}\vec{u} + \dot{r}\dot{\vec{u}} + \dot{r}\dot{\alpha}\vec{w} + r(\dot{\alpha}\vec{w})'$$

$$\ddot{\vec{r}} = \ddot{r}\vec{u} + \dot{r}(\dot{\alpha}\vec{w}) + \dot{r}\dot{\alpha}\vec{w} + r[\ddot{\alpha}\vec{w} + \dot{\alpha}(\dot{\vec{w}})]$$

$$\ddot{\vec{r}} = \ddot{r}\vec{u} + 2\dot{r}\dot{\alpha}\vec{w} + r[\ddot{\alpha}\vec{w} + \dot{\alpha}(-\dot{\alpha} \cdot \cos(\alpha) \vec{i} - \dot{\alpha} \cdot \sin(\alpha) \vec{j})]$$

$$\ddot{\vec{r}} = \ddot{r}\vec{u} + 2\dot{r}\dot{\alpha}\vec{w} + r\ddot{\alpha}\vec{w} - r\dot{\alpha}^2\vec{u}$$

$$\ddot{\vec{r}} = (\ddot{r} - r\dot{\alpha}^2)\vec{u} + (2\dot{r}\dot{\alpha} + r\ddot{\alpha})\vec{w}$$

Dans le repère polaire (O, r, α) , on identifie les forces en tenant compte des masses inertes m_l pour \vec{w} et m_F pour \vec{u} :

$$-F_e = m_l \cdot (\ddot{r} - r\dot{\alpha}^2) \quad (1)$$

$$0 = m_F \cdot (2\dot{r}\dot{\alpha} + r\ddot{\alpha}) \quad (2)$$

En supposant que la vitesse orbitale v de la charginette est très inférieure à la vitesse du photon c , la masse inerte linéaire sera égale à la charge neutre e^\pm de l'électrinette au point M :

$$m_l = \text{e}^\pm$$

La masse induite par l'énergie potentielle est négligeable ici. En effet, il n'y a pas de point de neutralisation, et pas de variation d'énergie potentielle.

Comme $m_F > 0$, l'équation (2) donne :

$$0 = 2\dot{r}\dot{\alpha} + r\ddot{\alpha} = \frac{1}{r} \cdot (r^2\dot{\alpha})'$$

Comme $r > 0$, on en déduit que :

$$(r^2\dot{\alpha})' = 0$$

Soit :

$$r^2\dot{\alpha} = \text{constante} = C_a = r_0 v_0$$

Ce qui permet de transformer la vitesse tangentielle pour qu'elle ne dépende uniquement que de r :

$$v^2 = \dot{r}^2 + (r\dot{\alpha})^2 = \dot{r}^2 + \frac{C_a^2}{r^2}$$

L'équation (1) devient une équation qui ne dépend qu'une seule variable r :

$$-\frac{F_e}{m_l} = \ddot{r} - \frac{C_a^2}{r^3} \quad (3)$$

Résolvons cette équation de manière algébrique dans le cas particulier suivant :

1. $\ddot{r} = \dot{r} = 0$
2. $\dot{\alpha} = 0$

Sous cette hypothèse, v^2 devient :

$$v^2 = \frac{C_a^2}{r^2}$$

L'équation (3) devient :

$$\frac{F_e}{m_l} = \frac{v^2}{r} \quad (4)$$

La trajectoire de la charginette est un cercle de rayon r constant et à vitesse orbitale v constante.

Dans ces conditions, les électrinettes de signes opposés de la charginette entraîneront une neutralisation de la force électrique notée k_n .

L'équation (4) devient :

$$k_n F_e = \frac{v^2}{r} \cdot m_l$$

Soit en négligeant le paramètre β :

$$k_n k_e \frac{\frac{e^2}{c^2} \cdot e^2}{\frac{e^2}{c^2} \cdot 4r^2} = \frac{v^2}{r} \cdot (\beta)$$

Équation 21 – équation de la charginette

On avait supposé que la vitesse orbitale v de la charginette est très inférieure à la vitesse du photon c . Dans ce cas :

$$\beta = \frac{e^2}{c^2}$$

Donc :

$$k_n k_e \frac{\Phi_0^2 \cdot e^2}{\Phi_{ref}^2 \cdot 4r^2} = \frac{v^2}{r} \cdot (\Phi_0)$$

$$k_n \frac{k_e}{v^2} \cdot \frac{\Phi_0^2 \cdot e^2}{\Phi_{ref}^2 \cdot 4r} = 1$$

$$r = \frac{k_e \Phi_0^2 e^2}{4 \Phi_{ref}^2} \cdot \left(\frac{k_n}{v^2} \right)$$

Équation 22 - Caractéristique de la charginette

Si $k_n = 10^{-11}$, alors :

Changement d'échelle :

$$v = v_x * 10^2 \text{ m/s}$$

$$k_n = 10^{-11} = k_{nx} * 10^{-12} = 10 * 10^{-12}$$

$$r = r_x * 10^{-15} \text{ m}$$

$$e = 1,602\ 176\ 565 * 10^{-19} \text{ C} = e_x * 10^{-19} \text{ C}$$

$$c = 2,997\ 524\ 58 * 10^8 \text{ m/s} = c_x * 10^8 \text{ m/s}$$

$$k_e = 8,987\ 551\ 787\ 368\ 176 * 10^9 \text{ kg}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ A}^{-2} = k_{ex} * 10^9 \text{ kg}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ A}^{-2}$$

$$\epsilon_0 = 8,854\ 187 * 10^{-12} \text{ F m}^{-1} = \epsilon_{0x} * 10^{-12} \text{ F m}^{-1}$$

$$\Phi_{ref} = 9,109382 * 10^{-31} \text{ kg} = \Phi_{refx} * 10^{-31} \text{ kg}$$

$$\Phi_0 = \Phi_{0x} * 10^{-31} \text{ kg}$$

$$r_x = \frac{k_{ex} \Phi_{0x}^2 e_x^2 \cdot 10^9 \cdot 10^{-38}}{4 \Phi_{refx}^2 \cdot 10^{-31}} \cdot \left(\frac{10 \cdot 10^{-12}}{v_x^2 \cdot 10^4} \right) \cdot 10^{15} = \frac{5k_{ex} \Phi_{0x}^2 e_x^2}{2 \Phi_{refx}^2} \cdot \left(\frac{10}{v_x^2} \right)$$

Équation 23 - Caractéristique de charginette après changement d'échelle

Traçons la nappe à l'aide de Matlab (fichier : charginette_nappe_r_v_zh_kn_10_12_noPot_En.m) :

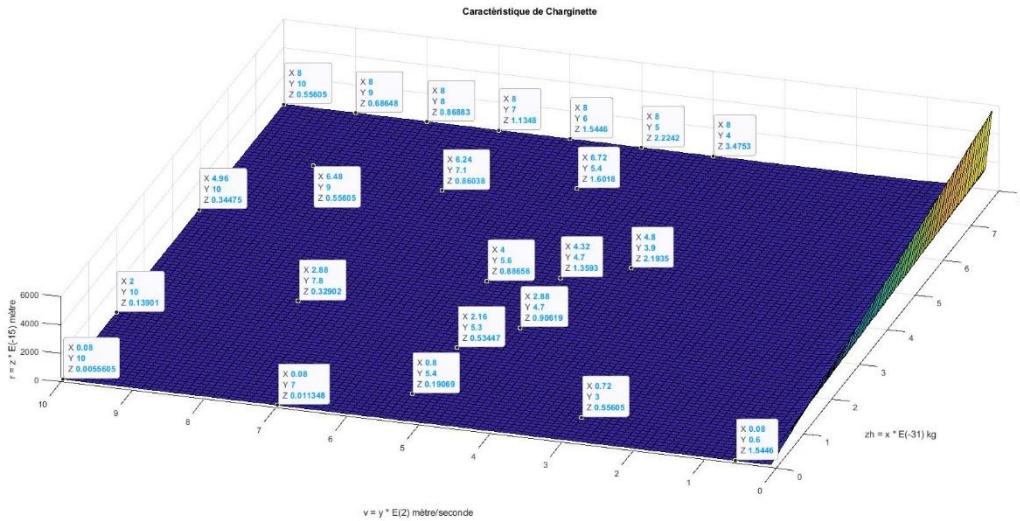


Figure 18 - Caractéristique des charginettes

Plus de détails sont donnés en : Appendice A.1.

Conclusion :

Il existe un grand nombre de charginettes de différents niveaux d'énergie. Plus le rayon d'une charginette est petit, plus elle est stable.

4.8.3 Stabilité des chrominettes Δ

Pour le besoin de la démonstration, prenons une chrominette dont les 3 charginettes ont le même rayon $r = 0,55605 * 10^{-15}$ m. La vitesse $v_3 = 3v_1 = 9,0 * 10^2$ m/s. En supposant qu'approximativement, la formule des charginettes soit applicable ici, déterminons leurs énergies respectives.

$$\text{中}_{H0x} = \frac{2r_x \text{中}_{refx}^2}{5k_{ex}e_x^2 \left(\frac{10}{v_x^2}\right)} = \frac{2 * 0.55605 * 9.109382^2}{5 * 8.98755 * 1.602176^2 \left(\frac{10}{9.0^2}\right)} = 6.478$$

$$\text{中}_{F0x} = \frac{2r_x \text{中}_{refx}^2}{5k_{ex}e_x^2 \left(\frac{10}{v_x^2}\right)} = \frac{2 * 0.55605 * 9.109382^2}{5 * 8.98755 * 1.602176^2 \left(\frac{10}{3.0^2}\right)} = 0.72$$

$$(\text{中}_{H0x}, v_{3x}, r_x) = (6.478, 9.0, 0.55605).$$

$$(\text{中}_{F0x}, v_{1x}, r_x) = (0.72, 3.0, 0.55605).$$

La géométrie et les repères fixes peuvent être illustrés par la figure suivante :

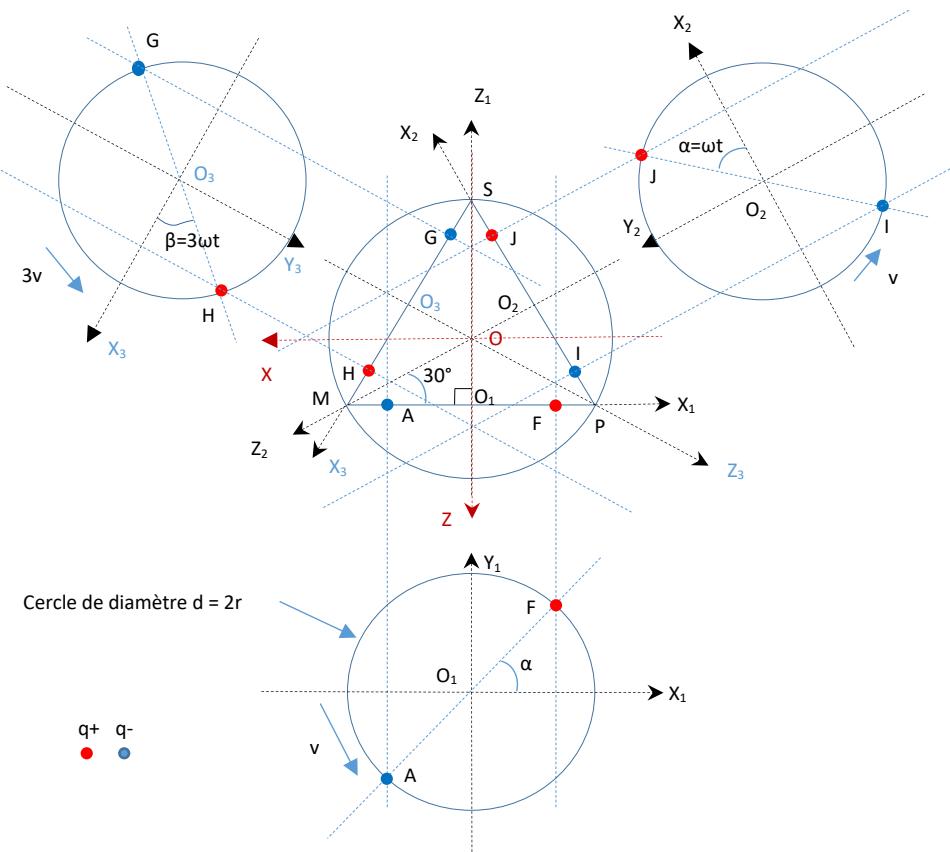


Figure 19 - Schéma de structure chrominette

Pour établir le comportement dynamique des 3 charginettes au sein de la chrominette, on va procéder en 5 étapes suivantes :

1. Déterminer les coordonnées des électrinettes et les distances entre elles
2. Déterminer la masse de chaque électrinette
3. Déterminer les interactions électriques entre les électrinettes
4. Etablir les équations dynamiques régissant chaque électrinette
5. Résoudre les équations différentielles à l'aide de l'outil progiciel Matlab-Simulink

4.8.3.1 Déterminer les coordonnées des électrinettes et les distances entre elles

Établissons les relations entre les coordonnées globales et locales des électrinettes.

Dans le repère global (O, X, Y, Z) :

$$O_1[0, 0, z_0]$$

$$O_2[-z_0 \cdot \cos(\psi), 0, -z_0 \cdot \sin(\psi)]$$

$$O_3[z_0 \cdot \cos(\psi), 0, -z_0 \cdot \sin(\psi)]$$

Dans le repère local (O_1, X_1, Y_1, Z_1) :

$$F[r \cdot \cos(\omega t), r \cdot \sin(\omega t), z_1]_{R_1}$$

$$A[-r \cdot \cos(\omega t), -r \cdot \sin(\omega t), z_1]_{R_1}$$

Dans le repère local (O_2, X_2, Y_2, Z_2) :

$$I[-r * \cos(\omega t), -r * \sin(\omega t), z_2]_{R_2}$$

$$J[r * \cos(\omega t), r * \sin(\omega t), z_2]_{R_2}$$

Dans le repère local (O₃, X₃, Y₃, Z₃) :

$$G[-r * \cos(3\omega t), -r * \sin(3\omega t), z_2]_{R_2}$$

$$H[r * \cos(3\omega t), r * \sin(3\omega t), z_3]_{R_3}$$

Il existe des relations entre les paramètres r, z₁, z₂, z et ψ. Elles sont :

$$\psi = 30^\circ$$

$$z = z_0 - z_1$$

$$z_{0x} = r_x \cdot \tan(\omega t) = \frac{r_x}{\sqrt{3}} = \frac{0.55605}{\sqrt{3}} = 0.321035617$$

$$z_2 = z_1$$

Les repères locaux ont les paramètres origines et matrices de rotation suivants :

$$O_1[0, 0, z_0] \quad M_1 \begin{pmatrix} \cos(\pi) & 0 & \sin(\pi) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\pi) & 0 & \cos(\pi) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}$$

$$O_2 \left[\frac{-\sqrt{3}}{2} z_0, 0, \frac{-1}{2} z_0 \right] \quad M_2 \begin{pmatrix} \cos(2\psi) & 0 & \sin(2\psi) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(2\psi) & 0 & \cos(2\psi) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ 0 & 1 & 0 \\ \frac{-\sqrt{3}}{2} & 0 & \frac{1}{2} \end{pmatrix}$$

$$O_3 \left[\frac{\sqrt{3}}{2} z_0, 0, \frac{-1}{2} z_0 \right] \quad M_3 \begin{pmatrix} \cos(-2\psi) & 0 & \sin(-2\psi) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(-2\psi) & 0 & \cos(-2\psi) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & 0 & \frac{-\sqrt{3}}{2} \\ 0 & 1 & 0 \\ \frac{\sqrt{3}}{2} & 0 & \frac{1}{2} \end{pmatrix}$$

Déterminer les coordonnées des électrinettes F et I :

Dans le repère local R₁ : F_{R1}[r*cos(ωt), r*sin(ωt), z₁], A_{R1}[-r*cos(ωt), -r*sin(ωt), z₁]

Dans le repère R absolu :

$$F \begin{pmatrix} x_f \\ y_f \\ z_f \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r \cdot \cos(\omega t) \\ r \cdot \sin(\omega t) \\ z_1 \\ 1 \end{pmatrix} = F \begin{pmatrix} -r \cdot \cos(\omega t) \\ r \cdot \sin(\omega t) \\ z_0 - z_1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$F \begin{pmatrix} x_f \\ y_f \\ z_f \\ 1 \end{pmatrix} = F \begin{pmatrix} -r \cdot \cos(\omega t) \\ r \cdot \sin(\omega t) \\ z \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$A \begin{pmatrix} x_a \\ y_a \\ z_a \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -r \cdot \cos(\omega t) \\ -r \cdot \sin(\omega t) \\ z_1 \\ 1 \end{pmatrix} = A \begin{pmatrix} r \cdot \cos(\omega t) \\ -r \cdot \sin(\omega t) \\ z_0 - z_1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$A \begin{pmatrix} x_a \\ y_a \\ z_a \\ 1 \end{pmatrix} = A \begin{pmatrix} r \cdot \cos(\omega t) \\ -r \cdot \sin(\omega t) \\ z \\ 1 \end{pmatrix}$$

Dans le repère local $R_2 : I_{R2}[-r \cdot \cos(\omega t), -r \cdot \sin(\omega t), z_2], J_{R2}[r \cdot \cos(\omega t), r \cdot \sin(\omega t), z_2]$

Dans le repère R :

$$I \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{-z_0 \sqrt{3}}{2} \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\frac{\sqrt{3}}{2} & 0 & \frac{1}{2} & -\frac{z_0}{2} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -r \cdot \cos(\omega t) \\ -r \cdot \sin(\omega t) \\ z_2 \\ 1 \end{pmatrix} = I \begin{pmatrix} -\frac{r}{2} \cdot \cos(\omega t) + \frac{z_2 \sqrt{3}}{2} - \frac{z_0 \sqrt{3}}{2} \\ -r \cdot \sin(\omega t) \\ \frac{r \sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) + \frac{z_2}{2} - \frac{z_0}{2} \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$I \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \\ 1 \end{pmatrix} = I \begin{pmatrix} -\frac{r}{2} \cdot \cos(\omega t) - \frac{z \sqrt{3}}{2} \\ -r \cdot \sin(\omega t) \\ \frac{r \sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) - \frac{z}{2} \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$J \begin{pmatrix} x_j \\ y_j \\ z_j \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{-z_0 \sqrt{3}}{2} \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\frac{\sqrt{3}}{2} & 0 & \frac{1}{2} & -\frac{z_0}{2} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r \cdot \cos(\omega t) \\ r \cdot \sin(\omega t) \\ z_2 \\ 1 \end{pmatrix} = J \begin{pmatrix} \frac{r}{2} \cdot \cos(\omega t) + \frac{z_2 \sqrt{3}}{2} - \frac{z_0 \sqrt{3}}{2} \\ r \cdot \sin(\omega t) \\ \frac{-r \sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) + \frac{z_2}{2} - \frac{z_0}{2} \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$J \begin{pmatrix} x_j \\ y_j \\ z_j \\ 1 \end{pmatrix} = J \begin{pmatrix} \frac{r}{2} \cdot \cos(\omega t) - \frac{z \sqrt{3}}{2} \\ r \cdot \sin(\omega t) \\ \frac{-r \sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) - \frac{z}{2} \\ 1 \end{pmatrix}$$

Dans le repère local $R_3 : G_{R3}[-r \cdot \cos(3\omega t), -r \cdot \sin(3\omega t), z_3], H_{R3}[r \cdot \cos(3\omega t), r \cdot \sin(3\omega t), z_3]$

Dans le repère R :

$$G \begin{pmatrix} x_g \\ y_g \\ z_g \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & 0 & \frac{-\sqrt{3}}{2} & \frac{z_0 \sqrt{3}}{2} \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \frac{\sqrt{3}}{2} & 0 & \frac{1}{2} & -\frac{z_0}{2} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -r \cdot \cos(3\omega t) \\ -r \cdot \sin(3\omega t) \\ z_3 \\ 1 \end{pmatrix} = G \begin{pmatrix} -\frac{r}{2} \cdot \cos(3\omega t) + \frac{z_3 \sqrt{3}}{2} - \frac{z_0 \sqrt{3}}{2} \\ -r \cdot \sin(3\omega t) \\ \frac{-r \sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) - \frac{z_0}{2} + \frac{z_3}{2} \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$H \begin{pmatrix} x_h \\ y_h \\ z_h \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & -\sqrt{3} & \frac{z_0\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{2} & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{2} & -\frac{z_0}{2} \\ \frac{\sqrt{3}}{2} & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r \cdot \cos(3\omega t) \\ r \cdot \sin(3\omega t) \\ z_3 \\ 1 \end{pmatrix} = H \begin{pmatrix} \frac{r}{2} \cdot \cos(3\omega t) + \frac{z_0\sqrt{3}}{2} - \frac{z_3\sqrt{3}}{2} \\ r \cdot \sin(3\omega t) \\ \frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) - \frac{z_0}{2} + \frac{z_3}{2} \\ 1 \end{pmatrix}$$

Déterminons le vecteur $\overrightarrow{D_{FI}}$ entre les 2 électrinettes F et I :

$$D_{FI} \begin{pmatrix} x_{fi} \\ y_{fi} \\ z_{fi} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{r}{2} \cos(\omega t) - \frac{z\sqrt{3}}{2} \\ -2r \cdot \sin(\omega t) \\ \frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) - \frac{3z}{2} \end{pmatrix}$$

$$D_{FI}^2 = \left[\frac{r}{2} \cos(\omega t) - \frac{z\sqrt{3}}{2} \right]^2 + [2r \cdot \sin(\omega t)]^2 + \left[\frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) - \frac{3z}{2} \right]^2$$

Déterminons le vecteur $\overrightarrow{D_{FJ}}$ entre les 2 électrinettes F et J :

$$D_{FJ} \begin{pmatrix} x_{fj} \\ y_{fj} \\ z_{fj} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{3r}{2} \cos(\omega t) - \frac{z\sqrt{3}}{2} \\ 0 \\ \frac{-r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) - \frac{3z}{2} \end{pmatrix}$$

$$D_{FJ}^2 = \left[\frac{3r}{2} \cos(\omega t) - \frac{z\sqrt{3}}{2} \right]^2 + \left[\frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) + \frac{3z}{2} \right]^2$$

Déterminons le vecteur $\overrightarrow{D_{FG}}$ entre les 2 électrinettes F et G :

$$D_{FG} \begin{pmatrix} x_{fg} \\ y_{fg} \\ z_{fg} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{-r}{2} \cos(3\omega t) + r \cdot \cos(\omega t) + \frac{z_0\sqrt{3}}{2} - \frac{z_3\sqrt{3}}{2} \\ -r \cdot \sin(3\omega t) - r \cdot \sin(\omega t) \\ \frac{-r\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) - \frac{z_0}{2} + \frac{z_3}{2} - z \end{pmatrix}$$

$$D_{FG}^2 = \left[\frac{-r}{2} \cos(3\omega t) + r \cdot \cos(\omega t) + \frac{z_0\sqrt{3}}{2} - \frac{z_3\sqrt{3}}{2} \right]^2 + [r \cdot \sin(3\omega t) + r \cdot \sin(\omega t)]^2$$

$$+ \left[\frac{-r\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) - \frac{z_0}{2} + \frac{z_3}{2} - z \right]^2$$

Déterminons le vecteur $\overrightarrow{D_{FH}}$ entre les 2 électrinettes F et H :

$$D_{FH} \begin{pmatrix} x_{fh} \\ y_{fh} \\ z_{fh} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{r}{2} \cos(3\omega t) + r \cdot \cos(\omega t) + \frac{z_0\sqrt{3}}{2} - \frac{z_3\sqrt{3}}{2} \\ r \cdot \sin(3\omega t) - r \cdot \sin(\omega t) \\ \frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) - \frac{z_0}{2} + \frac{z_3}{2} - z \end{pmatrix}$$

$$D_{FH}^2 = \left[\frac{r}{2} \cos(3\omega t) + r \cdot \cos(\omega t) + \frac{z_0\sqrt{3}}{2} - \frac{z_3\sqrt{3}}{2} \right]^2 + [r \cdot \sin(3\omega t) - r \cdot \sin(\omega t)]^2 \\ + \left[\frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) - \frac{z_0}{2} + \frac{z_3}{2} - z \right]^2$$

Déterminons le vecteur $\overrightarrow{D_{AI}}$ entre les 2 électrinettes A et I :

$$D_{AI} \begin{pmatrix} x_{ai} \\ y_{ai} \\ z_{ai} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{-3r}{2} \cos(\omega t) - \frac{z\sqrt{3}}{2} \\ 0 \\ \frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) - \frac{3z}{2} \end{pmatrix}$$

$$D_{AI}^2 = \left[\frac{-3r}{2} \cos(\omega t) - \frac{z\sqrt{3}}{2} \right]^2 + \left[\frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) - \frac{3z}{2} \right]^2$$

Déterminons le vecteur $\overrightarrow{D_{AJ}}$ entre les 2 électrinettes A et J :

$$D_{AJ} \begin{pmatrix} x_{aj} \\ y_{aj} \\ z_{aj} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{-r}{2} \cos(\omega t) - \frac{z\sqrt{3}}{2} \\ 2r \cdot \sin(\omega t) \\ \frac{-r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) - \frac{3z}{2} \end{pmatrix}$$

$$D_{AJ}^2 = \left[\frac{r}{2} \cos(\omega t) + \frac{z\sqrt{3}}{2} \right]^2 + [2r \cdot \sin(\omega t)]^2 + \left[\frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) + \frac{3z}{2} \right]^2$$

Déterminons le vecteur $\overrightarrow{D_{AG}}$ entre les 2 électrinettes A et G :

$$D_{AG} \begin{pmatrix} x_{ag} \\ y_{ag} \\ z_{ag} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{-r}{2} \cos(3\omega t) - r \cdot \cos(\omega t) + \frac{z_0\sqrt{3}}{2} - \frac{z_3\sqrt{3}}{2} \\ -r \cdot \sin(3\omega t) + r \cdot \sin(\omega t) \\ \frac{-r\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) - \frac{z_0}{2} + \frac{z_3}{2} - z \end{pmatrix}$$

$$D_{AG}^2 = \left[\frac{-r}{2} \cos(3\omega t) - r \cdot \cos(\omega t) + \frac{z_0\sqrt{3}}{2} - \frac{z_3\sqrt{3}}{2} \right]^2 + [-r \cdot \sin(3\omega t) + r \cdot \sin(\omega t)]^2 \\ + \left[\frac{-r\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) - \frac{z_0}{2} + \frac{z_3}{2} - z \right]^2$$

Déterminons le vecteur D_{AH} entre les 2 électrinettes A et H :

$$D_{AH} \begin{pmatrix} x_{ah} \\ y_{ah} \\ z_{ah} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{r}{2} \cos(3\omega t) - r \cdot \cos(\omega t) + \frac{z_0\sqrt{3}}{2} - \frac{z_3\sqrt{3}}{2} \\ r \cdot \sin(3\omega t) + r \cdot \sin(\omega t) \\ \frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) - \frac{z_0}{2} + \frac{z_3}{2} - z \end{pmatrix}$$

$$D_{AH}^2 = \left[\frac{r}{2} \cos(3\omega t) - r \cdot \cos(\omega t) + \frac{z_0\sqrt{3}}{2} - \frac{z_3\sqrt{3}}{2} \right]^2 + [r \cdot \sin(3\omega t) + r \cdot \sin(\omega t)]^2 + \left[\frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) - \frac{z_0}{2} + \frac{z_3}{2} - z \right]^2$$

Déterminons le vecteur D_{HA} entre les 2 électrinettes H et A :

$$D_{HA} \begin{pmatrix} x_{ha} \\ y_{ha} \\ z_{ha} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{-r}{2} \cos(3\omega t) + r \cdot \cos(\omega t) - \frac{z_0\sqrt{3}}{2} + \frac{z_3\sqrt{3}}{2} \\ -r \cdot \sin(3\omega t) - r \cdot \sin(\omega t) \\ \frac{-r\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) + \frac{z_0}{2} - \frac{z_3}{2} + z \end{pmatrix}$$

$$D_{HA}^2 = \left[\frac{-r}{2} \cos(3\omega t) + r \cdot \cos(\omega t) - \frac{z_0\sqrt{3}}{2} + \frac{z_3\sqrt{3}}{2} \right]^2 + [r \cdot \sin(3\omega t) + r \cdot \sin(\omega t)]^2 + \left[\frac{-r\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) + \frac{z_0}{2} - \frac{z_3}{2} + z \right]^2$$

Déterminons le vecteur D_{HF} entre les 2 électrinettes H et F :

$$D_{HF} \begin{pmatrix} x_{hf} \\ y_{hf} \\ z_{hf} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{-r}{2} \cos(3\omega t) - r \cdot \cos(\omega t) - \frac{z_0\sqrt{3}}{2} + \frac{z_3\sqrt{3}}{2} \\ -r \cdot \sin(3\omega t) + r \cdot \sin(\omega t) \\ \frac{-r\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) + \frac{z_0}{2} - \frac{z_3}{2} + z \end{pmatrix}$$

$$D_{HF}^2 = \left[\frac{-r}{2} \cos(3\omega t) - r \cdot \cos(\omega t) - \frac{z_0\sqrt{3}}{2} + \frac{z_3\sqrt{3}}{2} \right]^2 + [-r \cdot \sin(3\omega t) + r \cdot \sin(\omega t)]^2 + \left[\frac{-r\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) + \frac{z_0}{2} - \frac{z_3}{2} + z \right]^2$$

Déterminons le vecteur D_{HI} entre les 2 électrinettes H et I :

$$D_{HI} \begin{pmatrix} x_{hi} \\ y_{hi} \\ z_{hi} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{-r}{2} \cos(3\omega t) - \frac{r}{2} \cdot \cos(\omega t) - \frac{z_0\sqrt{3}}{2} + \frac{z_3\sqrt{3}}{2} - \frac{z\sqrt{3}}{2} \\ -r \cdot \sin(3\omega t) - r \cdot \sin(\omega t) \\ \frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) - \frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) + \frac{z_0}{2} - \frac{z_3}{2} - \frac{z}{2} \end{pmatrix}$$

$$D_{HI}^2 = \left[\frac{-r}{2} \cos(3\omega t) - \frac{r}{2} \cdot \cos(\omega t) - \frac{z_0\sqrt{3}}{2} + \frac{z_3\sqrt{3}}{2} - \frac{z\sqrt{3}}{2} \right]^2 + [r \cdot \sin(3\omega t) + r \cdot \sin(\omega t)]^2 + \left[\frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) - \frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) + \frac{z_0}{2} - \frac{z_3}{2} - \frac{z}{2} \right]^2$$

Déterminons le vecteur D_{HJ} entre les 2 électrinettes H et J :

$$D_{HJ} \begin{pmatrix} x_{hj} \\ y_{hj} \\ z_{hj} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{-r}{2} \cos(3\omega t) + \frac{r}{2} \cdot \cos(\omega t) - \frac{z_0\sqrt{3}}{2} + \frac{z_3\sqrt{3}}{2} - \frac{z\sqrt{3}}{2} \\ -r \cdot \sin(3\omega t) + r \cdot \sin(\omega t) \\ \frac{-r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) - \frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) + \frac{z_0}{2} - \frac{z_3}{2} - \frac{z}{2} \end{pmatrix}$$

$$D_{HJ}^2 = \left[\frac{-r}{2} \cos(3\omega t) + \frac{r}{2} \cdot \cos(\omega t) - \frac{z_0\sqrt{3}}{2} + \frac{z_3\sqrt{3}}{2} - \frac{z\sqrt{3}}{2} \right]^2 + [r \cdot \sin(3\omega t) - r \cdot \sin(\omega t)]^2$$

$$+ \left[\frac{-r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) - \frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) + \frac{z_0}{2} - \frac{z_3}{2} - \frac{z}{2} \right]^2$$

4.8.3.2 Déterminer la masse de chaque électrinette

Les électrinettes seront numérotées comme suit :

1. électrinette F : vitesse v_1 , la masse $\underline{\underline{m}}_{F\#}$ globale.
2. électrinette A : vitesse v_1 , la masse $\underline{\underline{m}}_{F\#}$ globale.
3. électrinette J : vitesse v_1 , la masse $\underline{\underline{m}}_{F\#}$ globale.
4. électrinette I : vitesse v_1 , la masse $\underline{\underline{m}}_{F\#}$ globale.
5. électrinette G : vitesse v_3 , la masse $\underline{\underline{m}}_{H\#}$ globale.
6. électrinette H : vitesse v_3 , la masse $\underline{\underline{m}}_{H\#}$ globale.

La masse globale de l'électrinette F s'exprime par la formule suivante :

$$\underline{\underline{m}}_{F\#} = \underline{\underline{m}}_F + \frac{1}{2c^2} \cdot (E_{eFI} + E_{eFG})$$

Où :

- $\underline{\underline{m}}_{F\#}$: représente la masse inerte globale de l'électrinette F.
- $\underline{\underline{m}}_F$: est la charge neutre de l'électrinette F
- E_{eFp} : est l'énergie potentielle électrique entre l'électrinette F et l'électrinette p ayant un signe opposé à celui de l'électrinette F. En plus, la distance entre les électrinettes F et p varie entre 0 et $d > 0$. Avec p = I ou G.

Pour calculer l'énergie potentielle E_{eFp} , il faut connaitre la moyenne de la distance qui les sépare. En négligeant les déplacements des charginettes par rapport au triangle équilatéral, les distances s'écrivent :

- $D_{FI}^2 = \left[\frac{r}{2} \cos(\omega t) - \frac{z_0\sqrt{3}}{2} \right]^2 + [2r \cdot \sin(\omega t)]^2 + \left[\frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) - \frac{3z_0}{2} \right]^2$
- $D_{FJ}^2 = \left[\frac{3r}{2} \cos(\omega t) - \frac{z_0\sqrt{3}}{2} \right]^2 + \left[\frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) + \frac{3z_0}{2} \right]^2$
- $D_{FG}^2 = \left[\frac{-r}{2} \cos(3\omega t) + r \cdot \cos(\omega t) + \frac{z_0\sqrt{3}}{2} \right]^2 + [r \cdot \sin(3\omega t) + r \cdot \sin(\omega t)]^2 + \left[\frac{-r\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) - \frac{3z_0}{2} \right]^2$
- $D_{FH}^2 = \left[\frac{r}{2} \cos(3\omega t) + r \cdot \cos(\omega t) + \frac{z_0\sqrt{3}}{2} \right]^2 + [r \cdot \sin(3\omega t) - r \cdot \sin(\omega t)]^2 + \left[\frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) - \frac{3z_0}{2} \right]^2$

En tenant compte de la valeur de z_0 :

- $D_{FI} = r \cdot \sqrt{[\cos(\omega t) - 1]^2 + 4[\sin(\omega t)]^2}$
- $D_{FG} = \frac{r}{2} \sqrt{[1 - \cos(3\omega t) + 2 \cos(\omega t)]^2 + 4[\sin(3\omega t) + \sin(\omega t)]^2 + 3[\cos(3\omega t) + 1]^2}$

En traçant les courbes sur une période complète de 2π à l'aide de Simulink (fichier :

Courbe_distance_D_FI.slx) :

- $f_{FI} = \sqrt{[\cos(\omega t) - 1]^2 + 4[\sin(\omega t)]^2}$

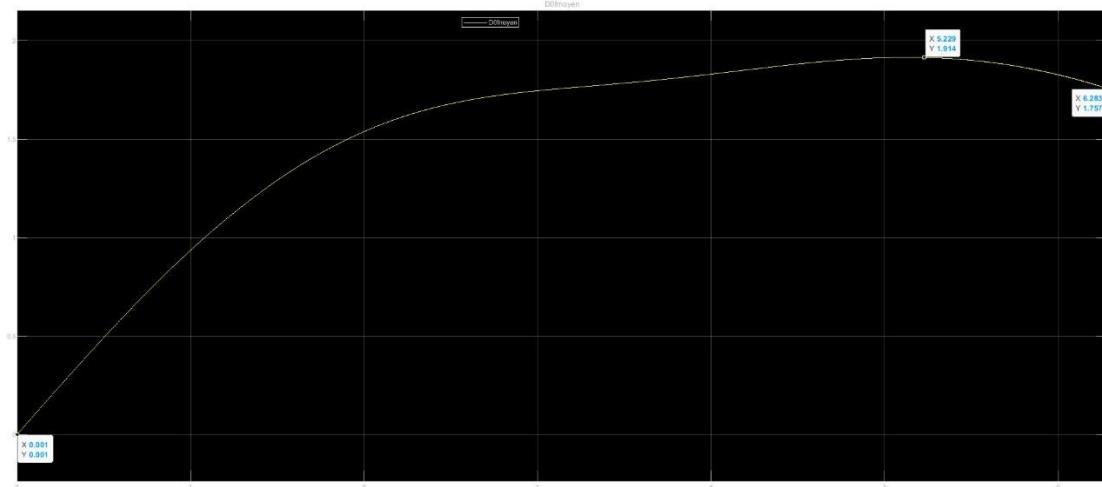


Figure 20 - Distance moyenne FI

$$D_{FI} = r \cdot f_{FI} = 0.55605 \cdot 10^{-15} \cdot 1.757 = 0.97698 \cdot 10^{-15}$$

- $f_{FG} = \frac{1}{2} \sqrt{[1 - \cos(3\omega t) + 2 \cos(\omega t)]^2 + 4[\sin(3\omega t) + \sin(\omega t)]^2 + 3[\cos(3\omega t) + 1]^2}$

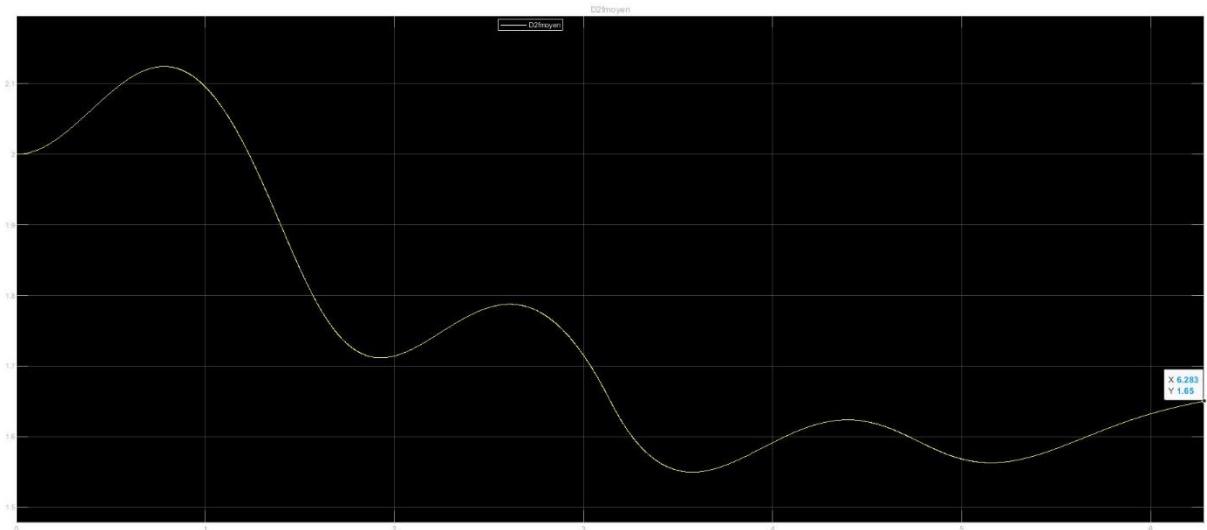


Figure 21 - Distance moyenne FG

$$D_{FG} = r \cdot f_{FG} = 0.55605 \cdot 10^{-15} \cdot 1.65 = 0.9174825 \cdot 10^{-15}$$

(fichier : Courbe_distance_D_FG.slx)

La masse globale de l'électrinette F devient :

$$\Phi_{F\#} = \Phi_F + \frac{k_e e^2}{2c^2 \Phi_{ref}^2} \left[\frac{\Phi_{F0} \Phi_{I0}}{D_{FI}} + \frac{\Phi_{F0} \Phi_{G0}}{D_{FG}} \right]$$

Avec la vitesse orbitale des charginettes très inférieure à c , $\Phi_F = \Phi_{F0}$. Donc on a :

$$\Phi_{F\#} = \Phi_{F0} + \frac{k_e e^2 \Phi_{F0}}{2c^2 \Phi_{ref}^2} \left[\frac{\Phi_{F0}}{D_{FI}} + \frac{\Phi_{H0}}{D_{FG}} \right]$$

$$\Phi_{F\#} = \Phi_{F0} + \frac{k_e e^2 \Phi_{F0}}{2c^2 \Phi_{ref}^2 r} \left[\frac{\Phi_{F0}}{f_{FI}} + \frac{\Phi_{H0}}{f_{FG}} \right]$$

$$\Phi_{F\#x} = 0.72 + \frac{8.98755 * 1.602176^2 * 0.72 * 10}{2 * 2.997524^2 * 9.109382_0^2 * 0.55605} \left[\frac{0.72}{1.757} + \frac{6.478}{1.65} \right]$$

$$\Phi_{F\#x} = 0.72 + 0.200330582[0.409789 + 3.926061]$$

$$\Phi_{F\#x} = 1.588603$$

Par symétrie, $\Phi_{A\#} = \Phi_{I\#} = \Phi_{J\#} = \Phi_{F\#}$.

La masse globale de l'électrinette H s'exprime par la formule suivante :

$$\Phi_{H\#} = \Phi_H + \frac{1}{2c^2} \cdot (E_{eHA} + E_{eHI})$$

Où :

- $\Phi_{H\#}$: représente la masse inerte globale de l'électrinette H.
- Φ_H : est la charge neutre de l'électrinette H
- E_{eHp} : est l'énergie potentielle électrique entre l'électrinette H et l'électrinette p. Avec p = A ou I.

Pour calculer l'énergie potentielle E_{eHp} , il faut connaître la moyenne de la distance qui les sépare. En négligeant les déplacements des charginettes par rapport au triangle équilatéral, les distances s'écrivent :

- $D_{HA}^2 = \left[\frac{-r}{2} \cos(3\omega t) + r \cdot \cos(\omega t) - \frac{z_0 \sqrt{3}}{2} \right]^2 + [r \cdot \sin(3\omega t) + r \cdot \sin(\omega t)]^2 + \left[\frac{-r\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) + \frac{3z_0}{2} \right]^2$
- $D_{HI}^2 = \left[\frac{-r}{2} \cos(3\omega t) - \frac{r}{2} \cdot \cos(\omega t) - z_0 \sqrt{3} \right]^2 + [r \cdot \sin(3\omega t) + r \cdot \sin(\omega t)]^2 + \left[\frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) - \frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) \right]^2$

En tenant compte de la valeur de z_0 :

- $D_{HA} = \frac{r}{2} \sqrt{[\cos(3\omega t) - 2 \cos(\omega t) + 1]^2 + 4[\sin(3\omega t) + \sin(\omega t)]^2 + 3[1 - \cos(3\omega t)]^2}$

- $D_{HI} = \frac{r}{2} \cdot \sqrt{[\cos(3\omega t) + \cos(\omega t) + 2]^2 + 4[\sin(3\omega t) + \sin(\omega t)]^2 + 3[\cos(\omega t) - \cos(3\omega t)]^2}$

En traçant les courbes sur une période complète de 2π à l'aide de Simulink (fichier : Courbe_distance_D_HA.slx) :

- $f_{HA} = \frac{1}{2} \sqrt{[\cos(3\omega t) - 2\cos(\omega t) + 1]^2 + 4[\sin(3\omega t) + \sin(\omega t)]^2 + 3[1 - \cos(3\omega t)]^2}$

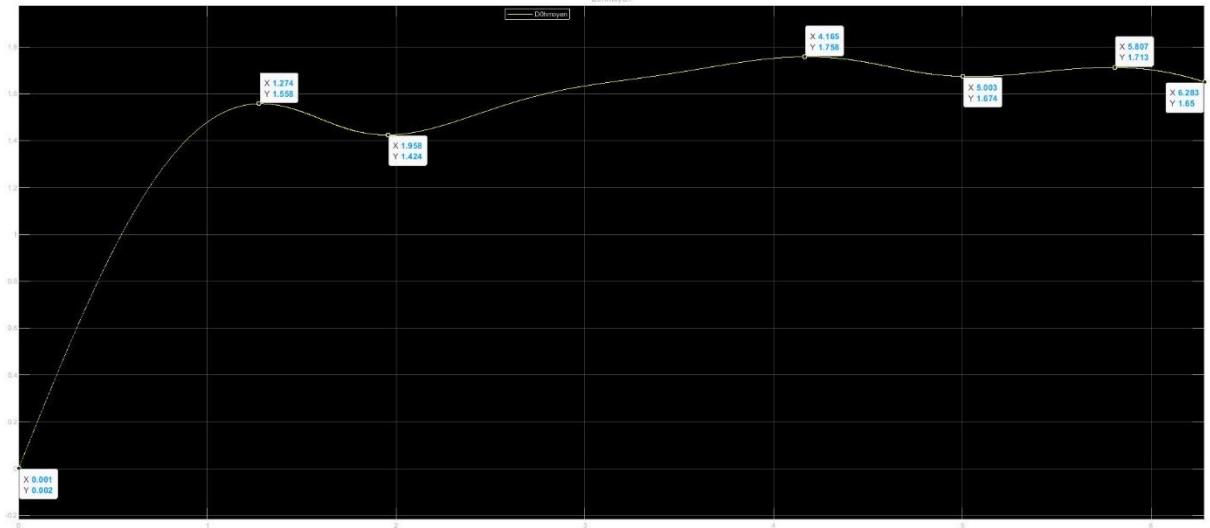


Figure 22 - Distance moyenne HA

$$D_{HA} = r \cdot f_{HA} = 0.55605 \cdot 10^{-15} \cdot 1.65 = 0.9174825 \cdot 10^{-15}$$

- $D_{HI} = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{[\cos(3\omega t) + \cos(\omega t) + 2]^2 + 4[\sin(3\omega t) + \sin(\omega t)]^2 + 3[\cos(\omega t) - \cos(3\omega t)]^2}$

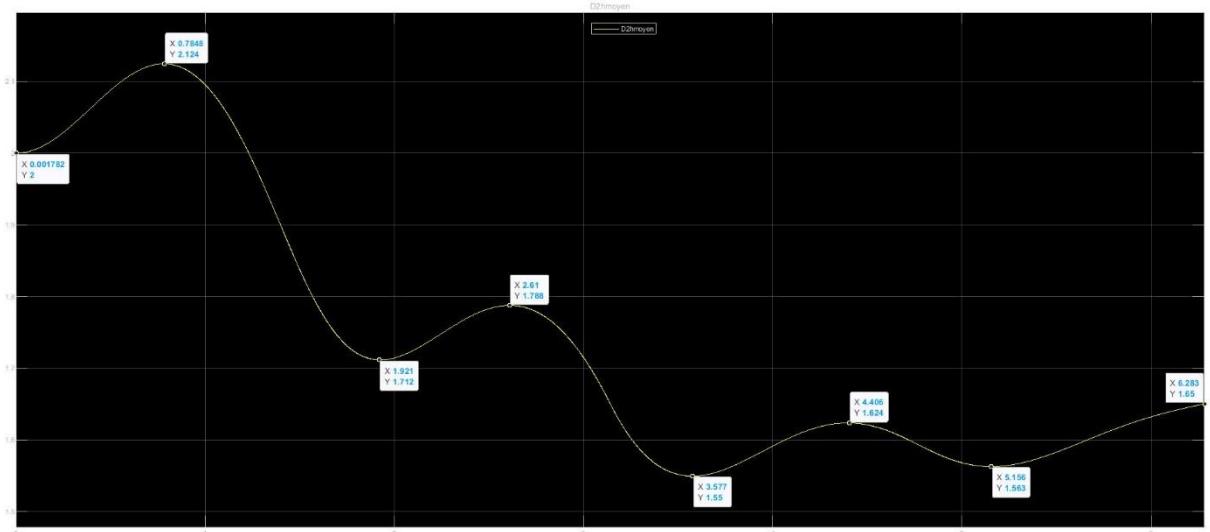


Figure 23 - Distance moyenne HI

$$D_{HI} = r \cdot f_{2HI} = 0.55605 \cdot 10^{-15} \cdot 1.65 = 0.9174825 \cdot 10^{-15}$$

(fichier : Courbe_distance_D_HI.slx)

La masse globale de l'électrinette H devient :

$$\text{中}_{H\#} = \text{中}_H + \frac{k_e e^2}{2c^2 \text{中}_{ref}^2} \left[\frac{\text{中}_{H0} \text{中}_{A0}}{D_{HA}} + \frac{\text{中}_{H0} \text{中}_{I0}}{D_{HI}} \right]$$

Avec la vitesse orbitale des charginettes très inférieure à c , $\text{中}_H = \text{中}_{H0}$. Donc on a :

$$\text{中}_{H\#} = \text{中}_{H0} + \frac{k_e e^2 \text{中}_{H0}}{2c^2 \text{中}_{ref}^2 r} \left[\frac{\text{中}_{A0}}{f_{HA}} + \frac{\text{中}_{I0}}{f_{HI}} \right]$$

$$\text{中}_{H\#x} = 6.478 + \frac{8.98755 * 1.602176^2 * 6.478 * 10}{2 * 2.997524^2 * 9.109382_0^2 * 0.55605} \left[\frac{0.72}{1.65} + \frac{0.72}{1.65} \right]$$

$$\text{中}_{H\#x} = 6.478 + 3.6048375[0.872727273]$$

$$\text{中}_{H\#x} = 9.62404$$

Par symétrie, $\text{中}_{G\#} = \text{中}_{H\#}$.

$$(\text{中}_{H0x}, v_{3x}, r_x) = (6.478, 9.0, 0.55605).$$

$$(\text{中}_{F0x}, v_{1x}, r_x) = (0.72, 3.0, 0.55605).$$

$$\text{中}_{F\#x} = 1.588603$$

Les électrinettes de la chrominette sont :

- $4 * \text{中}_{F\#x} = 4 * 1.588603 = 6.354413$
- $2 * \text{中}_{H\#x} = 2 * 9.62404 = 19.24808$

Ce qui donne la masse de la chrominette :

$$\text{中}_{chromx} = 6.354412 + 19.24808 = 25.6025$$

$$\text{中}_{chrom} = 25.6025 * 10^{-31} \text{kg.}$$

$$\text{中}_{chrom} = 25.6025 * 10^{-31} \text{kg} * c^2 / 1,602,176,634 * 10^{-19} \text{J.}$$

$$\text{中}_{chrom} = 143.581077215 * 10^4 \text{eV} = 1.435811 \text{MeV.}$$

$$\text{中}_{quark} = 1.435811 \text{MeV} + 511 \text{keV} = 1.946811 \text{MeV.}$$

L'influence d'une électrinette au sein de la chrominette :

Dans le cas d'un quark, il y a une électrinette placée au milieu de la chrominette. Comme la force électrique est grandement diminuée par la neutralisation des charginettes, le couplage entre cette électrinette et la chrominette par la force électrique est relativement faible. Ce qui explique l'instabilité des quarks.

4.8.3.3 Déterminer les interactions électriques entre les électrinettes

Pour modéliser les interactions entre électrinettes de la chrominette, les propriétés suivantes seront utilisées :

- Les charginettes se comportent comme des disques solides avec deux électrinettes qui tournent sur la périphérie.
- Les champs électriques générés par les électrinettes sont atténués comme décrit dans le paragraphe charginette.
- Les interactions entre les électrinettes sont doublement atténuées, puisque de chaque côté, leurs champs électriques le sont. Le coefficient d'atténuation entre deux électrinettes 1 et 2 inter charginettes s'écrit donc comme suit :

$$k_{n12} = \frac{10^3}{f_1} \cdot \frac{10^3}{f_2} = \frac{10^6}{f_1 \cdot f_2}$$

Où :

f_i représente la fréquence de rotation de la charginette i .

- Il y a une particularité quand deux électrinettes se rapprochent de très près. En effet, la neutralisation dépend de la distance d'interaction. On se propose d'utiliser la formule suivante :

$$k_{n12} = 10^{-\frac{D}{r} \cdot 100} + \frac{10^6}{f_1 \cdot f_2}$$

Où :

1. k_{n12} : est le coefficient d'atténuation de l'interaction électrique entre une électrinette A de la charginette 1 de fréquence n_1 et une électrinette B de la charginette 2 de fréquence n_2 .
2. D : est la distance entre l'électrinette A et l'électrinette B.
3. r : est le rayon des charginettes 1 et 2 qui ont le même rayon.

Application numérique :

- $r = 0.55605 * 10^{-15} \text{ m}$
- $v_1 = 3 * 10^2 \text{ m/s}$
- $v_3 = 9 * 10^2 \text{ m/s}$
- $f_1 = v_1/r = 5,395198 * 10^{17}$. Pour l'atténuation, la valeur retenue sera 10^{11} .
- $f_3 = v_3/r = 1,618559 * 10^{18}$. Pour l'atténuation, la valeur retenue sera 10^{11} .
- $k_{n13} = 10^{-\frac{D}{r} \cdot 100} + 10^{-22}$

4.8.3.4 Etablir les équations dynamiques régissant chaque électrinette

Au sein de la chrominette, on suppose que chaque charginette se déplace le long de son axe de symétrie. Il s'agit de l'axe O_1Z_1 pour la charginette AF, de l'axe O_2Z_2 pour la charginette IJ, de l'axe O_3Z_3 pour la charginette GH. Par symétrie, les électrinettes A, F, I et J obéissent à une équation. Les électrinettes G et H obéissent à une autre équation.

Projeter l'équation dynamique des électrinettes F et A sur l'axe O_1Z_1 :

$$m_{FA} \cdot \ddot{z}_1 = \text{force}_{ez_1}$$

Équation 24 - équation différentielle 1 de la chrominette

Où :

- m_{FA} : est la masse globale de l'électrinette F + la masse globale de l'électrinette A. Pour une vitesse linéaire très inférieure à c , $m_F = \frac{1}{2} m_F$ et $m_{FA} = \frac{1}{2} m_A$.
- \vec{F}_{ez1} : est la force électrique subie par l'électrinette F + la force électrique subie par l'électrinette A sur l'axe O_1Z_1 .

La force \vec{F}_F subie par l'électrinette F est la suivante :

$$\vec{F}_F = \frac{k_{nFI}k_e q_F q_I \vec{D}_{FI}}{D_{FI}^3 + \beta^3} - \frac{k_{nFJ}k_e q_F q_J \vec{D}_{FJ}}{D_{FJ}^3 + \beta^3} + \frac{k_{nFG}k_e q_F q_G \vec{D}_{FG}}{D_{FG}^3 + \beta^3} - \frac{k_{nFH}k_e q_F q_H \vec{D}_{FH}}{D_{FH}^3 + \beta^3}$$

La force \vec{F}_A subie par l'électrinette A est la suivante :

$$\vec{F}_A = -\frac{k_{nAI}k_e q_A q_I \vec{D}_{AI}}{D_{AI}^3 + \beta^3} + \frac{k_{nAJ}k_e q_A q_J \vec{D}_{AJ}}{D_{AJ}^3 + \beta^3} - \frac{k_{nAG}k_e q_A q_G \vec{D}_{AG}}{D_{AG}^3 + \beta^3} + \frac{k_{nAH}k_e q_A q_H \vec{D}_{AH}}{D_{AH}^3 + \beta^3}$$

La force \vec{F}_{FA} subie par la charginette FA est la suivante :

$$\vec{F}_{FA} = \vec{F}_F + \vec{F}_A$$

En projetant sur l'axe O_1Z_1 : qui a pour vecteur :

$$\frac{\vec{O_1O}}{\|\vec{O_1O}\|} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -1 \end{pmatrix}$$

Sachant que l'axe OZ est colinéaire à l'axe O_1Z_1 , on projette sur l'axe OZ :

$$\begin{aligned} F_{Fz} = & \frac{k_{nFI}k_e q_F q_I \left[\frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) - \frac{3z}{2} \right]}{D_{FI}^3 + \beta^3} + \frac{k_{nFJ}k_e q_F q_J \left[\frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) + \frac{3z}{2} \right]}{D_{FJ}^3 + \beta^3} \\ & - \frac{k_{nFG}k_e q_F q_G \left[\frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) + \frac{z_0}{2} - \frac{z_3}{2} + z \right]}{D_{FG}^3 + \beta^3} \\ & - \frac{k_{nFH}k_e q_F q_H \left[\frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) - \frac{z_0}{2} + \frac{z_3}{2} - z \right]}{D_{FH}^3 + \beta^3} - \frac{k_{nAI}k_e q_A q_I \left[\frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) - \frac{3z}{2} \right]}{D_{AI}^3 + \beta^3} \\ & - \frac{k_{nAJ}k_e q_A q_J \left[\frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) + \frac{3z}{2} \right]}{D_{AJ}^3 + \beta^3} + \frac{k_{nAG}k_e q_A q_G \left[\frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) + \frac{z_0}{2} - \frac{z_3}{2} + z \right]}{D_{AG}^3 + \beta^3} \\ & + \frac{k_{nAH}k_e q_A q_H \left[\frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) - \frac{z_0}{2} + \frac{z_3}{2} - z \right]}{D_{AH}^3 + \beta^3} \end{aligned}$$

En faisant un changement d'échelle, l'équation devient :

$$\begin{aligned}
\dot{z}_x = & \frac{k_{nFIx} k_{ex} q_{Fx} q_{Ix} \left[\frac{r_x \sqrt{3}}{2} \cos(\omega_x t_x) - \frac{3z_x}{2} \right]}{D_{FIx}^3 + \beta_x^3} + \frac{k_{nFJx} k_{ex} q_{Fx} q_{Jx} \left[\frac{r_x \sqrt{3}}{2} \cos(\omega_x t_x) + \frac{3z_x}{2} \right]}{D_{FJx}^3 + \beta_x^3} \\
& - \frac{k_{nFGx} k_{ex} q_{Fx} q_{Gx} \left[\frac{r_x \sqrt{3}}{2} \cos(3\omega_x t_x) + \frac{z_{0x}}{2} - \frac{z_{3x}}{2} + z_x \right]}{D_{FGx}^3 + \beta_x^3} \\
& - \frac{k_{nFHx} k_{ex} q_{Fx} q_{Hx} \left[\frac{r_x \sqrt{3}}{2} \cos(3\omega_x t_x) - \frac{z_{0x}}{2} + \frac{z_{3x}}{2} - z_x \right]}{D_{FHx}^3 + \beta_x^3} \\
& - \frac{k_{nAIx} k_{ex} q_{Ax} q_{Ix} \left[\frac{r_x \sqrt{3}}{2} \cos(\omega_x t_x) - \frac{3z_x}{2} \right]}{D_{AIx}^3 + \beta_x^3} \\
& - \frac{k_{nAJx} k_{ex} q_{Ax} q_{Jx} \left[\frac{r_x \sqrt{3}}{2} \cos(\omega_x t_x) + \frac{3z_x}{2} \right]}{D_{AJx}^3 + \beta_x^3} \\
& + \frac{k_{nAGx} k_{ex} q_{Ax} q_{Gx} \left[\frac{r_x \sqrt{3}}{2} \cos(3\omega_x t_x) + \frac{z_{0x}}{2} - \frac{z_{3x}}{2} + z_x \right]}{D_{AGx}^3 + \beta_x^3} \\
& + \frac{k_{nAHx} k_{ex} q_{Ax} q_{Hx} \left[\frac{r_x \sqrt{3}}{2} \cos(3\omega_x t_x) - \frac{z_{0x}}{2} + \frac{z_{3x}}{2} - z_x \right]}{D_{AHx}^3 + \beta_x^3}
\end{aligned}$$

$$z'' = z_x'' * 10^{31} \text{ m s}^{-2}$$

$$\dot{m}_{F\#} = \dot{m}_{F\#x} * 10^{-31} \text{ kg} = 1,588603 * 10^{-31} \text{ kg}$$

$$\dot{m}_{FA\#} = \dot{m}_{F\#} + \dot{m}_{A\#} = 2 \dot{m}_{F\#} = \dot{m}_{FA\#x} * 10^{-31} \text{ kg} = 3,177207 * 10^{-31} \text{ kg}$$

$$r = r_x * 10^{-15} \text{ m} = 0,55605 * 10^{-15} \text{ m}$$

$$\beta = \beta_x * 10^{-15} \text{ m} = 10^{-3} * 10^{-15} \text{ m}$$

$$z = z_x * 10^{-15} \text{ m}$$

$$e = 1,602\,176\,565 * 10^{-19} \text{ C} = e_x * 10^{-19} \text{ C}$$

$$k_e = 8,987\,551\,787\,368\,176 * 10^9 \text{ kg}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ A}^{-2} = k_{ex} * 10^9 \text{ kg}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ A}^{-2}$$

$$v = v_x * 10^8 \text{ m/s} = (3 * 10^{-6}) * 10^8 \text{ m/s}$$

$$\omega = v / r = \omega_x * 10^{23} \text{ radian s}^{-1} = (5,395198274 * 10^{-6}) * 10^{23} \text{ radian s}^{-1} = 2\pi f = 2\pi/T$$

$$T = 2\pi / \omega = 2\pi r / v = t_x * 10^{-23} \text{ s} = (1,164588397 * 10^6) * 10^{-23} \text{ s}$$

$$q_{?x} = \frac{\dot{m}_{?0x}}{\dot{m}_{refx}} \cdot e_x$$

Avec ici : ? = F, I, J, G, H. Sachant que $\dot{m}_{F0} = \dot{m}_{I0} = \dot{m}_{J0}$, et $\dot{m}_{G0} = \dot{m}_{H0}$:

- $k_{ex}q_{Fx}q_{Ix} = k_{ex}q_{Fx}q_{Jx} = k_{ex} \frac{\frac{\frac{\frac{1}{F_{0x}}}{\frac{1}{refx}}}{\frac{1}{refx}} \cdot e_x^2}{\frac{1}{refx}} = k_{ex} \cdot \frac{\frac{1}{F_{0x}}}{\frac{1}{refx}} \cdot e_x^2 = k_{11x} \cdot e_x^2$
- $k_{11} = 8.987551787 \cdot 10^9 \frac{0.72^2}{9.109382^2} = 0.05614726 \cdot 10^9 = k_{11x} \cdot 10^9$
- $k_{ex}q_{Fx}q_{Gx} = k_{ex}q_{Fx}q_{Hx} = k_{ex} \frac{\frac{\frac{1}{F_{0x}}}{\frac{1}{refx}}}{\frac{1}{refx}} \cdot e_x^2 = k_{16x} \cdot e_x^2$
- $k_{16} = 8.987551787 \cdot 10^9 \frac{0.72 \cdot 6.478}{9.109382^2} = 0.505169378 \cdot 10^9 = k_{16x} \cdot 10^9$

$$k_{nF?} = 10^{-\frac{D_{F?}}{r} \cdot 100} + k_{n0F?x} \cdot 10^{+1} = 10^{-\frac{D_{F?}}{r} \cdot 100} + \frac{10^3}{f_F} \cdot \frac{10^3}{f_?} \cdot 10^{+1}$$

Comme les valeurs de fréquence sont supérieures à la valeur de saturation, on a :

$$k_{nF?} = 10^{-\frac{D_{F?}}{r} \cdot 100} + 10^{-11} \cdot 10^{-11} \cdot 10^1$$

Soit :

$$k_{nF?} = 10^{-\frac{D_{F?}}{r} \cdot 100} + 10^{-21}$$

Projeter l'équation dynamique de l'électrinette H sur l'axe O₃Z₃ :

$$m_h \cdot \ddot{z}_3 = \vec{F}_{ez_3}$$

Équation 25 - équation différentielle 2 de la chrominette

Où :

- m_h : est la masse globale de l'électrinette H. Pour une vitesse linéaire très inférieure à c, $m_h = \frac{1}{H}$
- \vec{F}_{ez_3} : est la force électrique subie par l'électrinette H sur l'axe O₃Z₃.

La force \vec{F}_h subie par l'électrinette H est la suivante :

$$\vec{F}_h = \frac{k_{nHA}k_e q_H q_A \vec{D}_{HA}}{D_{HA}^3 + \beta^3} - \frac{k_{nHF}k_e q_H q_F \vec{D}_{HF}}{D_{HF}^3 + \beta^3} + \frac{k_{nHI}k_e q_H q_I \vec{D}_{HI}}{D_{HI}^3 + \beta^3} - \frac{k_{nHJ}k_e q_H q_J \vec{D}_{HJ}}{D_{HJ}^3 + \beta^3}$$

En projetant sur l'axe O₃Z₃ qui a pour vecteur :

$$\frac{\vec{O_3O}}{\|\vec{O_3O}\|} = \begin{pmatrix} \frac{-\sqrt{3}}{2} \\ 0 \\ \frac{1}{2} \end{pmatrix}$$

$$\dot{z}_{hz3} = \frac{k_{nHA} k_e q_H q_A \left[z_0 - z_3 - \frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) + \frac{z}{2} \right]}{D_{HA}^3 + \beta^3} - \frac{k_{nHF} k_e q_H q_F \left[z_0 - z_3 + \frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) + \frac{z}{2} \right]}{D_{HF}^3 + \beta^3} \\ + \frac{k_{nHI} k_e q_H q_I \left[\frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) + \frac{z}{2} + z_0 - z_3 \right]}{D_{HI}^3 + \beta^3} \\ - \frac{k_{nHJ} k_e q_H q_J \left[-\frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) + \frac{z}{2} + z_0 - z_3 \right]}{D_{HJ}^3 + \beta^3}$$

En faisant un changement d'échelle, l'équation devient :

$$\dot{z}_{3x} = \frac{k_{nHAx} k_{ex} q_{Hx} q_{Ax} \left[-\frac{r_x \sqrt{3}}{2} \cos(\omega_x t_x) + z_{0x} - z_{3x} + \frac{z_x}{2} \right]}{D_{HAx}^3 + \beta_x^3} \\ - \frac{k_{nHFx} k_{ex} q_{Hx} q_{Fx} \left[\frac{r_x \sqrt{3}}{2} \cos(\omega_x t_x) + z_{0x} - z_{3x} + \frac{z_x}{2} \right]}{D_{HFx}^3 + \beta_x^3} \\ + \frac{k_{nHIx} k_{ex} q_{Hx} q_{Ix} \left[\frac{r_x \sqrt{3}}{2} \cos(\omega_x t_x) + \frac{z_x}{2} + z_{0x} - z_{3x} \right]}{D_{HIx}^3 + \beta_x^3} \\ - \frac{k_{nHJx} k_{ex} q_{Hx} q_{Jx} \left[-\frac{r_x \sqrt{3}}{2} \cos(\omega_x t_x) + \frac{z_x}{2} + z_{0x} - z_{3x} \right]}{D_{HJx}^3 + \beta_x^3}$$

Avec :

$$q_{?x} = \frac{\dot{z}_{0x}}{\dot{z}_{refx}} \cdot e_x$$

Avec ici : ? = F, A, I, J, H. Sachant que $\dot{z}_{F0} = \dot{z}_{A0} = \dot{z}_{I0} = \dot{z}_{J0}$, et $\dot{z}_{G0} = \dot{z}_{H0}$:

- $k_{ex} q_{Hx} q_{Ax} = k_{ex} q_{Hx} q_{Fx} = k_{ex} q_{Hx} q_{Ix} = k_{ex} q_{Hx} q_{Jx} = k_{ex} \frac{\dot{z}_{H0x}}{\dot{z}_{refx}} \cdot \frac{\dot{z}_{F0x}}{\dot{z}_{refx}} = k_{16x}$

$$k_{nH?} = 10^{-\frac{D_{H?}}{r} \cdot 100} + 10^{-21}$$

4.8.3.5 Résoudre les équations différentielles à l'aide de l'outil progiciel Matlab-Simulink

En résolvant les équations avec Simulink, on obtient les courbes z (bleu) et z₃ (jaune) :

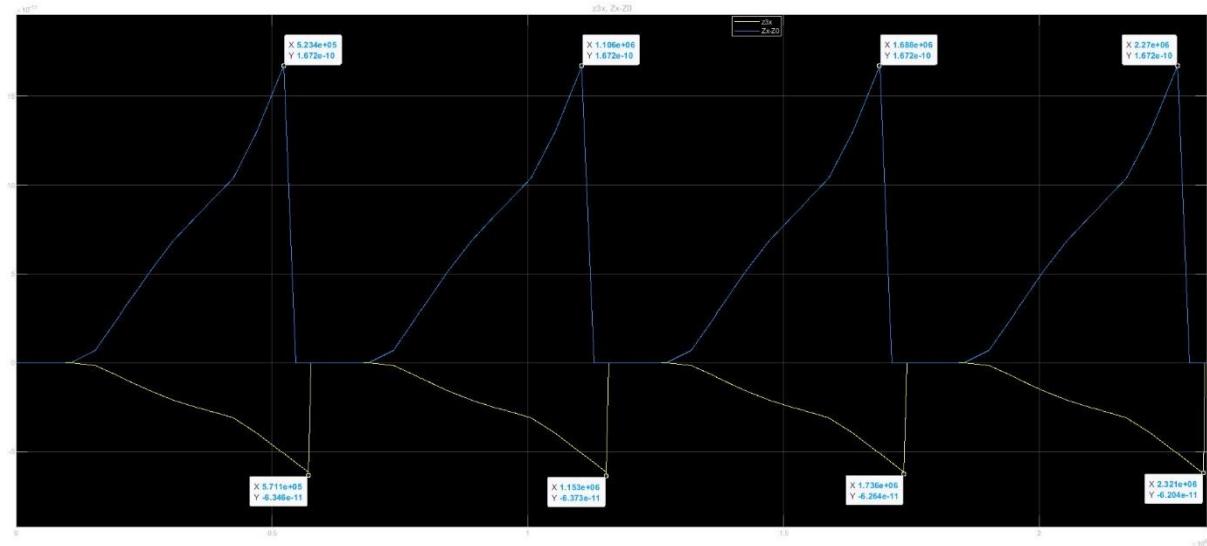


Figure 24 - Oscillation des charginettes de chrominette

On voit que l'amplitude d'oscillation de z_x est $1,672 \times 10^{-10}$. Le rapport avec le rayon r_x est $3,00 \times 10^{-10}$.

L'amplitude d'oscillation de z_{3x} est $6,373 \times 10^{-11}$. Le rapport avec le rayon r_x est $1,15 \times 10^{-10}$.

Plus de détails sont donnés en : Appendice A.2.

4.8.4 Stabilité des nucléonettes 四 ^b

Le rayon de charge pour le proton R_p est mesuré en laboratoire. Il est situé dans la fourchette suivante :

- $0,82 \times 10^{-15} \text{ m} < R_p < 0,88 \times 10^{-15} \text{ m}$

La valeur privilégiée est : $0,84 \times 10^{-15} \text{ m}$. Or la structure du proton peut être schématisée par la figure suivante :

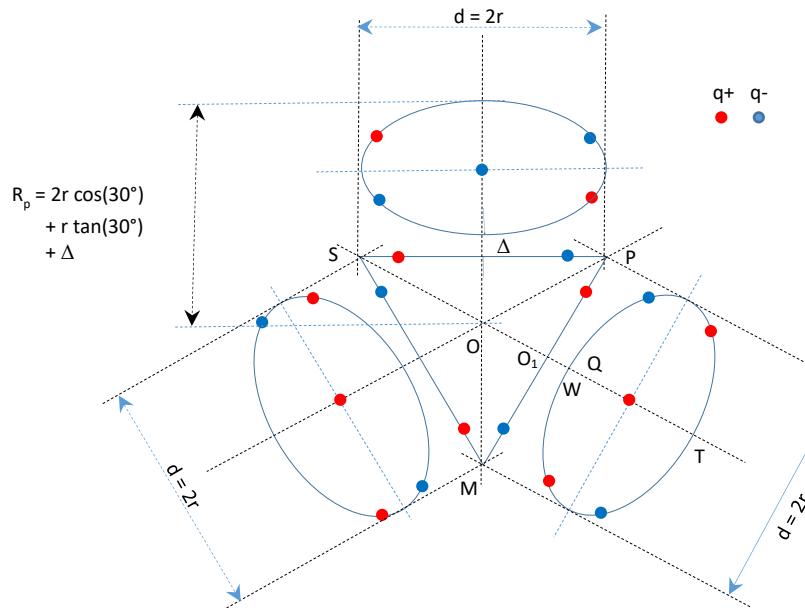


Figure 25 - Rayon du proton

En admettant que le rayon de charge corresponde au rayon maximal d'un proton. On a :

- $R_p = 2 r \cos(30^\circ) + r \tan(30^\circ) + \Delta$

On en déduit que le rayon r des cercles contenant les Charginettes composant le proton :

$$r = \frac{R_p - \Delta}{2 \cdot \cos(30^\circ) + \tan(30^\circ)} = \frac{R_p - \Delta}{\sqrt{3} + \frac{1}{\sqrt{3}}}$$

La valeur de Δ est négligeable devant r . D'où : $r = 0,36373067 \cdot 10^{-15}$ m arrondi à $0,36373 \cdot 10^{-15}$ m.

Cette valeur du rayon des charginette sera aussi utilisée pour les charginettes composant la nucléonette.

Pour établir le comportement dynamique des 9 charginettes au sein de la nucléonette, on va procéder en 5 étapes suivantes :

1. Déterminer les coordonnées des électrinettes et les distances entre elles
2. Déterminer la masse de chaque électrinette
3. Déterminer les interactions électriques entre les électrinettes
4. Etablir les équations dynamiques régissant chaque électrinette
5. Résoudre les équations différentielles à l'aide de l'outil progiciel Matlab-Simulink

4.8.4.1 *Positionnement entre les 3 chrominettes*

En examinant les courbes des amplitudes z et z_3 , la question de cohérence se pose. En effet, la position la plus éloignée de z par rapport à la position de z minimal se trouve à l'angle α proche de π . Mais la position idéale est pour $\alpha = \pi/2$. Le problème est qu'à cette position, la vitesse de la charginette AF n'est pas nulle. Il faut donc envisager l'arrêt de la charginette AF à la position $\alpha = \pi/2$. Ceci est une contrainte. En effet, si la position était différente, la structure de la nucléonette ne tiendrait plus. Cette contrainte est valable pour les 3 charginettes du milieu.

4.8.4.2 *Déterminer les coordonnées des électrinettes et les distances entre elles*

Établissons les relations entre les coordonnées globales et locales des électrinettes.

Un repère global et un repère local par chrominette externe sont illustrés par le schéma suivant :

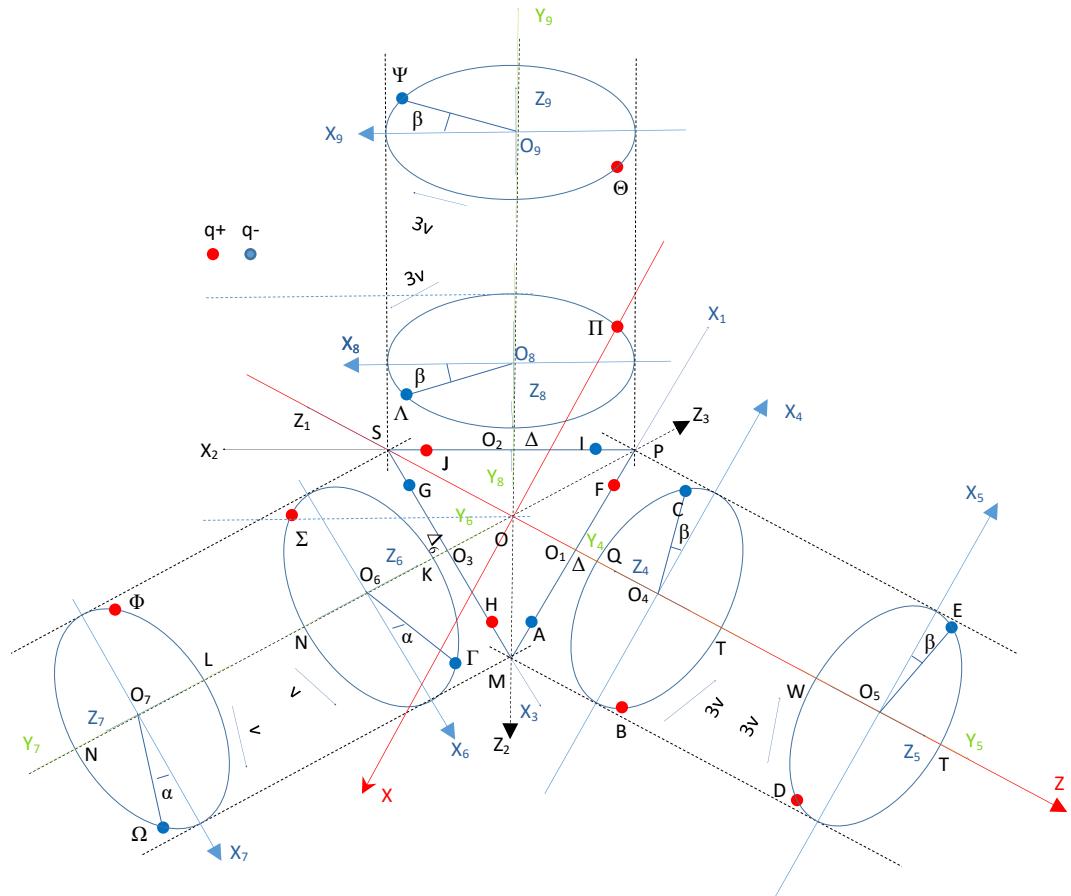


Figure 26 - Structure de nucléonette

On reprend les repères R , R_1 , R_2 et R_3 du paragraphe stabilité de la chrominette. On ajoute les repères $R_4(O_4, X_4, Y_4, Z_4)$, $R_5(O_5, X_5, Y_5, Z_5)$, $R_6(O_6, X_6, Y_6, Z_6)$ et $R_7(O_7, X_7, Y_7, Z_7)$.

Δ représente la distance sur l'axe OZ l'amplitude de la charginette AF . Δ_6 représente la distance sur l'axe O_3Z_3 l'amplitude de la charginette GH .

Déterminons les coordonnées des origines de ces 4 nouveaux repères. Pour les coordonnées de O_4 et O_5 , on s'aide du schéma suivant :

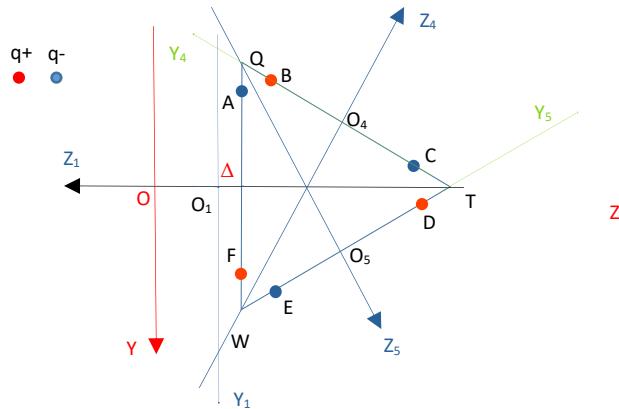


Figure 27 - Vue axiale de la chrominette ABCDEF

Dans le repère R_1 , les coordonnées de O_4 et O_5 , sont :

$$O_4 \begin{pmatrix} 0 \\ -r \cdot \sin(30^\circ) \\ -\Delta - r \cdot \cos(30^\circ) \end{pmatrix} = O_4 \begin{pmatrix} 0 \\ -\frac{r}{2} \\ -\Delta - r \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \end{pmatrix}$$

$$O_5 \begin{pmatrix} 0 \\ r \cdot \sin(30^\circ) \\ -\Delta - r \cdot \cos(30^\circ) \end{pmatrix} = O_5 \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{r}{2} \\ -\Delta - r \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \end{pmatrix}$$

Après les coordonnées des origines des repères locaux, il reste à déterminer leurs matrices.

Partant du repère R_1 , le repère $R_4(O_4, X_4, Y_4, Z_4)$ s'obtient par une rotation de $2\pi/3$ autour de l'axe O_1X_1 , puis un déplacement vers O_4 . Il faut rajouter au préalable la rotation de R_1 dans le repère R .

$$M_{4R1} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\left(\frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\frac{2\pi}{3}\right) & -\frac{r}{2} \\ 0 & \sin\left(\frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\frac{2\pi}{3}\right) & -\Delta - \frac{\sqrt{3}}{2}r \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{r}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{1}{2} & -\Delta - \frac{\sqrt{3}}{2}r \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$M_1 \begin{pmatrix} \cos(\pi) & 0 & \sin(\pi) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(\pi) & 0 & \cos(\pi) & z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned} M_4 = M_1 \otimes M_{4R1} &= \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{r}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{1}{2} & -\Delta - \frac{\sqrt{3}}{2}r \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{r}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{2} & \Delta + \frac{\sqrt{3}}{2}r + z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

Avec :

$$z_0 = \frac{r}{\sqrt{3}} = \frac{0.36373}{\sqrt{3}} = 0.21$$

Partant du repère R_1 , le repère $R_5(O_5, X_5, Y_5, Z_5)$ s'obtient par une rotation de $-2\pi/3$ autour de l'axe OX , puis un déplacement vers O_5 . Il faut rajouter au préalable la rotation de R_1 dans le repère R .

$$M_{5R1} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\left(-\frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(-\frac{2\pi}{3}\right) & \frac{r}{2} \\ 0 & \sin\left(-\frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(-\frac{2\pi}{3}\right) & -\Delta - r \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{r}{2} \\ 0 & -\frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{1}{2} & -\Delta - \frac{\sqrt{3}}{2}r \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned}
M_5 = M_1 \otimes M_{5R1} &= \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{r}{2} \\ 0 & -\frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{1}{2} & -\Delta - \frac{\sqrt{3}}{2}r \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \\
&= \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{r}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{2} & \Delta + \frac{\sqrt{3}}{2}r + z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}
\end{aligned}$$

Pour les coordonnées de O_6 et O_7 , on s'aide du schéma suivant :

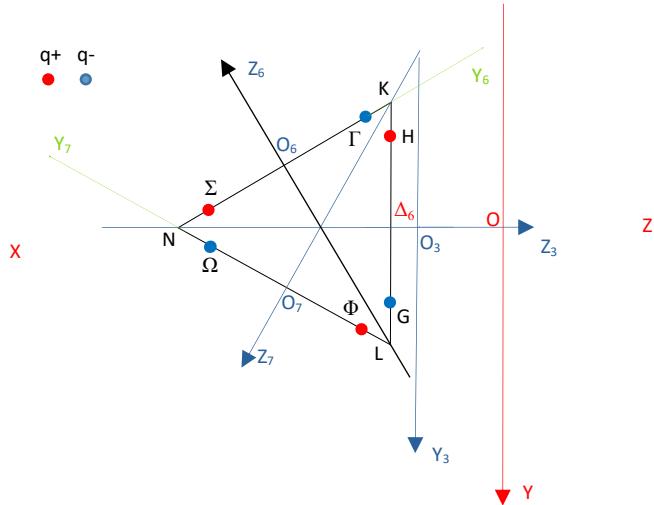


Figure 28 - Vue axiale de la chrominette $GH\Gamma\Sigma\Omega\Phi$

Dans le repère R_3 , les coordonnées de O_6 et O_7 , sont :

$$\begin{aligned}
O_6 \begin{pmatrix} 0 \\ -r \cdot \sin(30^\circ) \\ -\Delta_6 - r \cdot \cos(30^\circ) \end{pmatrix} &= O_6 \begin{pmatrix} 0 \\ -\frac{r}{2} \\ -\Delta_6 - r \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \end{pmatrix} \\
O_7 \begin{pmatrix} 0 \\ r \cdot \sin(30^\circ) \\ -\Delta_6 - r \cdot \cos(30^\circ) \end{pmatrix} &= O_7 \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{r}{2} \\ -\Delta_6 - r \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \end{pmatrix}
\end{aligned}$$

Partant du repère R_3 , le repère $R_6(O_6, X_6, Y_6, Z_6)$ s'obtient par une rotation de $2\pi/3$ autour de l'axe O_3X_3 , puis un déplacement vers O_6 . Il faut rajouter au préalable la rotation de R_3 dans le repère R .

$$\begin{aligned}
M_{6R3} & \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\left(\frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\frac{2\pi}{3}\right) & -\frac{r}{2} \\ 0 & \sin\left(\frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\frac{2\pi}{3}\right) & -\Delta_6 - \frac{\sqrt{3}}{2}r \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{2} & \frac{-\sqrt{3}}{2} & -\frac{r}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{1}{2} & -\Delta_6 - \frac{\sqrt{3}}{2}r \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \\
M_3 & \begin{pmatrix} \cos\left(\frac{-\pi}{3}\right) & 0 & \sin\left(\frac{-\pi}{3}\right) & \frac{\sqrt{3}}{2}z_0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin\left(\frac{-\pi}{3}\right) & 0 & \cos\left(\frac{-\pi}{3}\right) & -\frac{1}{2}z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & 0 & -\frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2}z_0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \frac{\sqrt{3}}{2} & 0 & \frac{1}{2} & -\frac{1}{2}z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \\
M_6 = M_3 \otimes M_{6R3} & = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & 0 & -\frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2}z_0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \frac{\sqrt{3}}{2} & 0 & \frac{1}{2} & -\frac{1}{2}z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{2} & \frac{-\sqrt{3}}{2} & -\frac{r}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{1}{2} & -\Delta_6 - \frac{\sqrt{3}}{2}r \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \\
& = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & -\frac{3}{4} & \frac{\sqrt{3}}{4} & \frac{\sqrt{3}}{2}\Delta_6 + \frac{3}{4}r + \frac{\sqrt{3}}{2}z_0 \\ 0 & -\frac{1}{2} & \frac{-\sqrt{3}}{2} & -\frac{r}{2} \\ \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{\sqrt{3}}{4} & -\frac{1}{4} & -\frac{1}{2}\Delta_6 - \frac{\sqrt{3}}{4}r - \frac{1}{2}z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}
\end{aligned}$$

Partant du repère R_3 , le repère $R_7(O_7, X_7, Y_7, Z_7)$ s'obtient par une rotation de $-2\pi/3$ autour de l'axe O_3X_3 , puis un déplacement vers O_7 . Il faut rajouter au préalable la rotation de R_3 dans le repère R .

$$M_{7R3} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\left(\frac{-2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\frac{-2\pi}{3}\right) & \frac{r}{2} \\ 0 & \sin\left(\frac{-2\pi}{3}\right) & \cos\left(\frac{-2\pi}{3}\right) & -\Delta_6 - \frac{\sqrt{3}}{2}r \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{r}{2} \\ 0 & \frac{-\sqrt{3}}{2} & -\frac{1}{2} & -\Delta_6 - \frac{\sqrt{3}}{2}r \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned}
M_7 = M_3 \otimes M_{7R3} &= \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & 0 & -\frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} z_0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \frac{\sqrt{3}}{2} & 0 & \frac{1}{2} & -\frac{1}{2} z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{r}{2} \\ 0 & -\frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{1}{2} & -\Delta_6 - \frac{\sqrt{3}}{2} r \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \\
&= \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & \frac{3}{4} & \frac{\sqrt{3}}{4} & \frac{\sqrt{3}}{2} \Delta_6 + \frac{3}{4} r + \frac{\sqrt{3}}{2} z_0 \\ 0 & -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{r}{2} \\ \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{4} & -\frac{1}{4} & -\frac{1}{2} \Delta_6 - \frac{\sqrt{3}}{4} r - \frac{1}{2} z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}
\end{aligned}$$

Déterminer les coordonnées des électrinettes B et C dans le repère local R₄ :

$$B_{R4} \begin{pmatrix} -r \cdot \cos(3\omega t) \\ -r \cdot \sin(3\omega t) \\ z_4 \end{pmatrix}$$

$$C_{R4} \begin{pmatrix} r \cdot \cos(3\omega t) \\ r \cdot \sin(3\omega t) \\ z_4 \end{pmatrix}$$

Déterminer les coordonnées des électrinettes B et C dans le repère global R :

$$B \begin{pmatrix} x_b \\ y_b \\ z_b \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{-r}{2} \\ 0 & -\frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{2} & \Delta + r \frac{\sqrt{3}}{2} + z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -r \cdot \cos(3\omega t) \\ -r \cdot \sin(3\omega t) \\ z_4 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$B \begin{pmatrix} x_b \\ y_b \\ z_b \\ 1 \end{pmatrix} = B \begin{pmatrix} r \cdot \cos(3\omega t) \\ \frac{r}{2} \sin(3\omega t) - z_4 \frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{r}{2} \\ r \frac{\sqrt{3}}{2} \sin(3\omega t) + \frac{z_4}{2} + r \frac{\sqrt{3}}{2} + \Delta + z_0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$C \begin{pmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{-r}{2} \\ 0 & -\frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{2} & \Delta + r \frac{\sqrt{3}}{2} + z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r \cdot \cos(3\omega t) \\ r \cdot \sin(3\omega t) \\ z_4 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$C \begin{pmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \\ 1 \end{pmatrix} = C \begin{pmatrix} -r \cdot \cos(3\omega t) \\ -\frac{r}{2} \sin(3\omega t) - z_4 \frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{r}{2} \\ -r \frac{\sqrt{3}}{2} \sin(3\omega t) + \frac{z_4}{2} + r \frac{\sqrt{3}}{2} + \Delta + z_0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Déterminer les coordonnées des électrinettes D et E dans le repère local R₅ :

$$D_{R5} \begin{pmatrix} -r \cdot \cos(3\omega t) \\ -r \cdot \sin(3\omega t) \\ z_4 \end{pmatrix}$$

$$E_{R5} \begin{pmatrix} r \cdot \cos(3\omega t) \\ r \cdot \sin(3\omega t) \\ z_4 \end{pmatrix}$$

Déterminer les coordonnées des électrinettes D et E dans le repère global R :

$$D \begin{pmatrix} x_d \\ y_d \\ z_d \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{r}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{2} & \Delta + r \frac{\sqrt{3}}{2} + z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -r \cdot \cos(3\omega t) \\ -r \cdot \sin(3\omega t) \\ z_4 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$D \begin{pmatrix} x_d \\ y_d \\ z_d \\ 1 \end{pmatrix} = D \begin{pmatrix} r \cdot \cos(3\omega t) \\ \frac{r}{2} \sin(3\omega t) + z_4 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{r}{2} \\ -r \frac{\sqrt{3}}{2} \sin(3\omega t) + \frac{z_4}{2} + r \frac{\sqrt{3}}{2} + \Delta + z_0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$E \begin{pmatrix} x_e \\ y_e \\ z_e \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{r}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{2} & \Delta + r \frac{\sqrt{3}}{2} + z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r \cdot \cos(3\omega t) \\ r \cdot \sin(3\omega t) \\ z_4 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$E \begin{pmatrix} x_e \\ y_e \\ z_e \\ 1 \end{pmatrix} = E \begin{pmatrix} -r \cdot \cos(3\omega t) \\ -\frac{r}{2} \sin(3\omega t) + z_4 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{r}{2} \\ r \frac{\sqrt{3}}{2} \sin(3\omega t) + \frac{z_4}{2} + r \frac{\sqrt{3}}{2} + \Delta + z_0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Déterminer les coordonnées des électrinettes Γ et Σ dans le repère local R₆ :

$$\Gamma_{R6} \begin{pmatrix} r \cdot \cos(\omega t) \\ r \cdot \sin(\omega t) \\ z_6 \end{pmatrix}$$

$$\Sigma_{R6} \begin{pmatrix} -r \cdot \cos(\omega t) \\ -r \cdot \sin(\omega t) \\ z_6 \end{pmatrix}$$

Déterminer les coordonnées des électrinettes Γ et Σ dans le repère global R :

$$\Gamma \begin{pmatrix} x_\gamma \\ y_\gamma \\ z_\gamma \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & \frac{-3}{4} & \frac{\sqrt{3}}{4} & \Delta_6 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{3r}{4} + z_0 \frac{\sqrt{3}}{2} \\ 0 & -\frac{1}{2} & \frac{-\sqrt{3}}{2} & \frac{-r}{2} \\ \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{\sqrt{3}}{4} & -\frac{1}{4} & -\frac{\Delta_6}{2} - r \frac{\sqrt{3}}{4} - \frac{z_0}{2} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r \cdot \cos(\omega t) \\ r \cdot \sin(\omega t) \\ z_6 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\Gamma \begin{pmatrix} x_\gamma \\ y_\gamma \\ z_\gamma \\ 1 \end{pmatrix} = \Gamma \begin{pmatrix} \frac{r}{2} \cdot \cos(\omega t) - \frac{3}{4} r \cdot \sin(\omega t) + z_6 \frac{\sqrt{3}}{4} + \Delta_6 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{3r}{4} + z_0 \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{r}{2} \cdot \sin(\omega t) - z_6 \frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{r}{2} \\ r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \cos(\omega t) + r \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot \sin(\omega t) - \frac{z_6}{4} - \frac{r\sqrt{3}}{4} - \frac{\Delta_6}{2} - \frac{z_0}{2} \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\Sigma \begin{pmatrix} x_\sigma \\ y_\sigma \\ z_\sigma \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & \frac{-3}{4} & \frac{\sqrt{3}}{4} & \Delta_6 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{3r}{4} + z_0 \frac{\sqrt{3}}{2} \\ 0 & -\frac{1}{2} & \frac{-\sqrt{3}}{2} & \frac{-r}{2} \\ \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{\sqrt{3}}{4} & -\frac{1}{4} & -\frac{\Delta_6}{2} - r \frac{\sqrt{3}}{4} - \frac{z_0}{2} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -r \cdot \cos(\omega t) \\ -r \cdot \sin(\omega t) \\ z_6 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\Sigma \begin{pmatrix} x_\sigma \\ y_\sigma \\ z_\sigma \\ 1 \end{pmatrix} = \Sigma \begin{pmatrix} -\frac{r}{2} \cdot \cos(\omega t) + \frac{3}{4} r \cdot \sin(\omega t) + z_6 \frac{\sqrt{3}}{4} + \Delta_6 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{3r}{4} + z_0 \frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{r}{2} \cdot \sin(\omega t) - z_6 \frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{r}{2} \\ -r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \cos(\omega t) - r \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot \sin(\omega t) - \frac{z_6}{4} - \frac{r\sqrt{3}}{4} - \frac{\Delta_6}{2} - \frac{z_0}{2} \\ 1 \end{pmatrix}$$

Déterminer les coordonnées des électrinettes Ω et Φ dans le repère local R_7 :

$$\Omega_{R7} \begin{pmatrix} r \cdot \cos(\omega t) \\ r \cdot \sin(\omega t) \\ z_6 \end{pmatrix}$$

$$\Phi_{R7} \begin{pmatrix} -r \cdot \cos(\omega t) \\ -r \cdot \sin(\omega t) \\ z_6 \end{pmatrix}$$

Déterminer les coordonnées des électrinettes Ω et Φ dans le repère global R :

$$\Omega \begin{pmatrix} x_\omega \\ y_\omega \\ z_\omega \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & \frac{3}{4} & \frac{\sqrt{3}}{4} & \Delta_6 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{3r}{4} + z_0 \frac{\sqrt{3}}{2} \\ 0 & -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{r}{2} \\ \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{-\sqrt{3}}{4} & -\frac{1}{4} & -\frac{\Delta_6}{2} - r \frac{\sqrt{3}}{4} - \frac{z_0}{2} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r \cdot \cos(\omega t) \\ r \cdot \sin(\omega t) \\ z_6 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\Omega \begin{pmatrix} x_\omega \\ y_\omega \\ z_\omega \\ 1 \end{pmatrix} = \Omega \begin{pmatrix} \frac{r}{2} \cdot \cos(\omega t) + \frac{3}{4}r \cdot \sin(\omega t) + z_6 \frac{\sqrt{3}}{4} + \Delta_6 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{3r}{4} + z_0 \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{r}{2} \cdot \sin(\omega t) + z_6 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{r}{2} \\ r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \cos(\omega t) - r \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot \sin(\omega t) - \frac{z_6}{4} - \frac{r\sqrt{3}}{4} - \frac{\Delta_6}{2} - \frac{z_0}{2} \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\Phi \begin{pmatrix} x_\phi \\ y_\phi \\ z_\phi \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & \frac{3}{4} & \frac{\sqrt{3}}{4} & \Delta_6 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{3r}{4} + z_0 \frac{\sqrt{3}}{2} \\ 0 & -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{r}{2} \\ \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{4} & -\frac{1}{4} & -\frac{\Delta_6}{2} - r \frac{\sqrt{3}}{4} - \frac{z_0}{2} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -r \cdot \cos(\omega t) \\ -r \cdot \sin(\omega t) \\ z_6 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\Phi \begin{pmatrix} x_\omega \\ y_\omega \\ z_\omega \\ 1 \end{pmatrix} = \Phi \begin{pmatrix} \frac{-r}{2} \cdot \cos(\omega t) - \frac{3}{4}r \cdot \sin(\omega t) + z_6 \frac{\sqrt{3}}{4} + \Delta_6 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{3r}{4} + z_0 \frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{r}{2} \cdot \sin(\omega t) + z_6 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{r}{2} \\ -r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \cos(\omega t) + r \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot \sin(\omega t) - \frac{z_6}{4} - \frac{r\sqrt{3}}{4} - \frac{\Delta_6}{2} - \frac{z_0}{2} \\ 1 \end{pmatrix}$$

Déterminer les vecteurs et les distances entre les électrinettes F, B, C, D et E :

$$\overrightarrow{D_{FB}} = \overrightarrow{FB} = \begin{pmatrix} r \cdot \cos(3\omega t) + r \cdot \cos(\omega t) \\ \frac{r}{2} \cdot \sin(3\omega t) - z_4 \frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{r}{2} - r \cdot \sin(\omega t) \\ r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(3\omega t) + \frac{z_4}{2} + r \frac{\sqrt{3}}{2} + \Delta + z_0 - z \end{pmatrix}$$

$$D_{FB}^2 = [r \cdot \cos(3\omega t) + r \cdot \cos(\omega t)]^2 + \left[\frac{r}{2} \cdot \sin(3\omega t) - z_4 \frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{r}{2} - r \cdot \sin(\omega t) \right]^2 + \left[r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(3\omega t) + \frac{z_4}{2} + r \frac{\sqrt{3}}{2} + \Delta + z_0 - z \right]^2$$

$$\overrightarrow{D_{FC}} = \overrightarrow{FC} = \begin{pmatrix} -r \cdot \cos(3\omega t) + r \cdot \cos(\omega t) \\ -\frac{r}{2} \cdot \sin(3\omega t) - z_4 \frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{r}{2} - r \cdot \sin(\omega t) \\ -r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(3\omega t) + \frac{z_4}{2} + r \frac{\sqrt{3}}{2} + \Delta + z_0 - z \end{pmatrix}$$

$$D_{FC}^2 = [-r \cdot \cos(3\omega t) + r \cdot \cos(\omega t)]^2 + \left[\frac{r}{2} \cdot \sin(3\omega t) + z_4 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{r}{2} + r \cdot \sin(\omega t) \right]^2 + \left[-r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(3\omega t) + \frac{z_4}{2} + r \frac{\sqrt{3}}{2} + \Delta + z_0 - z \right]^2$$

$$\overrightarrow{D_{FD}} = \overrightarrow{FD} = \begin{pmatrix} r \cdot \cos(3\omega t) + r \cdot \cos(\omega t) \\ \frac{r}{2} \cdot \sin(3\omega t) + z_4 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{r}{2} - r \cdot \sin(\omega t) \\ -r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(3\omega t) + \frac{z_4}{2} + r \frac{\sqrt{3}}{2} + \Delta + z_0 - z \end{pmatrix}$$

$$D_{FD}^2 = [r \cdot \cos(3\omega t) + r \cdot \cos(\omega t)]^2 + \left[\frac{r}{2} \cdot \sin(3\omega t) + z_4 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{r}{2} - r \cdot \sin(\omega t) \right]^2 + \left[-r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(3\omega t) + \frac{z_4}{2} + r \frac{\sqrt{3}}{2} + \Delta + z_0 - z \right]^2$$

$$\overrightarrow{D_{FE}} = \overrightarrow{FE} = \begin{pmatrix} -r \cdot \cos(3\omega t) + r \cdot \cos(\omega t) \\ -\frac{r}{2} \cdot \sin(3\omega t) + z_4 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{r}{2} - r \cdot \sin(\omega t) \\ r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(3\omega t) + \frac{z_4}{2} + r \frac{\sqrt{3}}{2} + \Delta + z_0 - z \end{pmatrix}$$

$$D_{FE}^2 = [-r \cdot \cos(3\omega t) + r \cdot \cos(\omega t)]^2 + \left[-\frac{r}{2} \cdot \sin(3\omega t) + z_4 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{r}{2} - r \cdot \sin(\omega t) \right]^2 + \left[r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(3\omega t) + \frac{z_4}{2} + r \frac{\sqrt{3}}{2} + \Delta + z_0 - z \right]^2$$

Déterminer les vecteurs et les distances entre les électrinettes $H, \Gamma, \Sigma, \Omega$ et Φ :

$$\overrightarrow{D_{H\Gamma}} = \overrightarrow{H\Gamma} = \begin{pmatrix} \frac{r}{2} \cdot \cos(\omega t) - \frac{3}{4}r \cdot \sin(\omega t) + z_6 \frac{\sqrt{3}}{4} + \Delta_6 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{3r}{4} - \frac{r}{2} \cdot \cos(3\omega t) + z_3 \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{r}{2} \cdot \sin(\omega t) - z_6 \frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{r}{2} - r \cdot \sin(3\omega t) \\ r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \cos(\omega t) + r \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot \sin(\omega t) - \frac{z_6}{4} - r \frac{\sqrt{3}}{4} - \frac{\Delta_6}{2} - r \frac{\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) - \frac{z_3}{2} \end{pmatrix}$$

$$D_{H\Gamma}^2 = \left[\frac{r}{2} \cdot \cos(\omega t) - \frac{3}{4}r \cdot \sin(\omega t) + z_6 \frac{\sqrt{3}}{4} + \Delta_6 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{3r}{4} - \frac{r}{2} \cdot \cos(3\omega t) + z_3 \frac{\sqrt{3}}{2} \right]^2 + \left[-\frac{r}{2} \cdot \sin(\omega t) - z_6 \frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{r}{2} - r \cdot \sin(3\omega t) \right]^2 + \left[r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \cos(\omega t) + r \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot \sin(\omega t) - \frac{z_6}{4} - r \frac{\sqrt{3}}{4} - \frac{\Delta_6}{2} - r \frac{\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) - \frac{z_3}{2} \right]^2$$

$$\overrightarrow{D_{H\Sigma}} = \overrightarrow{H\Sigma} = \begin{pmatrix} -\frac{r}{2} \cdot \cos(\omega t) + \frac{3}{4}r \cdot \sin(\omega t) + z_6 \frac{\sqrt{3}}{4} + \Delta_6 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{3r}{4} - \frac{r}{2} \cdot \cos(3\omega t) + z_3 \frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{r}{2} \cdot \sin(\omega t) - z_6 \frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{r}{2} - r \cdot \sin(3\omega t) \\ -r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \cos(\omega t) - r \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot \sin(\omega t) - \frac{z_6}{4} - r \frac{\sqrt{3}}{4} - \frac{\Delta_6}{2} - r \frac{\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) - \frac{z_3}{2} \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned}
D_{H\Sigma}^2 &= \left[\frac{-r}{2} \cdot \cos(\omega t) + \frac{3}{4}r \cdot \sin(\omega t) + z_6 \frac{\sqrt{3}}{4} + \Delta_6 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{3r}{4} - \frac{r}{2} \cdot \cos(3\omega t) + z_3 \frac{\sqrt{3}}{2} \right]^2 \\
&\quad + \left[\frac{r}{2} \cdot \sin(\omega t) - z_6 \frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{r}{2} - r \cdot \sin(3\omega t) \right]^2 \\
&\quad + \left[r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \cos(\omega t) + r \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot \sin(\omega t) + \frac{z_6}{4} + r \frac{\sqrt{3}}{4} + \frac{\Delta_6}{2} + r \frac{\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) + \frac{z_3}{2} \right]^2 \\
\overrightarrow{D_{H\Omega}} = \overrightarrow{H\Omega} &= \begin{pmatrix} \frac{r}{2} \cdot \cos(\omega t) + \frac{3}{4}r \cdot \sin(\omega t) + z_6 \frac{\sqrt{3}}{4} + \Delta_6 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{3r}{4} - \frac{r}{2} \cdot \cos(3\omega t) + z_3 \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{r}{2} \cdot \sin(\omega t) + z_6 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{r}{2} - r \cdot \sin(3\omega t) \\ r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \cos(\omega t) - r \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot \sin(\omega t) - \frac{z_6}{4} - r \frac{\sqrt{3}}{4} - \frac{\Delta_6}{2} - r \frac{\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) - \frac{z_3}{2} \end{pmatrix} \\
D_{H\Omega}^2 &= \left[\frac{r}{2} \cdot \cos(\omega t) + \frac{3}{4}r \cdot \sin(\omega t) + z_6 \frac{\sqrt{3}}{4} + \Delta_6 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{3r}{4} - \frac{r}{2} \cdot \cos(3\omega t) + z_3 \frac{\sqrt{3}}{2} \right]^2 \\
&\quad + \left[-\frac{r}{2} \cdot \sin(\omega t) + z_6 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{r}{2} - r \cdot \sin(3\omega t) \right]^2 \\
&\quad + \left[-r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \cos(\omega t) + r \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot \sin(\omega t) + \frac{z_6}{4} + r \frac{\sqrt{3}}{4} + \frac{\Delta_6}{2} + r \frac{\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) + \frac{z_3}{2} \right]^2 \\
\overrightarrow{D_{H\phi}} = \overrightarrow{H\Phi} &= \begin{pmatrix} \frac{-r}{2} \cdot \cos(\omega t) - \frac{3}{4}r \cdot \sin(\omega t) + z_6 \frac{\sqrt{3}}{4} + \Delta_6 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{3r}{4} - \frac{r}{2} \cdot \cos(3\omega t) + z_3 \frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{r}{2} \cdot \sin(\omega t) + z_6 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{r}{2} - r \cdot \sin(3\omega t) \\ -r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \cos(\omega t) + r \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot \sin(\omega t) - \frac{z_6}{4} - r \frac{\sqrt{3}}{4} - \frac{\Delta_6}{2} - r \frac{\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) - \frac{z_3}{2} \end{pmatrix} \\
D_{H\Phi}^2 &= \left[\frac{-r}{2} \cdot \cos(\omega t) - \frac{3}{4}r \cdot \sin(\omega t) + z_6 \frac{\sqrt{3}}{4} + \Delta_6 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{3r}{4} - \frac{r}{2} \cdot \cos(3\omega t) + z_3 \frac{\sqrt{3}}{2} \right]^2 \\
&\quad + \left[\frac{r}{2} \cdot \sin(\omega t) + z_6 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{r}{2} - r \cdot \sin(3\omega t) \right]^2 \\
&\quad + \left[r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \cos(\omega t) - r \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot \sin(\omega t) + \frac{z_6}{4} + r \frac{\sqrt{3}}{4} + \frac{\Delta_6}{2} + r \frac{\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) + \frac{z_3}{2} \right]^2
\end{aligned}$$

Déterminer les vecteurs et les distances entre les électrinettes C, D, E et A :

$$\overrightarrow{D_{AC}} = \overrightarrow{AC} = \begin{pmatrix} -r \cdot \cos(3\omega t) - r \cdot \cos(\omega t) \\ -\frac{r}{2} \sin(3\omega t) - z_4 \frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{r}{2} + r \cdot \sin(\omega t) \\ -r \frac{\sqrt{3}}{2} \sin(3\omega t) + \frac{z_4}{2} + r \frac{\sqrt{3}}{2} + \Delta + z_0 - z \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned}
D_{AC}^2 &= [r \cdot \cos(3\omega t) + r \cdot \cos(\omega t)]^2 + \left[r \cdot \sin(\omega t) - \frac{r}{2} \cdot \sin(3\omega t) - z_4 \frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{r}{2} \right]^2 \\
&\quad + \left[-r \frac{\sqrt{3}}{2} \sin(3\omega t) + \frac{z_4}{2} + r \frac{\sqrt{3}}{2} + \Delta + z_0 - z \right]^2 \\
\overrightarrow{D_{AD}} = \overrightarrow{AD} &= \begin{pmatrix} r \cdot \cos(3\omega t) - r \cdot \cos(\omega t) \\ \frac{r}{2} \sin(3\omega t) + z_4 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{r}{2} + r \cdot \sin(\omega t) \\ -r \frac{\sqrt{3}}{2} \sin(3\omega t) + \frac{z_4}{2} + r \frac{\sqrt{3}}{2} + \Delta + z_0 - z \end{pmatrix} \\
D_{AD}^2 &= [r \cdot \cos(3\omega t) - r \cdot \cos(\omega t)]^2 + \left[r \cdot \sin(\omega t) + \frac{r}{2} \cdot \sin(3\omega t) + z_4 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{r}{2} \right]^2 \\
&\quad + \left[-r \frac{\sqrt{3}}{2} \sin(3\omega t) + \frac{z_4}{2} + r \frac{\sqrt{3}}{2} + \Delta + z_0 - z \right]^2 \\
\overrightarrow{D_{AE}} = \overrightarrow{AE} &= \begin{pmatrix} -r \cdot \cos(3\omega t) - r \cdot \cos(\omega t) \\ -\frac{r}{2} \sin(3\omega t) + z_4 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{r}{2} + r \cdot \sin(\omega t) \\ r \frac{\sqrt{3}}{2} \sin(3\omega t) + \frac{z_4}{2} + r \frac{\sqrt{3}}{2} + \Delta + z_0 - z \end{pmatrix} \\
D_{AE}^2 &= [r \cdot \cos(3\omega t) + r \cdot \cos(\omega t)]^2 + \left[r \cdot \sin(\omega t) - \frac{r}{2} \cdot \sin(3\omega t) + \frac{\sqrt{3}}{2} z_4 + \frac{r}{2} \right]^2 \\
&\quad + \left[r \frac{\sqrt{3}}{2} \sin(3\omega t) + \frac{z_4}{2} + r \frac{\sqrt{3}}{2} + \Delta + z_0 - z \right]^2
\end{aligned}$$

Déterminer les vecteurs et les distances entre les électrinettes B, A, D et E :

$$\begin{aligned}
\overrightarrow{D_{BA}} = \overrightarrow{BA} &= \begin{pmatrix} r \cdot \cos(\omega t) - r \cdot \cos(3\omega t) \\ -r \cdot \sin(\omega t) - \frac{r}{2} \sin(3\omega t) + z_4 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{r}{2} \\ z - r \frac{\sqrt{3}}{2} \sin(3\omega t) - \frac{z_4}{2} - r \frac{\sqrt{3}}{2} - \Delta - z_0 \end{pmatrix} \\
\overrightarrow{D_{BE}} = \overrightarrow{BE} &= \begin{pmatrix} -2r \cdot \cos(3\omega t) \\ -r \cdot \sin(3\omega t) + z_4 \sqrt{3} + r \\ 0 \end{pmatrix} \\
D_{BE}^2 &= [2r \cdot \cos(3\omega t)]^2 + [-r \cdot \sin(3\omega t) + z_4 \sqrt{3} + r]^2
\end{aligned}$$

$$\overrightarrow{D_{BD}} = \overrightarrow{BD} = \begin{pmatrix} 0 \\ z_4 \sqrt{3} + r \\ r \sqrt{3} \sin(3\omega t) \end{pmatrix}$$

$$D_{BD}^2 = [r + z_4 \sqrt{3}]^2 + 3[r \cdot \sin(3\omega t)]^2$$

Déterminer les vecteurs et les distances entre les électrinettes D, E et C :

$$\overrightarrow{D_{CD}} = \overrightarrow{CD} = \begin{pmatrix} 2r \cdot \cos(3\omega t) \\ r \cdot \sin(3\omega t) + z_4 \sqrt{3} + r \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$D_{CD}^2 = 4[r \cdot \cos(3\omega t)]^2 + [r \cdot \sin(3\omega t) + z_4 \sqrt{3} + r]^2$$

$$\overrightarrow{D_{CE}} = \overrightarrow{CE} = \begin{pmatrix} 0 \\ z_4 \sqrt{3} + r \\ r\sqrt{3} \sin(3\omega t) \end{pmatrix}$$

$$D_{CE}^2 = [r + z_4 \sqrt{3}]^2 + 3[r \cdot \sin(3\omega t)]^2$$

Déterminer les vecteurs et les distances entre les électrinettes Σ , Φ , G et Ω :

$$\overrightarrow{D_{\Sigma\Omega}} = \overrightarrow{\Sigma\Omega} = \begin{pmatrix} r \cdot \cos(\omega t) \\ -r \cdot \sin(\omega t) + z_6 \sqrt{3} + r \\ r\sqrt{3} \cdot \cos(\omega t) \end{pmatrix}$$

$$D_{\Sigma\Omega}^2 = [r \cdot \cos(\omega t)]^2 + [-r \cdot \sin(\omega t) + z_6 \sqrt{3} + r]^2 + [r\sqrt{3} \cdot \cos(\omega t)]^2$$

$$\overrightarrow{D_{\Sigma\Phi}} = \overrightarrow{\Sigma\Phi} = \begin{pmatrix} -\frac{3}{2}r \cdot \sin(\omega t) \\ z_6 \sqrt{3} + r \\ \frac{\sqrt{3}}{2}r \cdot \sin(\omega t) \end{pmatrix}$$

$$D_{\Sigma\Phi}^2 = \left[-\frac{3}{2}r \cdot \sin(\omega t) \right]^2 + [z_6 \sqrt{3} + r]^2 + \left[\frac{\sqrt{3}}{2}r \cdot \sin(\omega t) \right]^2$$

$$\overrightarrow{D_{\Sigma G}} = \overrightarrow{\Sigma G} = \begin{pmatrix} -\frac{r}{2} \cdot \cos(3\omega t) - \frac{z_3 \sqrt{3}}{2} + \frac{r}{2} \cdot \cos(\omega t) - \frac{3}{4}r \sin(\omega t) - \frac{\sqrt{3}}{4}z_6 - \frac{\sqrt{3}}{2}\Delta_6 - \frac{3r}{4} \\ -r \cdot \sin(3\omega t) - \frac{r}{2} \cdot \sin(\omega t) + \frac{\sqrt{3}}{2}z_6 + \frac{r}{2} \\ -\frac{\sqrt{3}}{2}r \cdot \cos(3\omega t) + \frac{z_3}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}r \cdot \cos(\omega t) + \frac{\sqrt{3}}{4}r \cdot \sin(\omega t) + \frac{z_6}{4} + \frac{\sqrt{3}}{4}r + \frac{\Delta_6}{2} \end{pmatrix}$$

$$\overrightarrow{D_{\Gamma H}} = \overrightarrow{\Gamma H} = \begin{pmatrix} \frac{r}{2} \cdot \cos(3\omega t) - z_3 \frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{r}{2} \cdot \cos(\omega t) + \frac{3}{4}r \cdot \sin(\omega t) - z_6 \frac{\sqrt{3}}{4} - \Delta_6 \frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{3r}{4} \\ r \cdot \sin(3\omega t) + \frac{r}{2} \cdot \sin(\omega t) + z_6 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{r}{2} \\ r \frac{\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) + \frac{z_3}{2} - r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \cos(\omega t) - r \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot \sin(\omega t) + \frac{z_6}{4} + r \frac{\sqrt{3}}{4} + \frac{\Delta_6}{2} \end{pmatrix}$$

Déterminer les vecteurs et les distances entre les électrinettes Γ , Φ , G et Ω :

$$\overrightarrow{D_{\Gamma\Omega}} = \overrightarrow{\Gamma\Omega} = \begin{pmatrix} \frac{3}{2}r \cdot \sin(\omega t) \\ z_6\sqrt{3} + r \\ -\frac{\sqrt{3}}{2}r \cdot \sin(\omega t) \end{pmatrix}$$

$$D_{\Gamma\Omega}^2 = \left[\frac{3}{2}r \cdot \sin(\omega t) \right]^2 + [z_6\sqrt{3} + r]^2 + \left[\frac{\sqrt{3}}{2}r \cdot \sin(\omega t) \right]^2$$

$$\overrightarrow{D_{\Gamma\Phi}} = \overrightarrow{\Gamma\Phi} = \begin{pmatrix} -r \cdot \cos(\omega t) \\ r \cdot \sin(\omega t) + z_6\sqrt{3} + r \\ -\sqrt{3}r \cdot \cos(\omega t) \end{pmatrix}$$

$$D_{\Gamma\Phi}^2 = [-r \cdot \cos(\omega t)]^2 + [r + r \cdot \sin(\omega t) + z_6\sqrt{3}]^2 + [-\sqrt{3}r \cdot \cos(\omega t)]^2$$

$$\overrightarrow{D_{\Gamma G}} = \overrightarrow{\Gamma G} = \begin{pmatrix} -\frac{r}{2} \cdot \cos(3\omega t) - \frac{z_3\sqrt{3}}{2} - \frac{r}{2} \cdot \cos(\omega t) + \frac{3}{4}r \sin(\omega t) - \frac{\sqrt{3}}{4}z_6 - \frac{\sqrt{3}}{2}\Delta_6 - \frac{3r}{4} \\ -r \cdot \sin(3\omega t) + \frac{r}{2} \cdot \sin(\omega t) + \frac{\sqrt{3}}{2}z_6 + \frac{r}{2} \\ -\frac{\sqrt{3}}{2}r \cdot \cos(3\omega t) + \frac{z_3}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}r \cdot \cos(\omega t) - \frac{\sqrt{3}}{4}r \cdot \sin(\omega t) + \frac{z_6}{4} + \frac{\sqrt{3}}{4}r + \frac{\Delta_6}{2} \end{pmatrix}$$

4.8.4.3 Déterminer la masse de chaque électrinette

Les électrinettes seront numérotées comme suit :

1. électrinette F : vitesse v_1 , la masse m_F globale.
2. électrinette A : vitesse v_1 , la masse m_A globale.
3. électrinette J : vitesse v_1 , la masse m_J globale.
4. électrinette I : vitesse v_1 , la masse m_I globale.
5. électrinette G : vitesse v_3 , la masse m_G globale.
6. électrinette H : vitesse v_3 , la masse m_H globale.
7. électrinette B : vitesse v_3 , la masse m_B globale.
8. électrinette C : vitesse v_3 , la masse m_C globale.
9. électrinette D : vitesse v_3 , la masse m_D globale.
10. électrinette E : vitesse v_3 , la masse m_E globale.

11. électrinette Θ : vitesse v_3 , la masse \underline{m}_{Θ} globale.
12. électrinette Ψ : vitesse v_3 , la masse \underline{m}_{Ψ} globale.
13. électrinette Π : vitesse v_3 , la masse \underline{m}_{Π} globale.
14. électrinette Λ : vitesse v_3 , la masse \underline{m}_{Λ} globale.
15. électrinette Γ : vitesse v_1 , la masse \underline{m}_{Γ} globale.
16. électrinette Σ : vitesse v_1 , la masse \underline{m}_{Σ} globale.
17. électrinette Ω : vitesse v_1 , la masse \underline{m}_{Ω} globale.
18. électrinette Φ : vitesse v_1 , la masse \underline{m}_{Φ} globale.

La masse globale de l'électrinette F s'exprime par la formule suivante :

$$\underline{m}_{F\#} = \underline{m}_F + \frac{1}{2c^2} \cdot (E_{eFI} + E_{eFG} + E_{eFC} + E_{eFE})$$

Où :

- $\underline{m}_{F\#}$: représente la masse inerte globale de l'électrinette F.
- \underline{m}_F : est la charge neutre de l'électrinette F
- E_{eFp} : est l'énergie potentielle électrique entre l'électrinette F et l'électrinette p ayant un signe opposé à celui de l'électrinette F. En plus, la distance entre les électrinettes F et p varie entre 0 et $d > 0$. Avec p = I, G, C ou E.

Pour calculer l'énergie potentielle E_{eFp} , il faut connaitre la moyenne de la distance qui les sépare. En négligeant les déplacements des charginettes par rapport au triangle équilatéral, les distances s'écrivent :

- $D_{FI} = r \cdot f_{FI} = 0.36373 \cdot 10^{-15} \cdot 1.757 = 0.63907361 \cdot 10^{-15} \text{ m}$
- $D_{FG} = r \cdot f_{FG} = 0.36373 \cdot 10^{-15} \cdot 1.65 = 0.6001545 \cdot 10^{-15} \text{ m}$
- $D_{FC}^2 = [-r \cdot \cos(3\omega t) + r \cdot \cos(\omega t)]^2 + \left[\frac{r}{2} \cdot \sin(3\omega t) + z_4 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{r}{2} + r \cdot \sin(\omega t) \right]^2 + \left[-r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(3\omega t) + \frac{z_4}{2} + r \frac{\sqrt{3}}{2} + \Delta + z_0 - z \right]^2$

Conditions de calcul :

$$\Delta = \Delta_6 = z_4 = z_6 = 0$$

$$z = z_0 = r/\sqrt{3}$$

$$D_{FC} = \frac{r}{2} \sqrt{4[-\cos(3\omega t) + \cos(\omega t)]^2 + [\sin(3\omega t) + 1 + 2 \cdot \sin(\omega t)]^2 + 3[1 - \sin(3\omega t)]^2}$$

Tracer la courbe à l'aide de Simulink (fichier : Courbe_distance_D_FC.slx)

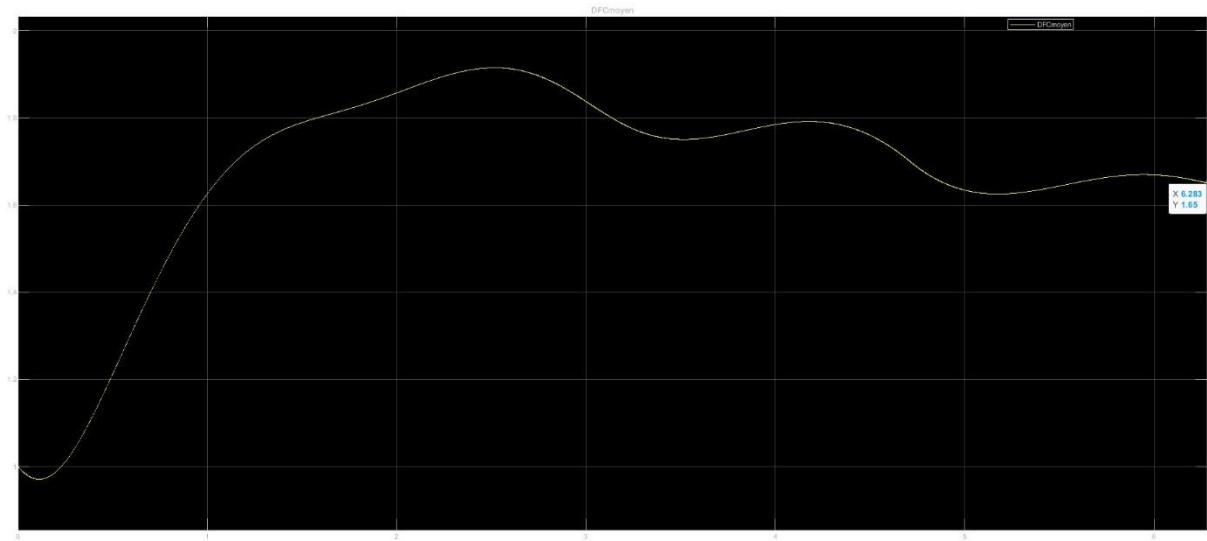


Figure 29 - Moyenne distance FC

$$D_{FC} = r \cdot f_{FC} = 0.36373 \cdot 10^{-15} \cdot 1.65 = 0.6001545 \cdot 10^{-15} \text{ m}$$

- $$D_{FE}^2 = [-r \cdot \cos(3\omega t) + r \cdot \cos(\omega t)]^2 + \left[-\frac{r}{2} \cdot \sin(3\omega t) + z_4 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{r}{2} - r \cdot \sin(\omega t) \right]^2 + \left[r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(3\omega t) + \frac{z_4}{2} + r \frac{\sqrt{3}}{2} + \Delta + z_0 - z \right]^2$$

$$D_{FE} = \frac{r}{2} \sqrt{4[-\cos(3\omega t) + \cos(\omega t)]^2 + [-\sin(3\omega t) + 1 - 2 \cdot \sin(\omega t)]^2 + 3[1 + \sin(3\omega t)]^2}$$

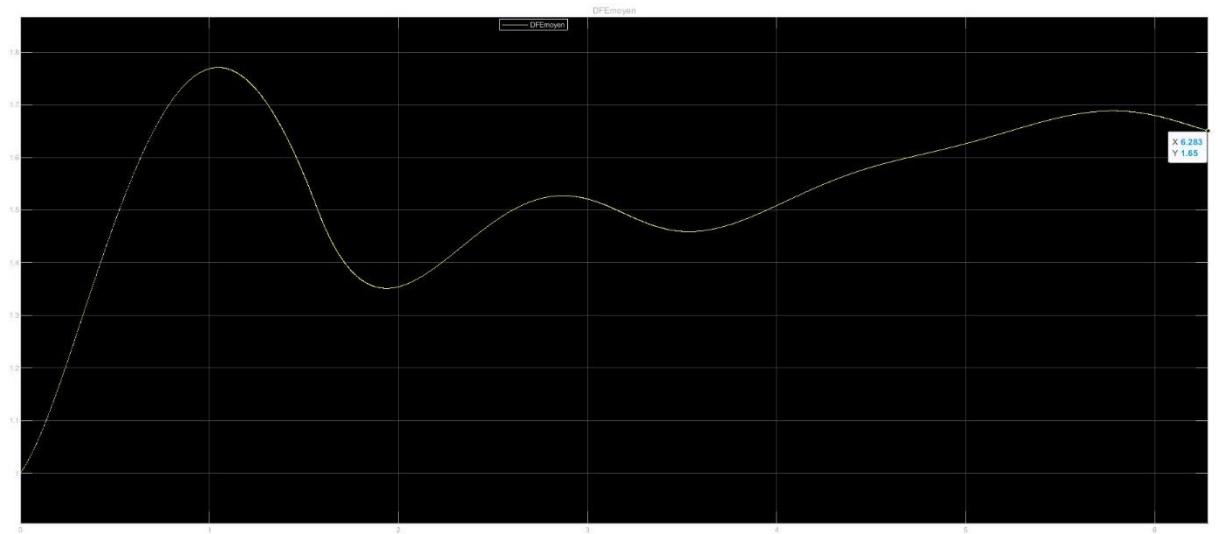


Figure 30 - Moyenne distance FE

$$D_{FE} = r \cdot f_{FE} = 0.36373 \cdot 10^{-15} \cdot 1.65 = 0.6001545 \cdot 10^{-15} \text{ m}$$

(Fichier : Courbe_distance_D_FE.slx)

- $$D_{HA} = r \cdot f_{HA} = 0.36373 \cdot 10^{-15} \cdot 1.65 = 0.6001545 \cdot 10^{-15} \text{ m}$$
- $$D_{HI} = r \cdot f_{HI} = 0.36373 \cdot 10^{-15} \cdot 1.65 = 0.6001545 \cdot 10^{-15} \text{ m}$$

- $$D_{H\Gamma}^2 = \left[\frac{r}{2} \cdot \cos(\omega t) - \frac{3}{4}r \cdot \sin(\omega t) + z_6 \frac{\sqrt{3}}{4} + \Delta_6 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{3r}{4} - \frac{r}{2} \cdot \cos(3\omega t) + z_3 \frac{\sqrt{3}}{2} \right]^2 + \left[-\frac{r}{2} \cdot \sin(\omega t) - z_6 \frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{r}{2} - r \cdot \sin(3\omega t) \right]^2 + \left[r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \cos(\omega t) + r \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot \sin(\omega t) - \frac{z_6}{4} - r \frac{\sqrt{3}}{4} - \frac{\Delta_6}{2} - r \frac{\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) - \frac{z_3}{2} \right]^2$$

$$\frac{D_{H\Gamma}^2}{r^2} = \left[\frac{1}{2} \cdot \cos(\omega t) - \frac{3}{4} \cdot \sin(\omega t) + \frac{3}{4} - \frac{1}{2} \cdot \cos(3\omega t) \right]^2 + \left[\frac{1}{2} \cdot \sin(\omega t) + \frac{1}{2} + \sin(3\omega t) \right]^2 + \left[\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \cos(\omega t) + \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot \sin(\omega t) - \frac{\sqrt{3}}{4} - \frac{\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) \right]^2$$

$$\frac{4 \cdot D_{H\Gamma}^2}{r^2} = \left[\frac{3}{2} + \cos(\omega t) - \frac{3}{2} \cdot \sin(\omega t) - \cos(3\omega t) \right]^2 + [\sin(\omega t) + 1 + 2 \cdot \sin(3\omega t)]^2 + 3 \left[\cos(\omega t) + \frac{1}{2} \cdot \sin(\omega t) - \frac{1}{2} - \cos(3\omega t) \right]^2$$

$$\frac{4^2 \cdot D_{H\Gamma}^2}{r^2} = [3 + 2\cos(\omega t) - 3 \cdot \sin(\omega t) - 2 \cdot \cos(3\omega t)]^2 + [2 \cdot \sin(\omega t) + 2 + 4 \cdot \sin(3\omega t)]^2 + 3[2 \cdot \cos(\omega t) + \sin(\omega t) - 1 - 2 \cdot \cos(3\omega t)]^2$$

Tracer la courbe à l'aide de Simulink (fichier : Courbe_distance_D_Hgamma.slx)

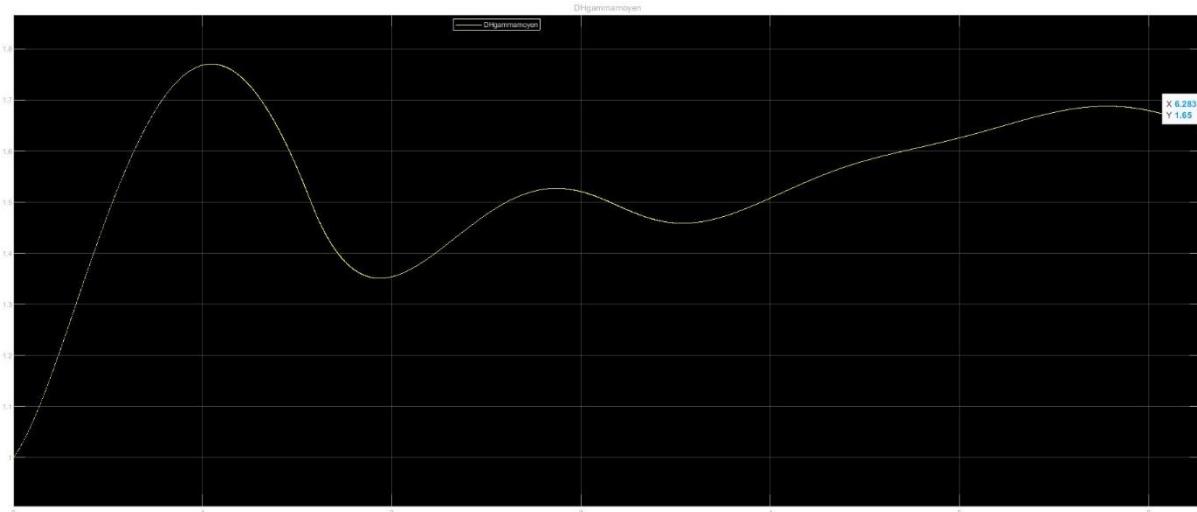


Figure 31 - Moyenne distance $H\Gamma$

$$D_{H\Gamma} = r \cdot f_{H\Gamma} = 0.36373 \cdot 10^{-15} \cdot 1.65 = 0.6001545 \cdot 10^{-15} \text{ m}$$

- $$D_{H\Omega}^2 = \left[\frac{r}{2} \cdot \cos(\omega t) + \frac{3}{4}r \cdot \sin(\omega t) + z_6 \frac{\sqrt{3}}{4} + \Delta_6 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{3r}{4} - \frac{r}{2} \cdot \cos(3\omega t) + z_3 \frac{\sqrt{3}}{2} \right]^2 + \left[-\frac{r}{2} \cdot \sin(\omega t) + z_6 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{r}{2} - r \cdot \sin(3\omega t) \right]^2 + \left[-r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \cos(\omega t) + r \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot \sin(\omega t) + \frac{z_6}{4} + r \frac{\sqrt{3}}{4} + \frac{\Delta_6}{2} + r \frac{\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) + \frac{z_3}{2} \right]^2$$

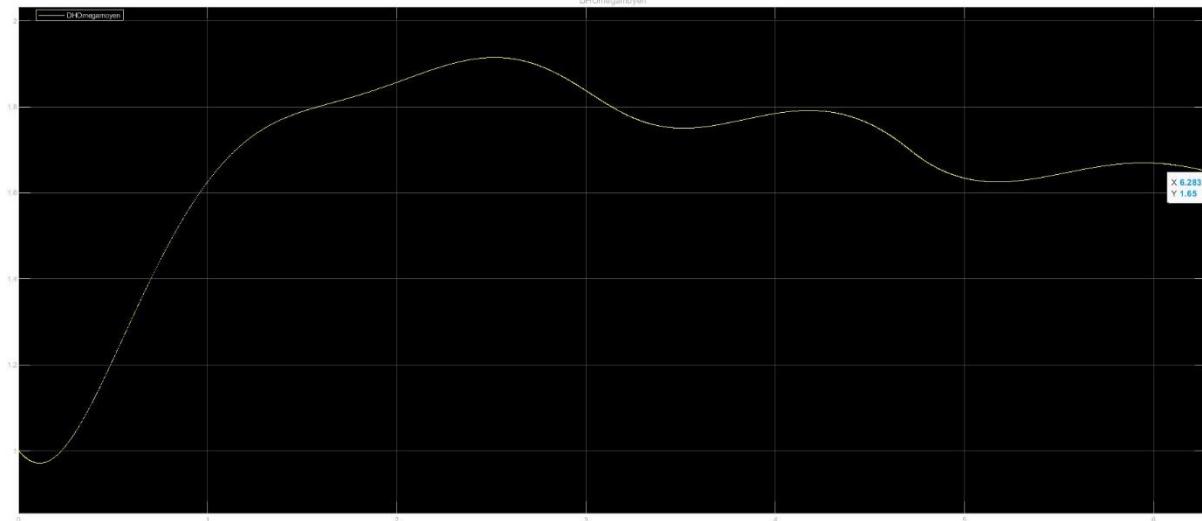
$$D_{H\Omega}^2 = \left[\frac{r}{2} \cdot \cos(\omega t) + \frac{3}{4}r \cdot \sin(\omega t) + \frac{3r}{4} - \frac{r}{2} \cdot \cos(3\omega t) \right]^2 + \left[-\frac{r}{2} \cdot \sin(\omega t) + \frac{r}{2} - r \cdot \sin(3\omega t) \right]^2 + \left[-r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \cos(\omega t) + r \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot \sin(\omega t) + r \frac{\sqrt{3}}{4} + r \frac{\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) \right]^2$$

$$\frac{4}{r^2} D_{H\Omega}^2 = \left[\cos(\omega t) + \frac{3}{2} \cdot \sin(\omega t) + \frac{3}{2} - \cos(3\omega t) \right]^2 + [-\sin(\omega t) + 1 - 2 \cdot \sin(3\omega t)]^2$$

$$+ 3 \left[-\cos(\omega t) + \frac{1}{2} \cdot \sin(\omega t) + \frac{1}{2} + \cos(3\omega t) \right]^2$$

$$\frac{4}{r^2} D_{H\Omega}^2 = [3 + 2 \cdot \cos(\omega t) + 3 \cdot \sin(\omega t) - 2 \cdot \cos(3\omega t)]^2 + [2 - 2 \cdot \sin(\omega t) - 4 \cdot \sin(3\omega t)]^2$$

$$+ 3[\sin(\omega t) - 2 \cdot \cos(\omega t) + 1 + 2 \cdot \cos(3\omega t)]^2$$

Figure 32 - Moyenne distance $H\Omega$

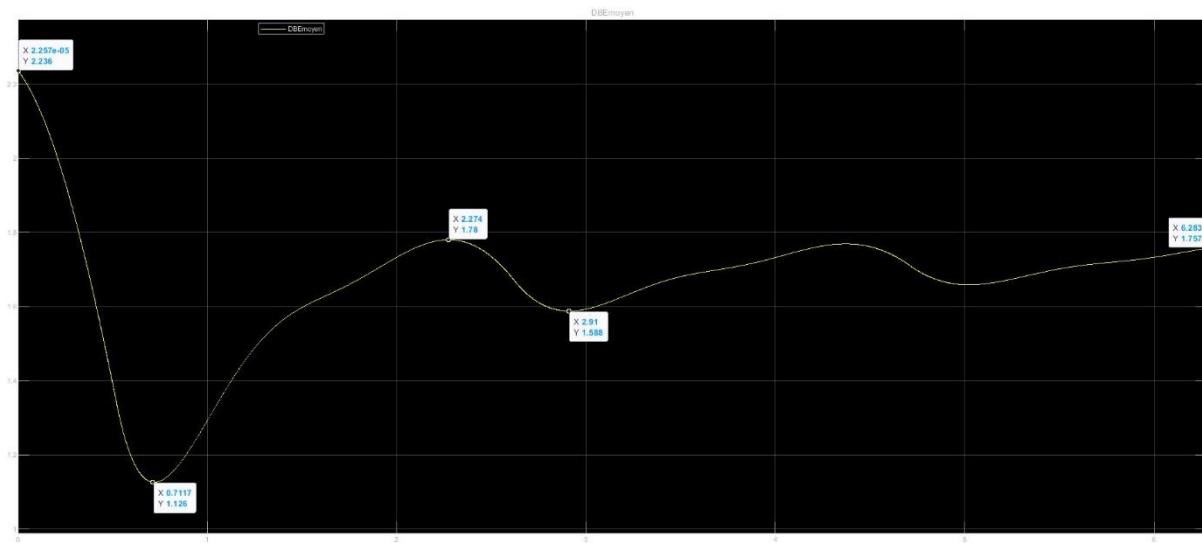
$$D_{H\Omega} = r \cdot f_{H\Omega} = 0.36373 \cdot 10^{-15} \cdot 1.65 = 0.6001545 \cdot 10^{-15} \text{ m}$$

(Fichier : Courbe_distance_D_HOmega.slx)

- $D_{BE}^2 = [2r \cdot \cos(3\omega t)]^2 + [-r \cdot \sin(3\omega t) + z_4 \sqrt{3} + r]^2$

$Z_4 = 0$

$$D_{BE} = r \cdot \sqrt{[2 \cdot \cos(3\omega t)]^2 + [1 - \sin(3\omega t)]^2}$$

Figure 33 - Moyenne distance BE

$$D_{BE} = r \cdot f_{BE} = 0.36373 \cdot 10^{-15} \cdot 1.757 = 0.63907361 \cdot 10^{-15} \text{ m}$$

(Fichier : Courbe_distance_D_BE.slx)

- $D_{BA}^2 = [r \cdot \cos(\omega t) - r \cdot \cos(3\omega t)]^2 + \left[\frac{r}{2} - r \sin(\omega t) - \frac{r}{2} \cdot \sin(3\omega t) \right]^2 + \left[r \frac{\sqrt{3}}{2} + r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(3\omega t) \right]^2$
 $D_{BA}^2 = \frac{4}{r^2} = 4[\cos(\omega t) - \cos(3\omega t)]^2 + [1 - 2 \sin(\omega t) - \sin(3\omega t)]^2 + 3[1 + \sin(3\omega t)]^2$

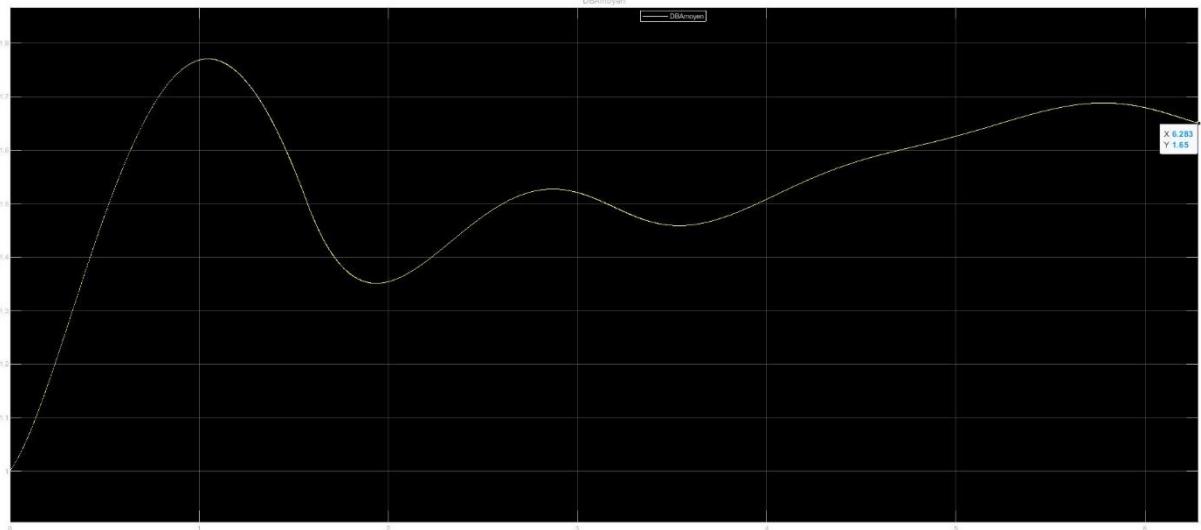


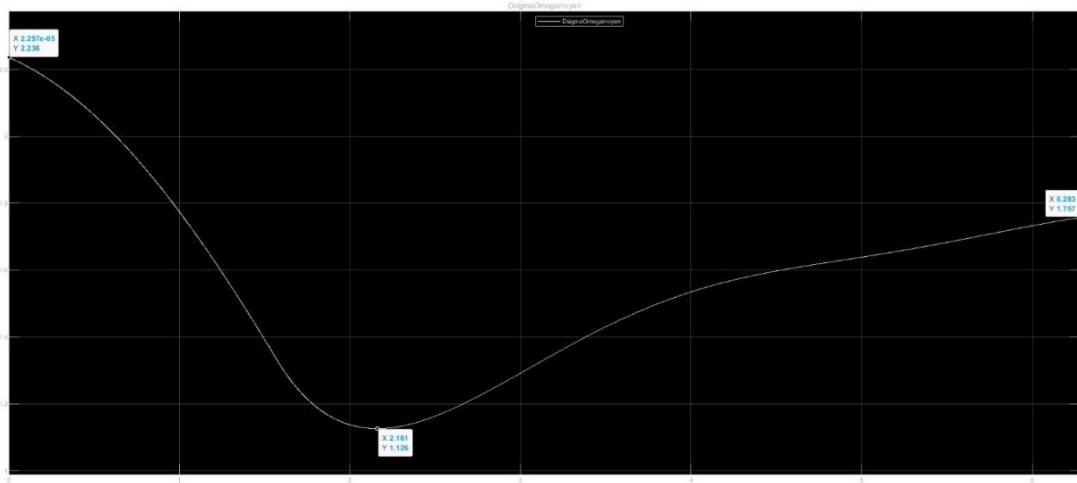
Figure 34 - Moyenne distance BA

$$D_{BA} = r \cdot f_{BA} = 0.36373 \cdot 10^{-15} \cdot 1.65 = 0.6001545 \cdot 10^{-15} \text{ m}$$

(Fichier : Courbe_distance_D_BA.slx)

- $D_{\Sigma\Omega}^2 = [r \cdot \cos(\omega t)]^2 + [-r \cdot \sin(\omega t) + z_6 \sqrt{3} + r]^2 + [r \sqrt{3} \cdot \cos(\omega t)]^2$
 $Z_6 = 0$

$$D_{\Sigma\Omega} = r \cdot \sqrt{[\cos(\omega t)]^2 + [1 - \sin(\omega t)]^2 + 3[\cos(\omega t)]^2}$$

Figure 35 - Moyenne distance $\Sigma\Omega$

$$D_{\Sigma\Omega} = r \cdot f_{\Sigma\Omega} = 0.36373 \cdot 10^{-15} \cdot 1.757 = 0.63907361 \cdot 10^{-15} \text{ m}$$

(Fichier : Courbe_distance_D_SigmaOmega.slx)

- $$D_{\Sigma G}^2 \frac{1}{r^2} = \left[\frac{1}{2} \cdot \cos(\omega t) - \frac{1}{2} \cdot \cos(3\omega t) - \frac{3}{4} \cdot \sin(\omega t) - \frac{3}{4} \right]^2 + \left[\frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cdot \sin(\omega t) - \sin(3\omega t) \right]^2 + \left[\frac{\sqrt{3}}{4} + \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \cos(\omega t) + \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot \sin(\omega t) - \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \cos(3\omega t) \right]^2$$

$$Z_6 = Z_3 = \Delta_6 = 0$$

$$D_{\Sigma G}^2 \frac{4^2}{r^2} = [2 \cdot \cos(\omega t) - 2 \cdot \cos(3\omega t) - 3 \cdot \sin(\omega t) - 3]^2 + [2 - 2 \cdot \sin(\omega t) - 4 \cdot \sin(3\omega t)]^2 + 3[1 + 2 \cdot \cos(\omega t) + \sin(\omega t) - 2 \cdot \cos(3\omega t)]^2$$

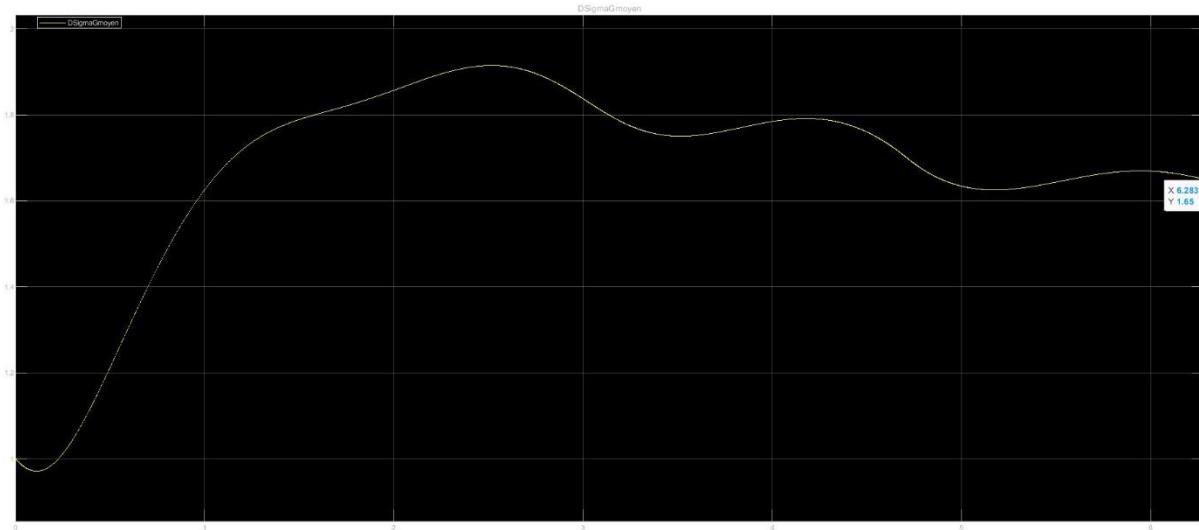


Figure 36 - Moyenne distance ΣG

$$D_{\Sigma G} = r * f_{\Sigma G} = 0.36373 * 10^{-15} * 1.65 = 0.6001545 * 10^{-15} \text{ m}$$

(Fichier : Courbe_distance_D_SigmaG.slx)

La masse globale de l'électrinette F devient :

$$\underline{m}_{F\#} = \underline{m}_F + \frac{k_e e^2}{2c^2 \underline{m}_{ref}^2} \cdot \left(\frac{\underline{m}_{F0} \underline{m}_{I0}}{D_{FI}} + \frac{\underline{m}_{F0} \underline{m}_{G0}}{D_{FG}} + \frac{\underline{m}_{F0} \underline{m}_{C0}}{D_{FC}} + \frac{\underline{m}_{F0} \underline{m}_{E0}}{D_{FE}} \right)$$

Avec la vitesse orbitale des charginettes très inférieure à c , $\underline{m}_F = \underline{m}_{F0}$. Donc on a :

$$\underline{m}_{F\#} = \underline{m}_{F0} + \frac{k_e e^2 \underline{m}_{F0}}{2c^2 \underline{m}_{ref}^2} \cdot \left(\frac{\underline{m}_{F0}}{D_{FI}} + \frac{\underline{m}_{H0}}{D_{FG}} + \frac{\underline{m}_{H0}}{D_{FC}} + \frac{\underline{m}_{H0}}{D_{FE}} \right)$$

$$\underline{m}_{F\#} = \underline{m}_{F0} + \frac{k_e e^2 \underline{m}_{F0}}{2c^2 \underline{m}_{ref}^2 \cdot r} \cdot \left(\frac{\underline{m}_{F0}}{f_{FI}} + \frac{\underline{m}_{H0}}{f_{FG}} + \frac{\underline{m}_{H0}}{f_{FC}} + \frac{\underline{m}_{H0}}{f_{FE}} \right)$$

Par symétrie, $\underline{m}_{A\#} = \underline{m}_{I\#} = \underline{m}_{J\#} = \underline{m}_{F\#}$.

La masse globale de l'électrinette H s'exprime par la formule suivante :

$$\underline{m}_{H\#} = \underline{m}_H + \frac{1}{2c^2} \cdot (E_{eHA} + E_{eHI} + E_{eH\Gamma} + E_{eH\Omega})$$

Où :

- $\underline{m}_{H\#}$: représente la masse inerte globale de l'électrinette H.
- \underline{m}_H : est la charge neutre de l'électrinette H
- $E_{eH\#}$: est l'énergie potentielle électrique entre l'électrinette H et l'électrinette p. Avec p = A, I, Γ ou Ω.

$$\underline{m}_{H\#} = \underline{m}_H + \frac{k_e e^2}{2c^2 \underline{m}_{ref}^2} \cdot \left(\frac{\underline{m}_{H0} \underline{m}_{A0}}{D_{HA}} + \frac{\underline{m}_{H0} \underline{m}_{I0}}{D_{HI}} + \frac{\underline{m}_{H0} \underline{m}_{\Gamma}}{D_{H\Gamma}} + \frac{\underline{m}_{H0} \underline{m}_{\Omega}}{D_{H\Omega}} \right)$$

$$\underline{m}_{H\#} = \underline{m}_{H0} + \frac{k_e e^2 \underline{m}_{H0}}{2c^2 \underline{m}_{ref}^2 \cdot r} \cdot \left(\frac{\underline{m}_{F0}}{f_{HA}} + \frac{\underline{m}_{F0}}{f_{HI}} + \frac{\underline{m}_{F0}}{f_{H\Gamma}} + \frac{\underline{m}_{F0}}{f_{H\Omega}} \right)$$

$$\underline{m}_{H\#} = \underline{m}_{H0} + \frac{k_e e^2 \underline{m}_{H0} \cdot \underline{m}_{F0}}{2c^2 \underline{m}_{ref}^2 \cdot r} \cdot \left(\frac{1}{f_{HA}} + \frac{1}{f_{HI}} + \frac{1}{f_{H\Gamma}} + \frac{1}{f_{H\Omega}} \right)$$

Par symétrie, $\underline{m}_{G\#} = \underline{m}_{H\#}$.

La masse globale de l'électrinette B s'exprime par la formule suivante :

$$\underline{m}_{B\#} = \underline{m}_B + \frac{1}{2c^2} \cdot (E_{eBA} + E_{eBE})$$

Où :

- $\underline{m}_{B\#}$: représente la masse inerte globale de l'électrinette B.
- \underline{m}_B : est la charge neutre de l'électrinette B
- $E_{eB\#}$: est l'énergie potentielle électrique entre l'électrinette B et l'électrinette p ayant un signe opposé à celui de l'électrinette B. En plus, la distance entre les électrinettes B et p varie entre 0 et $d > 0$. Avec p = A ou E.

$$\underline{m}_{B\#} = \underline{m}_B + \frac{k_e e^2}{2c^2 \underline{m}_{ref}^2} \cdot \left(\frac{\underline{m}_{B0} \underline{m}_{F0}}{D_{BA}} + \frac{\underline{m}_{B0} \underline{m}_{E0}}{D_{BE}} \right)$$

$$\underline{m}_{B\#} = \underline{m}_{H0} + \frac{k_e e^2 \underline{m}_{H0}}{2c^2 \underline{m}_{ref}^2 \cdot r} \cdot \left(\frac{\underline{m}_{F0}}{f_{BA}} + \frac{\underline{m}_{H0}}{f_{BE}} \right)$$

Par symétrie, $\underline{m}_{C\#} = \underline{m}_{D\#} = \underline{m}_{E\#} = \underline{m}_{O\#} = \underline{m}_{\Psi\#} = \underline{m}_{\Pi\#} = \underline{m}_{\Lambda\#} = \underline{m}_{B\#}$.

La masse globale de l'électrinette Σ s'exprime par la formule suivante :

$$\underline{m}_{\Sigma\#} = \underline{m}_\Sigma + \frac{1}{2c^2} \cdot (E_{e\Sigma G} + E_{e\Sigma \Omega})$$

Où :

- $\text{m}_{\Sigma\#}$: représente la masse inerte globale de l'électrinette Σ .
- m_{Σ} : est la charge neutre de l'électrinette Σ
- $E_{e\Sigma p}$: est l'énergie potentielle électrique entre l'électrinette Σ et l'électrinette p ayant un signe opposé à celui de l'électrinette Σ . En plus, la distance entre les électrinettes Σ et p varie entre 0 et $d > 0$. Avec $p = G$ ou Ω .

$$\text{m}_{\Sigma\#} = \text{m}_{\Sigma} + \frac{k_e e^2}{2c^2 \text{m}_{ref}^2} \cdot \left(\frac{\text{m}_{\Sigma 0} \text{m}_{G 0}}{D_{\Sigma G}} + \frac{\text{m}_{\Sigma 0} \text{m}_{\Omega 0}}{D_{\Sigma \Omega}} \right)$$

$$\text{m}_{\Sigma\#} = \text{m}_{F0} + \frac{k_e e^2 \text{m}_{F0}}{2c^2 \text{m}_{ref}^2 \cdot r} \cdot \left(\frac{\text{m}_{H0}}{f_{\Sigma G}} + \frac{\text{m}_{F0}}{f_{\Sigma \Omega}} \right)$$

Par symétrie, $\text{m}_{F\#} = \text{m}_{\Omega\#} = \text{m}_{\Phi\#} = \text{m}_{\Sigma\#}$.

La masse globale de la nucléonette est :

$$\text{m}_{nucl} = \sum_{p=1}^{18} \text{m}_{p\#}$$

$$\text{m}_{nucl} = 4 \cdot \text{m}_{F\#} + 2 \cdot \text{m}_{H\#} + 8 \cdot \text{m}_{B\#} + 4 \cdot \text{m}_{\Sigma\#}$$

$$\begin{aligned} \text{m}_{nucl} = 4 \cdot \text{m}_{F0} + \frac{2k_e e^2 \text{m}_{F0}}{c^2 \text{m}_{ref}^2 \cdot r} \cdot \left(\frac{\text{m}_{F0}}{f_{FI}} + \frac{\text{m}_{H0}}{f_{FG}} + \frac{\text{m}_{H0}}{f_{FC}} + \frac{\text{m}_{H0}}{f_{FE}} \right) + 2 \cdot \text{m}_{H0} + \frac{k_e e^2 \text{m}_{H0} \cdot \text{m}_{F0}}{c^2 \text{m}_{ref}^2 \cdot r} \\ \cdot \left(\frac{1}{f_{HA}} + \frac{1}{f_{HI}} + \frac{1}{f_{H\Gamma}} + \frac{1}{f_{H\Omega}} \right) + 8 \cdot \text{m}_{H0} + \frac{4k_e e^2 \text{m}_{H0}}{c^2 \text{m}_{ref}^2 \cdot r} \cdot \left(\frac{\text{m}_{F0}}{f_{BA}} + \frac{\text{m}_{H0}}{f_{BE}} \right) + 4 \cdot \text{m}_{F0} \\ + \frac{2k_e e^2 \text{m}_{F0}}{c^2 \text{m}_{ref}^2 \cdot r} \cdot \left(\frac{\text{m}_{H0}}{f_{\Sigma G}} + \frac{\text{m}_{F0}}{f_{\Sigma \Omega}} \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{m}_{nucl} = 8 \cdot \text{m}_{F0} + \frac{2k_e e^2 \text{m}_{F0}}{c^2 \text{m}_{ref}^2 \cdot r} \cdot \left(\frac{\text{m}_{F0}}{f_{FI}} + \frac{\text{m}_{H0}}{f_{FG}} + \frac{\text{m}_{H0}}{f_{FC}} + \frac{\text{m}_{H0}}{f_{FE}} + \frac{\text{m}_{H0}}{f_{\Sigma G}} + \frac{\text{m}_{F0}}{f_{\Sigma \Omega}} \right) + 10 \cdot \text{m}_{H0} \\ + \frac{k_e e^2 \text{m}_{H0}}{c^2 \text{m}_{ref}^2 \cdot r} \cdot \left(\frac{\text{m}_{F0}}{f_{HA}} + \frac{\text{m}_{F0}}{f_{HI}} + \frac{\text{m}_{F0}}{f_{H\Gamma}} + \frac{\text{m}_{F0}}{f_{H\Omega}} + \frac{4 \text{m}_{F0}}{f_{BA}} + \frac{4 \text{m}_{H0}}{f_{BE}} \right) \end{aligned}$$

La masse de la nucléonette est égale à la masse du neutron – la masse de 2 positrons et de 2 électrons :

$$\text{m}_{nucl} = \text{m}_{n0} - 4 \cdot \text{m}_{e+} = 939.5654 \text{ MeV} - 4 \cdot 511 \text{ KeV} = 937.5214 \text{ MeV}$$

Or :

$$r = \frac{k_e \text{m}_{F0} e^2}{4 \text{m}_{ref}^2} \cdot \left(\frac{k_n}{v_1^2} \right)$$

$$r = \frac{k_e \cdot \frac{e^2}{\text{申}_{H0}}}{\frac{4 \cdot \frac{e^2}{\text{申}_{ref}}}{\text{申}_{F0}}} \cdot \left[\frac{k_n}{(3v_1)^2} \right] = \frac{k_e \cdot \frac{e^2}{\text{申}_{H0}}}{\frac{4 \cdot \frac{e^2}{\text{申}_{ref}}}{\text{申}_{F0}}} \cdot \left[\frac{k_n}{(v_1)^2} \right]$$

En combinant les deux :

$$\frac{r}{\text{申}_{F0}} = \frac{9r}{\text{申}_{H0}}$$

$$\text{申}_{H0} = 9 \cdot \text{申}_{F0}$$

L'égalité précédente devient :

$$\begin{aligned} \text{申}_{nucl} &= 8 \cdot \text{申}_{F0} + \frac{2k_e e^2 \text{申}_{F0}}{c^2 \text{申}_{ref}^2 \cdot r} \cdot \left(\frac{\text{申}_{F0}}{f_{FI}} + \frac{9 \text{申}_{F0}}{f_{FG}} + \frac{9 \text{申}_{F0}}{f_{FC}} + \frac{9 \text{申}_{F0}}{f_{FE}} + \frac{9 \text{申}_{F0}}{f_{\Sigma G}} + \frac{\text{申}_{F0}}{f_{\Sigma \Omega}} \right) + 10 \cdot 9 \text{申}_{F0} \\ &\quad + \frac{9k_e e^2 \text{申}_{F0}}{c^2 \text{申}_{ref}^2 \cdot r} \cdot \left(\frac{\text{申}_{F0}}{f_{HA}} + \frac{\text{申}_{F0}}{f_{HI}} + \frac{\text{申}_{F0}}{f_{H\Gamma}} + \frac{\text{申}_{F0}}{f_{H\Omega}} + \frac{4 \text{申}_{F0}}{f_{BA}} + \frac{4 \cdot 9 \text{申}_{F0}}{f_{BE}} \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{申}_{nucl} &= 98 \text{申}_{F0} + \frac{k_e e^2 \text{申}_{F0}^2}{c^2 \text{申}_{ref}^2 \cdot r} \\ &\quad \cdot \left[\left(\frac{2}{f_{FI}} + \frac{18}{f_{FG}} + \frac{18}{f_{FC}} + \frac{18}{f_{FE}} + \frac{18}{f_{\Sigma G}} + \frac{2}{f_{\Sigma \Omega}} \right) + \left(\frac{9}{f_{HA}} + \frac{9}{f_{HI}} + \frac{9}{f_{H\Gamma}} + \frac{9}{f_{H\Omega}} + \frac{36}{f_{BA}} + \frac{324}{f_{BE}} \right) \right] \end{aligned}$$

On a une équation du second degré par rapport à 申_{F0} .

$$a = \frac{k_e e^2}{c^2 \text{申}_{ref}^2 \cdot r} \left[\frac{2}{f_{FI}} + \frac{18}{f_{FG}} + \frac{18}{f_{FC}} + \frac{18}{f_{FE}} + \frac{18}{f_{\Sigma G}} + \frac{2}{f_{\Sigma \Omega}} + \frac{9}{f_{HA}} + \frac{9}{f_{HI}} + \frac{9}{f_{H\Gamma}} + \frac{9}{f_{H\Omega}} + \frac{36}{f_{BA}} + \frac{324}{f_{BE}} \right]$$

$$b = 98$$

$$c_s = -\text{申}_{nucl} = -\text{申}_{nucl} \cdot \frac{e}{c^2} = -\frac{937.521 \cdot 1.602177 \cdot 10^6 \cdot 10^{-19}}{2.997525^2 \cdot 10^{16}} = -1,671729687 \cdot 10^{-27} \cdot kg$$

$$[\Sigma_f] = \frac{2}{1.757} + \frac{18}{1.65} + \frac{18}{1.65} + \frac{18}{1.65} + \frac{18}{1.65} + \frac{2}{1.757} + \frac{9}{1.65} + \frac{9}{1.65} + \frac{9}{1.65} + \frac{36}{1.65} + \frac{324}{1.757}$$

$$[\Sigma_f] = \frac{2 + 2 + 324}{1.757} + \frac{18 \cdot 4 + 9 \cdot 4 + 36}{1.65}$$

$$[\Sigma_f] = \frac{328}{1.757} + \frac{144}{1.65}$$

$$[\Sigma_f] = 273,954571325$$

$$\frac{a_n}{a_d} = \frac{8.987552 \cdot 1.602177^2 \cdot 10^9 \cdot 10^{-38}}{2.997525^2 \cdot 9.109382^2 \cdot 0.36373 \cdot 10^{16} \cdot 10^{-62} \cdot 10^{-15}} = 8,5070664 \cdot 10^{30}$$

$$a = \frac{a_n}{a_d} [\Sigma_f] = 8,5070664 \cdot 10^{30} \cdot 273,954571325 = 2,330\,549\,728\,846 \cdot 10^{33}$$

$$\text{申}_{F0} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2 \cdot a} = \frac{-98 \pm \sqrt{98^2 + 4 \cdot 2.330549729 \cdot 10^{33} \cdot 1,671729687 \cdot 10^{-27}}}{2 \cdot 2.330549729 \cdot 10^{33}}$$

$$\text{M}_{F0} = \frac{-98 \pm 3948.898667}{4.6610994577 \cdot 10^{33}} = 8,2617818 \cdot 10^{-31} \text{kg}$$

$$\text{M}_{H0} = 9 \cdot \text{M}_{F0} = 7,4356036198 \cdot 10^{-30} \text{kg}$$

$$v_1^2 = \frac{k_e \text{M}_{F0} e^2}{4 \text{M}_{ref}^2} \cdot \left(\frac{k_n}{r} \right) = \frac{8.987552 \cdot 8,2617818 \cdot 1.602177^2 \cdot 10^9 10^{-31} 10^{-38}}{4 \cdot 9.109382^2 \cdot 10^{-62}} \cdot \frac{10^{-11+15}}{0.36373}$$

$$v_1^2 = 1,578771143 \cdot 10^6$$

$$v_1 = 1,256491601 \cdot 10^3 \text{m/s}$$

$$v_3 = 3,769474803 \cdot 10^3 \text{m/s}$$

Déterminer la vitesse angulaire :

$$\omega_1 = \frac{v_1}{r} = \frac{1,256491601 \cdot 10^3}{0.36373 \cdot 10^{-15}} = 3.454462379 \cdot 10^{-5} \text{radian/s}$$

$$\omega_{1x} = 3.454462379 \cdot 10^{-5}$$

$$T_1 = \frac{2\pi r}{v_1} = 1.81886054 \cdot 10^5 \cdot 10^{-23} \text{s}$$

$$\text{M}_{F\#} = \text{M}_{F0} + \frac{a_n}{a_d} \cdot \frac{\text{M}_{F0}}{2} \cdot \left(\frac{\text{M}_{F0}}{f_{FI}} + \frac{\text{M}_{H0}}{f_{FG}} + \frac{\text{M}_{H0}}{f_{FC}} + \frac{\text{M}_{H0}}{f_{FE}} \right)$$

$$\text{M}_{F\#} \cdot 10^{31} = 8,2617818 + 0,850707 \cdot \frac{8,2617818}{2} \cdot \left(\frac{8,2617818}{1.757} + \frac{74,356036198}{1.65} + \frac{74,356036198}{1.65} + \frac{74,356036198}{1.65} \right)$$

$$\text{M}_{F\#} \cdot 10^{31} = 499,877694321$$

$$\text{M}_{F\#} = 499,877694321 \cdot 10^{-31} \text{kg}$$

$$2 \text{M}_{F\#} = 999,755388642 \cdot 10^{-31} \text{kg}$$

$$\text{M}_{H\#} = \text{M}_{H0} + \frac{a_n}{a_d} \cdot \frac{\text{M}_{H0} \cdot \text{M}_{F0}}{2} \cdot \left(\frac{1}{f_{HA}} + \frac{1}{f_{HI}} + \frac{1}{f_{H\Gamma}} + \frac{1}{f_{H\Omega}} \right)$$

$$\text{M}_{H\#} \cdot 10^{31} = 74,356036198 + 0,850707 \cdot \frac{74,356036198 \cdot 8,2617818}{2} \cdot \left(\frac{1}{1.65} + \frac{1}{1.65} + \frac{1}{1.65} + \frac{1}{1.65} \right)$$

$$\text{M}_{H\#} = 707,811386658 \cdot 10^{-31} \text{kg}$$

$$\text{M}_{B\#} = \text{M}_{H0} + \frac{a_n}{a_d} \cdot \frac{\text{M}_{H0}}{2} \cdot \left(\frac{\text{M}_{F0}}{f_{BA}} + \frac{\text{M}_{H0}}{f_{BE}} \right)$$

$$\text{中}_{B\#} \cdot 10^{31} = 74,356036198 + 0,850707 \cdot \frac{74,356036198}{2} \cdot \left(\frac{8,2617818}{1.65} + \frac{74,356036198}{1.757} \right)$$

$$\text{中}_{B\#} = 1571,169247473 \cdot 10^{-31} \text{kg}$$

$$2 \text{中}_{B\#} = 3142,392494946 \cdot 10^{-31} \text{kg}$$

$$\text{中}_{\Sigma\#} = \text{中}_{F0} + \frac{a_n}{a_d} \cdot \frac{\text{中}_{F0}}{2} \cdot \left(\frac{\text{中}_{H0}}{f_{\Sigma G}} + \frac{\text{中}_{F0}}{f_{\Sigma \Omega}} \right)$$

$$\text{中}_{\Sigma\#} \cdot 10^{31} = 8,2617818 + 0,850707 \cdot \frac{8,2617818}{2} \cdot \left(\frac{74,356036198}{1.65} + \frac{8,2617818}{1.757} \right)$$

$$\text{中}_{\Sigma\#} = 183,150019091 \cdot 10^{-31} \text{kg}$$

$$2 \text{中}_{\Sigma\#} = 366.300038182 \cdot 10^{-31} \text{kg}$$

Vérification :

$$\text{中}_{nucl} = 4 \text{中}_{F\#} + 2 \text{中}_{H\#} + 8 \text{中}_{B\#} + 4 \text{中}_{\Sigma\#}$$

$$\text{中}_{nucl} = 4 \cdot 499,878 + 2 \cdot 707,811 + 8 \cdot 1571,196 + 4 \cdot 183,150 = 16717.304 \cdot 10^{-31} \text{kg}$$

Cette valeur correspond bien à la masse neutron – la masse de 4 électrinettes

$$= 1.675 \cdot 10^{-27} - 4 \cdot 9.110 \cdot 10^{-31} = 16713.56 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

4.8.4.4 Déterminer les interactions électriques entre les électrinettes

Les forces électriques subies par l'électrinette F de premier rang sont les suivantes :

- $\vec{F}_{FI} = \frac{k_{nFI} \cdot k_{eFI} \cdot e^2 \cdot \vec{D}_{FI}}{D_{FI}^3}$
- $\vec{F}_{FJ} = \frac{k_{nFJ} \cdot k_{eFJ} \cdot e^2 \cdot \vec{D}_{FJ}}{D_{FJ}^3}$
- $\vec{F}_{FG} = \frac{k_{nFG} \cdot k_{eFG} \cdot e^2 \cdot \vec{D}_{FG}}{D_{FG}^3}$
- $\vec{F}_{FH} = \frac{k_{nFH} \cdot k_{eFH} \cdot e^2 \cdot \vec{D}_{FH}}{D_{FH}^3}$
- $\vec{F}_{FB} = \frac{k_{nFB} \cdot k_{eFB} \cdot e^2 \cdot \vec{D}_{FB}}{D_{FB}^3}$
- $\vec{F}_{FC} = \frac{k_{nFC} \cdot k_{eFC} \cdot e^2 \cdot \vec{D}_{FC}}{D_{FC}^3}$
- $\vec{F}_{FD} = \frac{k_{nFD} \cdot k_{eFD} \cdot e^2 \cdot \vec{D}_{FD}}{D_{FD}^3}$
- $\vec{F}_{FE} = \frac{k_{nFE} \cdot k_{eFE} \cdot e^2 \cdot \vec{D}_{FE}}{D_{FE}^3}$

Les forces électriques subies par l'électrinette F de deuxième rang sont les suivantes :

- $\vec{F}_{F\Sigma} = \frac{k_{nF\Sigma} \cdot k_{eF\Sigma} \cdot e^2 \cdot \vec{D}_{F\Sigma}}{D_{F\Sigma}^3}$

- $\overrightarrow{\text{力}}_{F\Gamma} = \frac{k_{nF\Gamma} \cdot k_{eF\Gamma} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{F\Gamma}}}{D_{F\Gamma}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}}_{F\Phi} = \frac{k_{nF\Phi} \cdot k_{eF\Phi} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{F\Phi}}}{D_{F\Phi}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}}_{F\Omega} = \frac{k_{nF\Omega} \cdot k_{eF\Omega} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{F\Omega}}}{D_{F\Omega}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}}_{F\Theta} = \frac{k_{nF\Theta} \cdot k_{eF\Theta} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{F\Theta}}}{D_{F\Theta}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}}_{F\Psi} = \frac{k_{nF\Psi} \cdot k_{eF\Psi} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{F\Psi}}}{D_{F\Psi}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}}_{F\Pi} = \frac{k_{nF\Pi} \cdot k_{eF\Pi} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{F\Pi}}}{D_{F\Pi}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}}_{F\Lambda} = \frac{k_{nF\Lambda} \cdot k_{eF\Lambda} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{F\Lambda}}}{D_{F\Lambda}^3}$

Les forces de deuxième rang sont négligeables car les électrinettes concernées sont derrières une charginette qui joue le rôle d'écran électrique.

Déterminer les coefficients :

$$k_{eF?} = k_e \frac{\text{中}_F}{\text{中}_{ref}} \cdot \frac{\text{中}_?}{\text{中}_{ref}}$$

$$k_{nF?} = 10^{-\frac{D_{F?}}{r} \cdot 100} + 10^{-21}$$

Avec ? = I, J, G, H, B, C, D, E.

Sachant que :

$$\text{中}_I = \text{中}_J = \text{中}_A = \text{中}_F$$

$$\text{中}_G = \text{中}_B = \text{中}_C = \text{中}_D = \text{中}_E = \text{中}_H$$

On a donc :

$$k_{eFI} = k_{eFJ} = k_{eFF} = k_e \frac{\text{中}_F^2}{\text{中}_{ref}^2} = 8.987552 \cdot 10^9 \cdot \frac{8,2617818^2}{9.109382^2} = 7.39283526 \cdot 10^9$$

$$k_{eFG} = k_{eFH} = k_{eFB} = k_{eFC} = k_{eFD} = k_{eFE}$$

$$k_{eFH} = k_e \frac{\text{中}_F \text{中}_H}{\text{中}_{ref}^2} = 9 \cdot k_{eFF} = 66.535517341 \cdot 10^9$$

Les forces électriques subies par l'électrinette A de premier rang sont les suivantes :

- $\overrightarrow{\text{力}}_{AI} = \frac{k_{nAI} \cdot k_{eAI} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{AI}}}{D_{AI}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}}_{AJ} = \frac{k_{nAJ} \cdot k_{eAJ} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{AJ}}}{D_{AJ}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}}_{AG} = \frac{k_{nAG} \cdot k_{eAG} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{AG}}}{D_{AG}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}}_{AH} = \frac{k_{nAH} \cdot k_{eAH} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{AH}}}{D_{AH}^3}$

- $\overrightarrow{\text{力}_{AB}} = \frac{k_{nAB} \cdot k_{eAB} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{AB}}}{D_{AB}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}_{AC}} = \frac{k_{nAC} \cdot k_{eAC} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{AC}}}{D_{AC}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}_{AD}} = \frac{k_{nAD} \cdot k_{eAD} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{AD}}}{D_{AD}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}_{AE}} = \frac{k_{nAE} \cdot k_{eAE} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{AE}}}{D_{AE}^3}$

Les forces électriques subies par l'électrinette A de deuxième rang sont les suivantes :

- $\overrightarrow{\text{力}_{A\Sigma}} = \frac{k_{nA\Sigma} \cdot k_{eA\Sigma} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{A\Sigma}}}{D_{A\Sigma}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}_{A\Gamma}} = \frac{k_{nA\Gamma} \cdot k_{eA\Gamma} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{A\Gamma}}}{D_{A\Gamma}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}_{A\Phi}} = \frac{k_{nA\Phi} \cdot k_{eA\Phi} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{A\Phi}}}{D_{A\Phi}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}_{A\Omega}} = \frac{k_{nA\Omega} \cdot k_{eA\Omega} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{A\Omega}}}{D_{A\Omega}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}_{A\Theta}} = \frac{k_{nA\Theta} \cdot k_{eA\Theta} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{A\Theta}}}{D_{A\Theta}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}_{A\Psi}} = \frac{k_{nA\Psi} \cdot k_{eA\Psi} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{A\Psi}}}{D_{A\Psi}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}_{A\Pi}} = \frac{k_{nA\Pi} \cdot k_{eA\Pi} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{A\Pi}}}{D_{A\Pi}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}_{A\Lambda}} = \frac{k_{nA\Lambda} \cdot k_{eA\Lambda} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{A\Lambda}}}{D_{A\Lambda}^3}$

Les forces de deuxième rang sont négligeables pour les mêmes raisons que précédemment.

Déterminer les coefficients :

$$k_{eA?} = k_e \frac{\text{中}_A}{\text{中}_{ref}} \cdot \frac{\text{中}_?}{\text{中}_{ref}}$$

$$k_{nA?} = 10^{-\frac{D_{A?}}{r} \cdot 100} + 10^{-21}$$

Avec ? = I, J, G, H, B, C, D, E.

Sachant que :

$$\text{中}_I = \text{中}_J = \text{中}_A = \text{中}_F$$

$$\text{中}_G = \text{中}_B = \text{中}_C = \text{中}_D = \text{中}_E = \text{中}_H$$

On a donc :

$$k_{eAI} = k_{eAJ} = k_{eFF} = k_e \frac{\text{中}_F^2}{\text{中}_{ref}^2} = 7.39283526 \cdot 10^9$$

$$k_{eAG} = k_{eAH} = k_{eAB} = k_{eAC} = k_{eAD} = k_{eAE} = k_{eFH} = 66,535517341 \cdot 10^9$$

Les forces électriques subies par l'électrinette H de premier rang sont les suivantes :

- $\overrightarrow{\text{力}_{HI}} = \frac{k_{nHI} \cdot k_{eHI} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{HI}}}{D_{HI}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}_{HJ}} = \frac{k_{nHJ} \cdot k_{eHJ} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{HJ}}}{D_{HJ}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}_{HA}} = \frac{k_{nHA} \cdot k_{eHA} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{HA}}}{D_{HA}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}_{HF}} = \frac{k_{nHF} \cdot k_{eHF} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{HF}}}{D_{HF}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}_{H\Gamma}} = \frac{k_{nH\Gamma} \cdot k_{eH\Gamma} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{H\Gamma}}}{D_{H\Gamma}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}_{H\Sigma}} = \frac{k_{nH\Sigma} \cdot k_{eH\Sigma} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{H\Sigma}}}{D_{H\Sigma}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}_{H\Omega}} = \frac{k_{nH\Omega} \cdot k_{eH\Omega} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{H\Omega}}}{D_{H\Omega}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}_{H\Phi}} = \frac{k_{nH\Phi} \cdot k_{eH\Phi} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{H\Phi}}}{D_{H\Phi}^3}$

Les forces électriques subies par l'électrinette H de deuxième rang sont les suivantes :

- $\overrightarrow{\text{力}_{HB}} = \frac{k_{nHB} \cdot k_{eHB} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{HB}}}{D_{HB}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}_{HC}} = \frac{k_{nHC} \cdot k_{eHC} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{HC}}}{D_{HC}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}_{HD}} = \frac{k_{nHD} \cdot k_{eHD} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{HD}}}{D_{HD}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}_{HE}} = \frac{k_{nHE} \cdot k_{eHE} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{HE}}}{D_{HE}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}_{H\Lambda}} = \frac{k_{nH\Lambda} \cdot k_{eH\Lambda} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{H\Lambda}}}{D_{H\Lambda}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}_{H\Pi}} = \frac{k_{nH\Pi} \cdot k_{eH\Pi} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{H\Pi}}}{D_{H\Pi}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}_{H\Psi}} = \frac{k_{nH\Psi} \cdot k_{eH\Psi} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{H\Psi}}}{D_{H\Psi}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}_{H\Theta}} = \frac{k_{nH\Theta} \cdot k_{eH\Theta} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{H\Theta}}}{D_{H\Theta}^3}$

Les forces de deuxième rang sont négligeables pour les mêmes raisons que précédemment.

Déterminer les coefficients :

$$k_{eH?} = k_e \frac{\text{中}_H}{\text{中}_{ref}} \cdot \frac{\text{中}_?}{\text{中}_{ref}}$$

$$k_{nH?} = 10^{-\frac{D_{H?}}{r} \cdot 100} + 10^{-21}$$

Avec ? = I, J, A, F, Γ , Σ , Ω , Φ .

Sachant que :

$$\text{中}_I = \text{中}_J = \text{中}_A = \text{中}_\Gamma = \text{中}_\Sigma = \text{中}_\Omega = \text{中}_\Phi = \text{中}_F$$

On a donc :

$$k_{eHI} = k_{eHJ} = k_{eHA} = k_{eH\Gamma} = k_{eH\Sigma} = k_{eH\Omega} = k_{eH\Phi} = k_{eHF} = k_{eFH}$$

Les forces électriques subies par l'électrinette B de premier rang sont les suivantes :

- $\overrightarrow{\text{力}}_{BF} = \frac{k_{nBF} \cdot k_{eBF} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{BF}}}{D_{BF}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}}_{BA} = \frac{k_{nBA} \cdot k_{eBA} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{BA}}}{D_{BA}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}}_{BD} = \frac{k_{nBD} \cdot k_{eBD} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{BD}}}{D_{BD}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}}_{BE} = \frac{k_{nBE} \cdot k_{eBE} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{BE}}}{D_{BE}^3}$

Les forces électriques subies par l'électrinette B de deuxième rang sont les suivantes :

- $\overrightarrow{\text{力}}_{BI} = \frac{k_{nBI} \cdot k_{eBI} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{BI}}}{D_{BI}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}}_{BJ} = \frac{k_{nBJ} \cdot k_{eBJ} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{BJ}}}{D_{BJ}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}}_{BG} = \frac{k_{nBG} \cdot k_{eBG} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{BG}}}{D_{BG}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}}_{BH} = \frac{k_{nBH} \cdot k_{eBH} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{BH}}}{D_{BH}^3}$

Les forces de deuxième rang ainsi que celles de troisième rang sont négligeables pour les mêmes raisons que précédemment.

Déterminer les coefficients :

$$k_{eB?} = k_e \frac{\text{中}_B}{\text{中}_{ref}} \cdot \frac{\text{中}_?}{\text{中}_{ref}}$$

$$k_{nB?} = 10^{-\frac{D_{B?}}{r} \cdot 100} + 10^{-21}$$

Avec ? = F, A, D, E.

Sachant que :

$$\text{中}_A = \text{中}_F$$

$$\text{中}_B = \text{中}_D = \text{中}_E = \text{中}_H$$

On a donc :

$$k_{eBA} = k_{eBF} = k_{eFH}$$

$$k_{eBD} = k_{eBE} = k_{eHH} = k_e \frac{\text{中}_H^2}{\text{中}_{ref}^2} = 9 \cdot k_{eFH} = 598,819656066 \cdot 10^9$$

Les forces électriques subies par l'électrinette C de premier rang sont les suivantes :

- $\overrightarrow{\text{力}}_{CF} = \frac{k_{nCF} \cdot k_{eCF} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{CF}}}{D_{CF}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}}_{CA} = \frac{k_{nCA} \cdot k_{eCA} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{CA}}}{D_{CA}^3}$

- $\overrightarrow{\text{力}}_{CD} = \frac{k_{nCD} \cdot k_{eCD} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{CD}}}{D_{CD}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}}_{CE} = \frac{k_{nCE} \cdot k_{eCE} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{CE}}}{D_{CE}^3}$

Les forces électriques subies par l'électrinette C de deuxième rang sont les suivantes :

- $\overrightarrow{\text{力}}_{CI} = \frac{k_{nCI} \cdot k_{eCI} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{CI}}}{D_{CI}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}}_{CJ} = \frac{k_{nCJ} \cdot k_{eCJ} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{CJ}}}{D_{CJ}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}}_{CG} = \frac{k_{nCG} \cdot k_{eCG} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{CG}}}{D_{CG}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}}_{CH} = \frac{k_{nCH} \cdot k_{eCH} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{CH}}}{D_{CH}^3}$

Les forces de deuxième rang ainsi que celles de troisième rang sont négligeables pour les mêmes raisons que précédemment.

Déterminer les coefficients :

$$k_{eC?} = k_e \frac{\text{中}_C}{\text{中}_{ref}} \cdot \frac{\text{中}_?}{\text{中}_{ref}}$$

$$k_{nC?} = 10^{-\frac{D_{C?}}{r} \cdot 100} + 10^{-21}$$

Avec ? = F, A, D, E.

Sachant que :

$$\text{中}_A = \text{中}_F$$

$$\text{中}_C = \text{中}_D = \text{中}_E = \text{中}_H$$

On a donc :

$$k_{eCA} = k_{eCF} = k_{eFH}$$

$$k_{eCD} = k_{eCE} = k_{eHH}$$

Les forces électriques subies par l'électrinette Σ de premier rang sont les suivantes :

- $\overrightarrow{\text{力}}_{\Sigma G} = \frac{k_{n\Sigma G} \cdot k_{e\Sigma G} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{\Sigma G}}}{D_{\Sigma G}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}}_{\Sigma H} = \frac{k_{n\Sigma H} \cdot k_{e\Sigma H} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{\Sigma H}}}{D_{\Sigma H}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}}_{\Sigma \Phi} = \frac{k_{n\Sigma \Phi} \cdot k_{e\Sigma \Phi} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{\Sigma \Phi}}}{D_{\Sigma \Phi}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}}_{\Sigma \Omega} = \frac{k_{n\Sigma \Omega} \cdot k_{e\Sigma \Omega} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{\Sigma \Omega}}}{D_{\Sigma \Omega}^3}$

Les forces électriques subies par l'électrinette Σ de deuxième rang sont les suivantes :

- $\overrightarrow{\text{力}}_{\Sigma F} = \frac{k_{n\Sigma F} \cdot k_{e\Sigma F} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{\Sigma F}}}{D_{\Sigma F}^3}$

- $\overrightarrow{\text{力}}_{\Sigma A} = \frac{k_{n\Sigma A} \cdot k_{e\Sigma A} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{\Sigma A}}}{D_{\Sigma A}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}}_{\Sigma I} = \frac{k_{n\Sigma I} \cdot k_{e\Sigma I} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{\Sigma I}}}{D_{\Sigma I}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}}_{\Sigma J} = \frac{k_{n\Sigma J} \cdot k_{e\Sigma J} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{\Sigma J}}}{D_{\Sigma J}^3}$

Les forces de deuxième rang ainsi que celles de troisième rang sont négligeables pour les mêmes raisons que précédemment.

Déterminer les coefficients :

$$k_{e\Sigma?} = k_e \frac{\text{中}_{\Sigma}}{\text{中}_{ref}} \cdot \frac{\text{中}_?}{\text{中}_{ref}}$$

$$k_{n\Sigma?} = 10^{-\frac{D_{\Sigma?}}{r} \cdot 100} + 10^{-21}$$

Avec ? = G, H, Φ, Ω.

Sachant que :

$$\text{中}_G = \text{中}_H$$

$$\text{中}_{\Phi} = \text{中}_{\Omega} = \text{中}_{\Sigma} = \text{中}_F$$

On a donc :

$$k_{e\Sigma G} = k_{e\Sigma H} = k_{eFH}$$

$$k_{e\Sigma \Omega} = k_{e\Sigma \Phi} = k_{eFF}$$

Les forces électriques subies par l'électrinette Γ de premier rang sont les suivantes :

- $\overrightarrow{\text{力}}_{\Gamma G} = \frac{k_{n\Gamma G} \cdot k_{e\Gamma G} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{\Gamma G}}}{D_{\Gamma G}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}}_{\Gamma H} = \frac{k_{n\Gamma H} \cdot k_{e\Gamma H} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{\Gamma H}}}{D_{\Gamma H}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}}_{\Gamma \Phi} = \frac{k_{n\Gamma \Phi} \cdot k_{e\Gamma \Phi} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{\Gamma \Phi}}}{D_{\Gamma \Phi}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}}_{\Gamma \Omega} = \frac{k_{n\Gamma \Omega} \cdot k_{e\Gamma \Omega} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{\Gamma \Omega}}}{D_{\Gamma \Omega}^3}$

Les forces électriques subies par l'électrinette Γ de deuxième rang sont les suivantes :

- $\overrightarrow{\text{力}}_{\Gamma F} = \frac{k_{n\Gamma F} \cdot k_{e\Gamma F} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{\Gamma F}}}{D_{\Gamma F}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}}_{\Gamma A} = \frac{k_{n\Gamma A} \cdot k_{e\Gamma A} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{\Gamma A}}}{D_{\Gamma A}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}}_{\Gamma I} = \frac{k_{n\Gamma I} \cdot k_{e\Gamma I} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{\Gamma I}}}{D_{\Gamma I}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}}_{\Gamma J} = \frac{k_{n\Gamma J} \cdot k_{e\Gamma J} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{\Gamma J}}}{D_{\Gamma J}^3}$

Les forces de deuxième rang ainsi que celles de troisième rang sont négligeables pour les mêmes raisons que précédemment.

Déterminer les coefficients :

$$k_{e\Gamma?} = k_e \frac{\text{中}_\Gamma}{\text{中}_{ref}} \cdot \frac{\text{中}_?}{\text{中}_{ref}}$$

$$k_{n\Gamma?} = 10^{-\frac{D_{\Gamma?}}{r} \cdot 100} + 10^{-21}$$

Avec ? = G, H, Φ, Ω.

Sachant que :

$$\text{中}_G = \text{中}_H$$

$$\text{中}_\Phi = \text{中}_\Omega = \text{中}_\Gamma = \text{中}_F$$

On a donc :

$$k_{e\Gamma G} = k_{e\Gamma H} = k_{eFH}$$

$$k_{e\Gamma\Omega} = k_{e\Gamma\Phi} = k_{eFF}$$

4.8.4.5 Etablir les équations dynamiques régissant chaque électrinette

Au sein de la nucléonette, on suppose que chaque charginette se déplace le long de son axe de symétrie. Il s'agit des axes suivants :

1. l'axe O₁Z₁ pour la charginette AF,
2. l'axe O₂Z₂ pour la charginette IJ,
3. l'axe O₃Z₃ pour la charginette GH.
4. l'axe O₄Z₄ pour la charginette BC
5. l'axe O₅Z₅ pour la charginette DE
6. l'axe O₆Z₆ pour la charginette Σ
7. l'axe O₇Z₇ pour la charginette ΦΩ
8. l'axe O₈Z₈ pour la charginette ΛΠ
9. l'axe O₉Z₉ pour la charginette ΘΨ

Par symétrie, les équations régissant les électrinettes se regroupent comme suit :

1. équation 1 : les électrinettes A, F, I et J obéissent à la première équation de masse $\text{中}_{F\#}$
2. équation 2 : les électrinettes G et H obéissent à la deuxième équation de masse $\text{中}_{H\#}$.
3. équation 3 : les électrinettes B, C, D, E, Λ, Π, Θ et Ψ obéissent à la troisième équation de masse $\text{中}_{B\#}$.
4. équation 4 : les électrinettes Γ, Σ, Φ et Ω obéissent à la quatrième équation de masse $\text{中}_{\Sigma\#}$.

Projeter l'équation dynamique des électrinettes F et A sur l'axe O₁Z₁ :

$$m_{FA} \cdot \ddot{z}_1 = \text{力}_{ez_1}$$

Équation 26 - équation différentielle 1 de la nucléonette

Où :

- m_{FA} : est la masse globale de l'électrinette F + la masse globale de l'électrinette A. Pour une vitesse linéaire très inférieure à c , $m_F = m_F$ et $m_A = m_A$.
- \vec{F}_{ez1} : est la force électrique subie par l'électrinette F + la force électrique subie par l'électrinette A sur l'axe O_1Z_1 .

La force \vec{F}_F subie par l'électrinette F est la suivante :

$$\vec{F}_F = \frac{k_{nFI}k_{eFI}e^2\vec{D}_{FI}}{D_{FI}^3 + \beta^3} - \frac{k_{nFJ}k_{eFJ}e^2\vec{D}_{FJ}}{D_{FJ}^3 + \beta^3} + \frac{k_{nFG}k_{eFG}e^2\vec{D}_{FG}}{D_{FG}^3 + \beta^3} - \frac{k_{nFH}k_{eFH}e^2\vec{D}_{FH}}{D_{FH}^3 + \beta^3} - \frac{k_{nFB}k_{eFB}e^2\vec{D}_{FB}}{D_{FB}^3 + \beta^3} + \frac{k_{nFC}k_{eFC}e^2\vec{D}_{FC}}{D_{FC}^3 + \beta^3} - \frac{k_{nFD}k_{eFD}e^2\vec{D}_{FD}}{D_{FD}^3 + \beta^3} + \frac{k_{nFE}k_{eFE}e^2\vec{D}_{FE}}{D_{FE}^3 + \beta^3}$$

La force \vec{F}_A subie par l'électrinette A est la suivante :

$$\vec{F}_A = -\frac{k_{nAI}k_{eAI}e^2\vec{D}_{AI}}{D_{AI}^3 + \beta^3} + \frac{k_{nAJ}k_{eAJ}e^2\vec{D}_{AJ}}{D_{AJ}^3 + \beta^3} - \frac{k_{nAG}k_{eAG}e^2\vec{D}_{AG}}{D_{AG}^3 + \beta^3} + \frac{k_{nAH}k_{eAH}e^2\vec{D}_{AH}}{D_{AH}^3 + \beta^3} + \frac{k_{nAB}k_{eAB}e^2\vec{D}_{AB}}{D_{AB}^3 + \beta^3} - \frac{k_{nAC}k_{eAC}e^2\vec{D}_{AC}}{D_{AC}^3 + \beta^3} + \frac{k_{nAD}k_{eAD}e^2\vec{D}_{AD}}{D_{AD}^3 + \beta^3} - \frac{k_{nAE}k_{eAE}e^2\vec{D}_{AE}}{D_{AE}^3 + \beta^3}$$

La force \vec{F}_{FA} subie par la charginette FA est la suivante :

$$\vec{F}_{FA} = \vec{F}_F + \vec{F}_A$$

En projetant sur l'axe O_1Z_1 : qui a pour vecteur :

$$\frac{\vec{O_1O}}{\|\vec{O_1O}\|} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -1 \end{pmatrix}$$

Sachant que l'axe OZ est colinéaire à l'axe O_1Z_1 , on projette sur l'axe OZ :

$$\begin{aligned}
\text{力}_{FAz} = & \frac{k_{nFI}k_{eFI}e^2 \left[\frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) - \frac{3z}{2} \right]}{D_{FI}^3 + \beta^3} + \frac{k_{nFJ}k_{eFJ} \left[\frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) + \frac{3z}{2} \right]}{D_{FJ}^3 + \beta^3} \\
& - \frac{k_{nFG}k_{eFG}e^2 \left[\frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) + \frac{z_0}{2} - \frac{z_3}{2} + z \right]}{D_{FG}^3 + \beta^3} \\
& - \frac{k_{nFH}k_{eFH}e^2 \left[\frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) - \frac{z_0}{2} + \frac{z_3}{2} - z \right]}{D_{FH}^3 + \beta^3} \\
& - \frac{k_{nFB}k_{eFB}e^2 \left[\frac{r\sqrt{3}}{2} \sin(3\omega t) + \frac{z_4}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}r + \Delta + z_0 - z \right]}{D_{FB}^3 + \beta^3} \\
& - \frac{k_{nFC}k_{eFC}e^2 \left[z + \frac{r\sqrt{3}}{2} \sin(3\omega t) - \frac{z_4}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}r - \Delta - z_0 \right]}{D_{FC}^3 + \beta^3} \\
& + \frac{k_{nFD}k_{eFD}e^2 \left[z + \frac{r\sqrt{3}}{2} \sin(3\omega t) - \frac{z_4}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}r - \Delta - z_0 \right]}{D_{FD}^3 + \beta^3} \\
& + \frac{k_{nFE}k_{eFE}e^2 \left[\frac{r\sqrt{3}}{2} \sin(3\omega t) + \frac{z_4}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}r + \Delta + z_0 - z \right]}{D_{FE}^3 + \beta^3} \\
& - \frac{k_{nAI}k_{eAI}e^2 \left[\frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) - \frac{3z}{2} \right]}{D_{AI}^3 + \beta^3} - \frac{k_{nAJ}k_{eAJ}e^2 \left[\frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) + \frac{3z}{2} \right]}{D_{AJ}^3 + \beta^3} \\
& + \frac{k_{nAG}k_{eAG}e^2 \left[\frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) + \frac{z_0}{2} - \frac{z_3}{2} + z \right]}{D_{AG}^3 + \beta^3} \\
& + \frac{k_{nAH}k_{eAH}e^2 \left[\frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) - \frac{z_0}{2} + \frac{z_3}{2} - z \right]}{D_{AH}^3 + \beta^3} \\
& + \frac{k_{nAB}k_{eAB}e^2 \left[\frac{r\sqrt{3}}{2} \sin(3\omega t) + \frac{z_4}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}r + \Delta + z_0 - z \right]}{D_{AB}^3 + \beta^3} \\
& - \frac{k_{nAC}k_{eAC}e^2 \left[-\frac{r\sqrt{3}}{2} \sin(3\omega t) + \frac{z_4}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}r + \Delta + z_0 - z \right]}{D_{AC}^3 + \beta^3} \\
& + \frac{k_{nAD}k_{eAD}e^2 \left[-\frac{r\sqrt{3}}{2} \sin(3\omega t) + \frac{z_4}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}r + \Delta + z_0 - z \right]}{D_{AD}^3 + \beta^3} \\
& - \frac{k_{nAE}k_{eAE}e^2 \left[\frac{r\sqrt{3}}{2} \sin(3\omega t) + \frac{z_4}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}r + \Delta + z_0 - z \right]}{D_{AE}^3 + \beta^3}
\end{aligned}$$

En faisant un changement d'échelle, l'équation devient :

$$\begin{aligned}
\text{中}_{FA\#x} \cdot \ddot{z_x} = & \frac{k_{nFIx} k_{eFIx} e_x^2 \left[\frac{r_x \sqrt{3}}{2} \cos(\omega_x t_x) - \frac{3z_x}{2} \right]}{D_{FIx}^3 + \beta_x^3} + \frac{k_{nFJx} k_{eFJx} e_x^2 \left[\frac{r_x \sqrt{3}}{2} \cos(\omega_x t_x) + \frac{3z_x}{2} \right]}{D_{FJx}^3 + \beta_x^3} \\
& - \frac{k_{nFGx} k_{eFGx} e_x^2 \left[\frac{r_x \sqrt{3}}{2} \cos(3\omega_x t_x) + \frac{z_{0x}}{2} - \frac{z_{3x}}{2} + z_x \right]}{D_{FGx}^3 + \beta_x^3} \\
& - \frac{k_{nFHx} k_{eFHx} e_x^2 \left[\frac{r_x \sqrt{3}}{2} \cos(3\omega_x t_x) - \frac{z_{0x}}{2} + \frac{z_{3x}}{2} - z_x \right]}{D_{FHx}^3 + \beta_x^3} \\
& - \frac{k_{nFBx} k_{eFBx} e_x^2 \left[\frac{r_x \sqrt{3}}{2} \sin(3\omega_x t_x) + \frac{z_{4x}}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} r_x + \Delta_x + z_{0x} - z_x \right]}{D_{FBx}^3 + \beta_x^3} \\
& + \frac{k_{nFCx} k_{eFCx} e_x^2 \left[-\frac{r_x \sqrt{3}}{2} \sin(3\omega_x t_x) + \frac{z_{4x}}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} r_x + \Delta_x + z_{0x} - z_x \right]}{D_{FCx}^3 + \beta_x^3} \\
& - \frac{k_{nFDx} k_{eFDx} e_x^2 \left[-\frac{r_x \sqrt{3}}{2} \sin(3\omega_x t_x) + \frac{z_{4x}}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} r_x + \Delta_x + z_{0x} - z_x \right]}{D_{FDx}^3 + \beta_x^3} \\
& + \frac{k_{nFEx} k_{eFEx} e_x^2 \left[\frac{r_x \sqrt{3}}{2} \sin(3\omega_x t_x) + \frac{z_{4x}}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} r_x + \Delta_x + z_{0x} - z_x \right]}{D_{FEx}^3 + \beta_x^3} \\
& - \frac{k_{nAIx} k_{eAIx} e_x^2 \left[\frac{r_x \sqrt{3}}{2} \cos(\omega_x t_x) - \frac{3z_x}{2} \right]}{D_{AIx}^3 + \beta_x^3} - \frac{k_{nAJx} k_{eAJx} e_x^2 \left[\frac{r_x \sqrt{3}}{2} \cos(\omega_x t_x) + \frac{3z_x}{2} \right]}{D_{AJx}^3 + \beta_x^3} \\
& + \frac{k_{nAGx} k_{eAGx} e_x^2 \left[\frac{r_x \sqrt{3}}{2} \cos(3\omega_x t_x) + \frac{z_{0x}}{2} - \frac{z_{3x}}{2} + z_x \right]}{D_{AGx}^3 + \beta_x^3} \\
& + \frac{k_{nAHx} k_{eAHx} e_x^2 \left[\frac{r_x \sqrt{3}}{2} \cos(3\omega_x t_x) - \frac{z_{0x}}{2} + \frac{z_{3x}}{2} - z_x \right]}{D_{AHx}^3 + \beta_x^3} \\
& + \frac{k_{nABx} k_{eABx} e_x^2 \left[\frac{r_x \sqrt{3}}{2} \sin(3\omega_x t_x) + \frac{z_{4x}}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} r_x + \Delta_x + z_{0x} - z_x \right]}{D_{ABx}^3 + \beta_x^3} \\
& - \frac{k_{nACx} k_{eACx} e_x^2 \left[-\frac{r_x \sqrt{3}}{2} \sin(3\omega_x t_x) + \frac{z_{4x}}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} r_x + \Delta_x + z_{0x} - z_x \right]}{D_{ACx}^3 + \beta_x^3} \\
& + \frac{k_{nADx} k_{eADx} e_x^2 \left[-\frac{r_x \sqrt{3}}{2} \sin(3\omega_x t_x) + \frac{z_{4x}}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} r_x + \Delta_x + z_{0x} - z_x \right]}{D_{ADx}^3 + \beta_x^3} \\
& - \frac{k_{nAEx} k_{eAEEx} e_x^2 \left[\frac{r_x \sqrt{3}}{2} \sin(3\omega_x t_x) + \frac{z_{4x}}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} r_x + \Delta_x + z_{0x} - z_x \right]}{D_{AEEx}^3 + \beta_x^3}
\end{aligned}$$

Projeter l'équation dynamique de l'électrinette H sur l'axe O₃Z₃ : qui a pour vecteur :

$$\frac{\overrightarrow{O_3O}}{\|\overrightarrow{O_3O}\|} = \begin{pmatrix} -\sqrt{3} \\ 2 \\ 0 \\ 1 \\ \frac{1}{2} \end{pmatrix}$$

$$m_h \cdot \ddot{z}_3 = \mathbf{F}_{ez_3}$$

Équation 27 - équation différentielle 2 de la nucléonette

Où :

- m_h : est la masse globale de l'électrinette H. Pour une vitesse linéaire très inférieure à c, $m_h = \frac{1}{2} m_H$
- \mathbf{F}_{ez_3} : est la force électrique subie par l'électrinette H sur l'axe O_3Z_3 .

La force $\overrightarrow{\mathbf{F}_h}$ subie par l'électrinette H est la suivante :

$$\overrightarrow{\mathbf{F}_h} = \frac{k_{nHA}k_{eHA}e^2 \overrightarrow{D_{HA}}}{D_{HA}^3 + \beta^3} - \frac{k_{nHF}k_{eHF}e^2 \overrightarrow{D_{HF}}}{D_{HF}^3 + \beta^3} + \frac{k_{nHI}k_{eHI}e^2 \overrightarrow{D_{HI}}}{D_{HI}^3 + \beta^3} - \frac{k_{nHJ}k_{eHJ}e^2 \overrightarrow{D_{3h}}}{D_{HJ}^3 + \beta^3} + \frac{k_{nH\Gamma}k_{eH\Gamma}e^2 \overrightarrow{D_{H\Gamma}}}{D_{H\Gamma}^3 + \beta^3} \\ - \frac{k_{nH\Sigma}k_{eH\Sigma}e^2 \overrightarrow{D_{H\Sigma}}}{D_{H\Sigma}^3 + \beta^3} + \frac{k_{nH\Omega}k_{eH\Omega}e^2 \overrightarrow{D_{H\Omega}}}{D_{H\Omega}^3 + \beta^3} - \frac{k_{nH\Phi}k_{eH\Phi}e^2 \overrightarrow{D_{H\Phi}}}{D_{H\Phi}^3 + \beta^3}$$

En projetant sur l'axe O_3Z_3 :

$$\mathbf{F}_{hz3} = \frac{k_{nHA}k_{eHA}e^2 \left[z_0 - z_3 - \frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) + \frac{z}{2} \right]}{D_{HA}^3 + \beta^3} - \frac{k_{nHF}k_{eHF}e^2 \left[z_0 - z_3 + \frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) + \frac{z}{2} \right]}{D_{HF}^3 + \beta^3} \\ + \frac{k_{nHI}k_{eHI}e^2 \left[\frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) + \frac{z}{2} + z_0 - z_3 \right]}{D_{HI}^3 + \beta^3} \\ - \frac{k_{nHJ}k_{eHJ}e^2 \left[-\frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) + \frac{z}{2} + z_0 - z_3 \right]}{D_{HJ}^3 + \beta^3} \\ + \frac{k_{nH\Gamma}k_{eH\Gamma}e^2 \left[r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(\omega t) - \frac{z_6}{2} - r \frac{\sqrt{3}}{2} - \Delta_6 - z_3 \right]}{D_{H\Gamma}^3 + \beta^3} \\ - \frac{k_{nH\Sigma}k_{eH\Sigma}e^2 \left[-r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(\omega t) - \frac{z_6}{2} - r \frac{\sqrt{3}}{2} - \Delta_6 - z_3 \right]}{D_{H\Sigma}^3 + \beta^3} \\ + \frac{k_{nH\Omega}k_{eH\Omega}e^2 \left[-r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(\omega t) - \frac{z_6}{2} - r \frac{\sqrt{3}}{2} - \Delta_6 - z_3 \right]}{D_{H\Omega}^3 + \beta^3} \\ - \frac{k_{nH\Phi}k_{eH\Phi}e^2 \left[r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(\omega t) - \frac{z_6}{2} - r \frac{\sqrt{3}}{2} - \Delta_6 - z_3 \right]}{D_{H\Phi}^3 + \beta^3}$$

En faisant un changement d'échelle, l'équation devient :

$$\begin{aligned}
 \text{中}_{H\#} \cdot \ddot{z_{3x}} = & - \frac{k_{nHAx} k_{eHAx} e_x^2 \left[\frac{r_x \sqrt{3}}{2} \cos(\omega_x t_x) - z_{0x} + z_{3x} - \frac{z_x}{2} \right]}{D_{HAx}^3 + \beta_x^3} \\
 & - \frac{k_{nHFx} k_{eHFx} e_x^2 \left[\frac{r_x \sqrt{3}}{2} \cos(\omega_x t_x) + z_{0x} - z_{3x} + \frac{z_x}{2} \right]}{D_{HFx}^3 + \beta_x^3} \\
 & + \frac{k_{nHIx} k_{eHIx} e_x^2 \left[\frac{r_x \sqrt{3}}{2} \cos(\omega_x t_x) + \frac{z_x}{2} + z_{0x} - z_{3x} \right]}{D_{HIx}^3 + \beta_x^3} \\
 & + \frac{k_{nHJx} k_{eHJx} e_x^2 \left[\frac{r_x \sqrt{3}}{2} \cos(\omega_x t_x) - \frac{z_x}{2} - z_{0x} + z_{3x} \right]}{D_{HJx}^3 + \beta_x^3} \\
 & + \frac{k_{nH\Gamma x} k_{eH\Gamma x} e_x^2 \left[r_x \frac{\sqrt{3}}{2} \sin(\omega_x t_x) - \frac{z_{6x}}{2} - r_x \frac{\sqrt{3}}{2} - \Delta_{6x} - z_{3x} \right]}{D_{H\Gamma x}^3 + \beta_x^3} \\
 & + \frac{k_{nH\Sigma x} k_{eH\Sigma x} e_x^2 \left[r_x \frac{\sqrt{3}}{2} \sin(\omega_x t_x) + \frac{z_{6x}}{2} + r_x \frac{\sqrt{3}}{2} + \Delta_{6x} + z_{3x} \right]}{D_{H\Sigma x}^3 + \beta_x^3} \\
 & - \frac{k_{nH\Omega x} k_{eH\Omega x} e_x^2 \left[r_x \frac{\sqrt{3}}{2} \sin(\omega_x t_x) + \frac{z_{6x}}{2} + r_x \frac{\sqrt{3}}{2} + \Delta_{6x} + z_{3x} \right]}{D_{H\Omega x}^3 + \beta_x^3} \\
 & - \frac{k_{nH\Phi x} k_{eH\Phi x} e_x^2 \left[r_x \frac{\sqrt{3}}{2} \sin(\omega_x t_x) - \frac{z_{6x}}{2} - r_x \frac{\sqrt{3}}{2} - \Delta_{6x} - z_{3x} \right]}{D_{H\Phi x}^3 + \beta_x^3}
 \end{aligned}$$

Projeter l'équation dynamique des électrinettes B et C sur l'axe O₄Z₄ :

$$m_{BC} \cdot \ddot{z}_4 = \text{力}_{ez_4}$$

Équation 28 - équation différentielle 3 de la nucléonette

Où :

- m_{BC} : est la masse globale de l'électrinette B + la masse globale de l'électrinette C. Pour une vitesse linéaire très inférieure à c , $m_B = \text{中}_{B\#}$ et $m_C = \text{中}_{C\#}$.
- 力_{ez4} : est la force électrique subie par l'électrinette B + la force électrique subie par l'électrinette C sur l'axe O₄Z₄.

La force $\overrightarrow{\text{力}}_b$ subie par l'électrinette B est la suivante :

$$\overrightarrow{\text{力}}_b = - \frac{k_{nBF} k_{eBF} e^2 \overrightarrow{D_{BF}}}{D_{BF}^3 + \beta^3} + \frac{k_{nBA} k_{eBA} e^2 \overrightarrow{D_{BA}}}{D_{BA}^3 + \beta^3} - \frac{k_{nBD} k_{eBD} e^2 \overrightarrow{D_{BD}}}{D_{BD}^3 + \beta^3} + \frac{k_{nBE} k_{eBE} e^2 \overrightarrow{D_{BE}}}{D_{BE}^3 + \beta^3}$$

La force $\overrightarrow{\text{力}}_c$ subie par l'électrinette C est la suivante :

$$\overrightarrow{\mathbf{f}_c} = \frac{k_{nCF}k_{eCF}e^2\overrightarrow{D_{CF}}}{D_{CF}^3 + \beta^3} - \frac{k_{nCA}k_{eCA}e^2\overrightarrow{D_{CA}}}{D_{CA}^3 + \beta^3} + \frac{k_{nCD}k_{eCD}e^2\overrightarrow{D_{CD}}}{D_{CD}^3 + \beta^3} - \frac{k_{nCE}k_{eCE}e^2\overrightarrow{D_{CE}}}{D_{CE}^3 + \beta^3}$$

La force $\overrightarrow{\mathbf{f}_{BC}}$ subie par la charginette BC est la suivante :

$$\begin{aligned} \overrightarrow{\mathbf{f}_{BC}} = & -\frac{k_{nBF}k_{eBF}e^2\overrightarrow{D_{BF}}}{D_{BF}^3 + \beta^3} + \frac{k_{nBA}k_{eBA}e^2\overrightarrow{D_{BA}}}{D_{BA}^3 + \beta^3} - \frac{k_{nBD}k_{eBD}e^2\overrightarrow{D_{BD}}}{D_{BD}^3 + \beta^3} + \frac{k_{nBE}k_{eBE}e^2\overrightarrow{D_{BE}}}{D_{BE}^3 + \beta^3} \\ & + \frac{k_{nCF}k_{eCF}e^2\overrightarrow{D_{CF}}}{D_{CF}^3 + \beta^3} - \frac{k_{nCA}k_{eCA}e^2\overrightarrow{D_{CA}}}{D_{CA}^3 + \beta^3} + \frac{k_{nCD}k_{eCD}e^2\overrightarrow{D_{CD}}}{D_{CD}^3 + \beta^3} - \frac{k_{nCE}k_{eCE}e^2\overrightarrow{D_{CE}}}{D_{CE}^3 + \beta^3} \end{aligned}$$

En projetant sur l'axe O₄Z₄ dont le vecteur est :

$$k_4 \begin{pmatrix} x_4 \\ y_4 \\ z_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ 0 & -\frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{2} \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{f}_{BCz4} = & \frac{k_{nBF}k_{eBF}e^2 \left[r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(\omega t) + z_4 + \frac{\Delta}{2} + \frac{z_0}{2} - \frac{z}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}r \right]}{D_{BF}^3 + \beta^3} \\ & + \frac{k_{nBA}k_{eBA}e^2 \left[r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(\omega t) - z_4 - \frac{\Delta}{2} - \frac{z_0}{2} + \frac{z}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}r \right]}{D_{BA}^3 + \beta^3} \\ & - \frac{k_{nBD}k_{eBD}e^2 \left[r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(3\omega t) - \frac{3z_4}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}r \right]}{D_{BD}^3 + \beta^3} \\ & - \frac{k_{nBE}k_{eBE}e^2 \left[-r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(3\omega t) + \frac{3z_4}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}r \right]}{D_{BE}^3 + \beta^3} \\ & - \frac{k_{nCF}k_{eCF}e^2 \left[r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(\omega t) + z_4 + \frac{\Delta}{2} + \frac{z_0}{2} - \frac{z}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}r \right]}{D_{CF}^3 + \beta^3} \\ & - \frac{k_{nCA}k_{eCA}e^2 \left[r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(\omega t) - z_4 - \frac{\Delta}{2} - \frac{z_0}{2} + \frac{z}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}r \right]}{D_{CA}^3 + \beta^3} \\ & + \frac{k_{nCD}k_{eCD}e^2 \left[-r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(3\omega t) - \frac{3z_4}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}r \right]}{D_{CD}^3 + \beta^3} \\ & + \frac{k_{nCE}k_{eCE}e^2 \left[-r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(3\omega t) + \frac{3z_4}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}r \right]}{D_{CE}^3 + \beta^3} \end{aligned}$$

Projeter l'équation dynamique des électrinettes Σ et Γ sur l'axe O_6Z_6 :

$$m_{\Sigma\Gamma} \cdot \ddot{z}_6 = \vec{F}_{ez_6}$$

Équation 29 - équation différentielle 4 de la nucléonette

Où :

- $m_{\Sigma\Gamma}$: est la masse globale de l'électrinette Σ + la masse globale de l'électrinette Γ . Pour une vitesse linéaire très inférieure à c , $m_{\Sigma} = m_{\Sigma}$ et $m_{\Gamma} = m_{\Gamma}$.
- \vec{F}_{ez_6} : est la force électrique subie par l'électrinette Σ + la force électrique subie par l'électrinette Γ sur l'axe O_6Z_6 .

La force \vec{F}_{σ} subie par l'électrinette Σ est la suivante :

$$\vec{F}_{\sigma} = -\frac{k_{n\Sigma H} k_{e\Sigma H} e^2 \vec{D}_{\Sigma H}}{D_{\Sigma H}^3 + \beta^3} + \frac{k_{n\Sigma G} k_{e\Sigma G} e^2 \vec{D}_{\Sigma G}}{D_{\Sigma G}^3 + \beta^3} + \frac{k_{n\Sigma \Omega} k_{e\Sigma \Omega} e^2 \vec{D}_{\Sigma \Omega}}{D_{\Sigma \Omega}^3 + \beta^3} - \frac{k_{n\Sigma \Phi} k_{e\Sigma \Phi} e^2 \vec{D}_{\Sigma \Phi}}{D_{\Sigma \Phi}^3 + \beta^3}$$

La force \vec{F}_{γ} subie par l'électrinette Γ est la suivante :

$$\vec{F}_{\gamma} = \frac{k_{n\Gamma H} k_{e\Gamma H} e^2 \vec{D}_{\Gamma H}}{D_{\Gamma H}^3 + \beta^3} - \frac{k_{n\Gamma G} k_{e\Gamma G} e^2 \vec{D}_{\Gamma G}}{D_{\Gamma G}^3 + \beta^3} - \frac{k_{n\Gamma \Omega} k_{e\Gamma \Omega} e^2 \vec{D}_{\Gamma \Omega}}{D_{\Gamma \Omega}^3 + \beta^3} + \frac{k_{n\Gamma \Phi} k_{e\Gamma \Phi} e^2 \vec{D}_{\Gamma \Phi}}{D_{\Gamma \Phi}^3 + \beta^3}$$

La force $\vec{F}_{\Sigma\Gamma}$ subie par la charginette $\Sigma\Gamma$ est la suivante :

$$\begin{aligned} \vec{F}_{\Sigma\Gamma} = & -\frac{k_{n\Sigma H} k_{e\Sigma H} e^2 \vec{D}_{\Sigma H}}{D_{\Sigma H}^3 + \beta^3} + \frac{k_{n\Sigma G} k_{e\Sigma G} e^2 \vec{D}_{\Sigma G}}{D_{\Sigma G}^3 + \beta^3} + \frac{k_{n\Sigma \Omega} k_{e\Sigma \Omega} e^2 \vec{D}_{\Sigma \Omega}}{D_{\Sigma \Omega}^3 + \beta^3} - \frac{k_{n\Sigma \Phi} k_{e\Sigma \Phi} e^2 \vec{D}_{\Sigma \Phi}}{D_{\Sigma \Phi}^3 + \beta^3} \\ & + \frac{k_{n\Gamma H} k_{e\Gamma H} e^2 \vec{D}_{\Gamma H}}{D_{\Gamma H}^3 + \beta^3} - \frac{k_{n\Gamma G} k_{e\Gamma G} e^2 \vec{D}_{\Gamma G}}{D_{\Gamma G}^3 + \beta^3} - \frac{k_{n\Gamma \Omega} k_{e\Gamma \Omega} e^2 \vec{D}_{\Gamma \Omega}}{D_{\Gamma \Omega}^3 + \beta^3} + \frac{k_{n\Gamma \Phi} k_{e\Gamma \Phi} e^2 \vec{D}_{\Gamma \Phi}}{D_{\Gamma \Phi}^3 + \beta^3} \end{aligned}$$

En projetant sur l'axe O_6Z_6 dont le vecteur est :

$$k_6 \begin{pmatrix} x_6 \\ y_6 \\ z_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & -\frac{3}{4} & \frac{\sqrt{3}}{4} \\ 0 & -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{\sqrt{3}}{4} & -\frac{1}{4} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\sqrt{3}}{4} \\ -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{4} \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned}
\text{力}_{\Sigma\Gamma z6} = & \frac{k_{n\Sigma H} k_{e\Sigma H} e^2 \left[r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(3\omega t) + z_6 + \frac{\Delta_6}{2} + \frac{z_3}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} r \right]}{D_{\Sigma H}^3 + \beta^3} \\
& + \frac{k_{n\Sigma G} k_{e\Sigma G} e^2 \left[r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(3\omega t) - z_6 - \frac{\Delta_6}{2} - \frac{z_3}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2} r \right]}{D_{\Sigma G}^3 + \beta^3} \\
& + \frac{k_{n\Sigma\Omega} k_{e\Sigma\Omega} e^2 \left[r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(\omega t) - \frac{3z_6}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2} r \right]}{D_{\Sigma\Omega}^3 + \beta^3} \\
& + \frac{k_{n\Sigma\Phi} k_{e\Sigma\Phi} e^2 \left[r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(\omega t) + \frac{3z_6}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} r \right]}{D_{\Sigma\Phi}^3 + \beta^3} \\
& - \frac{k_{n\Gamma H} k_{e\Gamma H} e^2 \left[r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(3\omega t) + z_6 + \frac{\Delta_6}{2} + \frac{z_3}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} r \right]}{D_{\Gamma H}^3 + \beta^3} \\
& - \frac{k_{n\Gamma G} k_{e\Gamma G} e^2 \left[r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(3\omega t) - z_6 - \frac{\Delta_6}{2} - \frac{z_3}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2} r \right]}{D_{\Gamma G}^3 + \beta^3} \\
& - \frac{k_{n\Gamma\Omega} k_{e\Gamma\Omega} e^2 \left[r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(\omega t) - \frac{3z_6}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2} r \right]}{D_{\Gamma\Omega}^3 + \beta^3} \\
& - \frac{k_{n\Gamma\Phi} k_{e\Gamma\Phi} e^2 \left[r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(\omega t) + \frac{3z_6}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} r \right]}{D_{\Gamma\Phi}^3 + \beta^3}
\end{aligned}$$

4.8.4.6 Résoudre les équations différentielles à l'aide de l'outil logiciel Matlab-Simulink

En résolvant les équations avec Simulink (fichier :

nucleonette_r_036_zhf_8258_B_10_3_kn_21_U.slx), on obtient les courbes z, z₃, z₄ et z₆ :

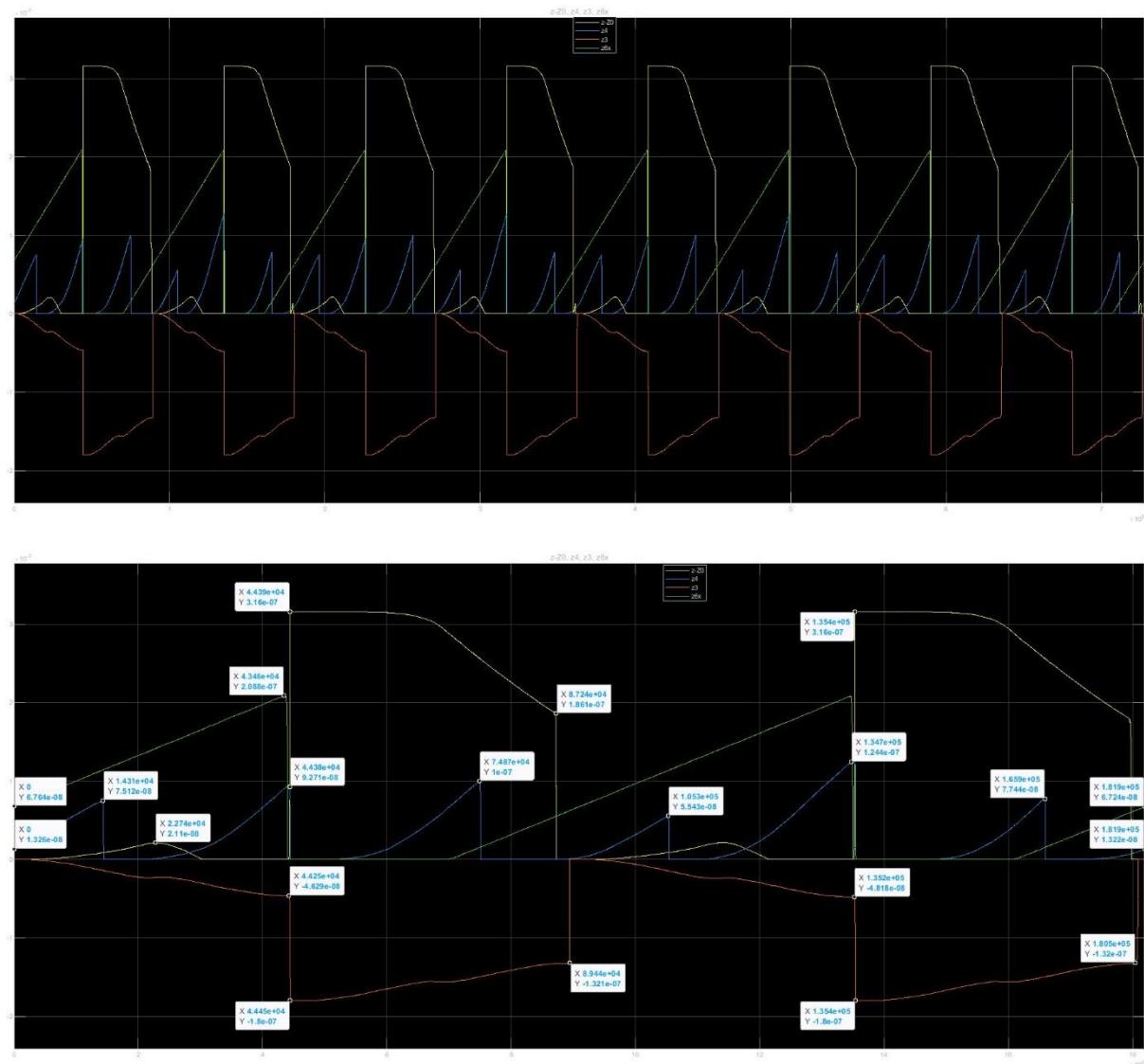


Figure 37 - Oscillation des charginettes de nucléonette

Plus de détails sont donnés en : Appendice A.3.

Les coefficients de chaque courbe sont :

- $Z - z_0 : 10^{-5}$.
- $Z_3 : 10^{-5}$.
- $Z_4 : 10^{-5}$.
- $Z_6 : 1$.

L'interprétation :

1. Les trajectoires des 9 charginettes représentées par z, z_3, z_4 et z_6 sont périodiques. La période $T_{1x} = 182248.8079$ est celle de rotation de la charginette AF.
2. Les amplitudes de déplacement des charginettes a_x dans l'intervalle $[1.279 \cdot 10^{-12} ; 3.16 \cdot 10^{-7}]$ sont relativement faible par rapport à leur diamètre $r_x = 0.36373$.

3. A $t_x = 0$, $(z_x - z_{0x}) = 0$. Et $z_{3x} = 0$. Les charginettes AF, GH et IJ sont en position la plus serrée pour la chrominette AFGHIJ du cœur de la nucléonette. $Z_{4x} = 1.326 \cdot 10^{-13}$ et $z_{6x} = 6.764 \cdot 10^{-8}$. Les chrominettes extérieures BCDEAF, $\Sigma\Omega\Phi\text{GH}$, et $\Lambda\text{P}\Theta\text{WIJ}$ sont en expansion.
4. Entre $t_x = 0$ et $t_x = T_{1x}/4$, la charginette AF (z_x), s'écarte d'abord légèrement de sa position limite intérieure, puis revient à cette position limite. C'est la même chose pour la charginette IJ (z_x). La charginette GH (z_{x3}), s'écarte progressivement de sa position limite intérieure $z_{3x} = 0$ vers $z_{3x} = -4.632 \cdot 10^{-13}$. La charginette $\Sigma\Gamma$ (z_{x6}), s'écarte linéairement de sa position initiale $z_{6x} = 6.764 \cdot 10^{-8}$ vers $z_{6x} = 2.081 \cdot 10^{-7}$. Il en est de même pour la charginette $\Omega\Phi$. La charginette BC (z_{x4}), s'écarte linéairement de sa position initiale $z_{4x} = 1.326 \cdot 10^{-13}$ vers $z_{4x} = 7.533 \cdot 10^{-13}$ à $t_x = T_{1x}/12$. Puis revenir rapidement à la position $z_{4x} = 0$ pour revenir progressivement vers $z_{4x} = 9.506 \cdot 10^{-13}$. Il en est de même pour les charginettes DE, ΛP et ΘW .
5. A $t_x = T_{1x}/4$, la charginette AF (z_x), s'écarte très rapidement de sa position limite intérieure $(z_x - z_{0x}) = 0$, vers la position la plus éloignée $(z_x - z_{0x}) = 3.16 \cdot 10^{-12}$. C'est la même chose pour la charginette IJ (z_x). La charginette GH (z_{x3}), s'écarte très rapidement de sa position $z_{3x} = -4.632 \cdot 10^{-13}$ vers $z_{3x} = -1.8 \cdot 10^{-12}$ la limite extérieure. La chrominette AFGHIJ est en état le plus expansé. Pendant ce temps, la charginette BC (z_{x4}), tombe rapidement de la position $z_{4x} = 9.506 \cdot 10^{-13}$ vers $z_{4x} = 0$. Il en est de même pour les charginettes DE, ΛP et ΘW . Les chrominettes BCDEAF et $\Lambda\text{P}\Theta\text{WIJ}$ sont en état le plus serré. La charginette $\Sigma\Gamma$ (z_{x6}), tombe rapidement de la position $z_{6x} = 2.081 \cdot 10^{-7}$ vers $z_{6x} = 0$. Il en est de même pour la charginette $\Omega\Phi$. La chrominette $\Sigma\Omega\Phi\text{GH}$ est en état le plus serré.
6. Entre $t_x = T_{1x}/4$ et $t_x = T_{1x}/2$, la charginette AF (z_x), reste d'abord à sa position limite extérieure, puis s'écarte de cette position limite $(z_x - z_{0x}) = 3.16 \cdot 10^{-12}$ vers une position intermédiaire $(z_x - z_{0x}) = 2.008 \cdot 10^{-12}$. C'est la même chose pour la charginette IJ (z_x). La charginette GH (z_{x3}), s'écarte progressivement de sa position limite extérieure $z_{3x} = -1.8 \cdot 10^{-12}$ vers une position intermédiaire $z_{3x} = -1.325 \cdot 10^{-13}$. La charginette $\Sigma\Gamma$ (z_{x6}), reste en position $z_{6x} = 0$. Puis s'écarte linéairement de cette position $z_{6x} = 0$ vers $z_{6x} = 6.99 \cdot 10^{-8}$. Il en est de même pour la charginette $\Omega\Phi$. La charginette BC (z_{x4}), s'écarte progressivement de la position $z_{4x} = 0$ vers $z_{4x} = 9.943 \cdot 10^{-13}$ à $t_x = 5T_{1x}/12$. Puis revenir rapidement à la position $z_{4x} = 0$. Il en est de même pour les charginettes DE, ΛP et ΘW .
7. A $t_x = T_{1x}/2$, la charginette AF (z_x), tombe très rapidement de sa position intermédiaire $(z_x - z_{0x}) = 2.008 \cdot 10^{-12}$, vers la position limite intérieure $(z_x - z_{0x}) = 0$. C'est la même chose pour la charginette IJ (z_x). La charginette GH (z_{x3}), tombe très rapidement de sa position intermédiaire $z_{3x} = -1.325 \cdot 10^{-13}$ vers $z_{3x} = 0$ la limite intérieure. La chrominette AFGHIJ est en état le plus serré. Pendant ce temps, la charginette BC (z_{x4}), reste à la position $z_{4x} = 0$. Il en est de même pour les charginettes DE, ΛP et ΘW . Les chrominettes BCDEAF et $\Lambda\text{P}\Theta\text{WIJ}$ ne sont pas en état limite. La charginette $\Sigma\Gamma$ (z_{x6}), garde sa position $z_{6x} = 6.99 \cdot 10^{-8}$. Il en est de même pour la charginette $\Omega\Phi$. La chrominette $\Sigma\Omega\Phi\text{GH}$ est en état intermédiaire.
8. Entre $t_x = T_{1x}/2$ et $t_x = T_{1x}$, les charginettes AF (z_x), IJ (z_x) et GH (z_{x3}), suivent sensiblement le même comportement que durant la première demi-période. Mais les charginettes BC (z_{x4}), $\Sigma\Gamma$ (z_{x6}), ainsi que leurs équivalentes ont un comportement sensiblement différent de la première demi-période.
9. Entre $t_x = T_{1x}/2$ et $t_x = 3T_{1x}/4$, la charginette BC (z_{x4}) s'écarte progressivement de la position $z_{4x} = 0$ vers $z_{4x} = 5.51 \cdot 10^{-13}$ à $t_x = 7T_{1x}/12$. Puis revenir rapidement à la position $z_{4x} = 0$. Ensuite recommencer à s'écartez progressivement de la position $z_{4x} = 0$ vers $z_{4x} = 1.271 \cdot 10^{-12}$ à $t_x = 3T_{1x}/4$. Il en est de même pour les charginettes DE, ΛP et ΘW . La charginette $\Sigma\Gamma$ (z_{x6}), continue de s'éloigner vers la position $z_{6x} = 2.32 \cdot 10^{-7}$.
10. A $t_x = 3T_{1x}/4$, la charginette BC (z_{x4}), passe de la position $z_{4x} = 1.271 \cdot 10^{-12}$ à $z_{4x} = 0$. Il en est de même pour les charginettes DE, ΛP et ΘW . Les chrominettes BCDEAF et $\Lambda\text{P}\Theta\text{WIJ}$ sont en état

limite intérieure. La charginette $\Sigma\Gamma(z_{x6})$, passe de sa position $z_{6x} = 2.32 \cdot 10^{-7}$ à $z_{6x} = 0$. Il en est de même pour la charginette $\Omega\Phi$. La chrominette $\Sigma\Gamma\Omega\Phi\text{GH}$ est en état limite intérieure (le plus serré).

11. Entre $t_x = 3T_{1x}/4$ et $t_x = T_{1x}$, la charginette BC (z_{x4}) s'écarte progressivement de la position $z_{4x} = 0$ vers $z_{4x} = 7.823 \cdot 10^{-13}$ à $t_x = 11T_{1x}/12$. Puis revenir rapidement à la position $z_{4x} = 0$. Ensuite recommencer à s'écartez progressivement de la position $z_{4x} = 0$ vers $z_{4x} = 1.326 \cdot 10^{-13}$ à $t_x = T_{1x}$. Il en est de même pour les charginettes ΔE , ΛP et ΘW . La charginette $\Sigma\Gamma(z_{x6})$, s'écarte progressivement de la position $z_{6x} = 0$ vers la position $z_{6x} = 6.662 \cdot 10^{-8}$.
12. A $t_x = T_{1x}$, les chrominettes se trouvent dans les mêmes états qu'à $t_x = 0$.

En résumé :

En négligeant les petits déplacements des charginettes, les 3 chrominettes extérieures de la nucléonette sont collées à la chrominette du cœur par les 3 points de contact de cette dernière.

4.8.5 Stabilité des quarks U^+

Un quark up est composé de 1 chrominette haute et 1 positron. Sa stabilité est relativement faible. En effet, le centre C_{chr} de la chrominette peut héberger un positron pour 2 raisons suivantes :

1. L'énergie potentielle du point C_{chr} est minimale par rapport son environ. Mais la différence est relativement faible.
2. Le potentiel électrique du point C_{chr} est minimal négatif par rapport à son environ. Mais la différence est relativement faible à cause de la neutralisation électrique des charginettes constitutives.

Au repos, le positron est stable au point C_{chr} . Mais si le quark up subi une accélération trop importante, le faible couplage du positron et la chrominette va se séparer. Ceci explique l'instabilité observée du quark up dans les laboratoires.

4.8.6 Stabilité des quarks D^-

Un quark down est composé de 1 chrominette basse et 1 électron. Sa stabilité est relativement faible. En effet, le centre C_{chr} de la chrominette peut héberger un électron pour 2 raisons suivantes :

1. L'énergie potentielle du point C_{chr} est minimale par rapport son environ. Mais la différence est relativement faible.
2. Le potentiel électrique du point C_{chr} est maximal positif par rapport à son environ. Mais la différence est relativement faible à cause de la neutralisation électrique des charginettes constitutives.

Au repos, l'électron est stable au point C_{chr} . Mais si le quark down subi une accélération trop importante, le faible couplage de l'électron et la chrominette va se séparer. Ceci explique l'instabilité observée du quark down dans les laboratoires.

4.8.7 Stabilité des protons H^+

Un proton est composé de 1 nucléonette basse, 2 positrons et 1 électron. Sa stabilité est très grande. En effet, le cœur possède 3 points de contact reliant les 3 chrominettes extérieures. Chaque point de contact possède une grande énergie potentielle. Ce qui constitue une barrière d'énergie potentielle qui ferme les ouvertures des 2 chrominettes reliées par ce point de contact. Donc, les 3 chrominettes extérieures enferment chacune leurs électrinettes. Ce qui rend le proton très stable.

4.8.8 Stabilité des neutrons n^0

Un neutron est composé de 1 nucléonette haute, 2 positrons et 2 électrons. Sa stabilité est aussi très grande.

Pour les mêmes raisons que pour le proton, les 3 chrominettes extérieures enferment leurs électrinettes.

Pour le cœur, chacune de ses 2 ouvertures est fermée par 3 points de contact. Donc, l'électron du cœur est également enfermé. Ce qui rend le neutron très stable.

4.8.9 Stabilité des nucléonettes n^h

La structure de la nucléonette haute est similaire à celle basse. Ici seule la différence sera décrite.

Pour établir le comportement dynamique des 9 charginettes au sein de la nucléonette, on va procéder en 5 étapes suivantes :

1. Utiliser les coordonnées des électrinettes et les distances entre elles déterminées précédemment.
2. Déterminer la masse de chaque électrinette
3. Utiliser les interactions électriques entre les électrinettes déterminées précédemment.
4. Utiliser les équations dynamiques régissant chaque électrinette déterminées précédemment.
5. Résoudre les équations différentielles à l'aide de l'outil progiciel Matlab-Simulink

4.8.9.1 Déterminer la masse de chaque électrinette

Les électrinettes seront numérotées comme suit :

1. électrinette F : vitesse v_3 , la masse m_F globale.
2. électrinette A : vitesse v_3 , la masse m_A globale.
3. électrinette J : vitesse v_3 , la masse m_J globale.
4. électrinette I : vitesse v_3 , la masse m_I globale.
5. électrinette G : vitesse v_1 , la masse m_G globale.
6. électrinette H : vitesse v_1 , la masse m_H globale.
7. électrinette B : vitesse v_1 , la masse m_B globale.
8. électrinette C : vitesse v_1 , la masse m_C globale.
9. électrinette D : vitesse v_1 , la masse m_D globale.
10. électrinette E : vitesse v_1 , la masse m_E globale.
11. électrinette Θ : vitesse v_1 , la masse m_Θ globale.
12. électrinette Ψ : vitesse v_1 , la masse m_Ψ globale.
13. électrinette Π : vitesse v_1 , la masse m_Π globale.

14. électrinette Λ : vitesse v_1 , la masse \underline{m}_{Λ} globale.
15. électrinette Γ : vitesse v_3 , la masse \underline{m}_{Γ} globale.
16. électrinette Σ : vitesse v_3 , la masse \underline{m}_{Σ} globale.
17. électrinette Ω : vitesse v_3 , la masse \underline{m}_{Ω} globale.
18. électrinette Φ : vitesse v_3 , la masse \underline{m}_{Φ} globale.

La masse globale de l'électrinette F s'exprime par la formule suivante :

$$\underline{m}_{F\#} = \underline{m}_F + \frac{1}{2c^2} \cdot (E_{eFI} + E_{eFG} + E_{eFC} + E_{eFE})$$

Où :

- $\underline{m}_{F\#}$: représente la masse inerte globale de l'électrinette F.
- \underline{m}_F : est la charge neutre de l'électrinette F
- E_{eFp} : est l'énergie potentielle électrique entre l'électrinette F et l'électrinette p ayant un signe opposé à celui de l'électrinette F. En plus, la distance entre les électrinettes F et p varie entre 0 et $d > 0$. Avec p = I, G, C ou E.

Pour calculer l'énergie potentielle E_{eFp} , il faut connaître la moyenne de la distance qui les sépare. En négligeant les déplacements des charginettes par rapport au triangle équilatéral, les distances s'écrivent :

- $D_{FI} = r * f_{FI} = 0.36373 * 10^{-15} * 1.757 = 0.63907361 * 10^{-15} \text{ m}$
- $D_{FG} = r * f_{FG} = 0.36373 * 10^{-15} * 1.65 = 0.6001545 * 10^{-15} \text{ m}$
- $D_{FC} = r * f_{FC} = 0.36373 * 10^{-15} * 1.65 = 0.6001545 * 10^{-15} \text{ m}$
- $D_{FE} = r * f_{FE} = 0.36373 * 10^{-15} * 1.65 = 0.6001545 * 10^{-15} \text{ m}$
- $D_{HA} = r * f_{HA} = 0.36373 * 10^{-15} * 1.65 = 0.6001545 * 10^{-15} \text{ m}$
- $D_{HI} = r * f_{HI} = 0.36373 * 10^{-15} * 1.65 = 0.6001545 * 10^{-15} \text{ m}$
- $D_{HR} = r * f_{HR} = 0.36373 * 10^{-15} * 1.65 = 0.6001545 * 10^{-15} \text{ m}$
- $D_{H\Omega} = r * f_{H\Omega} = 0.36373 * 10^{-15} * 1.65 = 0.6001545 * 10^{-15} \text{ m}$
- $D_{BE} = r * f_{BE} = 0.36373 * 10^{-15} * 1.757 = 0.63907361 * 10^{-15} \text{ m}$
- $D_{BA} = r * f_{BA} = 0.36373 * 10^{-15} * 1.65 = 0.6001545 * 10^{-15} \text{ m}$
- $D_{\Sigma\Omega} = r * f_{\Sigma\Omega} = 0.36373 * 10^{-15} * 1.757 = 0.63907361 * 10^{-15} \text{ m}$
- $D_{\Sigma G} = r * f_{\Sigma G} = 0.36373 * 10^{-15} * 1.65 = 0.6001545 * 10^{-15} \text{ m}$

La masse globale de l'électrinette F devient :

$$\underline{m}_{F\#} = \underline{m}_F + \frac{k_e e^2}{2c^2 \underline{m}_{ref}^2} \cdot \left(\frac{\underline{m}_{F0} \underline{m}_{I0}}{D_{FI}} + \frac{\underline{m}_{F0} \underline{m}_{G0}}{D_{FG}} + \frac{\underline{m}_{F0} \underline{m}_{C0}}{D_{FC}} + \frac{\underline{m}_{F0} \underline{m}_{E0}}{D_{FE}} \right)$$

Avec la vitesse orbitale des charginettes très inférieure à c , $\underline{m}_F = \underline{m}_{F0}$. Donc on a :

$$\underline{m}_{F\#} = \underline{m}_{F0} + \frac{k_e e^2 \underline{m}_{F0}}{2c^2 \underline{m}_{ref}^2} \cdot \left(\frac{\underline{m}_{F0}}{D_{FI}} + \frac{\underline{m}_{H0}}{D_{FG}} + \frac{\underline{m}_{H0}}{D_{FC}} + \frac{\underline{m}_{H0}}{D_{FE}} \right)$$

$$\underline{m}_{F\#} = \underline{m}_{F0} + \frac{k_e e^2 \underline{m}_{F0}}{2c^2 \underline{m}_{ref}^2 \cdot r} \cdot \left(\frac{\underline{m}_{F0}}{f_{FI}} + \frac{\underline{m}_{H0}}{f_{FG}} + \frac{\underline{m}_{H0}}{f_{FC}} + \frac{\underline{m}_{H0}}{f_{FE}} \right)$$

Par symétrie, $\underline{m}_{A\#} = \underline{m}_{I\#} = \underline{m}_{J\#} = \underline{m}_{F\#}$.

La masse globale de l'électrinette H s'exprime par la formule suivante :

$$\underline{m}_{H\#} = \underline{m}_H + \frac{1}{2c^2} \cdot (E_{eHA} + E_{eHI} + E_{eH\Gamma} + E_{eH\Omega})$$

Où :

- $\underline{m}_{H\#}$: représente la masse inerte globale de l'électrinette H.
- \underline{m}_H : est la charge neutre de l'électrinette H
- E_{eHp} : est l'énergie potentielle électrique entre l'électrinette H et l'électrinette p. Avec p = A, I, Γ ou Ω.

$$\underline{m}_{H\#} = \underline{m}_H + \frac{k_e e^2}{2c^2 \underline{m}_{ref}^2} \cdot \left(\frac{\underline{m}_{H0} \underline{m}_{A0}}{D_{HA}} + \frac{\underline{m}_{H0} \underline{m}_{I0}}{D_{HI}} + \frac{\underline{m}_{H0} \underline{m}_{\Gamma}}{D_{H\Gamma}} + \frac{\underline{m}_{H0} \underline{m}_{\Omega}}{D_{H\Omega}} \right)$$

$$\underline{m}_{H\#} = \underline{m}_{H0} + \frac{k_e e^2 \underline{m}_{H0}}{2c^2 \underline{m}_{ref}^2 \cdot r} \cdot \left(\frac{\underline{m}_{F0}}{f_{HA}} + \frac{\underline{m}_{F0}}{f_{HI}} + \frac{\underline{m}_{F0}}{f_{H\Gamma}} + \frac{\underline{m}_{F0}}{f_{H\Omega}} \right)$$

$$\underline{m}_{H\#} = \underline{m}_{H0} + \frac{k_e e^2 \underline{m}_{H0} \cdot \underline{m}_{F0}}{2c^2 \underline{m}_{ref}^2 \cdot r} \cdot \left(\frac{1}{f_{HA}} + \frac{1}{f_{HI}} + \frac{1}{f_{H\Gamma}} + \frac{1}{f_{H\Omega}} \right)$$

Par symétrie, $\underline{m}_{G\#} = \underline{m}_{H\#}$.

La masse globale de l'électrinette B s'exprime par la formule suivante :

$$\underline{m}_{B\#} = \underline{m}_B + \frac{1}{2c^2} \cdot (E_{eBA} + E_{eBE})$$

Où :

- $\underline{m}_{B\#}$: représente la masse inerte globale de l'électrinette B.
- \underline{m}_B : est la charge neutre de l'électrinette B
- E_{eBp} : est l'énergie potentielle électrique entre l'électrinette B et l'électrinette p ayant un signe opposé à celui de l'électrinette B. En plus, la distance entre les électrinettes B et p varie entre 0 et $d > 0$. Avec p = A ou E.

$$\underline{m}_{B\#} = \underline{m}_B + \frac{k_e e^2}{2c^2 \underline{m}_{ref}^2} \cdot \left(\frac{\underline{m}_{B0} \underline{m}_{F0}}{D_{BA}} + \frac{\underline{m}_{B0} \underline{m}_{E0}}{D_{BE}} \right)$$

$$\underline{m}_{B\#} = \underline{m}_{H0} + \frac{k_e e^2 \underline{m}_{H0}}{2c^2 \underline{m}_{ref}^2 \cdot r} \cdot \left(\frac{\underline{m}_{F0}}{f_{BA}} + \frac{\underline{m}_{H0}}{f_{BE}} \right)$$

Par symétrie, $\underline{m}_{C\#} = \underline{m}_{D\#} = \underline{m}_{E\#} = \underline{m}_{O\#} = \underline{m}_{\Psi\#} = \underline{m}_{\Pi\#} = \underline{m}_{\Lambda\#} = \underline{m}_{B\#}$.

La masse globale de l'électrinette Σ s'exprime par la formule suivante :

$$\text{中}_{\Sigma\#} = \text{中}_{\Sigma} + \frac{1}{2c^2} \cdot (E_{e\Sigma G} + E_{e\Sigma\Omega})$$

Où :

- $\text{中}_{\Sigma\#}$: représente la masse inerte globale de l'électrinette Σ .
- 中_{Σ} : est la charge neutre de l'électrinette Σ
- $E_{e\Sigma p}$: est l'énergie potentielle électrique entre l'électrinette Σ et l'électrinette p ayant un signe opposé à celui de l'électrinette Σ . En plus, la distance entre les électrinettes Σ et p varie entre 0 et $d > 0$. Avec $p = G$ ou Ω .

$$\text{中}_{\Sigma\#} = \text{中}_{\Sigma} + \frac{k_e e^2}{2c^2 \text{中}_{ref}^2} \cdot \left(\frac{\text{中}_{\Sigma 0} \text{中}_{G 0}}{D_{\Sigma G}} + \frac{\text{中}_{\Sigma 0} \text{中}_{\Omega 0}}{D_{\Sigma \Omega}} \right)$$

$$\text{中}_{\Sigma\#} = \text{中}_{F 0} + \frac{k_e e^2 \text{中}_{F 0}}{2c^2 \text{中}_{ref}^2 \cdot r} \cdot \left(\frac{\text{中}_{H 0}}{f_{\Sigma G}} + \frac{\text{中}_{F 0}}{f_{\Sigma \Omega}} \right)$$

Par symétrie, $\text{中}_{\Gamma\#} = \text{中}_{\Omega\#} = \text{中}_{\Phi\#} = \text{中}_{\Sigma\#}$.

La masse globale de la nucléonette est :

$$\text{中}_{nucl} = \sum_{p=1}^{18} \text{中}_{p\#}$$

$$\text{中}_{nucl} = 4 \cdot \text{中}_{F\#} + 2 \cdot \text{中}_{H\#} + 8 \cdot \text{中}_{B\#} + 4 \cdot \text{中}_{\Sigma\#}$$

$$\begin{aligned} \text{中}_{nucl} = 4 \cdot \text{中}_{F 0} + \frac{2k_e e^2 \text{中}_{F 0}}{c^2 \text{中}_{ref}^2 \cdot r} \cdot \left(\frac{\text{中}_{F 0}}{f_{FI}} + \frac{\text{中}_{H 0}}{f_{FG}} + \frac{\text{中}_{H 0}}{f_{FC}} + \frac{\text{中}_{H 0}}{f_{FE}} \right) + 2 \cdot \text{中}_{H 0} + \frac{k_e e^2 \text{中}_{H 0} \cdot \text{中}_{F 0}}{c^2 \text{中}_{ref}^2 \cdot r} \\ \cdot \left(\frac{1}{f_{HA}} + \frac{1}{f_{HI}} + \frac{1}{f_{H\Gamma}} + \frac{1}{f_{H\Omega}} \right) + 8 \cdot \text{中}_{H 0} + \frac{4k_e e^2 \text{中}_{H 0}}{c^2 \text{中}_{ref}^2 \cdot r} \cdot \left(\frac{\text{中}_{F 0}}{f_{BA}} + \frac{\text{中}_{H 0}}{f_{BE}} \right) + 4 \cdot \text{中}_{F 0} \\ + \frac{2k_e e^2 \text{中}_{F 0}}{c^2 \text{中}_{ref}^2 \cdot r} \cdot \left(\frac{\text{中}_{H 0}}{f_{\Sigma G}} + \frac{\text{中}_{F 0}}{f_{\Sigma \Omega}} \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{中}_{nucl} = 8 \cdot \text{中}_{F 0} + \frac{2k_e e^2 \text{中}_{F 0}}{c^2 \text{中}_{ref}^2 \cdot r} \cdot \left(\frac{\text{中}_{F 0}}{f_{FI}} + \frac{\text{中}_{H 0}}{f_{FG}} + \frac{\text{中}_{H 0}}{f_{FC}} + \frac{\text{中}_{H 0}}{f_{FE}} + \frac{\text{中}_{H 0}}{f_{\Sigma G}} + \frac{\text{中}_{F 0}}{f_{\Sigma \Omega}} \right) + 10 \cdot \text{中}_{H 0} \\ + \frac{k_e e^2 \text{中}_{H 0}}{c^2 \text{中}_{ref}^2 \cdot r} \cdot \left(\frac{\text{中}_{F 0}}{f_{HA}} + \frac{\text{中}_{F 0}}{f_{HI}} + \frac{\text{中}_{F 0}}{f_{H\Gamma}} + \frac{\text{中}_{F 0}}{f_{H\Omega}} + \frac{4 \text{中}_{F 0}}{f_{BA}} + \frac{4 \text{中}_{H 0}}{f_{BE}} \right) \end{aligned}$$

La masse de la nucléonette est égale à la masse du proton – la masse de 2 positrons et de l'électron :

$$\text{中}_{nucl} = \text{中}_{p+} - \text{中}_{e+} = 938.272 \text{ MeV} - 3 \cdot 511 \text{ KeV} = 936.739 \text{ MeV}$$

Or :

$$r = \frac{k_e \cdot \text{中}_{H0} e^2}{4 \cdot \text{中}_{ref}^2} \cdot \left(\frac{k_n}{v_1^2} \right)$$

$$r = \frac{k_e \cdot \text{中}_{F0} e^2}{4 \cdot \text{中}_{ref}^2} \cdot \left[\frac{k_n}{(3v_1)^2} \right] = \frac{k_e \cdot \text{中}_{F0} e^2}{4 \cdot \text{中}_{ref}^2} \cdot \left[\frac{k_n}{(v_1)^2} \right] \cdot 9$$

En combinant les deux :

$$\frac{r}{\text{中}_{H0}} = \frac{9r}{\text{中}_{F0}}$$

$$\text{中}_{F0} = 9 \cdot \text{中}_{H0}$$

L'égalité précédente devient :

$$\begin{aligned} \text{中}_{nucl} &= 8 \cdot 9 \cdot \text{中}_{H0} + \frac{2k_e e^2 9 \cdot \text{中}_{H0}}{c^2 \cdot \text{中}_{ref}^2 \cdot r} \cdot \left(\frac{9 \cdot \text{中}_{H0}}{f_{FI}} + \frac{\text{中}_{H0}}{f_{FG}} + \frac{\text{中}_{H0}}{f_{FC}} + \frac{\text{中}_{H0}}{f_{FE}} + \frac{\text{中}_{H0}}{f_{\Sigma G}} + \frac{9 \cdot \text{中}_{H0}}{f_{\Sigma \Omega}} \right) + 10 \\ &\quad \cdot \text{中}_{H0} + \frac{k_e e^2 \text{中}_{H0}}{c^2 \cdot \text{中}_{ref}^2 \cdot r} \\ &\quad \cdot \left(\frac{9 \cdot \text{中}_{H0}}{f_{HA}} + \frac{9 \cdot \text{中}_{H0}}{f_{HI}} + \frac{9 \cdot \text{中}_{H0}}{f_{H\Gamma}} + \frac{9 \cdot \text{中}_{H0}}{f_{H\Omega}} + \frac{4 \cdot 9 \cdot \text{中}_{H0}}{f_{BA}} + \frac{4 \cdot \text{中}_{H0}}{f_{BE}} \right) \\ \text{中}_{nucl} &= 82 \cdot \text{中}_{H0} + \frac{k_e e^2 \text{中}_{H0}^2}{c^2 \cdot \text{中}_{ref}^2 \cdot r} \\ &\quad \cdot \left[\left(\frac{162}{f_{FI}} + \frac{18}{f_{FG}} + \frac{18}{f_{FC}} + \frac{18}{f_{FE}} + \frac{18}{f_{\Sigma G}} + \frac{162}{f_{\Sigma \Omega}} \right) + \left(\frac{9}{f_{HA}} + \frac{9}{f_{HI}} + \frac{9}{f_{H\Gamma}} + \frac{9}{f_{H\Omega}} + \frac{36}{f_{BA}} + \frac{4}{f_{BE}} \right) \right] \end{aligned}$$

On a une équation du second degré par rapport à 中_{F0} .

$$a = \frac{k_e e^2}{c^2 \cdot \text{中}_{ref}^2 \cdot r} \left[\frac{162}{f_{FI}} + \frac{18}{f_{FG}} + \frac{18}{f_{FC}} + \frac{18}{f_{FE}} + \frac{18}{f_{\Sigma G}} + \frac{162}{f_{\Sigma \Omega}} + \frac{9}{f_{HA}} + \frac{9}{f_{HI}} + \frac{9}{f_{H\Gamma}} + \frac{9}{f_{H\Omega}} + \frac{36}{f_{BA}} + \frac{4}{f_{BE}} \right]$$

$$b = 82$$

$$c_s = -\text{中}_{nucl} = -\text{中}_{nucl} \cdot \frac{e}{c^2} = -\frac{936.739 \cdot 1.602177 \cdot 10^6 \cdot 10^{-19}}{2.997525^2 \cdot 10^{16}} = -1,67033456 \cdot 10^{-27} \cdot kg$$

$$[\Sigma_f] = \frac{162}{1.757} + \frac{18}{1.65} + \frac{18}{1.65} + \frac{18}{1.65} + \frac{18}{1.65} + \frac{162}{1.757} + \frac{9}{1.65} + \frac{9}{1.65} + \frac{9}{1.65} + \frac{36}{1.65} + \frac{4}{1.757}$$

$$[\Sigma_f] = \frac{162 + 162 + 4}{1.757} + \frac{18 \cdot 4 + 9 \cdot 4 + 36}{1.65}$$

$$[\Sigma_f] = \frac{328}{1.757} + \frac{144}{1.65}$$

$$[\Sigma_f] = 273,954571325$$

$$\frac{a_n}{a_d} = \frac{k_e e^2}{c^2 \Phi_{ref}^2 \cdot r}$$

$$\frac{a_n}{a_d} = \frac{8.987552 \cdot 1.602177^2 \cdot 10^9 \cdot 10^{-38}}{2.997525^2 \cdot 9.109382^2 \cdot 0.36373 \cdot 10^{16} \cdot 10^{-62} \cdot 10^{-15}} = 8,5070664 \cdot 10^{30}$$

$$a = \frac{a_n}{a_d} [\Sigma_f] = 8,5070664 \cdot 10^{30} \cdot 273,954571325 = 2,330\,549\,728\,846 \cdot 10^{33}$$

$$\Phi_{H0} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2 \cdot a} = \frac{-82 \pm \sqrt{82^2 + 4 \cdot 2.330549728 \cdot 10^{33} \cdot 1,67033456 \cdot 10^{-27}}}{2 \cdot 2.330549728846 \cdot 10^{33}}$$

$$\Phi_{H0} = \frac{-82 \pm 3946.88675079}{4.661099458 \cdot 10^{33}} = 8,29179206669 \cdot 10^{-31} kg$$

$$\Phi_{F0} = 9 \cdot \Phi_{H0} = 7,46261286 \cdot 10^{-30} kg$$

$$v_1^2 = \frac{k_e \Phi_{H0} e^2}{4 \Phi_{ref}^2} \cdot \left(\frac{k_n}{r} \right) = \frac{8.987552 \cdot 8.29179206669 \cdot 1.602177^2 \cdot 10^9 10^{-31} 10^{-38}}{4 \cdot 9.109382^2 \cdot 10^{-62}} \cdot \frac{10^{-11+15}}{0.36373}$$

$$v_1^2 = 1,584505904 \cdot 10^6$$

$$v_1 = 1,258771585 \cdot 10^3 m/s$$

$$v_3 = 3,776314756 \cdot 10^3 m/s$$

Déterminer la vitesse angulaire :

$$\omega_1 = \frac{v_1}{r} = \frac{1,258771585 \cdot 10^3}{0.36373 \cdot 10^{-15}} = 3.460730721 \cdot 10^{-5} \cdot 10^{23} radian/s$$

$$\omega_{1x} = 3.460730721 \cdot 10^{-5}$$

$$T_1 = \frac{2\pi r}{v_1} = 1.815566079 \cdot 10^5 \cdot 10^{-23} s$$

$$\Phi_{F\#} = \Phi_{F0} + \frac{a_n}{a_d} \cdot \frac{\Phi_{F0}}{2} \cdot \left(\frac{\Phi_{F0}}{f_{FI}} + \frac{\Phi_{H0}}{f_{FG}} + \frac{\Phi_{H0}}{f_{FC}} + \frac{\Phi_{H0}}{f_{FE}} \right)$$

$$\begin{aligned} \Phi_{F\#} \cdot 10^{31} &= 74,6261286 + 0,850707 \cdot \frac{74,6261286}{2} \\ &\cdot \left(\frac{74,6261286}{1.757} + \frac{8,29179206669}{1.65} + \frac{8,29179206669}{1.65} + \frac{8,29179206669}{1.65} \right) \end{aligned}$$

$$\Phi_{F\#} \cdot 10^{31} = 1901,393227111$$

$$\Phi_{F\#} = 1901,393227111 \cdot 10^{-31} kg$$

$$2 \Phi_{F\#} = 3802,786454222 \cdot 10^{-31} kg$$

$$\begin{aligned}
\text{中}_{H\#} &= \text{中}_{H0} + \frac{a_n}{a_d} \cdot \frac{\text{中}_{H0} \cdot \text{中}_{F0}}{2} \cdot \left(\frac{1}{f_{HA}} + \frac{1}{f_{HI}} + \frac{1}{f_{H\Gamma}} + \frac{1}{f_{H\Omega}} \right) \\
\text{中}_{H\#} \cdot 10^{31} &= 8,29179206669 + 0,850707 \cdot \frac{8,29179206669 \cdot 74,6261286}{2} \\
&\cdot \left(\frac{1}{1.65} + \frac{1}{1.65} + \frac{1}{1.65} + \frac{1}{1.65} \right) \\
\text{中}_{H\#} &= 646,357453253 \cdot 10^{-31} \text{kg} \\
\text{中}_{B\#} &= \text{中}_{H0} + \frac{a_n}{a_d} \cdot \frac{\text{中}_{H0}}{2} \cdot \left(\frac{\text{中}_{F0}}{f_{BA}} + \frac{\text{中}_{H0}}{f_{BE}} \right) \\
\text{中}_{B\#} \cdot 10^{31} &= 8,291792067 + 0,850707 \cdot \frac{8,291792067}{2} \cdot \left(\frac{74,6261286}{1.65} + \frac{8,291792067}{1.757} \right) \\
\text{中}_{B\#} &= 184,452872212 \cdot 10^{-31} \text{kg} \\
2 \text{中}_{B\#} &= 368,905744424 \cdot 10^{-31} \text{kg} \\
\\
\text{中}_{\Sigma\#} &= \text{中}_{F0} + \frac{a_n}{a_d} \cdot \frac{\text{中}_{F0}}{2} \cdot \left(\frac{\text{中}_{H0}}{f_{\Sigma G}} + \frac{\text{中}_{F0}}{f_{\Sigma\Omega}} \right) \\
\text{中}_{\Sigma\#} \cdot 10^{31} &= 74,6261286 + 0,850707 \cdot \frac{74,6261286}{2} \cdot \left(\frac{8,291792067}{1.65} + \frac{74,6261286}{1.757} \right) \\
\text{中}_{\Sigma\#} &= 1582,360396518 \cdot 10^{-31} \text{kg} \\
2 \text{中}_{\Sigma\#} &= 3164.720793036 \cdot 10^{-31} \text{kg}
\end{aligned}$$

Vérification :

$$\begin{aligned}
\text{中}_{nucl} &= 4 \text{中}_{F\#} + 2 \text{中}_{H\#} + 8 \text{中}_{B\#} + 4 \text{中}_{\Sigma\#} \\
\text{中}_{nucl} &= 4 \cdot 1901,393 + 2 \cdot 646,357 + 8 \cdot 184,453 + 4 \cdot 1582,360 = 16703.35 \cdot 10^{-31} \text{kg}
\end{aligned}$$

Cette valeur correspond bien à la masse du proton – la masse de 3 électrinettes.

En comparant la valeur de 中_{F0} avec celle de 中_{H0} de la nucléonette basse, on a à peu près l'égalité. C'est pareil pour la valeur de 中_{H0} avec celle de 中_{F0} de la nucléonnette basse. Ce qui permet de dire que le modèle des nucléonettes est bon. Du moins, on n'a pas trouvé d'incompatibilités.

4.9 Modélisation des noyaux atomiques

Au sein du noyau d'un atome, il peut exister plusieurs protons et plusieurs neutrons, peut-être même des nucléonettes en faible quantité. Entre ces nucléons, il existe une force de liaison. Il s'agit de modéliser ces liaisons.

Les structures de nucléon conduisent à distinguer 5 types de liaison suivants :

1. Liaison entre les électrinettes « libres » du proton et celles « libres » du neutron. Ici, le mot « libre » signifie que l'électrinette n'appartient pas à une charginette.
2. Liaison entre les électrinettes « libres » du premier couple proton-neutron (type 1) et celles « libres » du deuxième couple proton-neutron (type 1). Cette liaison peut se généraliser entre 2 groupes de nucléons. Chaque groupe de nucléons est composé de nucléons reliés par les liaisons de type 1.
3. Liaison entre les électrinettes « liées » du proton et celles « liées » du neutron.
4. Liaison entre les électrinettes « liées » d'un premier proton et celles « liées » d'un deuxième proton.
5. Liaison entre les électrinettes « liées » d'un premier neutron et celles « liées » d'un deuxième neutron.

Remarque :

Théoriquement, il existe deux demi neutron, un antiproton et un antineutron :

- $\frac{1}{2}$ Neutron basse : une nucléonette basse + 1 électron + 1 positron
- $\frac{1}{2}$ Neutron haute : une nucléonette haute + 1 électron + 1 positron
- antineutron : une nucléonette basse + 2 électrons + 2 positrons
- antiproton : une nucléonette haute + 2 électrons + 1 positron

En plus, il y a les nucléonettes.

Ces particules ne sont pas étudiées ici.

4.9.1 Modélisation des liaisons entre électrinettes libres : L_0

Cette liaison peut exister entre un proton et un neutron. Le schéma suivant montre une vue d'un proton et d'un neutron empilés.

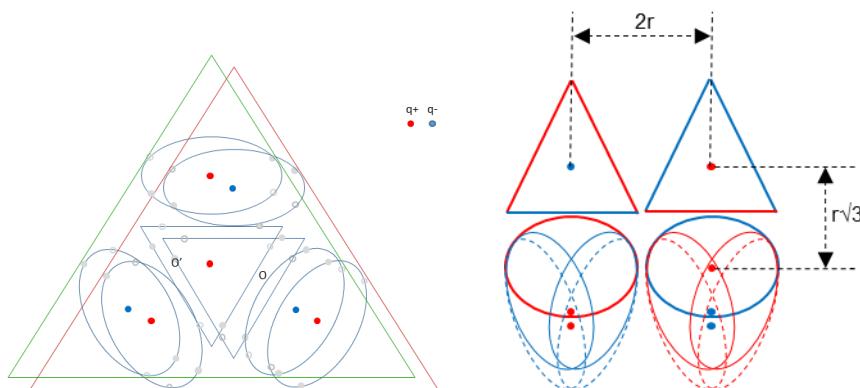


Figure 38 - Liaison entre électrinettes libres

Pour simplifier les illustrations, le symbole suivant sera utilisé pour une liaison axiale L_0 entre un proton et un neutron :



Pour calculer l'énergie de liaison, il faut d'abord déterminer les coordonnées des électrinettes libres au sein des nucléons.

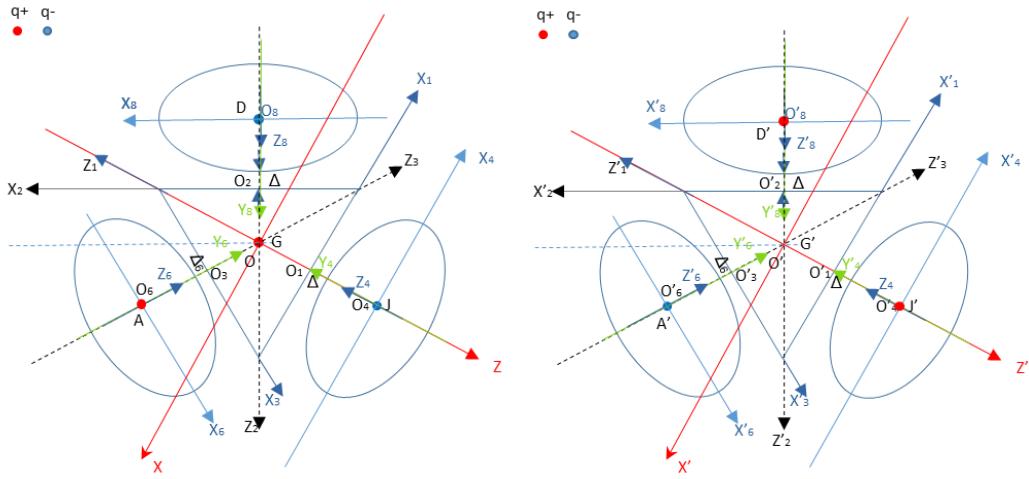


Figure 39 - Vue de dessus neutron-proton décalés

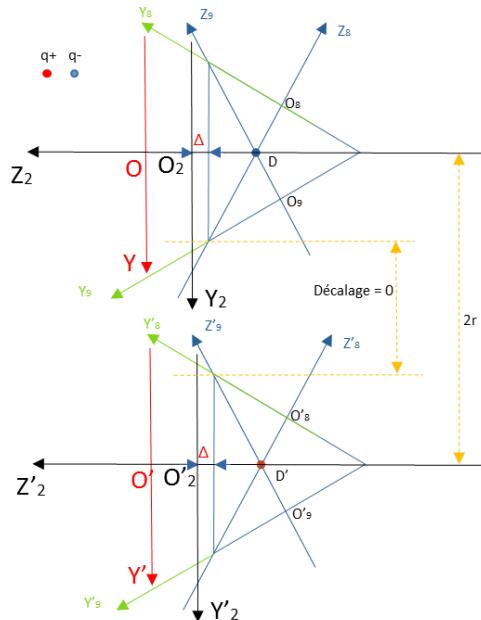


Figure 40 - Vue de droite neutron-proton

Les coordonnées des points D, D', J, J', A, A', G et G' dans le repère global sont :

$$\overrightarrow{OD} = 2 \cdot \overrightarrow{OO_2}$$

$$D(x, y, z) = 2O_2 \left(-\frac{\sqrt{3}}{2}z_0, 0, -\frac{1}{2}z_0 \right) = D \left(-\sqrt{3} \frac{r}{\sqrt{3}}, 0, -\frac{r}{\sqrt{3}} \right) = D(-r, 0, -\frac{r}{\sqrt{3}})$$

$$D'(x, y, z) = D'(-r, -2r, -\frac{r}{\sqrt{3}})$$

$$A(x, y, z) = 2O_3 \left(\frac{\sqrt{3}}{2}z_0, 0, -\frac{1}{2}z_0 \right) = A \left(\sqrt{3} \frac{r}{\sqrt{3}}, 0, -\frac{r}{\sqrt{3}} \right) = A(r, 0, -\frac{r}{\sqrt{3}})$$

$$A'(x, y, z) = A'(r, -2r, -\frac{r}{\sqrt{3}})$$

$$J(x, y, z) = 20_1(0, 0, z_0) = J\left(0, 0, 2 \frac{r}{\sqrt{3}}\right) = J(0, 0, \frac{2r}{\sqrt{3}})$$

$$J'(x, y, z) = J'(0, -2r, \frac{2r}{\sqrt{3}})$$

$$G(x, y, z) = G(0, 0, 0)$$

$$G'(x, y, z) = G'(0, -2r, 0)$$

Déterminer les énergies potentielles entre les couples de charges électriques :

$$E = E_A^{A'} + E_D^{D'} + E_J^{J'} + E_D^{J'} + E_J^{D'} + E_G^{A'} - E_A^{D'} - E_A^{J'} - E_D^{A'} - E_J^{A'} - E_G^{D'} - E_G^{J'}$$

$$E_x^{y'} = k_e \frac{\text{中}_x \cdot \text{中}_{y'}}{\text{中}_{ref}^2} \cdot \frac{e^2}{d_x^{y'}} = k_e \cdot \frac{(\text{中}_{ref} + \alpha_x \cdot \text{中}_{\delta x})(\text{中}_{ref} + \alpha_{y'} \cdot \text{中}_{\delta y'}) e^2}{\text{中}_{ref}^2 \cdot d_x^{y'}}$$

Définition des termes :

- 中_{ref} : la charge neutre d'une électrinette au repos.
- α_x : le coefficient de participation de la charge neutre du voisinage de l'électrinette x.
- $\text{中}_{\delta x}$: la charge neutre du voisinage de l'électrinette x.
- $\alpha_{y'}$: le coefficient de participation de la charge neutre du voisinage de l'électrinette y'.
- $\text{中}_{\delta y'}$: la charge neutre du voisinage de l'électrinette y'.

$$E_A^{A'} = k_e \frac{\text{中}_A \cdot \text{中}_{A'}}{\text{中}_{ref}^2} \cdot \frac{e^2}{d_A^{A'}} = k_e \cdot \frac{(\text{中}_{ref} + \alpha_A \cdot \text{中}_{\delta A})(\text{中}_{ref} + \alpha_{A'} \cdot \text{中}_{\delta A'}) e^2}{\text{中}_{ref}^2 \cdot d_A^{A'}}$$

$$\text{中}_{\delta x} = \text{中}_{\delta A} = 6(\text{中}_F + \text{中}_F + \text{中}_H) + 6(\text{中}_H + \text{中}_H + \text{中}_F)$$

$$\text{中}_{\delta y'} = \text{中}_{\delta A'} = \text{中}_{\delta A}$$

Pour simplifier les calculs, on néglige la différence entre la charge neutre des quarks de neutron et celle de proton.

$$\text{中}_F = \frac{8.261782 \cdot 10^{-31} + 8.291792 \cdot 10^{-31}}{2} = 8.276787 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

$$\text{中}_H = 9 \cdot \text{中}_F = 7.449108 \cdot 10^{-30} \text{ kg}$$

Dans un premier temps, on suppose que :

$$\alpha_A = \alpha_{A'} = \alpha_{x'} = \alpha_{y'}$$

On a donc :

$$\text{中}_{\delta A} = 18 \cdot \text{中}_F + 18 \cdot \text{中}_H = 1489.821606 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

$$\text{中}_{\delta A'} = \text{中}_{\delta A}$$

Pour les autres termes d'énergie potentielle :

$$\text{中}_{\delta_D} = \text{中}_{\delta_J} = \text{中}_{\delta_G} = \text{中}_{\delta_A} = \text{中}_{\delta_{D'}} = \text{中}_{\delta_{J'}} = \text{中}_{\delta_{A'}}$$

$$\frac{E \cdot \text{中}_{ref}^2}{k_e \cdot e^2 \cdot (\text{中}_{ref} + \alpha_A \cdot \text{中}_{\delta_A})^2} = \frac{1}{d_A^{A'}} + \frac{1}{d_D^{D'}} + \frac{1}{d_J^{J'}} + \frac{1}{d_D^{J'}} + \frac{1}{d_G^{A'}} - \frac{1}{d_A^{D'}} - \frac{1}{d_J^{A'}} - \frac{1}{d_D^{A'}} - \frac{1}{d_G^{D'}} - \frac{1}{d_G^{J'}}$$

$$d_A^{A'} = 2r = d_D^{D'} = d_J^{J'}$$

$$d_D^{J'} = \sqrt{r^2 + (2r)^2 + \left(\frac{3r}{\sqrt{3}}\right)^2} = r \cdot \sqrt{1 + 4 + 3} = 2\sqrt{2} \cdot r$$

$$d_J^{D'} = 2\sqrt{2} \cdot r$$

$$d_G^{A'} = \sqrt{r^2 + (2r)^2 + \left(\frac{r}{\sqrt{3}}\right)^2} = r \cdot \sqrt{1 + 4 + \frac{1}{3}} = \frac{4}{\sqrt{3}} \cdot r$$

$$d_A^{D'} = \sqrt{(2r)^2 + (2r)^2 + 0} = 2\sqrt{2} \cdot r$$

$$d_A^{J'} = \sqrt{r^2 + (2r)^2 + \left(\frac{3r}{\sqrt{3}}\right)^2} = r \cdot \sqrt{1 + 4 + 3} = 2\sqrt{2} \cdot r$$

$$d_D^{A'} = \sqrt{(2r)^2 + (2r)^2 + 0} = 2\sqrt{2} \cdot r$$

$$d_J^{A'} = \sqrt{r^2 + (2r)^2 + \left(\frac{3r}{\sqrt{3}}\right)^2} = r \cdot \sqrt{1 + 4 + 3} = 2\sqrt{2} \cdot r$$

$$d_G^{D'} = \sqrt{r^2 + (2r)^2 + \left(\frac{r}{\sqrt{3}}\right)^2} = r \cdot \sqrt{1 + 4 + \frac{1}{3}} = \frac{4}{\sqrt{3}} \cdot r$$

$$d_G^{J'} = \sqrt{0 + (2r)^2 + \left(\frac{2r}{\sqrt{3}}\right)^2} = 2r \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{3}} = \frac{4}{\sqrt{3}} \cdot r$$

$$\frac{E \cdot \text{中}_{ref}^2}{k_e \cdot e^2 \cdot (\text{中}_{ref} + \alpha_A \cdot \text{中}_{\delta_A})^2} = \frac{1}{2r} + \frac{1}{2r} + \frac{1}{2r} + \frac{1}{2\sqrt{2} \cdot r} + \frac{1}{2\sqrt{2} \cdot r} + \frac{1}{\frac{4}{\sqrt{3}} \cdot r} - \frac{1}{2\sqrt{2} \cdot r} - \frac{1}{2\sqrt{2} \cdot r} - \frac{1}{2\sqrt{2} \cdot r} - \frac{1}{2\sqrt{2} \cdot r} - \frac{1}{\frac{4}{\sqrt{3}} \cdot r} - \frac{1}{\frac{4}{\sqrt{3}} \cdot r}$$

$$\frac{E \cdot \Phi_{ref}^2}{k_e \cdot e^2 \cdot (\Phi_{ref} + \alpha_A \cdot \Phi_{\delta A})^2} = \frac{3}{2r} - \frac{1}{\sqrt{2} \cdot r} - \frac{1}{\frac{4}{\sqrt{3}} \cdot r} = \frac{1}{4r} \cdot [6 - 2\sqrt{2} - \sqrt{3}]$$

$$E = \frac{k_e \cdot e^2}{4r} \cdot [6 - 2\sqrt{2} - \sqrt{3}] \frac{(\Phi_{ref} + \alpha_A \cdot \Phi_{\delta A})^2}{\Phi_{ref}^2}$$

$$\frac{E \cdot \Phi_{ref}^2 \cdot 4r}{k_e \cdot e^2 \cdot [6 - 2\sqrt{2} - \sqrt{3}]} = (\Phi_{ref} + \alpha_A \cdot \Phi_{\delta A})^2$$

$$\sqrt{\frac{E \cdot \Phi_{ref}^2 \cdot 4r}{k_e \cdot e^2 \cdot [6 - 2\sqrt{2} - \sqrt{3}]}} = \Phi_{ref} + \alpha_A \cdot \Phi_{\delta A}$$

$$\alpha_A \cdot \Phi_{\delta A} = \sqrt{\frac{E \cdot \Phi_{ref}^2 \cdot 4r}{k_e \cdot e^2 \cdot [6 - 2\sqrt{2} - \sqrt{3}]}} - \Phi_{ref}$$

$$\alpha_A \cdot \Phi_{\delta A} = \sqrt{\frac{3.564\ 360\ 233 \cdot 10^{-13} \cdot 82.81 \cdot 10^{-62} \cdot 4 \cdot 0.36373 \cdot 10^{-15}}{8.987552 \cdot 1.602177^2 \cdot 10^{-29} \cdot [6 - 2\sqrt{2} - \sqrt{3}]} - 9.1 \cdot 10^{-31}}$$

$$\alpha_A \cdot \Phi_{\delta A} = \sqrt{\frac{3.564\ 360\ 233 \cdot 82.81 \cdot 4 \cdot 0.36373 \cdot 10^{-61}}{8.987552 \cdot 1.602177^2 \cdot [6 - 2\sqrt{2} - \sqrt{3}]} - 9.1 \cdot 10^{-31}}$$

$$\alpha_A \cdot \Phi_{\delta A} = \sqrt{12.93072 \cdot 10^{-61}} - 9.1 \cdot 10^{-31}$$

$$\alpha_A \cdot \Phi_{\delta A} = 11.371332376 \cdot 10^{-31} - 9.1 \cdot 10^{-31}$$

$$\alpha_A \cdot \Phi_{\delta A} = 2.271\ 332\ 376 \cdot 10^{-31}$$

$$\alpha_A \cdot 1489.821\ 606 \cdot 10^{-31} = 2.271\ 332\ 376 \cdot 10^{-31}$$

$$\alpha_A = 0.001\ 524\ 567$$

Vérification :

$$E = \frac{k_e \cdot e^2}{4r} \cdot [6 - 2\sqrt{2} - \sqrt{3}] \frac{(\Phi_{ref} + \alpha_A \cdot \Phi_{\delta A})^2}{\Phi_{ref}^2}$$

$$\frac{\left(\Phi_{ref} + \alpha_A \cdot \Phi_{\delta A}\right)^2}{\Phi_{ref}^2} = \frac{(9.1 \cdot 10^{-31} + 0.001524567 \cdot 1489.821606 \cdot 10^{-31})^2}{(9.1 \cdot 10^{-31})^2}$$

$$= \frac{(11.371332376 \cdot 10^{-31})^2}{82.81 \cdot 10^{-62}} = 1.561492573$$

$$E = \frac{8.987552 \cdot 1.602177^2}{4 \cdot 0.36373} \cdot 10^{9-38+15} [6 - 2\sqrt{2} - \sqrt{3}] \cdot 1.561492573$$

$$E = 22.826620318 \cdot 10^{-14} \cdot 1.561492573 \cdot J = 3.5643598103 \cdot 10^{-13} J$$

$$E_{L0} = -2.224694 \text{ MeV} = -3.5643598103 \cdot 10^{-13} J$$

Ces électrinettes étant libres, la longueur de chaque couple d'électron-positron est égale à $2r$.
(Rappel : r est le rayon des charginettes)

La neutralité globale du neutron impose une proximité rapprochée et un alignement parfait des électrinettes dans les axes de symétrie.

Une fois la liaison établie, elle est entre 3 couples de charges statiques, donc relativement stables. Cet aspect statique implique qu'il n'y a pas d'énergie de liaison à libérer lorsque la liaison est rompue. Il faut même fournir de l'énergie.

La position des électrinettes se trouve au centre de chaque chrominette est une condition supposée. La réalité est différente. En effet, le couplage de deux électrinettes de signes opposés aurait la tendance de les rapprocher. Tandis que le couplage de deux électrinettes de signes identiques aurait la tendance de les éloigner. Ce qui modifie la position initiale des électrinettes. Mais la position exacte est un peu difficile à déterminer.

Donc, la valeur obtenue précédemment obtenue est une valeur approximative.

4.9.2 Modélisation des liaisons entre électrinettes libres : LL_0

Cette liaison peut exister entre deux couples de proton-neutron. Le schéma suivant montre une vue.

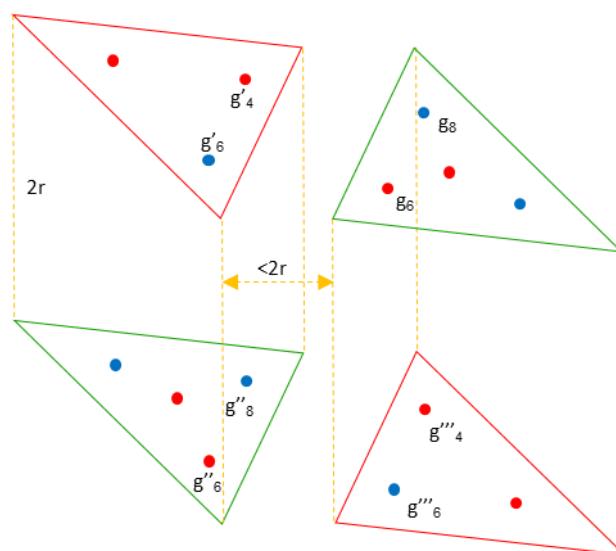
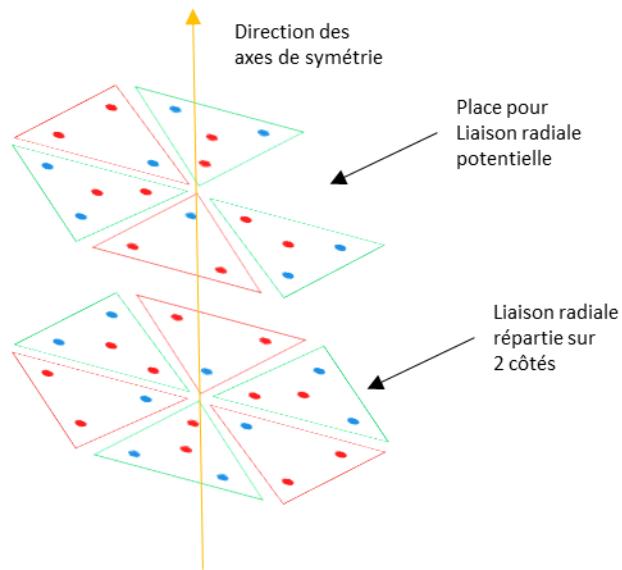


Figure 41 - Liaison radiale de 2 couples Proton-Neutron

Il existe un autre cas de figure particulier :



Pour simplifier les illustrations, le symbole suivant sera utilisé pour une liaison radiale LL_0 entre deux couples de proton et neutron :

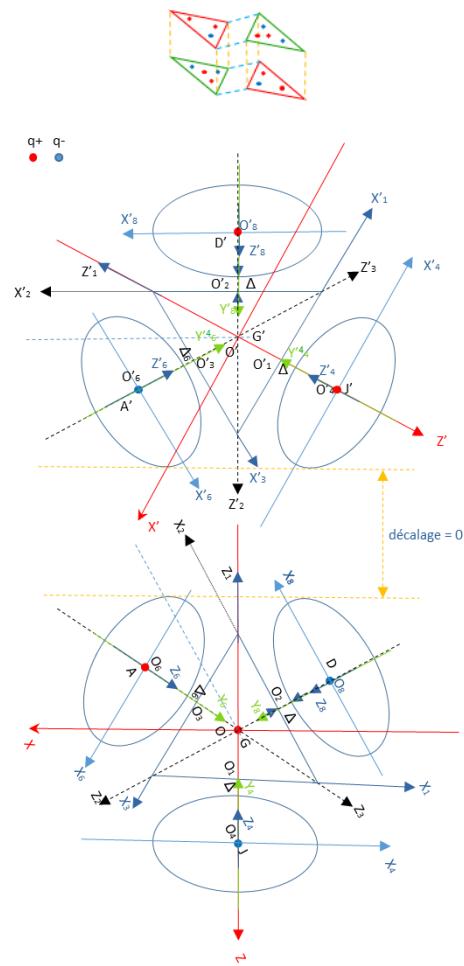


Figure 42 - Coordonnées d'un proton et d'un neutron côté à côté

Déterminer les coordonnées de O_6 et O_8 :

$$M_6 = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & -\frac{3}{4} & \frac{\sqrt{3}}{4} & \frac{\sqrt{3}}{2}\Delta_6 + \frac{3}{4}r + \frac{\sqrt{3}}{2}z_0 \\ 0 & -\frac{1}{2} & \frac{-\sqrt{3}}{2} & -\frac{r}{2} \\ \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{\sqrt{3}}{4} & -\frac{1}{4} & -\frac{1}{2}\Delta_6 - \frac{\sqrt{3}}{4}r - \frac{1}{2}z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$O_6 = M_6 \otimes O_{6R6} = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & -\frac{3}{4} & \frac{\sqrt{3}}{4} & \frac{\sqrt{3}}{2}\Delta_6 + \frac{3}{4}r + \frac{\sqrt{3}}{2}z_0 \\ 0 & -\frac{1}{2} & \frac{-\sqrt{3}}{2} & -\frac{r}{2} \\ \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{\sqrt{3}}{4} & -\frac{1}{4} & -\frac{1}{2}\Delta_6 - \frac{\sqrt{3}}{4}r - \frac{1}{2}z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\sqrt{3}}{2}\Delta_6 + \frac{3}{4}r + \frac{\sqrt{3}}{2}z_0 \\ -\frac{r}{2} \\ -\frac{1}{2}\Delta_6 - \frac{\sqrt{3}}{4}r - \frac{1}{2}z_0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Pour déterminer les coordonnées de O_8 , on utilise la symétrie entre O_6 et O_8 par rapport au plan OYZ :

$$O_8 = \begin{pmatrix} -\frac{\sqrt{3}}{2}\Delta_6 - \frac{3}{4}r - \frac{\sqrt{3}}{2}z_0 \\ r \\ -\frac{r}{2} \\ -\frac{1}{2}\Delta_6 - \frac{\sqrt{3}}{4}r - \frac{1}{2}z_0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

En annulant la composante y, on obtient les coordonnées de g_6 et g_8 :

$$g_6 = \begin{pmatrix} \frac{\sqrt{3}}{2}\Delta_6 + \frac{3}{4}r + \frac{\sqrt{3}}{2}z_0 \\ 0 \\ -\frac{1}{2}\Delta_6 - \frac{\sqrt{3}}{4}r - \frac{1}{2}z_0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$g_8 = \begin{pmatrix} -\frac{\sqrt{3}}{2}\Delta_6 - \frac{3}{4}r - \frac{\sqrt{3}}{2}z_0 \\ 0 \\ -\frac{1}{2}\Delta_6 - \frac{\sqrt{3}}{4}r - \frac{1}{2}z_0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

En ajoutant $2r$ à la composante y, on obtient les coordonnées de g''_6 et g''_8 :

$$g''_6 = \begin{pmatrix} \frac{\sqrt{3}}{2}\Delta_6 + \frac{3}{4}r + \frac{\sqrt{3}}{2}z_0 \\ 2r \\ -\frac{1}{2}\Delta_6 - \frac{\sqrt{3}}{4}r - \frac{1}{2}z_0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$g'''_4 = \begin{pmatrix} -\frac{\sqrt{3}}{2}\Delta_6 - \frac{3}{4}r - \frac{\sqrt{3}}{2}z_0 \\ 2r \\ -\frac{1}{2}\Delta_6 - \frac{\sqrt{3}}{4}r - \frac{1}{2}z_0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Déterminer les coordonnées de O'_6 et O'_4 :

$$O'_{6R'} = \begin{pmatrix} \frac{\sqrt{3}}{2}\Delta_6 + \frac{3}{4}r + \frac{\sqrt{3}}{2}z_0 \\ r \\ -\frac{1}{2} \\ -\frac{1}{2}\Delta_6 - \frac{\sqrt{3}}{4}r - \frac{1}{2}z_0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Déterminer l'angle où le côté Z est minimal pour le point Γ :

$$\Gamma \begin{pmatrix} x_\gamma \\ y_\gamma \\ z_\gamma \\ 1 \end{pmatrix} = \Gamma \begin{pmatrix} \frac{r}{2} \cdot \cos(\omega t) - \frac{3}{4}r \cdot \sin(\omega t) + z_6 \frac{\sqrt{3}}{4} + \Delta_6 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{3r}{4} + z_0 \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{r}{2} \cdot \sin(\omega t) - z_6 \frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{r}{2} \\ r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \cos(\omega t) + r \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot \sin(\omega t) - \frac{z_6}{4} - \frac{r\sqrt{3}}{4} - \frac{\Delta_6}{2} - \frac{z_0}{2} \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$z_\Gamma = r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \cos(\omega t) + r \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot \sin(\omega t) - \frac{z_6}{4} - \frac{r\sqrt{3}}{4} - \frac{\Delta_6}{2} - \frac{z_0}{2}$$

$$z'_\Gamma = r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(\omega t) \cdot \omega + r \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot \cos(\omega t) \omega = 0$$

$$\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(\omega t) + \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot \cos(\omega t) = 0$$

$$2 \cdot \sin(\omega t) + \cos(\omega t) = 0$$

$$\tan(\omega t) = -\frac{1}{2}$$

$$\omega t = -26.565\ 051\ 177^\circ \text{ ou } \omega t = -206.565\ 051\ 177^\circ$$

Soit :

- $\alpha_{z\min} = -206.565\ 051\ 177^\circ$
- $z_{\Gamma\min} = -0.614\ 679\ 576$

Le repère R' est obtenu avec un déplacement vers O' , puis une rotation de -60° autour de l'axe OY .
Les coordonnées de O' :

$$O' \begin{pmatrix} x_{O'} \\ y_{O'} \\ z_{O'} \\ 1 \end{pmatrix} = O' \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 2z_{\Gamma\min} \\ 1 \end{pmatrix} = O' \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -1.229\ 359\ 152 \\ 1 \end{pmatrix}$$

La matrice de transformation est :

$$M_{OO'} = \begin{pmatrix} \cos\left(\frac{-\pi}{3}\right) & 0 & \sin\left(\frac{-\pi}{3}\right) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin\left(\frac{-\pi}{3}\right) & 0 & \cos\left(\frac{-\pi}{3}\right) & 2z_{\Gamma min} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$M_{OO'} = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & 0 & -\frac{\sqrt{3}}{2} & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \frac{\sqrt{3}}{2} & 0 & \frac{1}{2} & -1.229\,359\,152 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Déterminer les coordonnées de O'_6 et O'_4 :

$$\begin{aligned} O'_{6R'} &= \begin{pmatrix} \frac{\sqrt{3}}{2}\Delta_6 + \frac{3}{4}r + \frac{\sqrt{3}}{2}z_0 \\ r \\ -\frac{1}{2} \\ -\frac{1}{2}\Delta_6 - \frac{\sqrt{3}}{4}r - \frac{1}{2}z_0 \\ 1 \end{pmatrix} \\ O'_6 &= M_{OO'} \otimes O'_{6R'} = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & 0 & -\frac{\sqrt{3}}{2} & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \frac{\sqrt{3}}{2} & 0 & \frac{1}{2} & 2z_{\Gamma min} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{\sqrt{3}}{2}\Delta_6 + \frac{3}{4}r + \frac{\sqrt{3}}{2}z_0 \\ r \\ -\frac{1}{2} \\ -\frac{1}{2}\Delta_6 - \frac{\sqrt{3}}{4}r - \frac{1}{2}z_0 \\ 1 \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} \frac{\sqrt{3}}{2}\Delta_6 + \frac{3}{4}r + \frac{\sqrt{3}}{2}z_0 \\ r \\ -\frac{1}{2} \\ \frac{1}{2}\Delta_6 + \frac{\sqrt{3}}{4}r + \frac{1}{2}z_0 + 2z_{\Gamma min} \\ 1 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

Pour déterminer les coordonnées de O'_4 , on utilise la symétrie entre O'_6 et O'_4 par rapport au plan OYZ :

$$O'_4 = \begin{pmatrix} -\frac{\sqrt{3}}{2}\Delta_6 - \frac{3}{4}r - \frac{\sqrt{3}}{2}z_0 \\ r \\ -\frac{1}{2} \\ \frac{1}{2}\Delta_6 + \frac{\sqrt{3}}{4}r + \frac{1}{2}z_0 + 2z_{\Gamma min} \\ 1 \end{pmatrix}$$

En annulant la composante y, on obtient les coordonnées de g'_6 et g'_4 :

$$g'{}_6 = \begin{pmatrix} \frac{\sqrt{3}}{2}\Delta_6 + \frac{3}{4}r + \frac{\sqrt{3}}{2}z_0 \\ 0 \\ \frac{1}{2}\Delta_6 + \frac{\sqrt{3}}{4}r + \frac{1}{2}z_0 + 2z_{\Gamma min} \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$g'{}_4 = \begin{pmatrix} -\frac{\sqrt{3}}{2}\Delta_6 - \frac{3}{4}r - \frac{\sqrt{3}}{2}z_0 \\ 0 \\ \frac{1}{2}\Delta_6 + \frac{\sqrt{3}}{4}r + \frac{1}{2}z_0 + 2z_{\Gamma min} \\ 1 \end{pmatrix}$$

En ajoutant $2r$ à la composante y , on obtient les coordonnées de $g''{}_6$ et $g''{}_8$:

$$g''{}_6 = \begin{pmatrix} \frac{\sqrt{3}}{2}\Delta_6 + \frac{3}{4}r + \frac{\sqrt{3}}{2}z_0 \\ 2r \\ \frac{1}{2}\Delta_6 + \frac{\sqrt{3}}{4}r + \frac{1}{2}z_0 + 2z_{\Gamma min} \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$g''{}_8 = \begin{pmatrix} -\frac{\sqrt{3}}{2}\Delta_6 - \frac{3}{4}r - \frac{\sqrt{3}}{2}z_0 \\ 2r \\ \frac{1}{2}\Delta_6 + \frac{\sqrt{3}}{4}r + \frac{1}{2}z_0 + 2z_{\Gamma min} \\ 1 \end{pmatrix}$$

L'énergie totale des liaisons est :

$$E_{total} = E_{PN1} + E_{PN2} + E_{2PN}$$

$$E_{PN1} = E_{PN2} = \frac{k_e \cdot e^2}{4r} \cdot [6 - 2\sqrt{2} - \sqrt{3}] \frac{(\underline{\alpha}_{ref} + \alpha_A \cdot \underline{\alpha}_{\delta A})^2}{\underline{\alpha}_{ref}^2}$$

Déterminer les énergies potentielles entre les couples de charges électriques :

$$E_{2PN} = E_{g6}^{g6'} + E_{g8}^{g4'} + E_{g6''}^{g6'''} + E_{g8''}^{g4'''} + E_{g6}^{g8''} + E_{g8}^{g6''} + E_{g6'}^{g4'''} + E_{g4'}^{g6'''} - E_{g6}^{g4'} - E_{g8}^{g6'} - E_{g6''}^{g4'''} - E_{g8''}^{g6'''} - E_{g6}^{g6''} - E_{g8}^{g8''} - E_{g6'}^{g6'''} - E_{g4'}^{g4'''}$$

$$E_x^{y'} = k_e \frac{\underline{\alpha}_x \cdot \underline{\alpha}_{y'}}{\underline{\alpha}_{ref}^2} \cdot \frac{e^2}{d_x^{y'}} = k_e \cdot \frac{(\underline{\alpha}_{ref} + \alpha_x \cdot \underline{\alpha}_{\delta x})(\underline{\alpha}_{ref} + \alpha_{y'} \cdot \underline{\alpha}_{\delta y'})e^2}{\underline{\alpha}_{ref}^2 \cdot d_x^{y'}}$$

Définition des termes :

- $\underline{\alpha}_{ref}$: la charge neutre d'une électrinette au repos.
- α_x : le coefficient de participation de la charge neutre du voisinage de l'électrinette x.
- $\underline{\alpha}_{\delta x}$: la charge neutre du voisinage de l'électrinette x.

- $\alpha_{y'}$: le coefficient de participation de la charge neutre du voisinage de l'électrinette y' .
- $\text{申}_{\delta y'}$: la charge neutre du voisinage de l'électrinette y' .

$$E_g^{g'} = k_e \frac{\text{申}_g \cdot \text{申}_{g'}}{\text{申}_{ref}^2} \cdot \frac{e^2}{d_g^{g'}} = k_e \cdot \frac{(\text{申}_{ref} + \alpha_g \cdot \text{申}_{\delta g})(\text{申}_{ref} + \alpha_{g'} \cdot \text{申}_{\delta g'})e^2}{\text{申}_{ref}^2 \cdot d_g^{g'}}$$

$$\text{申}_{\delta x} = \text{申}_{\delta g} = 12(\text{申}_F + \text{申}_F + \text{申}_H) + 12(\text{申}_H + \text{申}_H + \text{申}_F)$$

$$\text{申}_{\delta y'} = \text{申}_{\delta g'} = \text{申}_{\delta g}$$

$$\text{申}_{\delta g} = 2979.643212 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

$$\frac{E \cdot \text{申}_{ref}^2}{k_e \cdot e^2 \cdot (\text{申}_{ref} + \alpha_g \cdot \text{申}_{\delta g})^2} = \frac{1}{d_{g6}^{g6'}} + \frac{1}{d_{g8}^{g4'}} + \frac{1}{d_{g6'''}^{g6'''}} + \frac{1}{d_{g8'''}^{g4'''}} + \frac{1}{d_{g6}^{g8''}} + \frac{1}{d_{g8}^{g6''}} + \frac{1}{d_{g6'}^{g6'''}} + \frac{1}{d_{g4'}^{g6'''}} - \frac{1}{d_{g6}^{g4'}} - \frac{1}{d_{g8}^{g6'}} - \frac{1}{d_{g6''}^{g4'''}} - \frac{1}{d_{g8''}^{g6'''}} - \frac{1}{d_{g6}^{g6''}} - \frac{1}{d_{g8}^{g8''}} - \frac{1}{d_{g6'}^{g6'''}} - \frac{1}{d_{g4'}^{g4'''}}$$

$$g_6 = \begin{pmatrix} \frac{\sqrt{3}}{2} \Delta_6 + \frac{3}{4} r + \frac{\sqrt{3}}{2} z_0 \\ 0 \\ -\frac{1}{2} \Delta_6 - \frac{\sqrt{3}}{4} r - \frac{1}{2} z_0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$g''_6 = \begin{pmatrix} \frac{\sqrt{3}}{2} \Delta_6 + \frac{3}{4} r + \frac{\sqrt{3}}{2} z_0 \\ 2r \\ \frac{1}{2} \Delta_6 + \frac{\sqrt{3}}{4} r + \frac{1}{2} z_0 + 2z_{\Gamma min} \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$g'_4 = \begin{pmatrix} -\frac{\sqrt{3}}{2} \Delta_6 - \frac{3}{4} r - \frac{\sqrt{3}}{2} z_0 \\ 0 \\ \frac{1}{2} \Delta_6 + \frac{\sqrt{3}}{4} r + \frac{1}{2} z_0 + 2z_{\Gamma min} \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$g'_6 = \begin{pmatrix} \frac{\sqrt{3}}{2} \Delta_6 + \frac{3}{4} r + \frac{\sqrt{3}}{2} z_0 \\ 0 \\ \frac{1}{2} \Delta_6 + \frac{\sqrt{3}}{4} r + \frac{1}{2} z_0 + 2z_{\Gamma min} \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$g''_8 = \begin{pmatrix} -\frac{\sqrt{3}}{2}\Delta_6 - \frac{3}{4}r - \frac{\sqrt{3}}{2}z_0 \\ 2r \\ \frac{1}{2}\Delta_6 + \frac{\sqrt{3}}{4}r + \frac{1}{2}z_0 + 2z_{\Gamma min} \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$d_{g6}^{g6'} = \sqrt{\left(\Delta_6 + \frac{\sqrt{3}}{2}r + z_0 + 2 \cdot z_{\Gamma min}\right)^2} = -\Delta_6 - \frac{\sqrt{3}}{2}r - z_0 - 2 \cdot z_{\Gamma min}$$

$$d_{g8}^{g4'} = d_{g6}^{g6'''} = d_{g8''}^{g4'''} = d_{g6}^{g6'} = 0.704\ 360\ 118$$

$$d_{g6}^{g8''} = \sqrt{\left(\sqrt{3}\Delta_6 + \frac{3}{2}r + \sqrt{3}z_0\right)^2 + (2r)^2 + \left(\Delta_6 + \frac{\sqrt{3}}{2}r + z_0 + 2 \cdot z_{\Gamma min}\right)^2}$$

$$d_{g8}^{g6''} = d_{g6'}^{g4'''} = d_{g4'}^{g6'''} = d_{g6}^{g8''} = 1.360\ 953\ 042$$

$$d_{g6}^{g4'} = \sqrt{\left(\sqrt{3}\Delta_6 + \frac{3}{2}r + \sqrt{3}z_0\right)^2 + \left(\Delta_6 + \frac{\sqrt{3}}{2}r + z_0 + 2 \cdot z_{\Gamma min}\right)^2}$$

$$d_{g8}^{g6'} = d_{g6''}^{g4'''} = d_{g8''}^{g4'''} = d_{g6}^{g4'} = 1.150\ 215\ 254$$

$$d_{g6}^{g6''} = \sqrt{(2r)^2 + \left(\Delta_6 + \frac{\sqrt{3}}{2}r + z_0 + 2 \cdot z_{\Gamma min}\right)^2}$$

$$d_{g8}^{g8''} = d_{g6'}^{g6'''} = d_{g4'}^{g4'''} = d_{g6}^{g6''} = 1.012\ 581\ 467$$

Application numérique :

- $r = 0.36373 * 10^{-15} \text{ m}$
- $\Delta_6 = 0$
- $z_0 = r / \sqrt{3}$
- $z_{\Gamma min} = -0.614\ 679\ 576 * 10^{-15} \text{ m}$

$$\frac{E_{2PN} \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^2}{k_e \cdot e^2 \cdot \left(\frac{1}{2} + \alpha_g \cdot \frac{1}{2}\right)^2} = \frac{4}{d_{g6}^{g6'}} + \frac{4}{d_{g6}^{g8''}} - \frac{4}{d_{g6}^{g4'}} - \frac{4}{d_{g6}^{g6''}}$$

$$E_{total} = \frac{k_e \cdot e^2}{2r} \cdot [6 - 2\sqrt{2} - \sqrt{3}] \frac{\left(\frac{1}{2} + \alpha_g \cdot \frac{1}{2}\right)^2}{\left(\frac{1}{2}\right)^2} + k_e \cdot \frac{\left(\frac{1}{2} + \alpha_g \cdot \frac{1}{2}\right)^2 e^2}{\left(\frac{1}{2}\right)^2} \\ \cdot \left[\frac{4}{d_{g6}^{g6'}} + \frac{4}{d_{g6}^{g8''}} - \frac{4}{d_{g6}^{g4'}} - \frac{4}{d_{g6}^{g6''}} \right]$$

$$\frac{E_{total} \cdot \Phi_{ref}^2}{k_e \cdot e^2 \cdot (\Phi_{ref} + \alpha_g \cdot \Phi_{\delta g})^2} = \frac{[6 - 2\sqrt{2} - \sqrt{3}]}{2r} + \frac{4}{d_{g6}^{g6'}} + \frac{4}{d_{g6}^{g8''}} - \frac{4}{d_{g6}^{g4'}} - \frac{4}{d_{g6}^{g6''}}$$

$$\begin{aligned} \frac{E_{total} \cdot \Phi_{ref}^2 \cdot 10^{-15}}{k_e \cdot e^2 \cdot (\Phi_{ref} + \alpha_g \cdot \Phi_{\delta g})^2} &= 1.978\,833\,293 + \frac{4}{0.704\,360\,118} + \frac{4}{1.360\,953\,042} - \frac{4}{1.150\,215\,254} \\ &- \frac{4}{1.012\,581\,467} = 1.978\,833\,293 + 1.190\,120\,7 = 3.168\,953\,993 \end{aligned}$$

Ici,

$$E_{total} = E_{he000} = -28.297\,499\,001 \text{ MeV} = -45.337\,686\,948 \cdot 10^{-13} \text{ J.}$$

On en déduit la valeur de α_g :

$$\begin{aligned} \frac{E_{total} \cdot \Phi_{ref}^2 \cdot 10^{-15}}{k_e \cdot e^2 \cdot [3.168\,953\,993]} &= (\Phi_{ref} + \alpha_g \cdot \Phi_{\delta g})^2 \\ \alpha_g \cdot \Phi_{\delta g} &= \sqrt{\frac{E_{total} \cdot \Phi_{ref}^2 \cdot 10^{-15}}{k_e \cdot e^2 \cdot [3.168\,953\,993]} - (\Phi_{ref})^2} \end{aligned}$$

On a :

$$\begin{aligned} \Phi_{\delta g} &= 12(\Phi_F + \Phi_F + \Phi_H) + 12(\Phi_H + \Phi_H + \Phi_F) = 2979.643212 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \\ \Phi_{ref} &= 9.1 \cdot 10^{-31} \end{aligned}$$

$$\alpha_g \Phi_{\delta g} = \sqrt{\frac{45.337686948 \cdot 10^{-13} \cdot 82.81 \cdot 10^{-62} \cdot 10^{-15}}{8.987552 \cdot 1.602177^2 \cdot 10^{-29} \cdot [3.168\,953\,993]} - 9.1 \cdot 10^{-31}}$$

$$\alpha_g \Phi_{\delta g} = \sqrt{\frac{3.380\,596\,505 \cdot 10^{-61}}{1.0} - 9.1 \cdot 10^{-31}}$$

$$\alpha_g \Phi_{\delta g} = 22.661\,147\,831 \cdot 10^{-31} - 9.1 \cdot 10^{-31}$$

$$\alpha_g \cdot 2979.643212 \cdot 10^{-31} = 13.561\,147\,831 \cdot 10^{-31}$$

$$\alpha_g = 0.004\,551\,266$$

4.9.3 Modélisation des liaisons entre électrinettes liées

Ce type de liaison peut exister entre 2 nucléons. Les nucléons sont les protons et les neutrons ou nucléonettes. Le schéma suivant montre une vue de dessus d'un proton et d'un neutron.

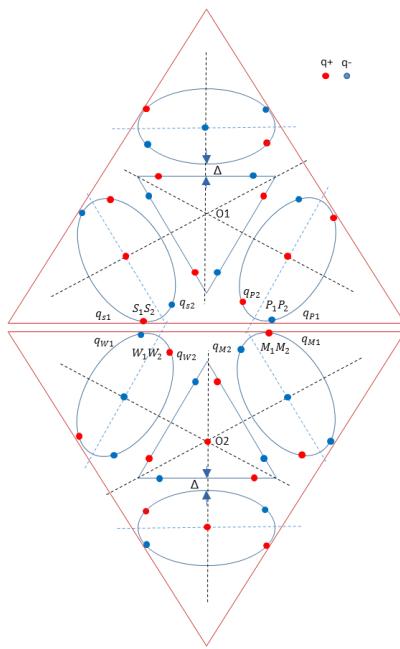


Figure 43 - Liaison entre électrinettes liées

Les points de contact sont définis comme suit :

1. Les charginettes externes du nucléon O1 entrant en contact avec le nucléon O2 sont au nombre de 4 paires.
2. Par rapport au schéma, les deux points de contact des 2 charginettes de dessus sont : S₁ et P₁.
3. Par rapport au schéma, les deux points de contact des 2 charginettes de dessous sont : S₂ et P₂.
4. Les charginettes externes du nucléon O2 entrant en contact avec le nucléon O1 sont nécessairement au nombre de 4.
5. Par rapport au schéma, les deux points de contact des 2 charginettes de dessus sont : W₁ et M₁. W₁ est très proche de S₁. M₁ est très proche de P₁.
6. Par rapport au schéma, les deux points de contact des 2 charginettes de dessous sont : W₂ et M₂. W₂ est très proche de S₂. M₂ est très proche de P₂.
7. L'électrinette q_{S1} et l'électrinette q_{W1} se rencontrent au point de contact S₁ et W₁.
8. L'électrinette q_{P1} et l'électrinette q_{M1} se rencontrent au point de contact P₁ et M₁.
9. L'électrinette q_{S2} et l'électrinette q_{W2} se rencontrent au point de contact S₂ et W₂.
10. L'électrinette q_{P2} et l'électrinette q_{M2} se rencontrent au point de contact P₂ et M₂.

Pour que les points de contact entre les deux nucléons soient sur les 6 plans formant les 2 grands triangles, il faudrait que les rotations des charginettes soient toutes synchronisées.

Donc, pour qu'une fusion puisse avoir lieu, il faut que les nucléons soient synchronisés. C'est la même condition que pour la chrominette et la nucléonette.

En dehors de la synchronisation, il n'y a plus de contrainte sur le sens de rotation ni sur le niveau d'énergie. En effet, les 2 électrinettes se rapprochant du point de contact sont de signes opposés. Donc, elles peuvent (mais sans obligatoirement) être de même niveau d'énergie et dans le même sens de déplacement.

Les points de contact ne se trouvent pas aux milieux des points de contact existant. Ils se trouvent un peu à l'écart. Mais cela n'empêche pas la liaison de se réaliser.

Les points de contact se réalisent par groupe de 4. Ce qui rend la liaison stable.

Il y a 4 cas de figure pour chaque nucléon ou nucléonette. Prenons le premier nucléon O1 :

1. Les électrinettes q_{P1} , q_{P2} , q_{S1} et q_{S2} sont de même niveau d'énergie E_1 .
2. Les électrinettes q_{P1} , q_{P2} , q_{S1} et q_{S2} sont de même niveau d'énergie E_2 . $E_2 > E_1$.
3. Les électrinettes q_{P1} , q_{P2} , q_{S1} et q_{S2} sont de différent niveau d'énergie $E_{P1} = E_{P2} = E_1$ et $E_{S1} = E_{S2} = E_2$.
4. Les électrinettes q_{P1} , q_{P2} , q_{S1} et q_{S2} sont de différent niveau d'énergie $E_{P1} = E_{P2} = E_2$ et $E_{S1} = E_{S2} = E_1$.

En combinant avec les 4 cas de la deuxième nucléonette O2, il y a au total 16 combinaisons possibles. Mais par effet de symétrie, il n'y a que 6 niveaux d'énergie de liaison.

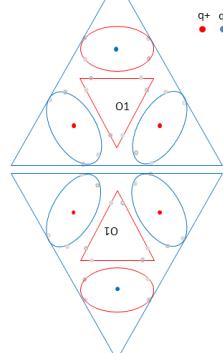
Ce qui oblige les électrinettes Q et W ont aussi un même niveau d'énergie E_2 . $E_2 \neq E_1$. Ce qui oblige les électrinettes Q et W ont aussi un niveau différent d'énergie E_2 et E_1 . Le premier cas correspond à une liaison proton-neutron. Le deuxième cas correspond à une liaison proton-proton ou neutron-neutron ou proton-neutron.

4.9.3.1 Cas 1 : Les électrinettes q_s et q_p sont de même niveau d'énergie E_1

En combinant avec les 4 cas du nucléon O2, on obtient les 4 combinaisons suivantes :

1. Les électrinettes q_{W1} , q_{W2} , q_{M1} et q_{M2} ont le même niveau d'énergie E_1 .

$$L_{11} = \begin{pmatrix} S_1 & W_1 \\ S_2 & W_2 \\ P_1 & M_1 \\ P_2 & M_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_1 & E_1 \\ E_1 & E_1 \\ E_1 & E_1 \\ E_1 & E_1 \end{pmatrix}$$



Faut-il diviser par un coefficient k , l'énergie de liaison ? En effet, quand une charge électrique n'a pas qu'un seul couple, comment déterminer l'énergie potentielle ? Cette

même question se pose au sein d'une nucléonette. On fait l'hypothèse qu'elles sont indépendantes en raison du fait que les points de contact sont indépendants (assez éloignés). Comme une charginette a deux électrinettes, l'énergie de liaison s'écrit :

$$E_{L11} = 2 \cdot 4 \cdot k_e \frac{\frac{m_{10} m_{10}}{m_{ref}^2} \cdot e^2}{d}$$

Il faut déterminer la distance moyenne d qui sépare les 2 électrinettes. Comme les deux charginettes en face à face sont dans un même plan, d est égale à leur diamètre.

$$d = 2 \cdot r = 2 \cdot 0.36373 \cdot 10^{-15} \text{ m} = 0.72746 \cdot 10^{-15} \text{ m}$$

$$E_{L11} = 2 \cdot 4 k_e \frac{\frac{m_{10} m_{10}}{m_{ref}^2} \cdot e^2}{d} = 2 \cdot 105.532549241 \cdot 10^{-14} \text{ J} = 13.173648 \cdot 10^6 \text{ eV}$$

Application numérique :

$$m_{10} = 8.3 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

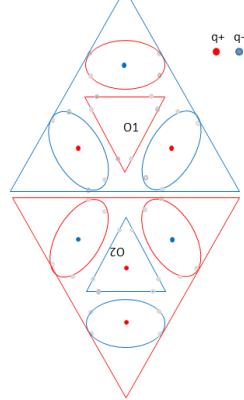
$$m_{ref} = 9.1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

$$e = 1,602 \ 176 \ 565 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$k_e = 8,987 \ 551 \ 787 \ 368 \ 176 \cdot 10^9 \text{ kg}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ A}^{-2}$$

2. Les électrinettes q_{W1} , q_{W2} , q_{M1} et q_{M2} ont le même niveau d'énergie E_2 . $E_2 > E_1$.

$$L_{12} = \begin{pmatrix} S_1 & W_1 \\ S_2 & W_2 \\ P_1 & M_1 \\ P_2 & M_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_1 & E_2 \\ E_1 & E_2 \\ E_1 & E_2 \\ E_1 & E_2 \end{pmatrix}$$

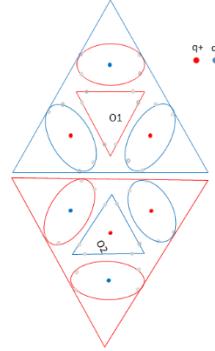


L'énergie de liaison s'écrit :

$$E_{L12} = 2 \cdot 4 k_e \frac{\frac{m_{10} m_{20}}{m_{ref}^2} \cdot e^2}{d} = 2 \cdot 940.892619526 \cdot 10^{-14} \text{ J} = 117.4518 \cdot 10^6 \text{ eV}$$

3. Les électrinettes q_{W1} , q_{W2} , q_{M1} et q_{M2} ont 2 différents niveaux d'énergie $E_{W1} = E_{W2} = E_1$ et $E_{M1} = E_{M2} = E_2$.

$$L_{13} = \begin{pmatrix} S_1 & W_1 \\ S_2 & W_2 \\ P_1 & M_1 \\ P_2 & M_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_1 & E_1 \\ E_1 & E_1 \\ E_1 & E_2 \\ E_1 & E_2 \end{pmatrix}$$



L'énergie de liaison s'écrit :

$$E_{L13} = 2 \cdot 2k_e \frac{\frac{1}{10} \frac{1}{10}}{\frac{1}{ref}^2} \cdot \frac{e^2}{d} + 2 \cdot 2k_e \frac{\frac{1}{10} \frac{1}{20}}{\frac{1}{ref}^2} \cdot \frac{e^2}{d} = 2 \cdot 523.2126 * 10^{-14} J$$

$$E_{L13} = 65.31273 * 10^6 eV$$

4. Les électrinettes q_{W1} , q_{W2} , q_{M1} et q_{M2} ont 2 différents niveaux d'énergie $E_{W1} = E_{W2} = E_2$ et $E_{M1} = E_{M2} = E_1$.

$$L'_{14} = \begin{pmatrix} S_1 & W_1 \\ S_2 & W_2 \\ P_1 & M_1 \\ P_2 & M_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_1 & E_2 \\ E_1 & E_2 \\ E_1 & E_1 \\ E_1 & E_1 \end{pmatrix}$$

Le cas L_{14} est équivalent au cas L_{13} . Donc, il n'y a que 3 liaisons d'énergies différentes.

4.9.3.2 Cas 2 : Les électrinettes q_s et q_p sont de même niveau d'énergie E_2

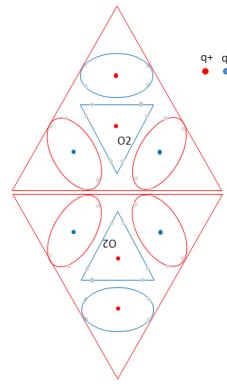
En combinant avec les 4 cas de la nucléonette O2, on obtient les 4 combinaisons suivantes :

1. Les électrinettes q_{W1} , q_{W2} , q_{M1} et q_{M2} ont le même niveau d'énergie E_1 .

$$L'_{21} = \begin{pmatrix} S_1 & W_1 \\ S_2 & W_2 \\ P_1 & M_1 \\ P_2 & M_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_2 & E_1 \\ E_2 & E_1 \\ E_2 & E_1 \\ E_2 & E_1 \end{pmatrix}$$

2. Les électrinettes q_{W1} , q_{W2} , q_{M1} et q_{M2} ont le même niveau d'énergie E_2 . $E_2 > E_1$.

$$L_{22} = \begin{pmatrix} S_1 & W_1 \\ S_2 & W_2 \\ P_1 & M_1 \\ P_2 & M_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_2 & E_2 \\ E_2 & E_2 \\ E_2 & E_2 \\ E_2 & E_2 \end{pmatrix}$$

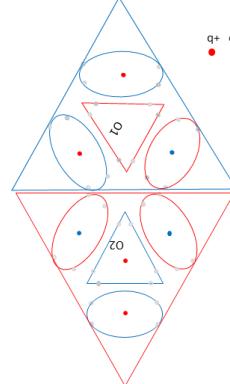


L'énergie de liaison s'écrit :

$$E_{L22} = 2 \cdot 4k_e \frac{\frac{1}{20} \frac{1}{20}}{\frac{1}{ref}^2} \cdot \frac{e^2}{d} = 2 \cdot 8388.681082 * 10^{-14} J = 1047.161 * 10^6 eV$$

3. Les électrinettes q_{W1} , q_{W2} , q_{M1} et q_{M2} ont 2 différents niveaux d'énergie $E_{W1} = E_{W2} = E_1$ et $E_{M1} = E_{M2} = E_2$.

$$L_{23} = \begin{pmatrix} S_1 & W_1 \\ S_2 & W_2 \\ P_1 & M_1 \\ P_2 & M_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_2 & E_1 \\ E_2 & E_1 \\ E_2 & E_2 \\ E_2 & E_2 \end{pmatrix}$$



L'énergie de liaison s'écrit :

$$E_{L23} = 2 \cdot 2k_e \frac{\frac{1}{20} \frac{1}{10}}{\frac{1}{ref}^2} \cdot \frac{e^2}{d} + 2 \cdot 2k_e \frac{\frac{1}{20} \frac{1}{20}}{\frac{1}{ref}^2} \cdot \frac{e^2}{d} = 2 \cdot 4664.786844 * 10^{-14} J$$

$$E_{L23} = 582.3062 * 10^6 eV$$

4. Les électrinettes q_{W1} , q_{W2} , q_{M1} et q_{M2} ont 2 différents niveaux d'énergie $E_{W1} = E_{W2} = E_2$ et $E_{M1} = E_{M2} = E_1$.

$$L'_{24} = \begin{pmatrix} S_1 & W_1 \\ S_2 & W_2 \\ P_1 & M_1 \\ P_2 & M_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_2 & E_2 \\ E_2 & E_2 \\ E_2 & E_1 \\ E_2 & E_1 \end{pmatrix}$$

Le cas L_{21} est équivalent au cas L_{12} . Le cas L_{24} est équivalent au cas L_{23} . Donc, il n'y a que 2 liaisons d'énergies différentes.

4.9.3.3 Cas 3 : Les électrinettes q_s et q_p sont de différent niveau d'énergie E_1 et E_2

En combinant avec les 4 cas de la nucléonette O2, on obtient les 4 combinaisons suivantes :

1. Les électrinettes q_{W1} , q_{W2} , q_{M1} et q_{M2} ont le même niveau d'énergie E_1 .

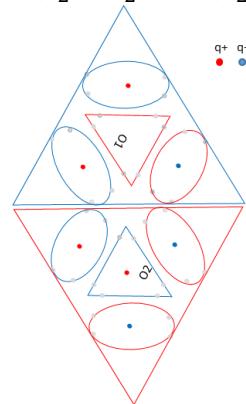
$$L''_{31} = \begin{pmatrix} S_1 & W_1 \\ S_2 & W_2 \\ P_1 & M_1 \\ P_2 & M_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_1 & E_1 \\ E_1 & E_1 \\ E_2 & E_1 \\ E_2 & E_1 \end{pmatrix}$$

2. Les électrinettes q_{W1} , q_{W2} , q_{M1} et q_{M2} ont le même niveau d'énergie E_2 . $E_2 > E_1$.

$$L''_{32} = \begin{pmatrix} S_1 & W_1 \\ S_2 & W_2 \\ P_1 & M_1 \\ P_2 & M_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_1 & E_2 \\ E_1 & E_2 \\ E_2 & E_2 \\ E_2 & E_2 \end{pmatrix}$$

3. Les électrinettes q_{W1} , q_{W2} , q_{M1} et q_{M2} ont 2 différents niveaux d'énergie $E_{W1} = E_{W2} = E_1$ et $E_{M1} = E_{M2} = E_2$.

$$L_{33} = \begin{pmatrix} S_1 & W_1 \\ S_2 & W_2 \\ P_1 & M_1 \\ P_2 & M_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_1 & E_1 \\ E_1 & E_1 \\ E_2 & E_2 \\ E_2 & E_2 \end{pmatrix}$$



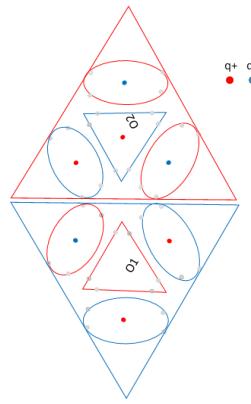
L'énergie de liaison s'écrit :

$$E_{L33} = 2 \cdot 2k_e \frac{\frac{1}{10} \frac{1}{10}}{\frac{1}{ref}^2} \cdot \frac{e^2}{d} + 2 \cdot 2k_e \frac{\frac{1}{20} \frac{1}{20}}{\frac{1}{ref}^2} \cdot \frac{e^2}{d} = 2 \cdot 4247.1068158 * 10^{-14} J$$

$$E_{L33} = 530.1671 * 10^6 eV$$

4. Les électrinettes q_{W1} , q_{W2} , q_{M1} et q_{M2} ont 2 différents niveaux d'énergie $E_{W1} = E_{W2} = E_2$ et $E_{M1} = E_{M2} = E_1$.

$$L''_{34} = \begin{pmatrix} S_1 & W_1 \\ S_2 & W_2 \\ P_1 & M_1 \\ P_2 & M_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_1 & E_2 \\ E_1 & E_2 \\ E_2 & E_1 \\ E_2 & E_1 \end{pmatrix}$$



Le cas L_{31} est équivalent au cas L_{13} . Le cas L_{32} est équivalent au cas L_{23} . Le cas L_{34} est équivalent au cas L_{12} . Donc, il n'y a que 1 liaison d'énergies différentes.

4.9.3.4 Cas 4 : Les électrinettes q_s et q_p sont de différent niveau d'énergie E_2 et E_1

En combinant avec les 4 cas de la nucléonette O2, on obtient les 4 combinaisons suivantes :

1. Les électrinettes q_{W1} , q_{W2} , q_{M1} et q_{M2} ont le même niveau d'énergie E_1 .

$$L''_{41} = \begin{pmatrix} S_1 & W_1 \\ S_2 & W_2 \\ P_1 & M_1 \\ P_2 & M_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_2 & E_1 \\ E_2 & E_1 \\ E_1 & E_1 \\ E_1 & E_1 \end{pmatrix}$$

2. Les électrinettes q_{W1} , q_{W2} , q_{M1} et q_{M2} ont le même niveau d'énergie E_2 . $E_2 > E_1$.

$$L''_{42} = \begin{pmatrix} S_1 & W_1 \\ S_2 & W_2 \\ P_1 & M_1 \\ P_2 & M_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_2 & E_2 \\ E_2 & E_2 \\ E_1 & E_2 \\ E_1 & E_2 \end{pmatrix}$$

3. Les électrinettes q_{W1} , q_{W2} , q_{M1} et q_{M2} ont 2 différents niveaux d'énergie $E_{W1} = E_{W2} = E_1$ et $E_{M1} = E_{M2} = E_2$.

$$L'_{43} = \begin{pmatrix} S_1 & W_1 \\ S_2 & W_2 \\ P_1 & M_1 \\ P_2 & M_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_2 & E_1 \\ E_2 & E_1 \\ E_1 & E_2 \\ E_1 & E_2 \end{pmatrix}$$

4. Les électrinettes q_{W1} , q_{W2} , q_{M1} et q_{M2} ont 2 différents niveaux d'énergie $E_{W1} = E_{W2} = E_2$ et $E_{M1} = E_{M2} = E_1$.

$$L'_{44} = \begin{pmatrix} S_1 & W_1 \\ S_2 & W_2 \\ P_1 & M_1 \\ P_2 & M_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_2 & E_2 \\ E_2 & E_2 \\ E_1 & E_1 \\ E_1 & E_1 \end{pmatrix}$$

Le cas L_{41} est équivalent au cas L_{12} . Le cas L_{42} est équivalent au cas L_{23} . Le cas L_{43} est équivalent au cas L_{12} . Le cas L_{44} est équivalent au cas L_{33} . Donc, il n'y a que 0 liaison d'énergies différentes.

4.9.3.5 Conclusion

Le bilan des liaisons énergétiques compte 6 niveaux différents.

Numéro Liaison	Couple SP, WM	Niveau d'énergie en MeV	Configurations possible	L_n
L₁₁	(E₁, E₁), (E₁, E₁)	13.173648	Proton – proton	1
L ₁₂	(E ₁ , E ₁), (E ₂ , E ₂)	117.4518	Proton – neutron	3
L ₁₃	(E ₁ , E ₁), (E ₁ , E ₂)	65.31273	Proton – nucleon	2
L ₁₄	(E ₁ , E ₁), (E ₂ , E ₁)	65.31273	Proton – nucleon	2
L ₂₁	(E ₂ , E ₂), (E ₁ , E ₁)	117.4518	Neutron - Proton	3
L₂₂	(E₂, E₂), (E₂, E₂)	1047.161	Neutron – neutron	6
L ₂₃	(E ₂ , E ₂), (E ₁ , E ₂)	582.3062	Neutron – nucleon	5
L ₂₄	(E ₂ , E ₂), (E ₂ , E ₁)	582.3062	Neutron – nucleon	5
L ₃₁	(E ₁ , E ₂), (E ₁ , E ₁)	65.31273	Nucleon – Proton	2
L ₃₂	(E ₁ , E ₂), (E ₂ , E ₂)	582.3062	Nucleon – neutron	5
L ₃₃	(E ₁ , E ₂), (E ₁ , E ₂)	530.1671	Nucleon – Nucleon	4
L ₃₄	(E ₁ , E ₂), (E ₂ , E ₁)	117.4518	Nucleon – Nucleon	3
L ₄₁	(E ₂ , E ₁), (E ₁ , E ₁)	65.31273	Nucleon – Proton	2
L ₄₂	(E ₂ , E ₁), (E ₂ , E ₂)	582.3062	Nucleon – neutron	5
L ₄₃	(E ₂ , E ₁), (E ₁ , E ₂)	117.4518	nucleon – nucleon	3
L ₄₄	(E ₂ , E ₁), (E ₂ , E ₁)	530.1671	Nucleon – Nucleon	4

Les valeurs de ce tableau sont approximatives.

La liaison ayant la moindre énergie, donc la plus stable est entre 2 protons. Mais, l'existence de deux charges positives impose une force répulsive qui fragilise cette liaison.

La liaison ayant le plus d'énergie, donc la moins stable est entre 2 neutrons.

Les liaisons incluant un neutron peuvent être la deuxième plus stable.

4.9.4 Modélisation des liaisons entre 2 nucléonettes.

La liaison entre les électrinettes de 2 nucléonettes reste semblable à celle entre 2 nucléons purs de type 2. Il est possible de combiner 6 nucléonettes en chaîne rebouclée dans un même plan. Puis de continuer sur la périphérie dans le même plan.

La différence avec les nucléons est qu'il n'y a pas d'électrinettes libres pour pouvoir empiler un autre plan en parallèle au premier plan.

Un bloc de 2 nucléonettes pourrait être le neutrino ν_τ du modèle standard dont la masse est 1.777 GeV.

4.9.5 Modélisation du noyau de deutérium

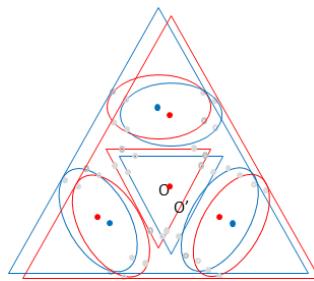
Le noyau de deutérium est composé d'un proton et d'un neutron. Quelle est la position relative entre ces deux nucléons ?

Les liaisons possibles sont au nombre de 15 (toutes les lignes sauf L₁₁ et L₂₂). Leur niveau d'énergie est classé dans l'ordre croissant : E_{L0}, E_{L2}, E_{L3}, E_{L4} et E_{L5}.

4.9.5.1 Cas 0 : Le niveau d'énergie E_{de0}

En prenant la combinaison ayant une énergie négative, on a :

$$E_{de0} = E_{L0} = -2.224694 \text{ MeV}$$

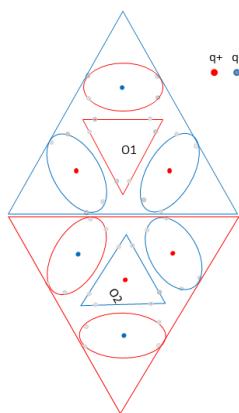


Ce cas se produit lorsque l'environnement est suffisamment refroidi. En effet, si l'environnement est celui des plasmas, les liaisons de faible énergie sont cassées, comme celles entre les électrons et le noyau d'un atome. C'est la dernière liaison établie lors du processus de refroidissement.

4.9.5.2 Cas 2 : Le niveau d'énergie E_{de2}

En prenant la combinaison ayant une énergie E_{L2} , on a :

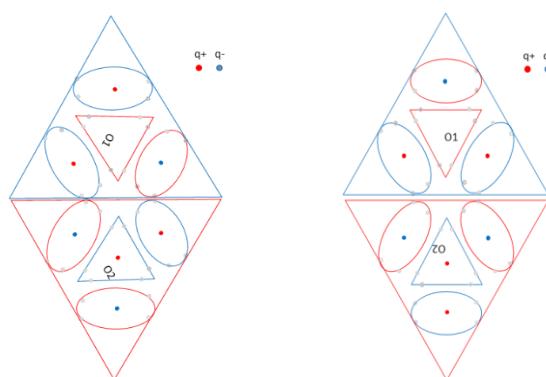
$$E_{de2} = E_{L2} = 65.313 \text{ MeV}$$



4.9.5.3 Cas 3 : Le niveau d'énergie E_{de3}

En prenant la combinaison ayant une énergie E_{L3} , on a :

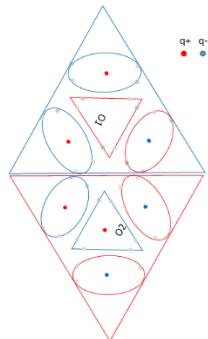
$$E_{de3} = E_{L3} = 117.45 \text{ MeV}$$



4.9.5.4 Cas 4 : Le niveau d'énergie E_{de4}

En prenant la combinaison ayant une énergie E_{L4} , on a :

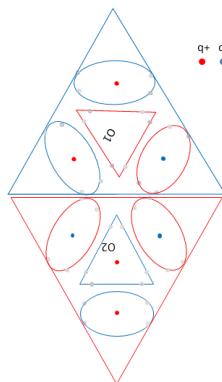
$$E_{de4} = E_{L4} = 530.17 \text{ MeV}$$



4.9.5.5 Cas 5 : Le niveau d'énergie E_{de5}

En prenant la combinaison ayant une énergie E_{L5} , on a :

$$E_{de5} = E_{L5} = 582.31 \text{ MeV}$$



Cette combinaison a le plus d'énergie. Ce cas est formé lorsque le niveau d'énergie de l'environnement dépasse une certaine valeur. C'est le premier cas qui apparaît lors du refroidissement après la fusion.

4.9.5.6 Conclusion

Le bilan des liaisons compte 5 niveaux différents.

No	Combi-naison	Energie de liaison	Stabilité statique	Stabilité dynamique	Stabilité électrique	Commentaire
1	De0	-2.224694	10	1	10	Empilage taux +
2	De2	65.313	1	60	0	basse énergie taux n ₀
3	De3	117.45	1	100	20	basse énergie taux ++
4	De4	530.17	1	500	-20	mi énergie taux --
5	De5	582.31	1	600	0	mi énergie taux n ₀

Durant le processus de refroidissement, les cas de deutérium se produisent dans l'ordre décroissant des 5 niveaux. D'abord, les noyaux deutérium d'énergie E_{de4} . Ensuite, la température baisse, les noyaux deutérium d'énergie E_{de3} . Ainsi de suite.

Bien sûr, excepté le cas E_{L0} , les nucléons doivent satisfaire les conditions de synchronisation.

4.9.6 Modélisation du noyau de tritium

Le noyau de tritium est composé d'un proton et de deux neutrons. Quelle est la position relative entre ces trois nucléons ?

La liaison entre le proton et le premier neutron a les mêmes possibilités que pour le deutérium.

Pour relier le neutron restant, il y a de multiples possibilités pour le coller au neutron déjà fixé ou au proton.

4.9.6.1 Cas On : Le niveau d'énergie E_{tr0n}

En prenant la combinaison ayant une énergie négative, on a :

$$E_{tr0n} = -4.241\ 082 \text{ MeV}$$

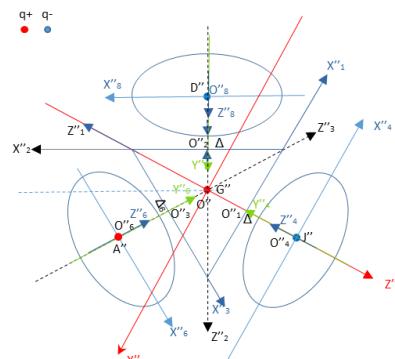
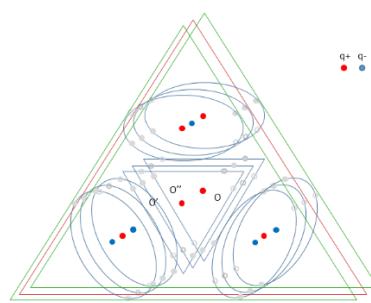
La première liaison est L_{tr0n} . Le proton est en parallèle avec le premier neutron.

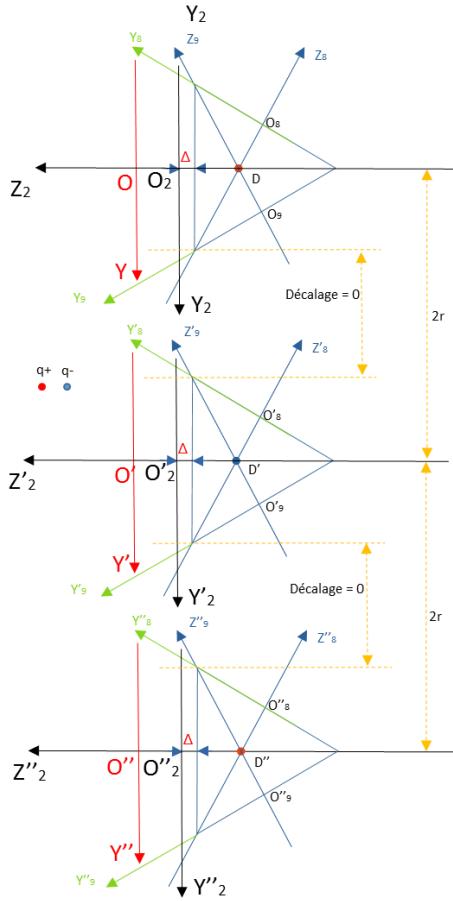
4.9.6.1.1 Cas 00 : Le niveau d'énergie E_{tr00}

En prenant la combinaison ayant une énergie négative pour le deuxième neutron, on a :

$$E_{tr00} = -8.482\ 164 \text{ MeV} \text{ (valeur expérimentale)}$$

Les deux liaisons sont notées L_{tr00} . Le deuxième neutron est en parallèle avec le proton.





Ce sont les dernières liaisons établies lors du processus de refroidissement.

Les énergies de liaison sont calculables de la même façon que pour le deutérium.

Les coordonnées des points D, D', D'', J, J', J'', A, A', A'', G, G' et G'' dans le repère global sont :

$$\overrightarrow{OD} = 2 \cdot \overrightarrow{OO_2}$$

$$D(x, y, z) = 2O_2 \left(-\frac{\sqrt{3}}{2}z_0, 0, -\frac{1}{2}z_0 \right) = D \left(-\sqrt{3} \frac{r}{\sqrt{3}}, 0, -\frac{r}{\sqrt{3}} \right) = D(-r, 0, -\frac{r}{\sqrt{3}})$$

$$D'(x, y, z) = D'(-r, -2r, -\frac{r}{\sqrt{3}})$$

$$D''(x, y, z) = D''(-r, -4r, -\frac{r}{\sqrt{3}})$$

$$A(x, y, z) = 2O_3 \left(\frac{\sqrt{3}}{2}z_0, 0, -\frac{1}{2}z_0 \right) = A \left(\sqrt{3} \frac{r}{\sqrt{3}}, 0, -\frac{r}{\sqrt{3}} \right) = A(r, 0, -\frac{r}{\sqrt{3}})$$

$$A'(x, y, z) = A'(r, -2r, -\frac{r}{\sqrt{3}})$$

$$A''(x, y, z) = A''(r, -4r, -\frac{r}{\sqrt{3}})$$

$$J(x, y, z) = 2O_1(0, 0, z_0) = J\left(0, 0, 2\frac{r}{\sqrt{3}}\right) = J(0, 0, \frac{2r}{\sqrt{3}})$$

$$J'(x, y, z) = J'(0, -2r, \frac{2r}{\sqrt{3}})$$

$$J''(x, y, z) = J''(0, -4r, \frac{2r}{\sqrt{3}})$$

$$G(x, y, z) = G(0, 0, 0)$$

$$G'(x, y, z) = G'(0, -2r, 0)$$

$$G''(x, y, z) = G''(0, -4r, 0)$$

Déterminer les énergies potentielles entre les couples de charges électriques du premier neutron et le proton :

$$E = E_A^{A'} + E_D^{D'} + E_J^{J'} + E_D^{J'} + E_J^{D'} + E_G^{A'} - E_A^{D'} - E_A^{J'} - E_D^{A'} - E_J^{A'} - E_G^{D'} - E_G^{J'}$$

$$E_x^{y'} = k_e \frac{\text{中}_x \cdot \text{中}_{y'}}{\text{中}_{ref}^2} \cdot \frac{e^2}{d_x^{y'}} = k_e \cdot \frac{(\text{中}_{ref} + \alpha_B \cdot \text{中}_{\delta y''}) (\text{中}_{ref} + \alpha_B \cdot \text{中}_{\delta y''}) e^2}{\text{中}_{ref}^2 \cdot d_x^{y'}}$$

Les termes en plus sont définis comme suit :

- α_B : le coefficient de proportionnalité de la charge neutre affectant le tritium.
- $\text{中}_{\delta y''}$: la charge neutre du tritium sans les électrinettes statiques.

$$E = \frac{k_e \cdot e^2}{4r} \cdot [6 - 2\sqrt{2} - \sqrt{3}] \frac{(\text{中}_{ref} + \alpha_B \cdot \text{中}_{\delta y''})^2}{\text{中}_{ref}^2}$$

Ici,

$$E = E_{tr00} / 2 = -4.241\ 082 \text{ MeV} = 6.794976759 \cdot 10^{-13} \text{ J.}$$

On en déduit la valeur de α_B :

$$\frac{E \cdot \text{中}_{ref}^2 \cdot 4r}{k_e \cdot e^2 \cdot [6 - 2\sqrt{2} - \sqrt{3}]} = (\text{中}_{ref} + \alpha_B \cdot \text{中}_{\delta y''})^2$$

$$\alpha_B \cdot \text{中}_{\delta y''} = \sqrt{\frac{E \cdot \text{中}_{ref}^2 \cdot 4r}{k_e \cdot e^2 \cdot [6 - 2\sqrt{2} - \sqrt{3}]} - (\text{中}_{ref})^2}$$

On a :

$$\text{中}_{\delta y''} = 8(\text{中}_F + \text{中}_F + \text{中}_H) + 10(\text{中}_H + \text{中}_H + \text{中}_F) = 2300.946\ 702 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

$$\text{中}_{ref} = 9.1 \cdot 10^{-31}$$

$$\alpha_B \text{中}_{\delta y''} = \sqrt{\frac{6.794976759 \cdot 10^{-13} \cdot 82.81 \cdot 10^{-62} \cdot 4 \cdot 0.36373 \cdot 10^{-15}}{8.987552 \cdot 1.602177^2 \cdot 10^{-29} \cdot [6 - 2\sqrt{2} - \sqrt{3}]} - 9.1 \cdot 10^{-31}}$$

$$\alpha_B \text{中}_{\delta y''} = \sqrt{\frac{24.650693695 \cdot 10^{-61}}{1.0} - 9.1 \cdot 10^{-31}}$$

$$\alpha_B \text{中}_{\delta y''} = 15.700\ 539\ 384 \cdot 10^{-31} - 9.1 \cdot 10^{-31}$$

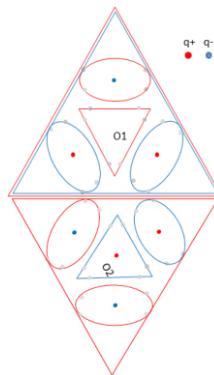
$$\alpha_B \cdot 2300.946702 \cdot 10^{-31} = 6.600\ 539\ 384 \cdot 10^{-31}$$

$$\alpha_B = 0.002\ 868\ 619$$

4.9.6.1.2 Cas 02 : Le niveau d'énergie E_{tr02}

En prenant la combinaison ayant une énergie E_{L2} pour le deuxième neutron, on a :

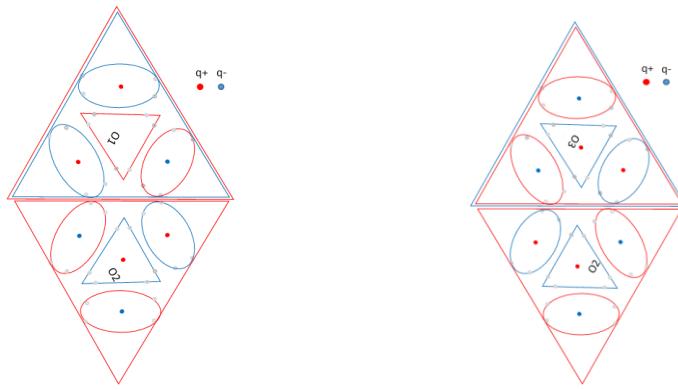
$$E_{tr02} = E_{tr0n} + E_{L2} = 65.313 - 4.241\ 082 \text{ MeV} = 61.072 \text{ MeV}$$



4.9.6.1.3 Cas 03 : Le niveau d'énergie E_{tr03}

En prenant la combinaison ayant une énergie E_{L3} pour le deuxième neutron, on a :

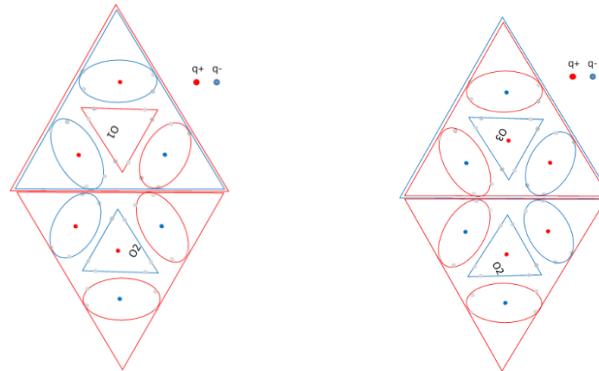
$$E_{tr03} = E_{tr0n} + E_{L3} = 117.45 - 4.241\ 082 \text{ MeV} = 113.209 \text{ MeV}$$



4.9.6.1.4 Cas 04 : Le niveau d'énergie E_{tr04}

En prenant la combinaison ayant une énergie E_{L4} pour le deuxième neutron, on a :

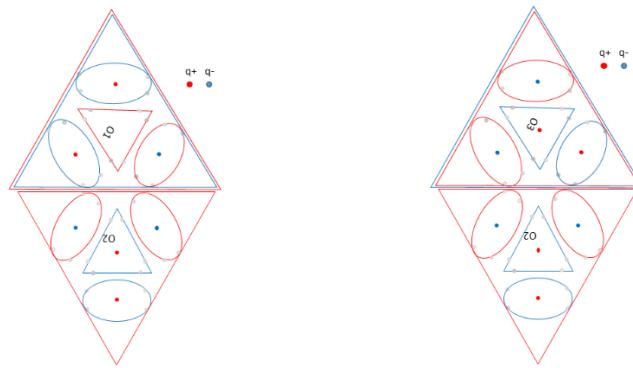
$$E_{tr04} = E_{tr0n} + E_{L4} = 530.1671 - 4.241\ 082 \text{ MeV} = 525.926 \text{ MeV}$$



4.9.6.1.5 Cas 05 : Le niveau d'énergie E_{tr05}

En prenant la combinaison ayant une énergie E_{L5} pour le deuxième neutron, on a :

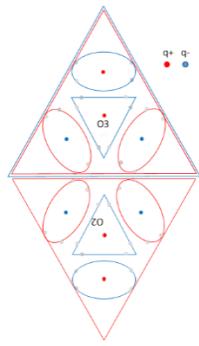
$$E_{tr05} = E_{tr0n} + E_{L5} = 582.3062 - 4.241\ 082 \text{ MeV} = 578.065 \text{ MeV}$$



4.9.6.1.6 Cas 06 : Le niveau d'énergie E_{tr06}

En prenant la combinaison ayant une énergie E_{L6} pour le deuxième neutron, on a :

$$E_{tr06} = E_{tr0n} + E_{L6} = 1047.161 - 4.241\ 082 \text{ MeV} = 1042.92 \text{ MeV}$$



4.9.6.2 Cas 2n : Le niveau d'énergie E_{tr2n}

En prenant la combinaison ayant une énergie E_{L2} , on a :

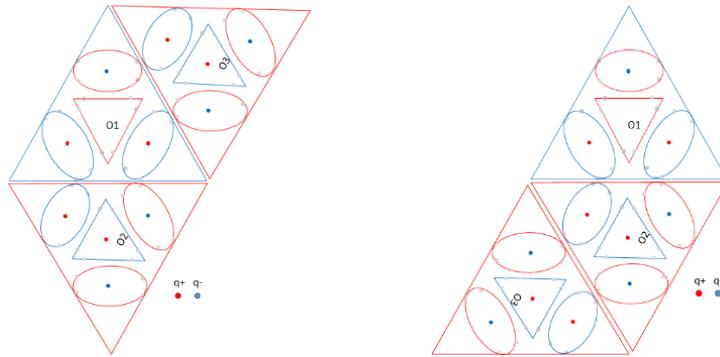
$$E_{tr2n} = E_{L2} = 65.31273 \text{ MeV}$$

La première liaison est L_{2n} . Le proton est en côte à côte avec le premier neutron.

4.9.6.2.1 Cas 23 : Le niveau d'énergie E_{tr23}

En prenant la combinaison ayant une énergie E_{L3} pour le deuxième neutron, on a :

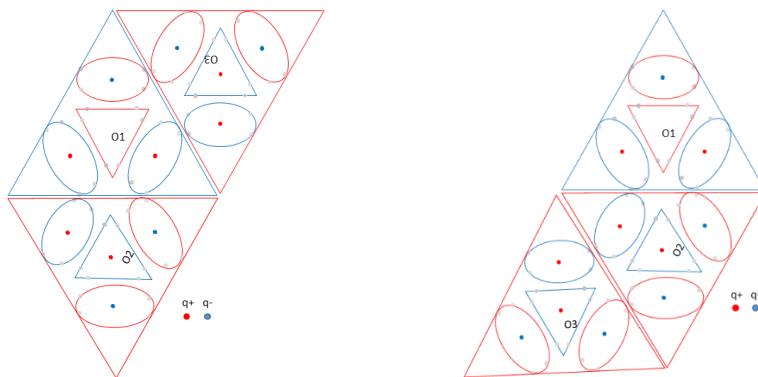
$$E_{tr23} = E_{L2} + E_{L3} = 65.31273 + 117.4518 \text{ MeV} = 182.76 \text{ MeV}$$



4.9.6.2.2 Cas 24 : Le niveau d'énergie E_{tr24}

En prenant la combinaison ayant une énergie E_{L4} pour le deuxième neutron, on a :

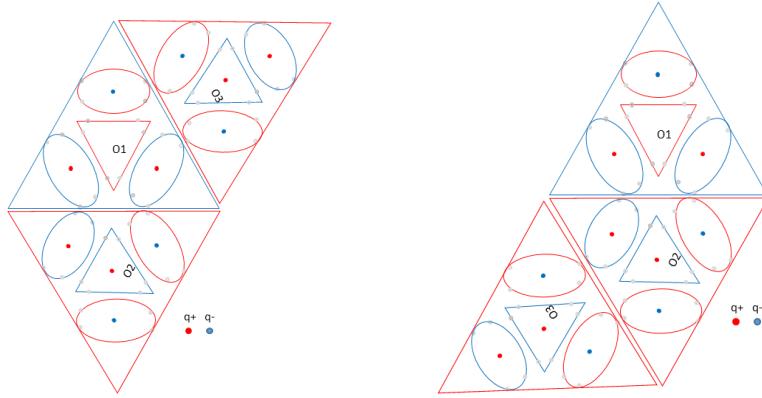
$$E_{tr24} = E_{L2} + E_{L4} = 65.31273 + 530.1671 \text{ MeV} = 595.48 \text{ MeV}$$



4.9.6.2.3 Cas 25 : Le niveau d'énergie E_{tr25}

En prenant la combinaison ayant une énergie E_{L5} pour le deuxième neutron, on a :

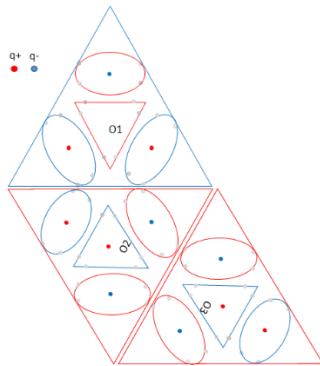
$$E_{tr25} = E_{L2} + E_{L5} = 65.31273 + 582.3062 \text{ MeV} = 647.62 \text{ MeV}$$



4.9.6.2.4 Cas 26 : Le niveau d'énergie E_{tr26}

En prenant la combinaison ayant une énergie E_{L6} pour le deuxième neutron, on a :

$$E_{tr26} = E_{L2} + E_{L6} = 65.31273 + 1047.161 \text{ MeV} = 1112.47 \text{ MeV}$$



4.9.6.3 Cas 3n : Le niveau d'énergie E_{tr3n}

En prenant la combinaison ayant une énergie E_{L3} , on a :

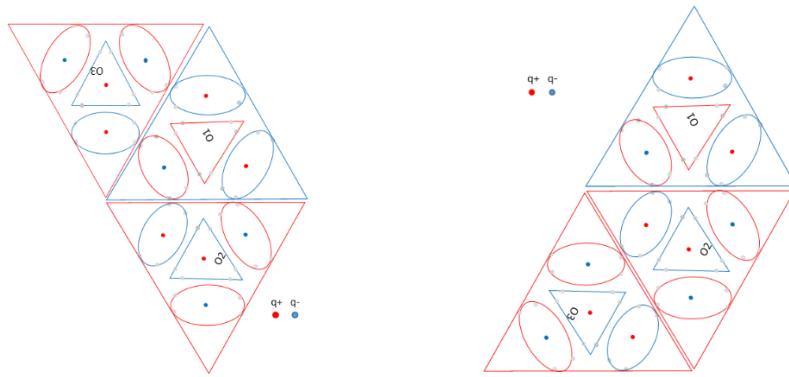
$$E_{tr3n} = E_{L3} = 117.4518 \text{ MeV}$$

La première liaison est L_{3n} . Le proton est en côte à côte avec le premier neutron.

4.9.6.3.1 Cas 33 : Le niveau d'énergie E_{tr33}

En prenant la combinaison ayant une énergie E_{L3} pour le deuxième neutron, on a :

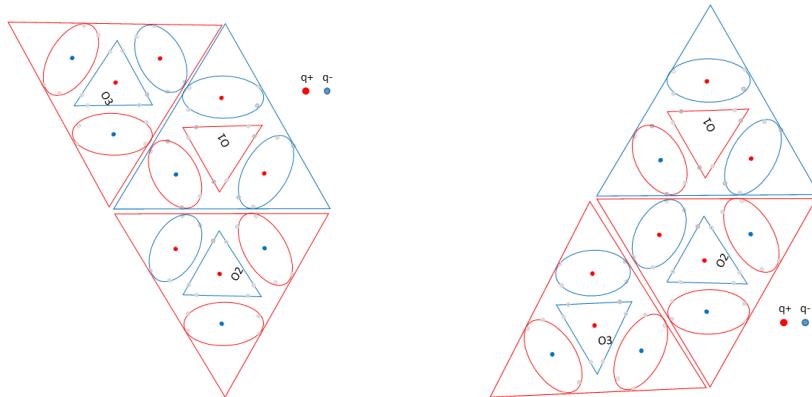
$$E_{tr33} = E_{L3} + E_{L3} = 117.4518 + 117.4518 \text{ MeV} = 234.90 \text{ MeV}$$



4.9.6.3.2 Cas 34 : Le niveau d'énergie E_{tr34}

En prenant la combinaison ayant une énergie E_{L4} pour le deuxième neutron, on a :

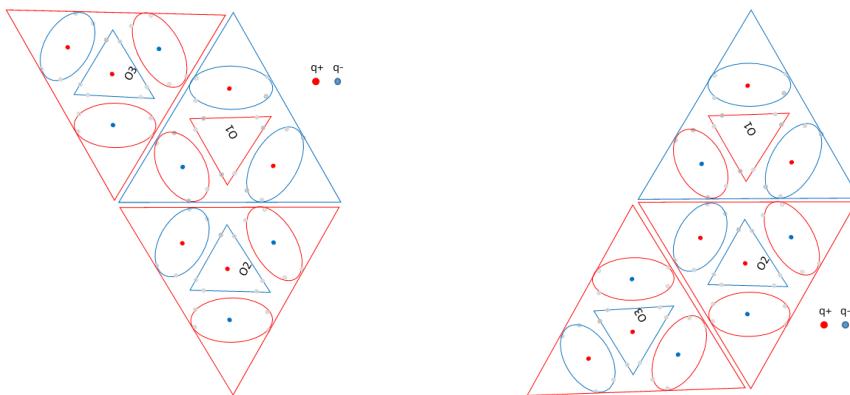
$$E_{tr34} = E_{L3} + E_{L4} = 117.4518 + 530.1671 \text{ MeV} = 647.62 \text{ MeV}$$



4.9.6.3.3 Cas 35 : Le niveau d'énergie E_{tr35}

En prenant la combinaison ayant une énergie E_{L5} pour le deuxième neutron, on a :

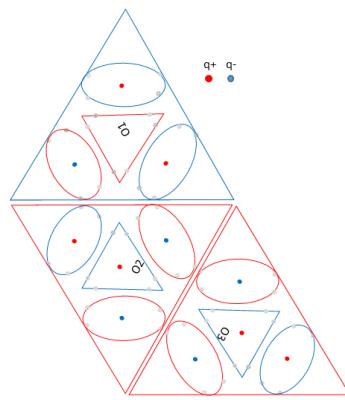
$$E_{tr35} = E_{L3} + E_{L5} = 117.4518 + 582.3062 \text{ MeV} = 699.76 \text{ MeV}$$



4.9.6.3.4 Cas 36 : Le niveau d'énergie E_{tr36}

En prenant la combinaison ayant une énergie E_{L6} pour le deuxième neutron, on a :

$$E_{tr36} = E_{L3} + E_{L6} = 117.4518 + 1047.161 \text{ MeV} = 1164.61 \text{ MeV}$$



4.9.6.4 Cas 4n : Le niveau d'énergie E_{tr4n}

En prenant la combinaison ayant une énergie E_{L4} , on a :

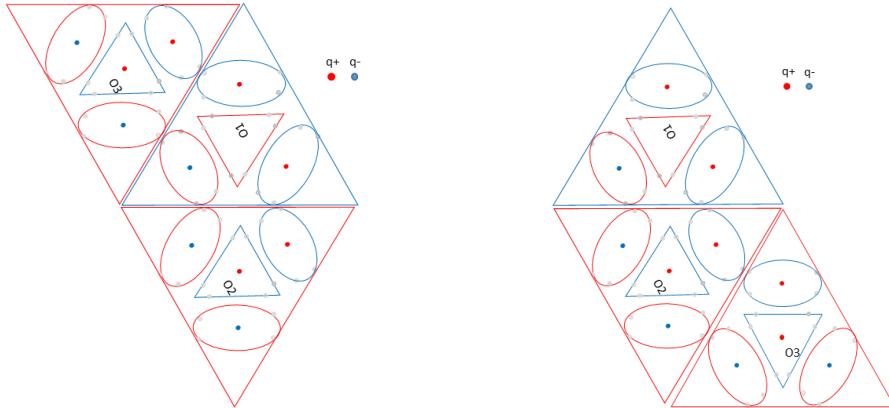
$$E_{tr4n} = E_{L4} = 530.1671 \text{ MeV}$$

La première liaison est L_{4n} . Le proton est en côte à côte avec le premier neutron.

4.9.6.4.1 Cas 44 : Le niveau d'énergie E_{tr44}

En prenant la combinaison ayant une énergie E_{L4} pour le deuxième neutron, on a :

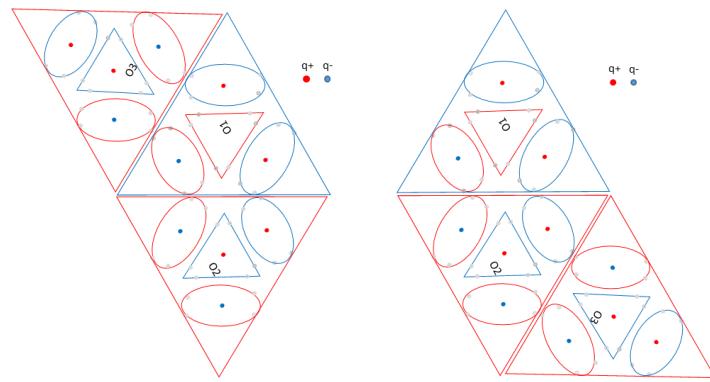
$$E_{tr44} = E_{L4} + E_{L4} = 530.1671 + 530.1671 \text{ MeV} = 1060.33 \text{ MeV}$$



4.9.6.4.2 Cas 45 : Le niveau d'énergie E_{tr45}

En prenant la combinaison ayant une énergie E_{L5} pour le deuxième neutron, on a :

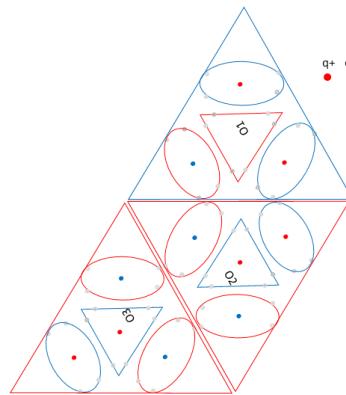
$$E_{tr45} = E_{L4} + E_{L5} = 530.1671 + 582.3062 \text{ MeV} = 1112.47 \text{ MeV}$$



4.9.6.4.3 Cas 46 : Le niveau d'énergie E_{tr46}

En prenant la combinaison ayant une énergie E_{L6} pour le deuxième neutron, on a :

$$E_{tr46} = E_{L4} + E_{L6} = 530.1671 + 1047.161 \text{ MeV} = 1577.33 \text{ MeV}$$



4.9.6.5 Cas 5n : Le niveau d'énergie E_{tr5n}

En prenant la combinaison ayant une énergie E_{L5} , on a :

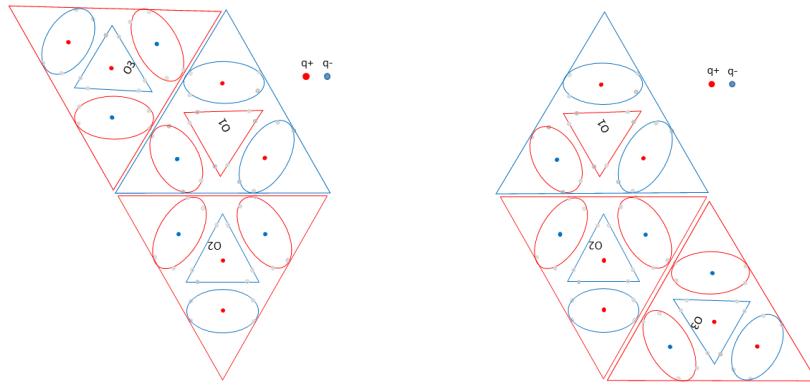
$$E_{tr5n} = E_{L5} = 582.3062 \text{ MeV}$$

La première liaison est L_{5n} . Le proton est en côte à côte avec le premier neutron.

4.9.6.5.1 Cas 55 : Le niveau d'énergie E_{tr55}

En prenant la combinaison ayant une énergie E_{L5} pour le deuxième neutron, on a :

$$E_{tr55} = E_{L5} + E_{L5} = 582.3062 + 582.3062 \text{ MeV} = 1164.61 \text{ MeV}$$



4.9.6.6 Conclusion

Le bilan des liaisons compte 18 niveaux différents d'énergie.

No	Combi-naison	Energie de liaison	Stabilité statique	Stabilité dynamique	Stabilité électrique	Commentaire
1	Tr00	-8.4822	10	1	10	Empilage taux +
2	Tr02	61.072	10	60	0	basse énergie taux n0
3	Tr03	113.209	10	100	20	basse énergie taux ++
4	Tr23	182.76	1	200	20	basse énergie taux ++
5	Tr33	234.90	1	200	40	basse énergie taux +++++
6	Tr04	525.93	10	500	-20	mi énergie taux --
7	Tr05	578.07	10	600	0	mi énergie taux n0
8	Tr24	595.48	1	600	-20	mi énergie taux --
9	Tr25	647.62	1	600	0	Mi énergie taux n0
10	Tr34	647.62	1	600	0	mi énergie taux n0
11	Tr35	699.76	1	700	20	mi énergie taux ++
12	Tr06	1042.92	10	1000	-20	haute énergie taux --
13	Tr44	1060.33	1	1000	-40	haute énergie taux ----
14	Tr26	1112.47	1	1000	-20	haute énergie taux --
15	Tr45	1112.47	1	1100	-20	haute énergie taux --
16	Tr36	1164.61	1	1000	0	haute énergie taux n0
17	Tr55	1164.61	1	1100	0	haute énergie taux n0
18	Tr46	1577.33	1	1500	-40	haute énergie taux ----

La configuration Tr33 apparaît comme un cas basse énergie stable à taux de présence élevé.

4.9.7 Modélisation du noyau d'hélium 4

Le noyau d'hélium 4 est composé de deux protons et de deux neutrons. Quelle est la position relative entre ces quatre nucléons ?

Pour décrire les configurations possibles, on part de la description du tritium, pour chacun de ses cas, un proton sera rajouté.

4.9.7.1 Cas On : Le niveau d'énergie E_{heon}

En prenant la combinaison ayant une énergie négative pour la première liaison, on a :

$$E_{\text{heon}} = -9.432\ 500 \text{ MeV}$$

La première liaison est L_{he0n} . Le premier proton est en parallèle avec le premier neutron.

4.9.7.1.1 Cas 00 : Le niveau d'énergie E_{he0n}

En prenant la combinaison ayant une énergie négative pour le deuxième neutron, on a :

$$E_{he00} = E_{he0n} + E_{he0n} = -18.865\ 00\ \text{MeV}$$

Les deux liaisons sont notées L_{he00} . Le deuxième neutron est en parallèle avec le premier proton.

Le cas P-N-P n'est pas étudié ici.

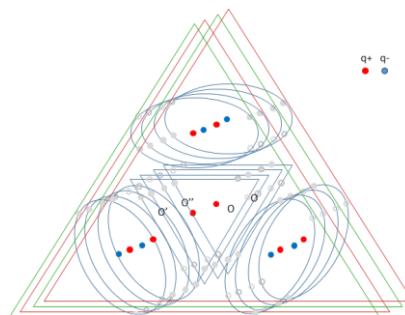
4.9.7.1.1.1 Cas 000 : Le niveau d'énergie E_{he000}

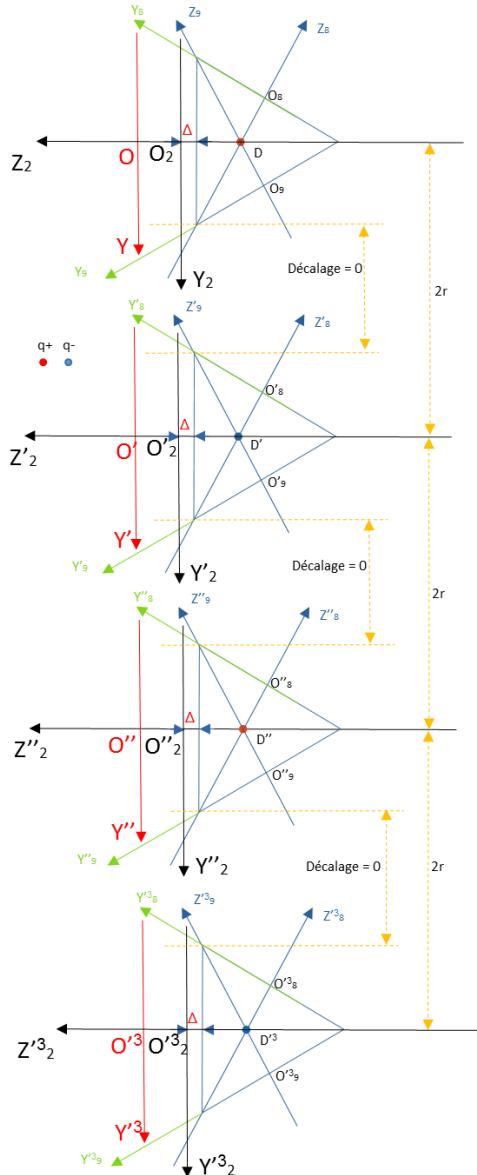
Le dernier proton prend le niveau d'énergie négative :

$$E_{he000} = E_{he00} + E_{he0n} = E_{he0n} + E_{he0n} + E_{he0n} = -28.297\ 499\ \text{MeV}$$

Les 4 nucléons sont empilés selon la façon suivante :

- N-P-N-P





Les énergies de liaison sont calculables de la même façon que pour le tritium.

Les coordonnées des points D, D', D'', D'^3, J, J', J'', J'^3, A, A', A'', A'^3, G, G', G'' et G'^3 dans le repère global sont :

$$\overrightarrow{OD} = 2 \cdot \overrightarrow{OO_2}$$

$$D(x, y, z) = 2O_2 \left(-\frac{\sqrt{3}}{2}z_0, 0, -\frac{1}{2}z_0 \right) = D \left(-\sqrt{3} \frac{r}{\sqrt{3}}, 0, -\frac{r}{\sqrt{3}} \right) = D(-r, 0, -\frac{r}{\sqrt{3}})$$

$$D'(x, y, z) = D'(-r, -2r, -\frac{r}{\sqrt{3}})$$

$$D''(x, y, z) = D''(-r, -4r, -\frac{r}{\sqrt{3}})$$

$$D'^3(x, y, z) = D'^3(-r, -6r, -\frac{r}{\sqrt{3}})$$

$$\begin{aligned}
A(x, y, z) &= 2O_3 \left(\frac{\sqrt{3}}{2} z_0, 0, -\frac{1}{2} z_0 \right) = A \left(\sqrt{3} \frac{r}{\sqrt{3}}, 0, -\frac{r}{\sqrt{3}} \right) = A(r, 0, -\frac{r}{\sqrt{3}}) \\
A'(x, y, z) &= A'(r, -2r, -\frac{r}{\sqrt{3}}) \\
A''(x, y, z) &= A''(r, -4r, -\frac{r}{\sqrt{3}}) \\
A'^3(x, y, z) &= A'^3(r, -6r, -\frac{r}{\sqrt{3}})
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
J(x, y, z) &= 2O_1(0, 0, z_0) = J \left(0, 0, 2 \frac{r}{\sqrt{3}} \right) = J(0, 0, \frac{2r}{\sqrt{3}}) \\
J'(x, y, z) &= J'(0, -2r, \frac{2r}{\sqrt{3}}) \\
J''(x, y, z) &= J''(0, -4r, \frac{2r}{\sqrt{3}}) \\
J'^3(x, y, z) &= J'^3(0, -6r, \frac{2r}{\sqrt{3}})
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
G(x, y, z) &= G(0, 0, 0) \\
G'(x, y, z) &= G'(0, -2r, 0) \\
G''(x, y, z) &= G''(0, -4r, 0) \\
G'^3(x, y, z) &= G'^3(0, -6r, 0)
\end{aligned}$$

Déterminer les énergies potentielles entre les couples de charges électriques du premier neutron et le proton :

$$\begin{aligned}
E &= E_A^{A'} + E_D^{D'} + E_J^{J'} + E_D^{J'} + E_J^{D'} + E_G^{A'} - E_A^{D'} - E_A^{J'} - E_D^{A'} - E_J^{A'} - E_G^{D'} - E_G^{J'} \\
E_x^{y'} &= k_e \frac{\text{申}_x \cdot \text{申}_{y'}}{\text{申}_{ref}^2} \cdot \frac{e^2}{d_x^{y'}} = k_e \cdot \frac{\left(\text{申}_{ref} + \alpha_c \cdot \text{申}_{\delta y/3} \right)^2 e^2}{\text{申}_{ref}^2 \cdot d_x^{y'}}
\end{aligned}$$

Les termes en plus sont définis comme suit :

- α_c : le coefficient de proportionnalité de la charge neutre affectant l'hélium.
- $\text{申}_{\delta y/3}$: la charge neutre de l'hélium sans les électrinettes statiques.

$$E = \frac{k_e \cdot e^2}{4r} \cdot [6 - 2\sqrt{2} - \sqrt{3}] \frac{\left(\alpha_{ref} + \alpha_c \cdot \alpha_{\delta y'3}\right)^2}{\alpha_{ref}^2}$$

Ici,

$$E = E_{he000} / 3 = -9.432\ 499\ 667\ \text{MeV} = -15.112\ 562\ 316 \cdot 10^{-13}\ \text{J}.$$

On en déduit la valeur de α_c :

$$\frac{E \cdot \alpha_{ref}^2 \cdot 4r}{k_e \cdot e^2 \cdot [6 - 2\sqrt{2} - \sqrt{3}]} = \left(\alpha_{ref} + \alpha_c \cdot \alpha_{\delta y'3}\right)^2$$

$$\alpha_c \cdot \alpha_{\delta y'3} = \sqrt{\frac{E \cdot \alpha_{ref}^2 \cdot 4r}{k_e \cdot e^2 \cdot [6 - 2\sqrt{2} - \sqrt{3}]}} - \left(\alpha_{ref}\right)$$

On a :

$$\alpha_{\delta y'3} = 12(\alpha_F + \alpha_F + \alpha_H) + 12(\alpha_H + \alpha_H + \alpha_F) = 2979.643212 \cdot 10^{-31}\ \text{kg}$$

$$\alpha_{ref} = 9.1 \cdot 10^{-31}$$

$$\alpha_c \alpha_{\delta y'3} = \sqrt{\frac{15.112562316 \cdot 10^{-13} \cdot 82.81 \cdot 10^{-62} \cdot 4 \cdot 0.36373 \cdot 10^{-15}}{8.987552 \cdot 1.602177^2 \cdot 10^{-29} \cdot [6 - 2\sqrt{2} - \sqrt{3}]} - 9.1 \cdot 10^{-31}}$$

$$\alpha_c \alpha_{\delta y'3} = \sqrt{\frac{54.825080027 \cdot 10^{-61}}{1.0} - 9.1 \cdot 10^{-31}}$$

$$\alpha_c \alpha_{\delta y'3} = 23.414\ 756\ 037 \cdot 10^{-31} - 9.1 \cdot 10^{-31}$$

$$\alpha_c \cdot 2979.643212 \cdot 10^{-31} = 14.314\ 756\ 037 \cdot 10^{-31}$$

$$\alpha_c = 0.004\ 804\ 185$$

A comparer au coefficient calculé avec la configuration He0330, mais les liaisons radiales à énergie négative :

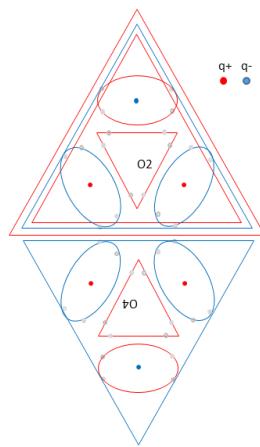
$$\alpha_g = 0.004\ 551\ 266$$

Approximativement, ils sont équivalents.

4.9.7.1.1.2 Cas 001 : Le niveau d'énergie E_{he001}

Le dernier proton prend le niveau d'énergie E_{L1} :

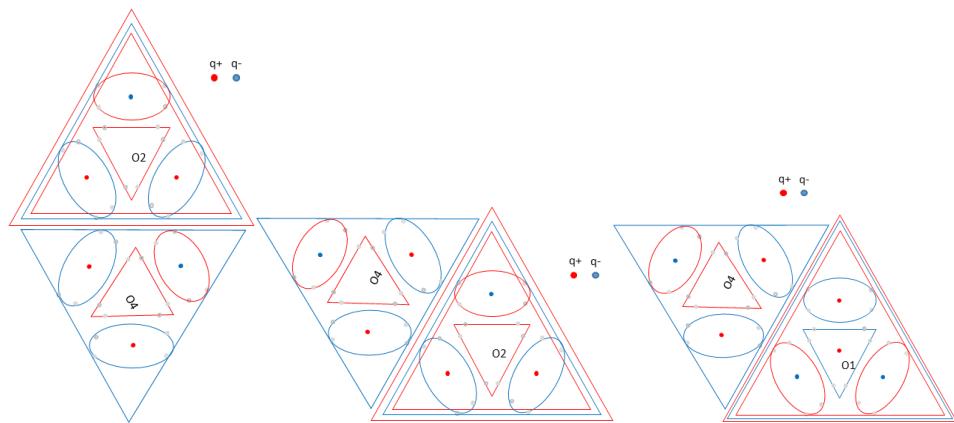
$$E_{he001} = E_{he00} + E_{L1} = 13.173648 - 18.865 = -5.691\ 351\ \text{MeV}$$



4.9.7.1.1.3 Cas 002 : Le niveau d'énergie E_{he002}

Le dernier proton prend le niveau d'énergie E_{L2} :

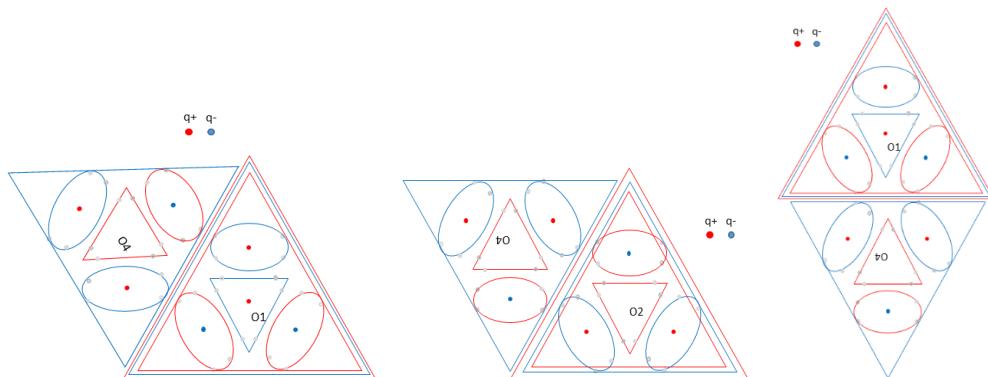
$$E_{he002} = E_{he00} + E_{L2} = 65.31273 - 18.865 = 46.448 \text{ MeV}$$



4.9.7.1.1.4 Cas 003 : Le niveau d'énergie E_{he003}

Le dernier proton prend le niveau d'énergie E_{L3} :

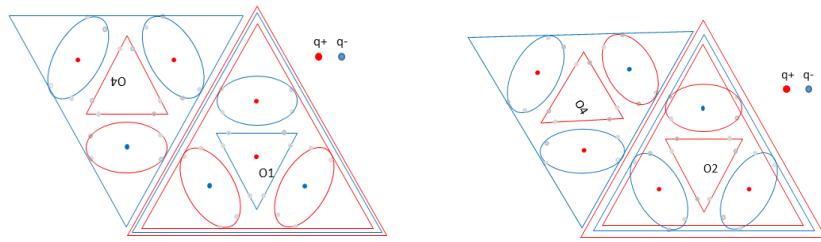
$$E_{he003} = E_{he00} + E_{L3} = 117.45 - 18.865 \text{ MeV} = 98.585 \text{ MeV}$$



4.9.7.1.1.5 Cas 004 : Le niveau d'énergie E_{he004}

Le dernier proton prend le niveau d'énergie E_{L4} :

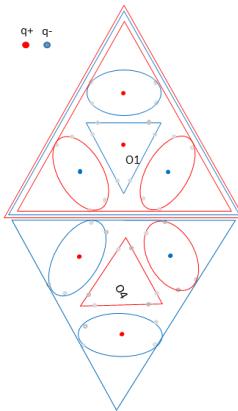
$$E_{he004} = E_{he00} + E_{L4} = 530.1671 - 18.865 \text{ MeV} = 511.302 \text{ MeV}$$



4.9.7.1.1.6 Cas 005 : Le niveau d'énergie E_{he005}

Le dernier proton prend le niveau d'énergie E_{L5} :

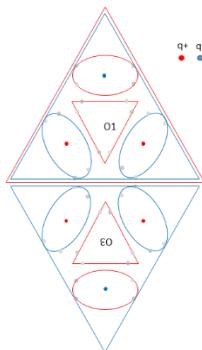
$$E_{he005} = E_{he00} + E_{L5} = 582.3062 - 18.865 \text{ MeV} = 563.441 \text{ MeV}$$



4.9.7.1.2 Cas 01 : Le niveau d'énergie E_{he01}

En prenant la combinaison ayant une énergie E_{L1} pour le deuxième neutron, on a :

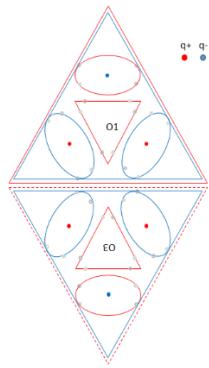
$$E_{he01} = E_{he0n} + E_{L1} = 13.173648 - 9.4325 \text{ MeV} = 3.741 147 667 \text{ MeV}$$



4.9.7.1.2.1 Cas 010 : Le niveau d'énergie E_{he010}

Le dernier proton prend le niveau d'énergie E_{he0n} :

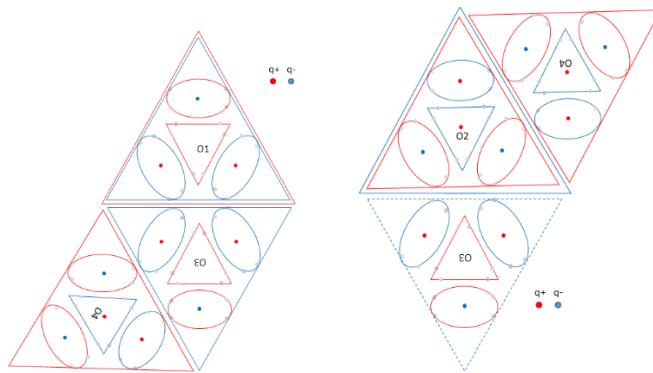
$$E_{he010} = E_{he0n} + E_{L1} + E_{he0n} = -9.4325 + 13.173648 - 9.4325 = -5.691 351 \text{ MeV}$$



4.9.7.1.2.2 Cas 013 : Le niveau d'énergie E_{he013}

Le dernier proton prend le niveau d'énergie E_{L3} :

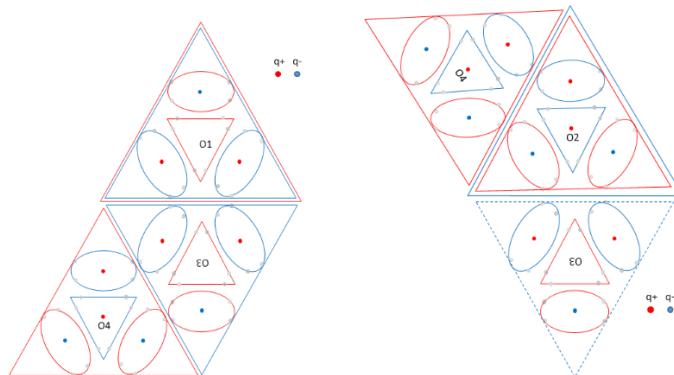
$$E_{he013} = E_{he0n} + E_{L1} + E_{L3} = 117.4518 + 13.173648 - 9.4325 = 121.191 \text{ MeV}$$



4.9.7.1.2.3 Cas 014 : Le niveau d'énergie E_{he014}

Le dernier proton prend le niveau d'énergie E_{L4} :

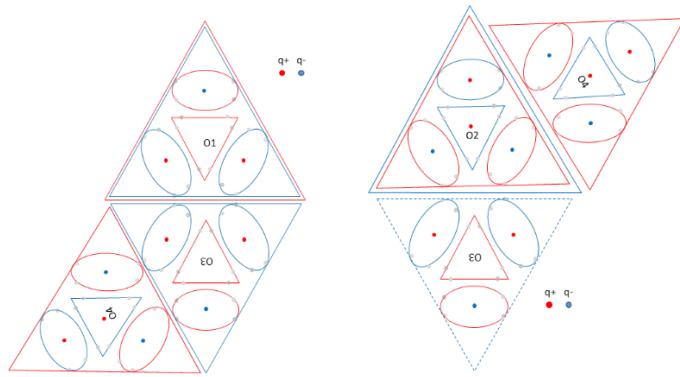
$$E_{he014} = E_{he0n} + E_{L1} + E_{L4} = 530.1671 + 13.173648 - 9.4325 = 533.908 \text{ MeV}$$



4.9.7.1.2.4 Cas 015 : Le niveau d'énergie E_{he015}

Le dernier proton prend le niveau d'énergie E_{L5} :

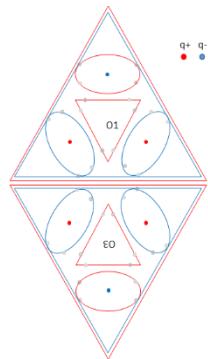
$$E_{he015} = E_{he0n} + E_{L1} + E_{L5} = 582.3062 + 13.173648 - 9.4325 = 586.047348 \text{ MeV}$$



4.9.7.1.2.5 Cas 0160 : Le niveau d'énergie E_{he0160}

Le dernier proton prend le niveau d'énergie E_{L6} et le niveau d'énergie E_{he0n} :

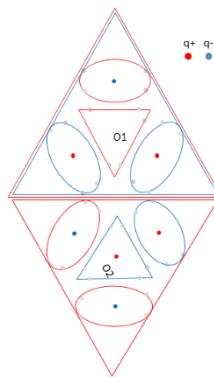
$$E_{he0160} = E_{he0n} + E_{L1} + E_{L6} + E_{he0n} = 1047.161 + 13.173648 - 9.4325 - 9.4325 = 1041.469648 \text{ MeV}$$



4.9.7.1.3 Cas 02 : Le niveau d'énergie E_{he02}

En prenant la combinaison ayant une énergie E_{L2} pour le deuxième neutron, on a :

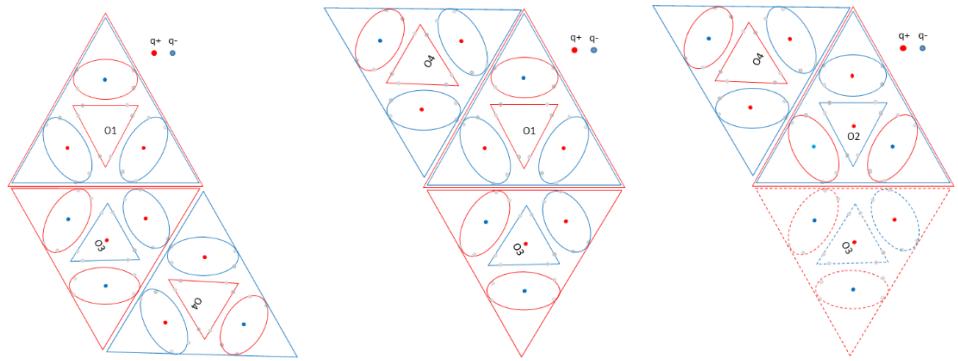
$$E_{he02} = E_{he0n} + E_{L2} = 65.313 - 9.4325 \text{ MeV} = 55.8805 \text{ MeV}$$



4.9.7.1.3.1 Cas 022 : Le niveau d'énergie E_{he022}

Le dernier proton prend le niveau d'énergie E_{L2} :

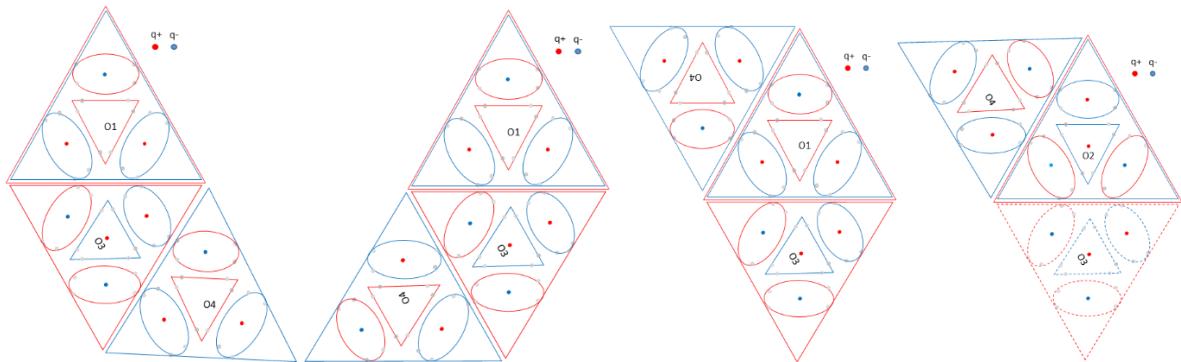
$$E_{he022} = E_{he0n} + E_{L2} + E_{L2} = 65.31273 + 65.31273 - 9.4325 = 121.19296 \text{ MeV}$$



4.9.7.1.3.2 Cas 023 : Le niveau d'énergie E_{he023}

Le dernier proton prend le niveau d'énergie E_{L3} :

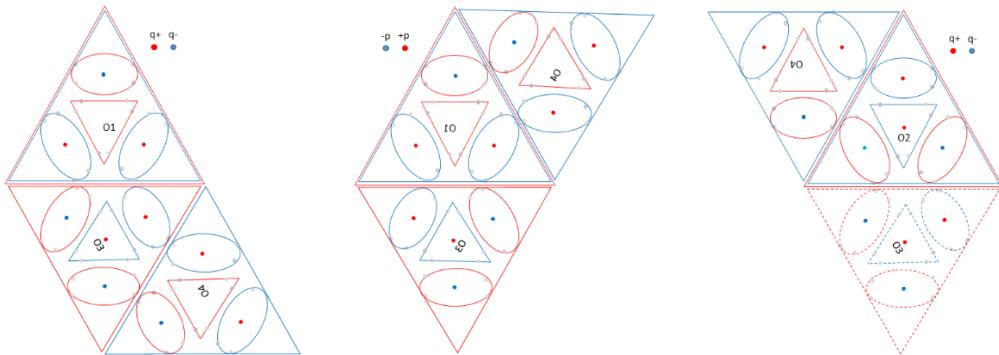
$$E_{he023} = E_{he0n} + E_{L2} + E_{L3} = 117.4518 + 65.31273 - 9.4325 = 173.33203 \text{ MeV}$$



4.9.7.1.3.3 Cas 024 : Le niveau d'énergie E_{he024}

Le dernier proton prend le niveau d'énergie E_{L4} :

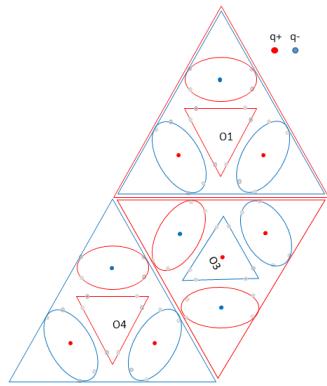
$$E_{he024} = E_{he0n} + E_{L2} + E_{L4} = 530.1671 + 65.31273 - 9.4325 = 586.04733 \text{ MeV}$$



4.9.7.1.3.4 Cas 025 : Le niveau d'énergie E_{he025}

Le dernier proton prend le niveau d'énergie E_{L5} :

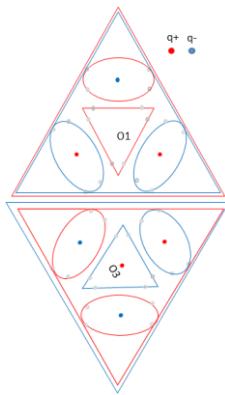
$$E_{he025} = E_{he0n} + E_{L2} + E_{L5} = 582.3062 + 65.31273 - 9.4325 = 638.18643 \text{ MeV}$$



4.9.7.1.3.5 Cas 0250 : Le niveau d'énergie E_{he0250}

Le dernier proton prend le niveau d'énergie E_{L5} et le niveau d'énergie E_{L0} :

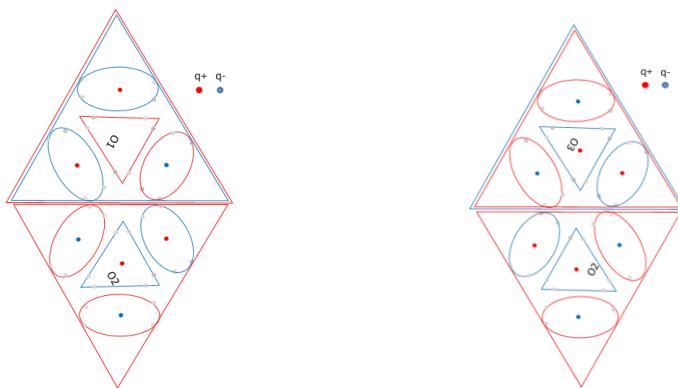
$$E_{he022} = E_{he0n} + E_{L2} + E_{L5} + E_{he0n} = 582.3062 + 65.31273 - 9.4325 - 9.4325 = 628.75393 \text{ MeV}$$



4.9.7.1.4 Cas 03 : Le niveau d'énergie E_{he03}

En prenant la combinaison ayant une énergie E_{L3} pour le deuxième neutron, on a :

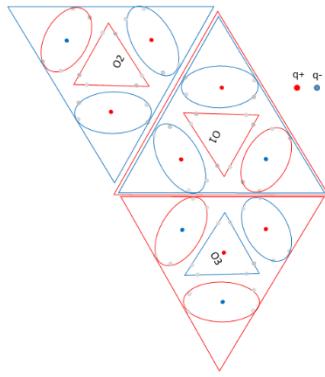
$$E_{he03} = E_{he0n} + E_{L3} = 117.45 - 9.4325 \text{ MeV} = 108.0193 \text{ MeV}$$



4.9.7.1.4.1 Cas 031 : Le niveau d'énergie E_{he031}

Le dernier proton prend le niveau d'énergie E_{L1} :

$$E_{he031} = E_{he0n} + E_{L3} + E_{L1} = 13.173648 + 117.4518 - 9.4325 = 121.192948 \text{ MeV}$$



4.9.7.1.4.2 Cas 032 : Le niveau d'énergie E_{he032}

Le dernier proton prend le niveau d'énergie E_{L2} :

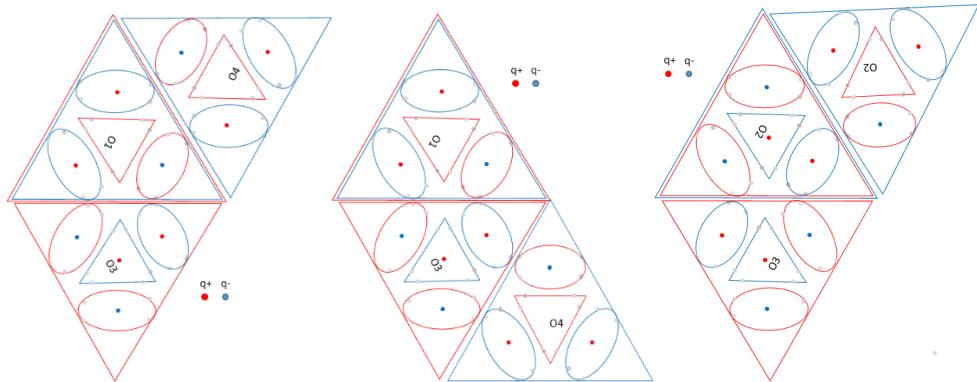
$$E_{he032} = E_{he0n} + E_{L3} + E_{L2} = 65.31273 + 117.4518 - 9.4325 = 173.33203 \text{ MeV}$$

Ce cas est identique au cas E_{he012} .

4.9.7.1.4.3 Cas 033 : Le niveau d'énergie E_{he033}

Le dernier proton prend le niveau d'énergie E_{L3} :

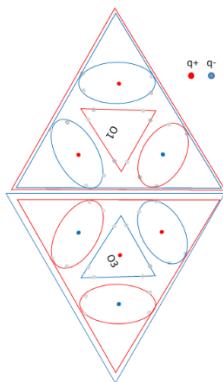
$$E_{he033} = E_{he0n} + E_{L3} + E_{L3} = 117.4518 + 117.4518 - 9.4325 = 225.4711 \text{ MeV}$$



4.9.7.1.4.4 Cas 0330 : Le niveau d'énergie E_{he0330}

Le dernier proton prend le niveau d'énergie E_{L3} et le niveau d'énergie 0 :

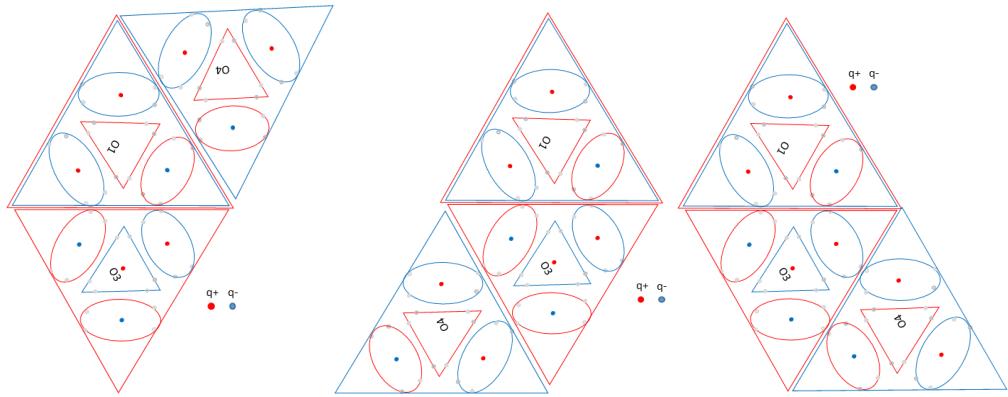
$$E_{he022} = E_{he0n} + E_{L3} + E_{L3} + E_{he0n} = 117.4518 + 117.4518 - 9.4325 - 9.4325 = 216.0386 \text{ MeV}$$



4.9.7.1.4.5 Cas 034 : Le niveau d'énergie E_{he034}

Le dernier proton prend le niveau d'énergie E_{L4} :

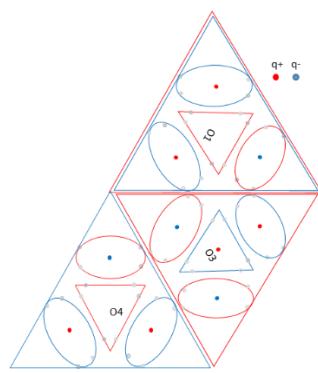
$$E_{he034} = E_{he0n} + E_{L3} + E_{L4} = 530.1671 + 117.4518 - 9.4325 = 638.1864 \text{ MeV}$$



4.9.7.1.4.6 Cas 035 : Le niveau d'énergie E_{he035}

Le dernier proton prend le niveau d'énergie E_{L5} :

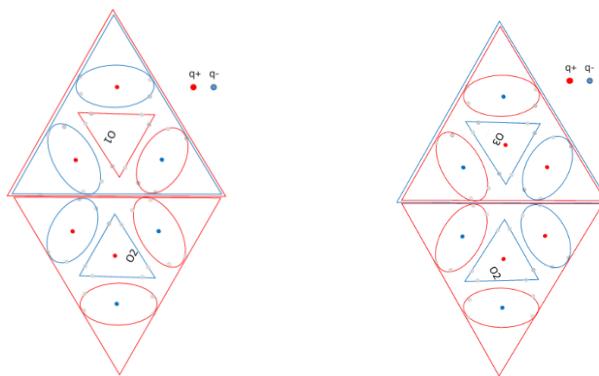
$$E_{he035} = E_{he0n} + E_{L3} + E_{L5} = 582.3062 + 117.4518 - 9.4325 = 690.3255 \text{ MeV}$$



4.9.7.1.5 Cas 04 : Le niveau d'énergie E_{he04}

En prenant la combinaison ayant une énergie E_{L4} pour le deuxième neutron, on a :

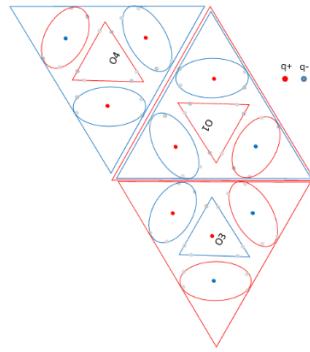
$$E_{he04} = E_{he0n} + E_{L4} = 530.1671 - 9.4325 \text{ MeV} = 520.7346 \text{ MeV}$$



4.9.7.1.5.1 Cas 041 : Le niveau d'énergie E_{he041}

Le dernier proton prend le niveau d'énergie E_{L1} :

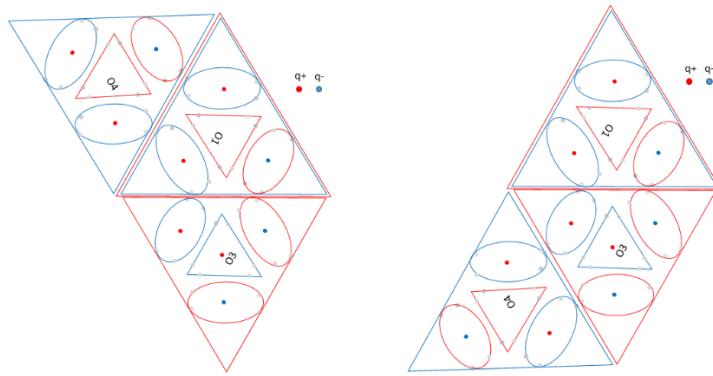
$$E_{he041} = E_{he0n} + E_{L4} + E_{L1} = 13.173648 + 530.1671 - 9.4325 = 533.908248 \text{ MeV}$$



4.9.7.1.5.2 Cas 042 : Le niveau d'énergie E_{he042}

Le dernier proton prend le niveau d'énergie E_{L2} :

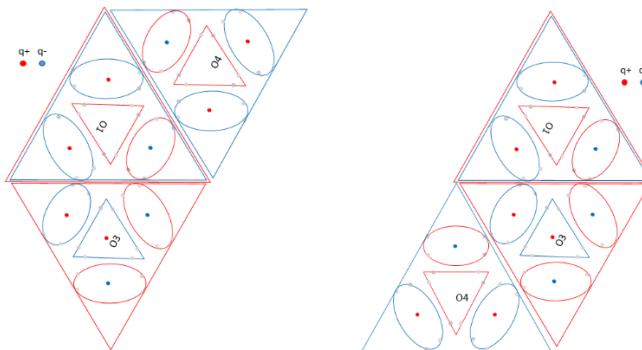
$$E_{he042} = E_{he0n} + E_{L4} + E_{L2} = 65.31273 + 530.1671 - 9.4325 = 586.04733 \text{ MeV}$$



4.9.7.1.5.3 Cas 043 : Le niveau d'énergie E_{he043}

Le dernier proton prend le niveau d'énergie E_{L3} :

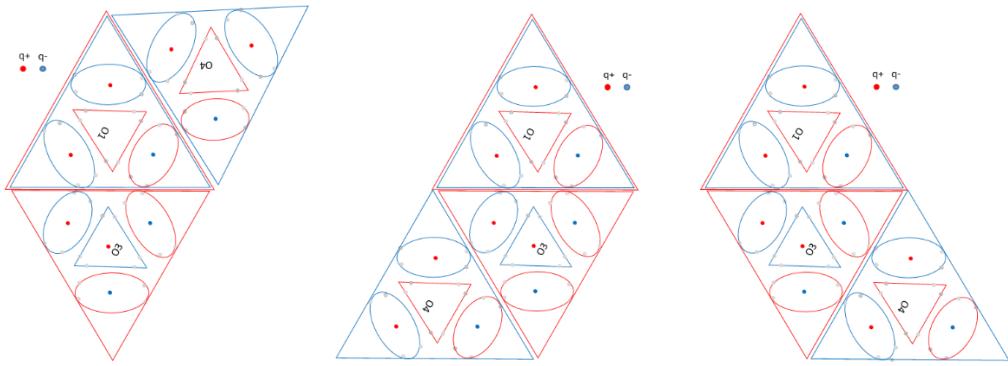
$$E_{he043} = E_{he0n} + E_{L4} + E_{L3} = 117.4518 + 530.1671 - 9.4325 = 638.1864 \text{ MeV}$$



4.9.7.1.5.4 Cas 044 : Le niveau d'énergie E_{he044}

Le dernier proton prend le niveau d'énergie E_{L3} :

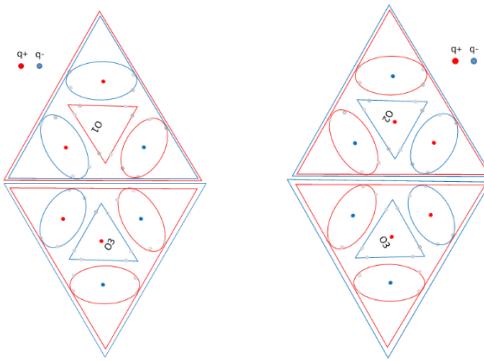
$$E_{he044} = E_{he0n} + E_{L4} + E_{L4} = 530.1671 + 530.1671 - 9.4325 = 1050.9017 \text{ MeV}$$



4.9.7.1.5.5 Cas 0440 : Le niveau d'énergie E_{he0440}

Le dernier proton prend le niveau d'énergie E_{L4} et le niveau d'énergie E_{he0n} :

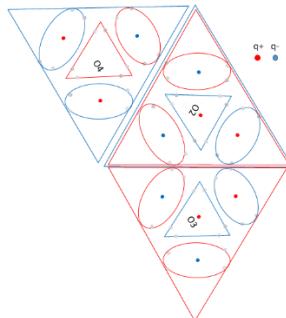
$$E_{he044} = E_{he0n} + E_{L4} + E_{L4} + E_{he0n} = 530.1671 + 530.1671 - 9.4325 - 9.4325 = 1041.4692 \text{ MeV}$$



4.9.7.1.5.6 Cas 045 : Le niveau d'énergie E_{he045}

Le dernier proton prend le niveau d'énergie E_{L5} :

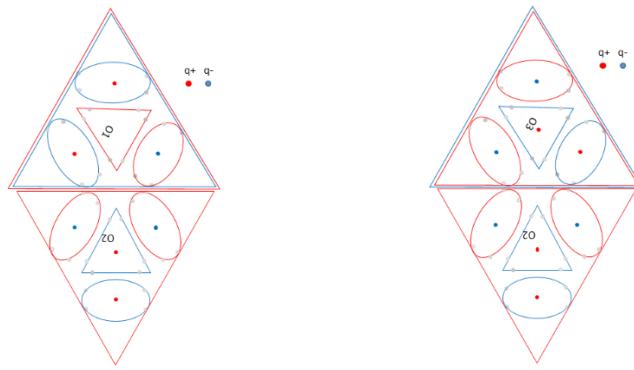
$$E_{he045} = E_{he0n} + E_{L4} + E_{L5} = 530.1671 + 582.3062 - 9.4325 = 1103.0408 \text{ MeV}$$



4.9.7.1.6 Cas 05 : Le niveau d'énergie E_{he05}

En prenant la combinaison ayant une énergie E_{L5} pour le deuxième neutron, on a :

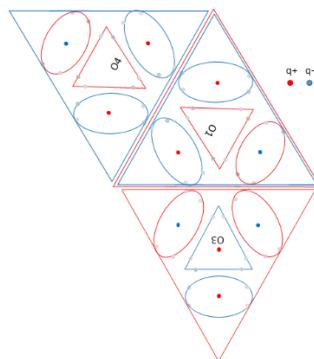
$$E_{he05} = E_{he0n} + E_{L5} = 582.3062 - 9.4325 \text{ MeV} = 572.8737 \text{ MeV}$$



4.9.7.1.6.1 Cas 051 : Le niveau d'énergie E_{he051}

Le dernier proton prend le niveau d'énergie E_{L1} :

$$E_{he051} = E_{he0n} + E_{L5} + E_{L1} = 13.173648 + 582.3062 - 9.4325 = 586.047348 \text{ MeV}$$



4.9.7.1.6.2 Cas 052 : Le niveau d'énergie E_{he052}

Le dernier proton prend le niveau d'énergie E_{L2} :

$$E_{he052} = E_{he0n} + E_{L5} + E_{L2} = 65.31273 + 582.3062 - 9.4325 = 638.18643 \text{ MeV}$$

Ce cas est identique au cas E_{he025} .

4.9.7.1.6.3 Cas 053 : Le niveau d'énergie E_{he053}

Le dernier proton prend le niveau d'énergie E_{L3} :

$$E_{he053} = E_{he0n} + E_{L5} + E_{L3} = 117.4518 + 582.3062 - 9.4325 = 690.3255 \text{ MeV}$$

Ce cas est identique au cas E_{he035} .

4.9.7.1.6.4 Cas 054 : Le niveau d'énergie E_{he054}

Le dernier proton prend le niveau d'énergie E_{L4} :

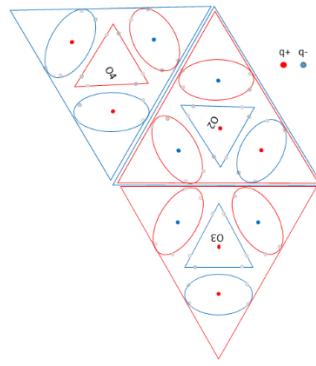
$$E_{he054} = E_{he0n} + E_{L5} + E_{L4} = 530.1671 + 582.3062 - 9.4325 = 1103.0408 \text{ MeV}$$

Ce cas est identique au cas E_{he045} .

4.9.7.1.6.5 Cas 055 : Le niveau d'énergie E_{he055}

Le dernier proton prend le niveau d'énergie E_{L5} :

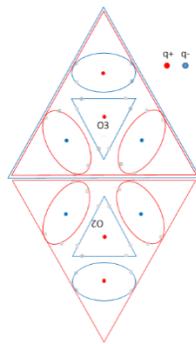
$$E_{he055} = E_{he0n} + E_{L5} + E_{L5} = 582.3062 + 582.3062 - 9.4325 = 1155.1799 \text{ MeV}$$



4.9.7.1.7 Cas 06 : Le niveau d'énergie E_{he06}

En prenant la combinaison ayant une énergie E_{L6} pour le deuxième neutron, on a :

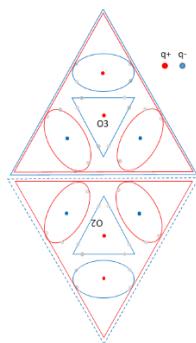
$$E_{he06} = E_{he0n} + E_{L6} = 1047.161 - 9.4325 \text{ MeV} = 1037.7285 \text{ MeV}$$



4.9.7.1.7.1 Cas 060 : Le niveau d'énergie E_{he060}

Le dernier proton prend le niveau d'énergie E_{he0n} :

$$E_{he060} = E_{he0n} + E_{L6} + E_{he0n} = -9.4325 + 1047.161 - 9.4325 = 1028.296 \text{ MeV}$$



4.9.7.1.7.2 Cas 0610 : Le niveau d'énergie E_{he0610}

Le dernier proton prend le niveau d'énergie E_{L1} et le niveau d'énergie E_{L0} :

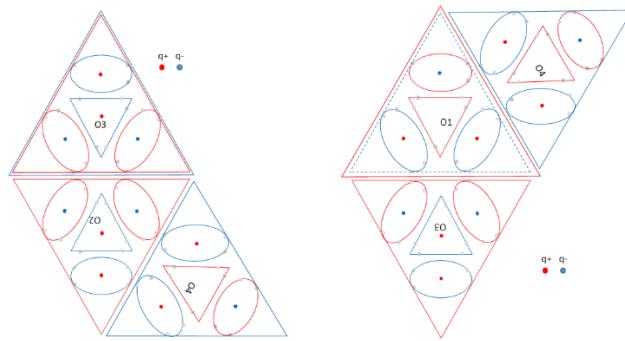
$$E_{he0610} = E_{he0n} + E_{L6} + E_{L1} + E_{he0n} = 13.173648 + 1047.161 - 9.4325 - 9.4325 = 1041.469648 \text{ MeV}$$

Ce cas est identique au cas E_{he0160} .

4.9.7.1.7.3 Cas 062 : Le niveau d'énergie E_{he062}

Le dernier proton prend le niveau d'énergie E_{L2} :

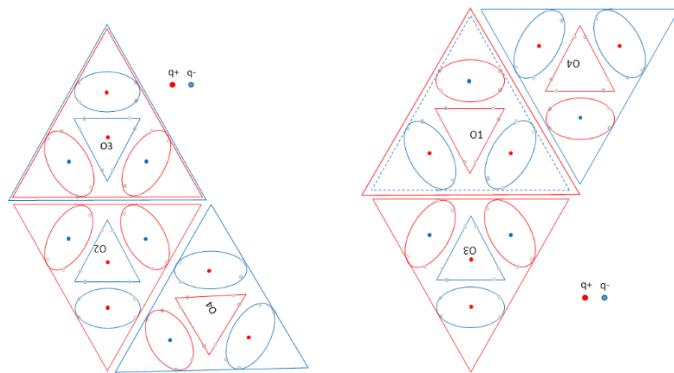
$$E_{he062} = E_{he0n} + E_{L6} + E_{L2} = 65.31273 + 1047.161 - 9.4325 = 1103.04123 \text{ MeV}$$



4.9.7.1.7.4 Cas 063 : Le niveau d'énergie E_{he063}

Le dernier proton prend le niveau d'énergie E_{L3} :

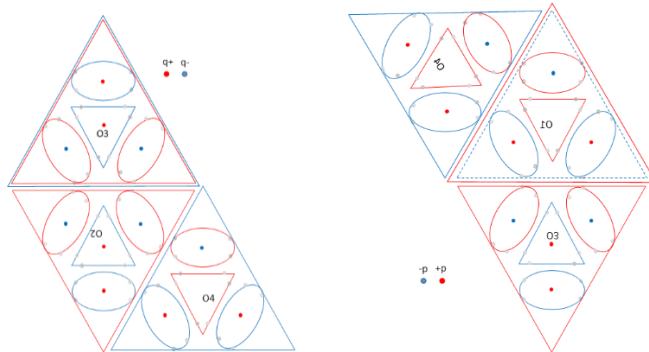
$$E_{he063} = E_{he0n} + E_{L6} + E_{L3} = 117.4517 + 1047.161 - 9.4325 = 1155.1802 \text{ MeV}$$



4.9.7.1.7.5 Cas 064 : Le niveau d'énergie E_{he064}

Le dernier proton prend le niveau d'énergie E_{L4} :

$$E_{he064} = E_{he0n} + E_{L6} + E_{L4} = 530.1671 + 1047.161 - 9.4325 = 1567.8956 \text{ MeV}$$

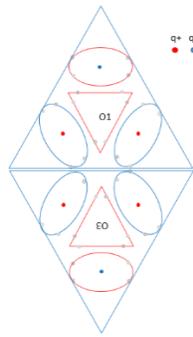


4.9.7.2 Cas 1n : Le niveau d'énergie E_{he1n}

En prenant la combinaison ayant une énergie E_{L1} pour la première liaison, on a :

$$E_{he1n} = E_{L1} = 13.173648 \text{ MeV}$$

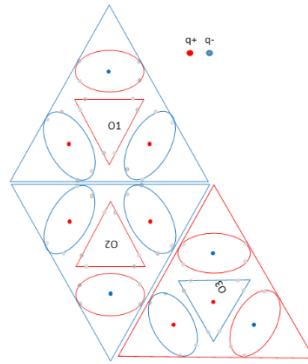
La première liaison est L_{1n} . Le premier proton est en côte à côte avec le deuxième proton.



4.9.7.2.1 Cas 13 : Le niveau d'énergie E_{he13}

En prenant la combinaison ayant une énergie E_{L3} pour le premier neutron, on a :

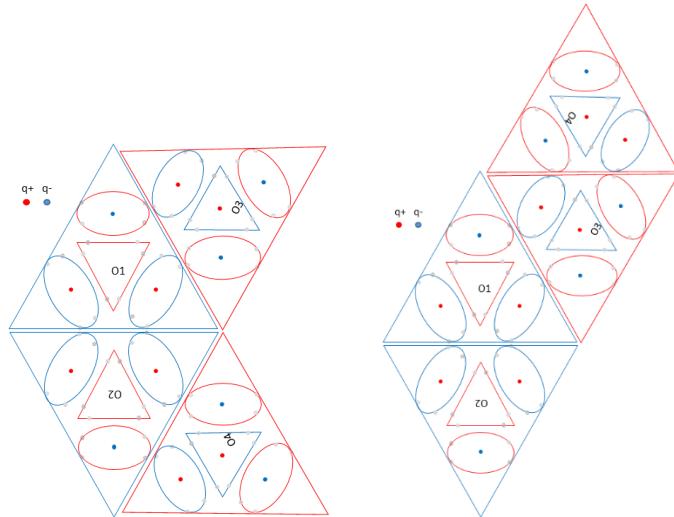
$$E_{he13} = E_{L1} + E_{L3} = 13.173648 + 117.4518 \text{ MeV} = 130.63 \text{ MeV}$$



4.9.7.2.1.1 Cas 133 : Le niveau d'énergie E_{he133}

Le dernier neutron prend le niveau d'énergie E_{L3} :

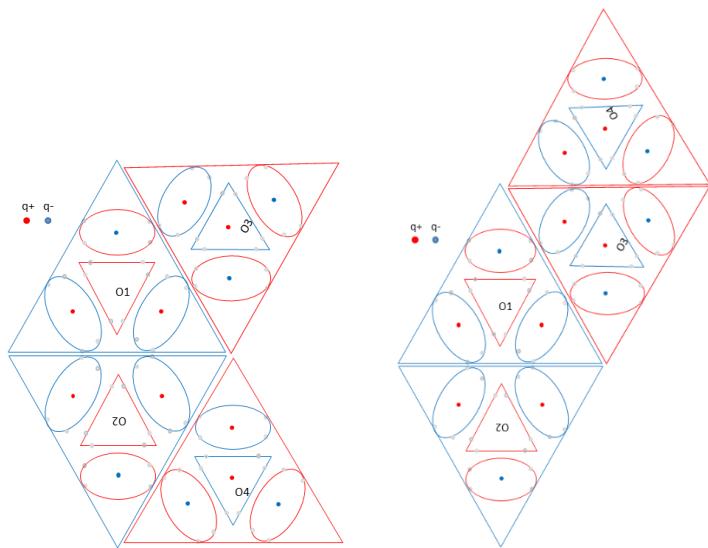
$$E_{he133} = E_{L1} + E_{L3} + E_{L3} = 13.173648 + 117.4518 + 117.4518 \text{ MeV} = 248.08 \text{ MeV}$$



4.9.7.2.1.2 Cas 134 : Le niveau d'énergie E_{he134}

Le dernier neutron prend le niveau d'énergie E_{L4} :

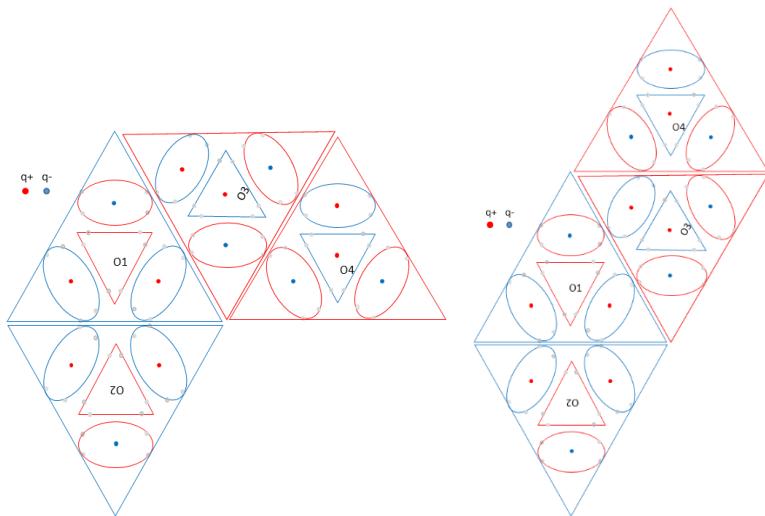
$$E_{he134} = E_{L1} + E_{L3} + E_{L4} = 13.173648 + 117.4518 + 530.1671 \text{ MeV} = 660.79 \text{ MeV}$$



4.9.7.2.1.3 Cas 135 : Le niveau d'énergie E_{he135}

Le dernier neutron prend le niveau d'énergie E_{L5} :

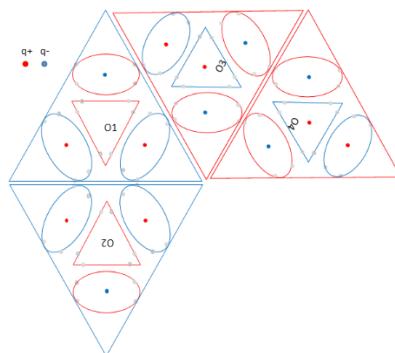
$$E_{he135} = E_{L1} + E_{L3} + E_{L5} = 13.173648 + 117.4518 + 582.3062 \text{ MeV} = 712.93 \text{ MeV}$$



4.9.7.2.1.4 Cas 136 : Le niveau d'énergie E_{he136}

Le dernier neutron prend le niveau d'énergie E_{L6} :

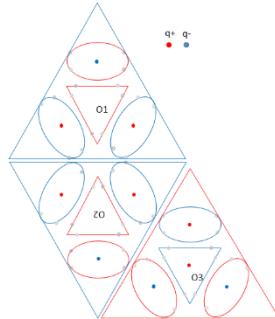
$$E_{he136} = E_{L1} + E_{L3} + E_{L6} = 13.173648 + 117.4518 + 1047.161 \text{ MeV} = 1177.79 \text{ MeV}$$



4.9.7.2.2 Cas 14 : Le niveau d'énergie E_{he14}

En prenant la combinaison ayant une énergie E_{L4} pour le premier neutron, on a :

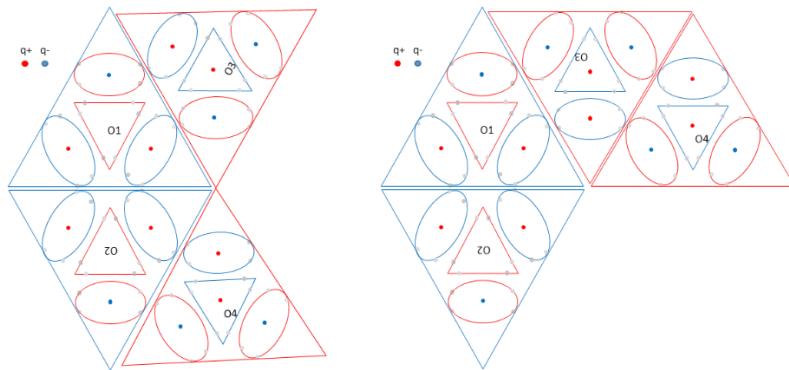
$$E_{he14} = E_{L1} + E_{L4} = 13.173648 + 530.1671 \text{ MeV} = 543.34 \text{ MeV}$$



4.9.7.2.2.1 Cas 143 : Le niveau d'énergie E_{he143}

Le dernier neutron prend le niveau d'énergie E_{L3} :

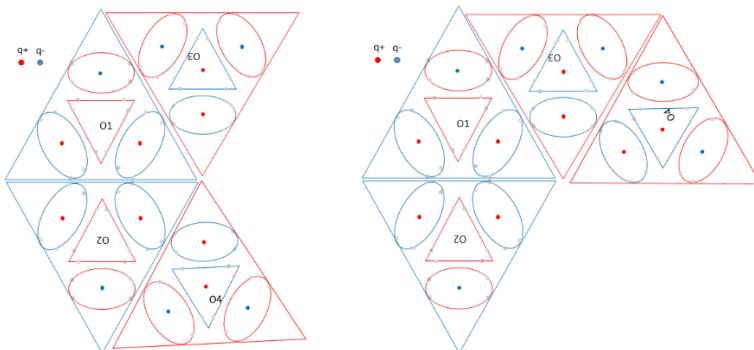
$$E_{he143} = E_{L1} + E_{L4} + E_{L3} = 13.173648 + 530.1671 + 117.4518 \text{ MeV} = 660.79 \text{ MeV}$$



4.9.7.2.2.2 Cas 144 : Le niveau d'énergie E_{he144}

Le dernier neutron prend le niveau d'énergie E_{L4} :

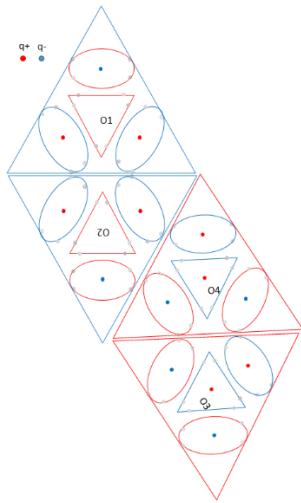
$$E_{he144} = E_{L1} + E_{L4} + E_{L4} = 13.173648 + 530.1671 + 530.1671 \text{ MeV} = 1073.51 \text{ MeV}$$



4.9.7.2.2.3 Cas 145 : Le niveau d'énergie E_{he145}

Le dernier neutron prend le niveau d'énergie E_{L5} :

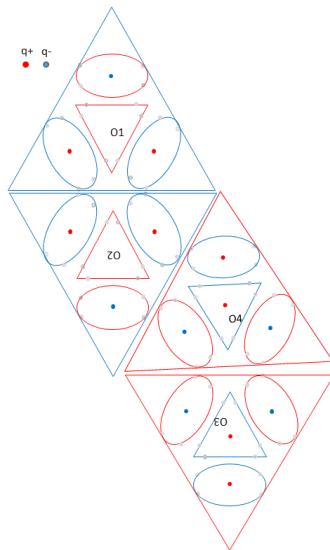
$$E_{he145} = E_{L1} + E_{L4} + E_{L5} = 13.173648 + 530.1671 + 582.3062 \text{ MeV} = 1125.65 \text{ MeV}$$



4.9.7.2.2.4 Cas 146 : Le niveau d'énergie E_{he146}

Le dernier neutron prend le niveau d'énergie E_{L6} :

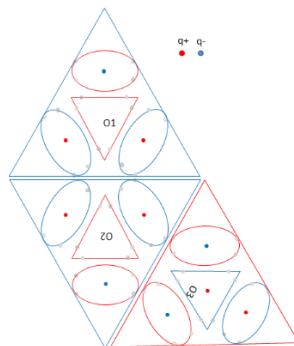
$$E_{he146} = E_{L1} + E_{L4} + E_{L6} = 13.173648 + 530.1671 + 1047.161 \text{ MeV} = 1590.50 \text{ MeV}$$



4.9.7.2.3 Cas 15 : Le niveau d'énergie E_{he15}

En prenant la combinaison ayant une énergie E_{L5} pour le deuxième neutron, on a :

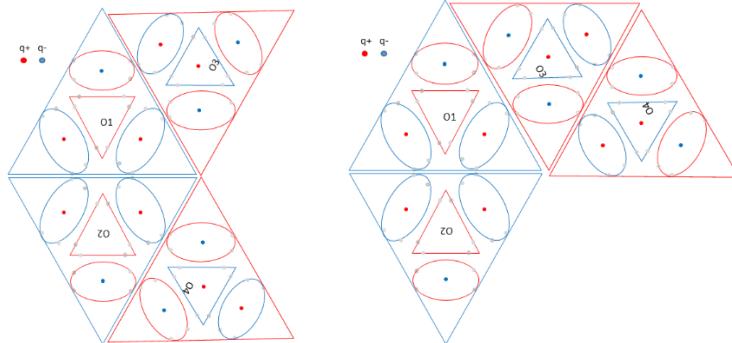
$$E_{he15} = E_{L1} + E_{L5} = 13.173648 + 582.3062 \text{ MeV} = 595.48 \text{ MeV}$$



4.9.7.2.3.1 Cas 153 : Le niveau d'énergie E_{he153}

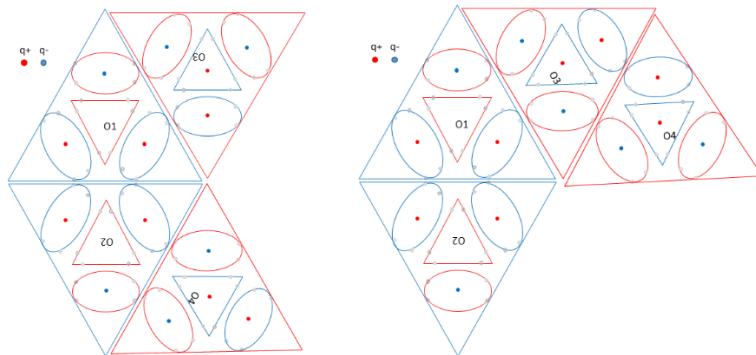
Le dernier neutron prend le niveau d'énergie E_{L3} :

$$E_{he153} = E_{L1} + E_{L5} + E_{L3} = 13.173648 + 582.3062 + 117.4518 \text{ MeV} = 712.93 \text{ MeV}$$

4.9.7.2.3.2 Cas 154 : Le niveau d'énergie E_{he154}

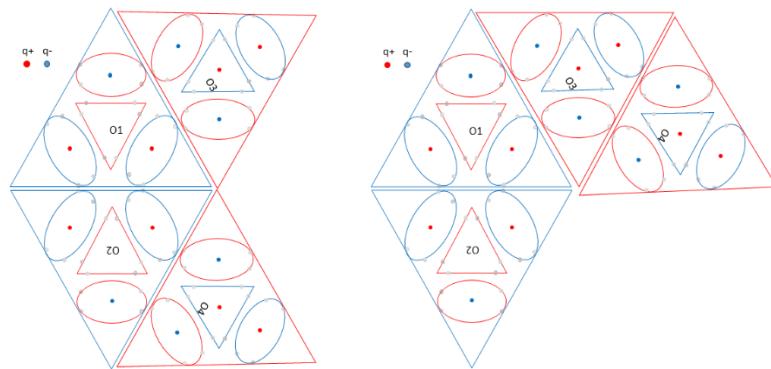
Le dernier neutron prend le niveau d'énergie E_{L4} :

$$E_{he154} = E_{L1} + E_{L5} + E_{L4} = 13.173648 + 582.3062 + 530.1671 \text{ MeV} = 1125.65 \text{ MeV}$$

4.9.7.2.3.3 Cas 155 : Le niveau d'énergie E_{he155}

Le dernier neutron prend le niveau d'énergie E_{L5} :

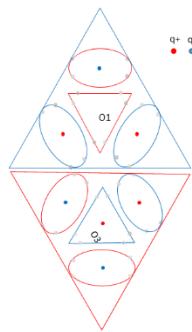
$$E_{he155} = E_{L1} + E_{L5} + E_{L5} = 13.173648 + 582.3062 + 582.3062 \text{ MeV} = 1177.79 \text{ MeV}$$

4.9.7.3 Cas 2n : Le niveau d'énergie E_{he2n}

En prenant la combinaison ayant une énergie E_{L2} pour la première liaison, on a :

$$E_{he2n} = E_{L2} = 65.31273 \text{ MeV}$$

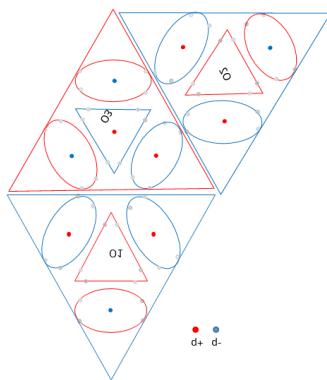
La première liaison est L_{2n} . Le premier proton est en côte à côte avec le premier neutron.



4.9.7.3.1 Cas 22 : Le niveau d'énergie E_{he22}

En prenant la combinaison ayant une énergie E_{L2} pour le deuxième proton, on a :

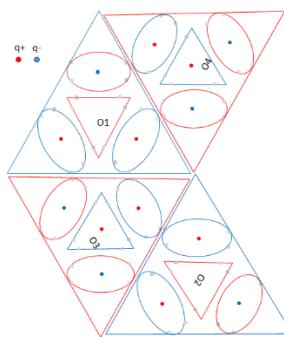
$$E_{he22} = E_{L2} + E_{L2} = 65.31273 + 65.31273 \text{ MeV} = 130.63 \text{ MeV}$$



4.9.7.3.1.1 Cas 223 : Le niveau d'énergie E_{he223}

Le dernier neutron prend le niveau d'énergie E_{L3} :

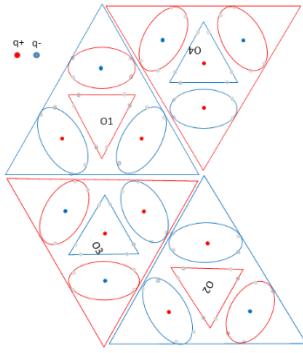
$$E_{he223} = E_{L2} + E_{L2} + E_{L3} = 65.31273 + 65.31273 + 117.4518 \text{ MeV} = 248.08 \text{ MeV}$$



4.9.7.3.1.2 Cas 224 : Le niveau d'énergie E_{he224}

Le dernier neutron prend le niveau d'énergie E_{L4} :

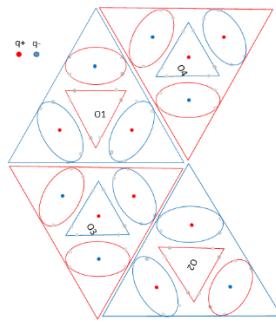
$$E_{he224} = E_{L2} + E_{L2} + E_{L4} = 65.31273 + 65.31273 + 530.1671 \text{ MeV} = 660.79 \text{ MeV}$$



4.9.7.3.1.3 Cas 225 : Le niveau d'énergie E_{he225}

Le dernier neutron prend le niveau d'énergie E_{L5} :

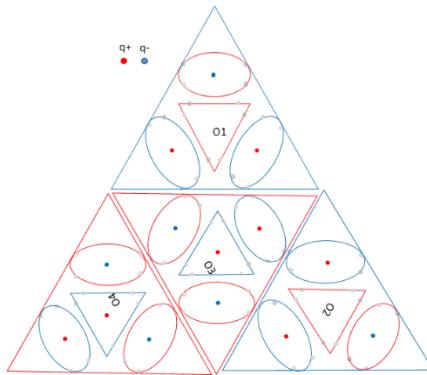
$$E_{he225} = E_{L2} + E_{L2} + E_{L5} = 65.31273 + 65.31273 + 582.3062 \text{ MeV} = 712.93 \text{ MeV}$$



4.9.7.3.1.4 Cas 226 : Le niveau d'énergie E_{he226}

Le dernier neutron prend le niveau d'énergie E_{L6} :

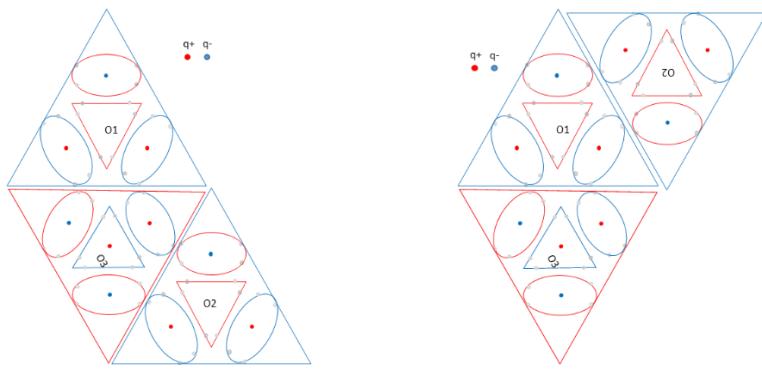
$$E_{he226} = E_{L2} + E_{L2} + E_{L6} = 65.31273 + 65.31273 + 1047.161 \text{ MeV} = 1177.79 \text{ MeV}$$



4.9.7.3.2 Cas 23 : Le niveau d'énergie E_{he23}

En prenant la combinaison ayant une énergie E_{L3} pour le deuxième proton, on a :

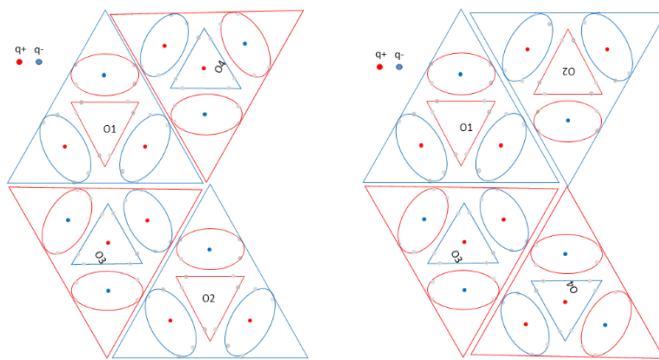
$$E_{tr23} = E_{L2} + E_{L3} = 117.4518 + 65.31273 \text{ MeV} = 182.76 \text{ MeV}$$



4.9.7.3.2.1 Cas 233 : Le niveau d'énergie E_{he233}

Le dernier neutron prend le niveau d'énergie E_{L3} :

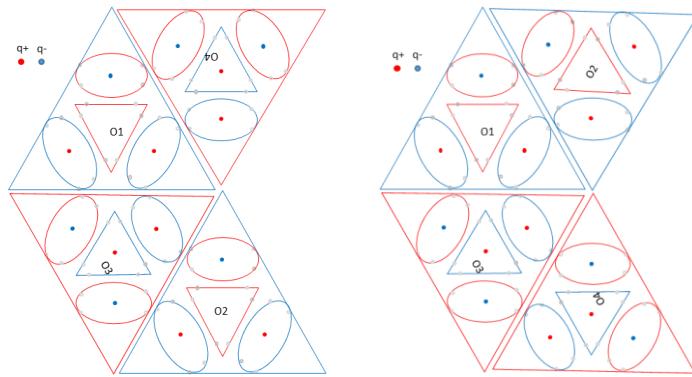
$$E_{he233} = E_{L2} + E_{L3} + E_{L3} = 65.31273 + 117.4518 + 117.4518 \text{ MeV} = 300.22 \text{ MeV}$$



4.9.7.3.2.2 Cas 234 : Le niveau d'énergie E_{he234}

Le dernier neutron prend le niveau d'énergie E_{L4} :

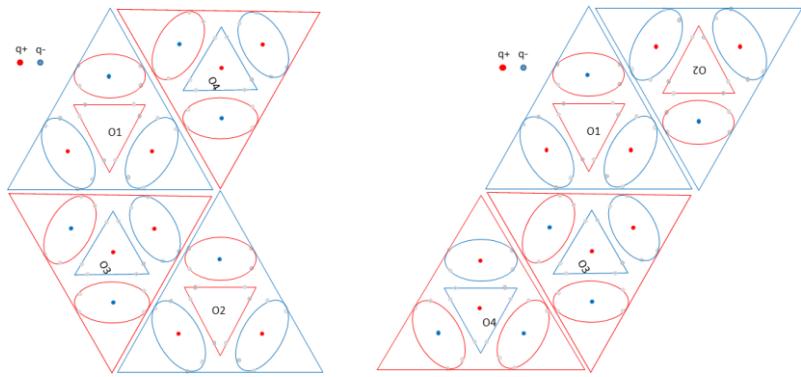
$$E_{he234} = E_{L2} + E_{L3} + E_{L4} = 65.31273 + 117.4518 + 530.1671 \text{ MeV} = 712.93 \text{ MeV}$$



4.9.7.3.2.3 Cas 235 : Le niveau d'énergie E_{he235}

Le dernier neutron prend le niveau d'énergie E_{L5} :

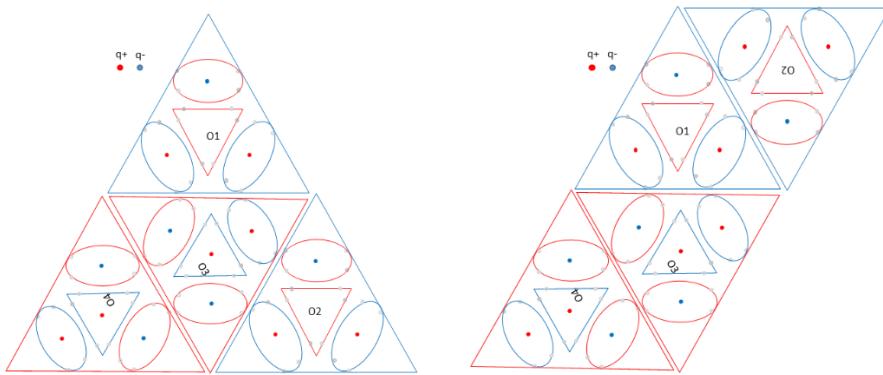
$$E_{he235} = E_{L2} + E_{L3} + E_{L5} = 65.31273 + 117.4518 + 582.3062 \text{ MeV} = 765.07 \text{ MeV}$$



4.9.7.3.2.4 Cas 236 : Le niveau d'énergie E_{he236}

Le dernier neutron prend le niveau d'énergie E_{L6} :

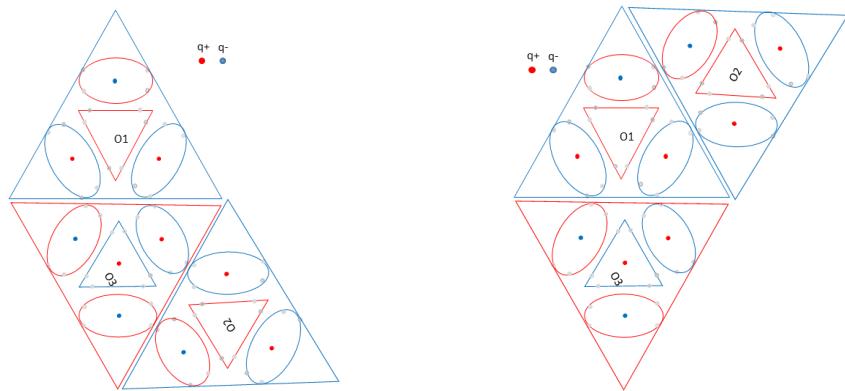
$$E_{he236} = E_{L2} + E_{L3} + E_{L6} = 65.31273 + 117.4518 + 1047.161 \text{ MeV} = 1229.93 \text{ MeV}$$



4.9.7.3.3 Cas 24 : Le niveau d'énergie E_{he24}

En prenant la combinaison ayant une énergie E_{L4} pour le deuxième proton, on a :

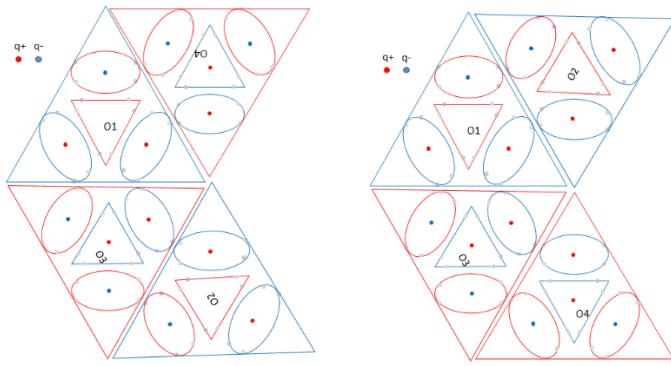
$$E_{he24} = E_{L2} + E_{L4} = 117.4518 + 530.1671 \text{ MeV} = 647.62 \text{ MeV}$$



4.9.7.3.3.1 Cas 244 : Le niveau d'énergie E_{he244}

Le dernier neutron prend le niveau d'énergie E_{L4} :

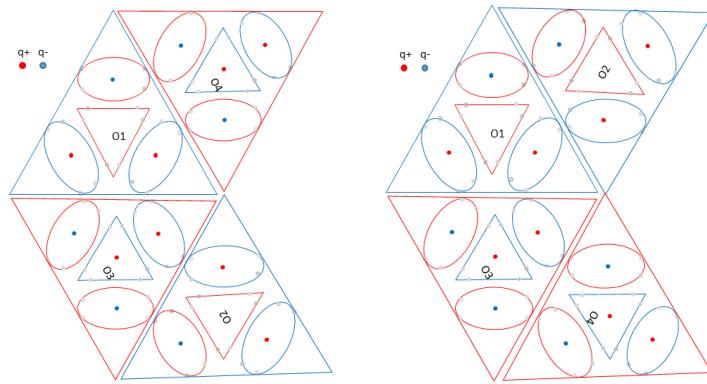
$$E_{he244} = E_{L2} + E_{L4} + E_{L4} = 65.31273 + 530.1671 + 530.1671 \text{ MeV} = 1125.65 \text{ MeV}$$



4.9.7.3.3.2 Cas 245 : Le niveau d'énergie E_{he245}

Le dernier neutron prend le niveau d'énergie E_{L5} :

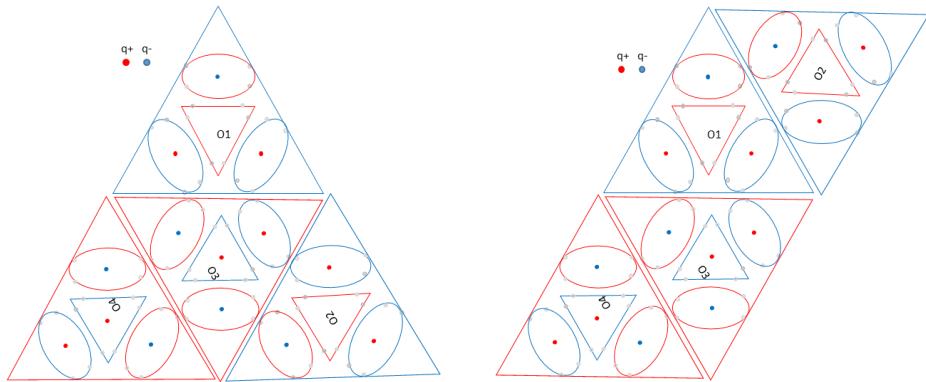
$$E_{he245} = E_{L2} + E_{L4} + E_{L5} = 65.31273 + 530.1671 + 582.3062 \text{ MeV} = 1177.79 \text{ MeV}$$



4.9.7.3.3.3 Cas 246 : Le niveau d'énergie E_{he246}

Le dernier neutron prend le niveau d'énergie E_{L6} :

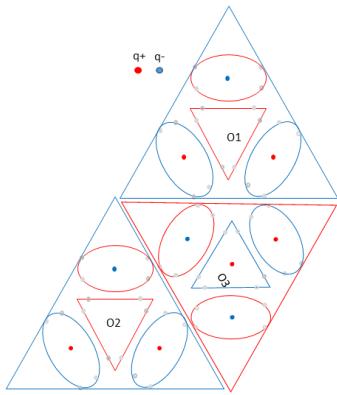
$$E_{he246} = E_{L2} + E_{L4} + E_{L6} = 65.31273 + 530.1671 + 1047.161 \text{ MeV} = 1642.64 \text{ MeV}$$



4.9.7.3.4 Cas 25 : Le niveau d'énergie E_{he25}

En prenant la combinaison ayant une énergie E_{L5} pour le deuxième neutron, on a :

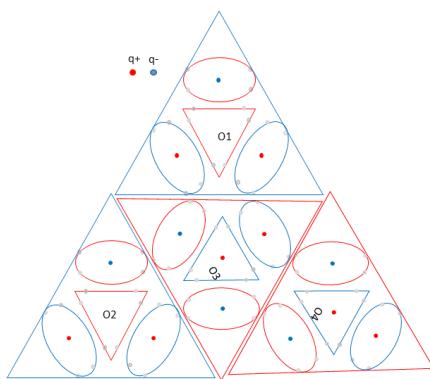
$$E_{he25} = E_{L2} + E_{L5} = 65.31273 + 582.3062 \text{ MeV} = 647.62 \text{ MeV}$$



4.9.7.3.4.1 Cas 255 : Le niveau d'énergie E_{he255}

Le dernier neutron prend le niveau d'énergie E_{L5} :

$$E_{he255} = E_{L2} + E_{L5} + E_{L5} = 65.31273 + 582.3062 + 582.3062 \text{ MeV} = 1229.93 \text{ MeV}$$

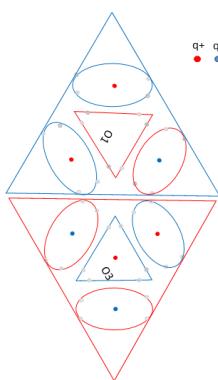


4.9.7.4 Cas 3n : Le niveau d'énergie E_{he3n}

En prenant la combinaison ayant une énergie E_{L3} pour la première liaison, on a :

$$E_{he3n} = E_{L3} = 117.4518 \text{ MeV}$$

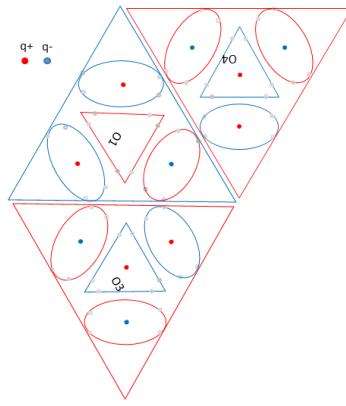
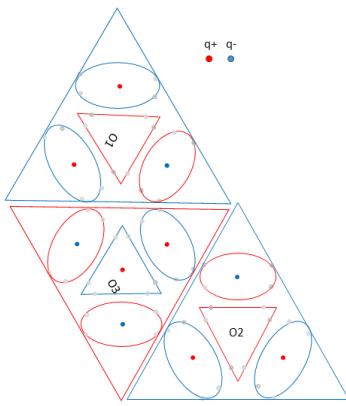
La première liaison est L_{3n} . Le premier proton est en côte à côte avec le premier neutron.



4.9.7.4.1 Cas 33 : Le niveau d'énergie E_{he33}

En prenant la combinaison ayant une énergie E_{L3} pour le deuxième proton, on a :

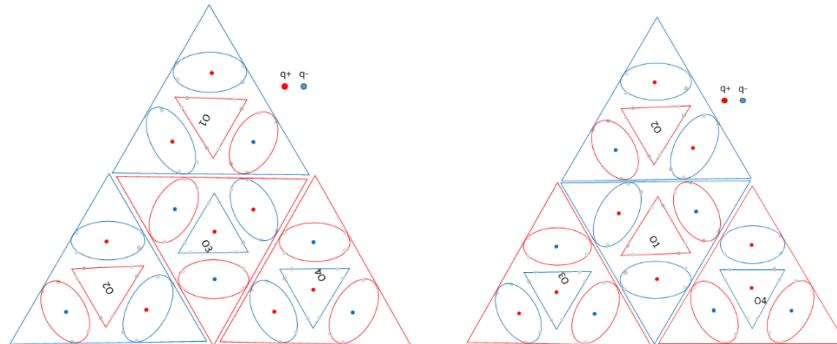
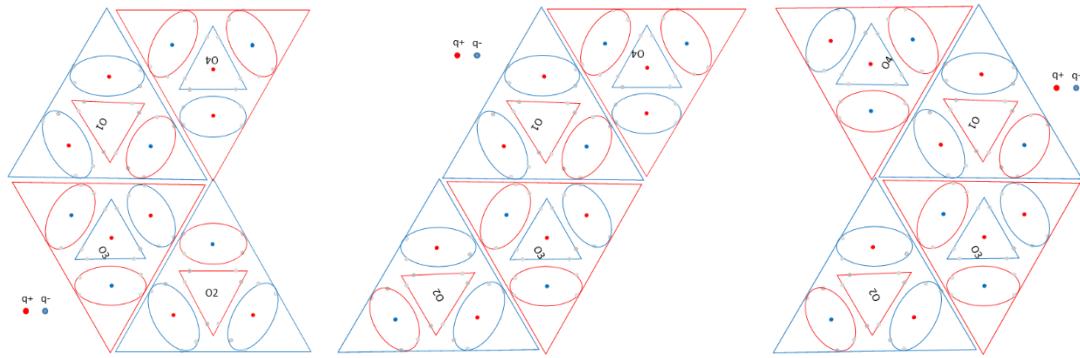
$$E_{he33} = E_{L3} + E_{L3} = 117.4518 + 117.4518 \text{ MeV} = 234.90 \text{ MeV}$$



4.9.7.4.1.1 Cas 333 : Le niveau d'énergie E_{he333}

Le dernier neutron prend le niveau d'énergie E_{L3} :

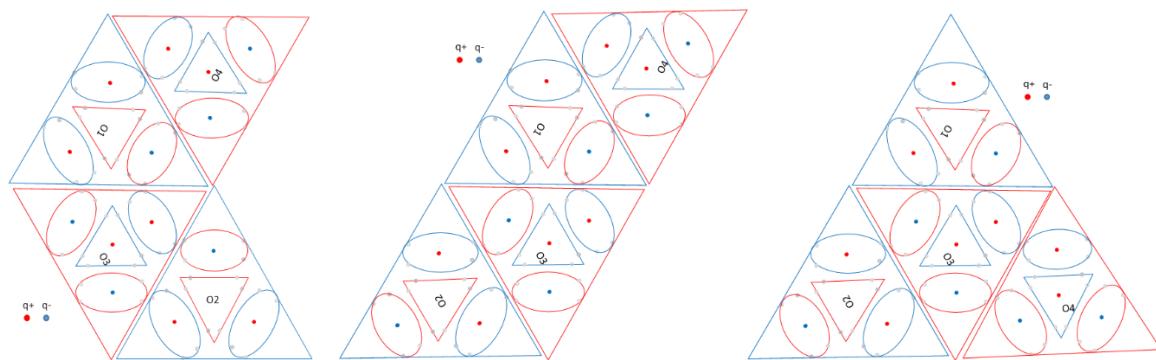
$$E_{he333} = E_{L3} + E_{L3} + E_{L3} = 117.4518 + 117.4518 + 117.4518 \text{ MeV} = 352.36 \text{ MeV}$$



4.9.7.4.1.2 Cas 334 : Le niveau d'énergie E_{he334}

Le dernier neutron prend le niveau d'énergie E_{L4} :

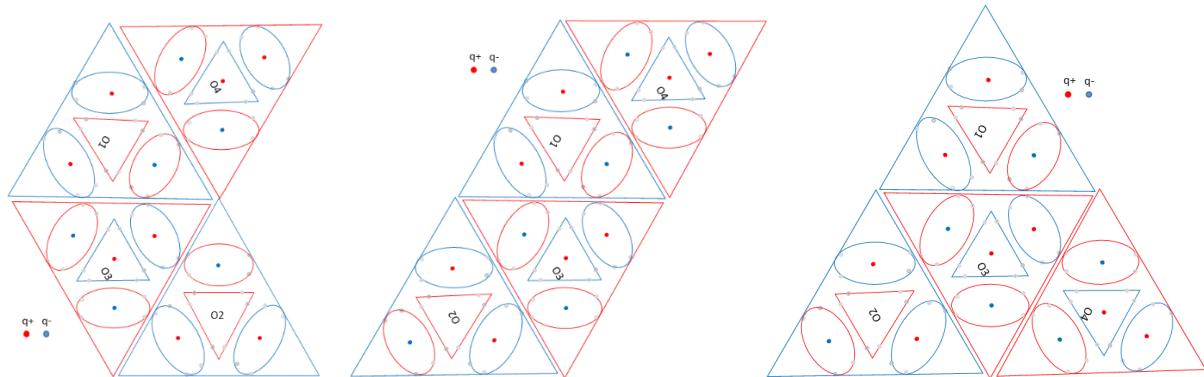
$$E_{he334} = E_{L3} + E_{L3} + E_{L4} = 117.4518 + 117.4518 + 530.1671 \text{ MeV} = 765.07 \text{ MeV}$$



4.9.7.4.1.3 Cas 335 : Le niveau d'énergie E_{he335}

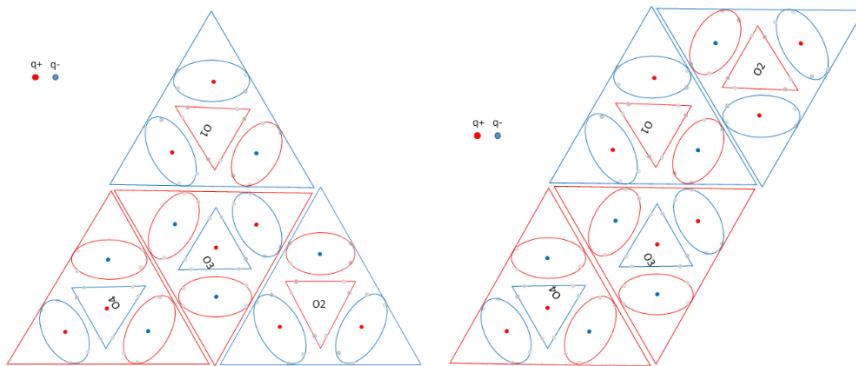
Le dernier neutron prend le niveau d'énergie E_{L5} :

$$E_{he335} = E_{L3} + E_{L3} + E_{L5} = 117.4518 + 117.4518 + 582.3062 \text{ MeV} = 817.21 \text{ MeV}$$

4.9.7.4.1.4 Cas 336 : Le niveau d'énergie E_{he336}

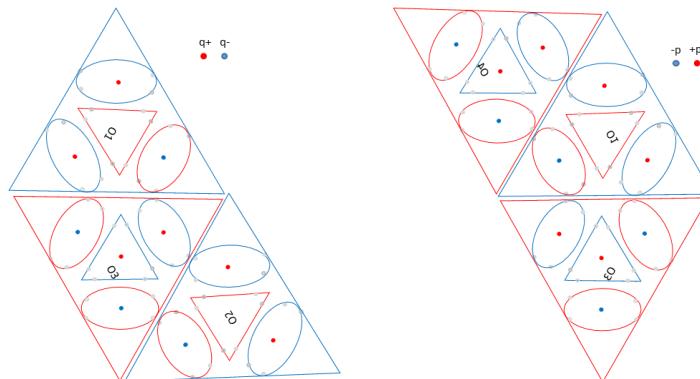
Le dernier neutron prend le niveau d'énergie E_{L6} :

$$E_{he336} = E_{L3} + E_{L3} + E_{L6} = 117.4518 + 117.4518 + 1047.161 \text{ MeV} = 1282.06 \text{ MeV}$$

4.9.7.4.2 Cas 34 : Le niveau d'énergie E_{he34}

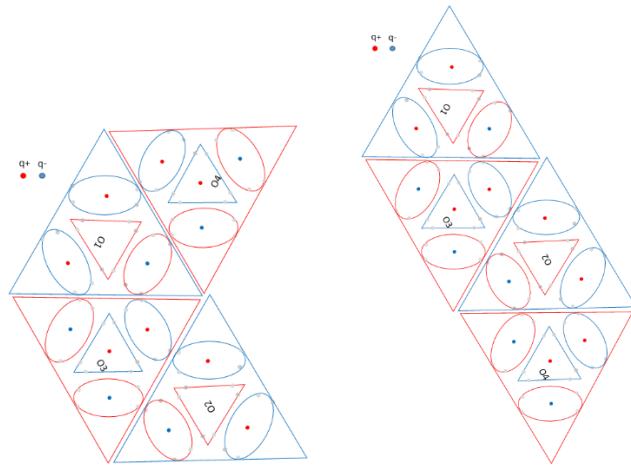
En prenant la combinaison ayant une énergie E_{L5} pour le deuxième proton, on a :

$$E_{he34} = E_{L3} + E_{L4} = 530.1671 + 117.4518 \text{ MeV} = 647.62 \text{ MeV}$$

4.9.7.4.2.1 Cas 344 : Le niveau d'énergie E_{he344}

Le dernier neutron prend le niveau d'énergie E_{L4} :

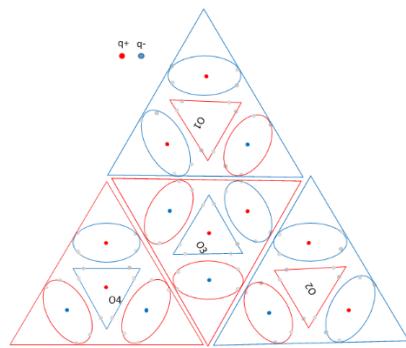
$$E_{he344} = E_{L3} + E_{L4} + E_{L4} = 117.4518 + 530.1671 + 530.1671 \text{ MeV} = 1177.79 \text{ MeV}$$



4.9.7.4.2.2 Cas 345 : Le niveau d'énergie E_{he345}

Le dernier neutron prend le niveau d'énergie E_{L5} :

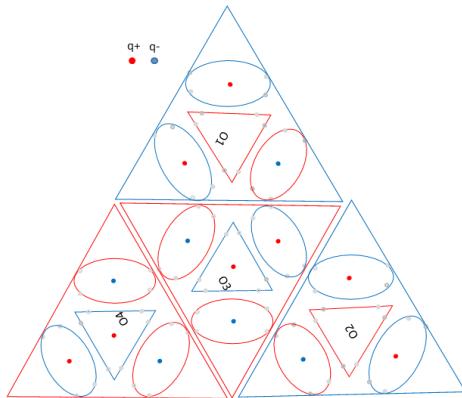
$$E_{he345} = E_{L3} + E_{L4} + E_{L5} = 117.4518 + 530.1671 + 582.3062 \text{ MeV} = 1229.93 \text{ MeV}$$



4.9.7.4.2.3 Cas 346 : Le niveau d'énergie E_{he346}

Le dernier neutron prend le niveau d'énergie E_{L6} :

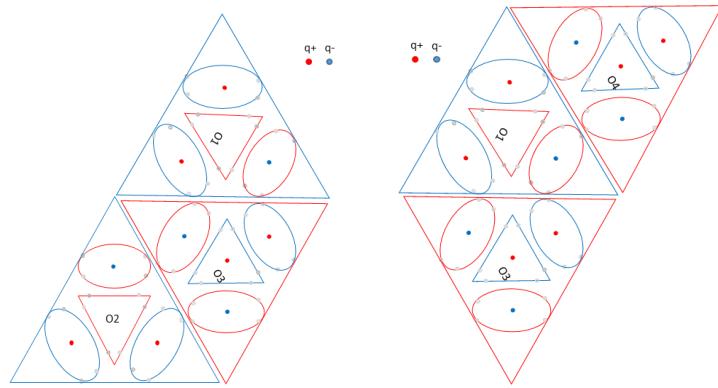
$$E_{he346} = E_{l3} + E_{l4} + E_{l6} = 117.4518 + 530.1671 + 1047.161 \text{ MeV} = 1694.78 \text{ MeV}$$



4.9.7.4.3 Cas 35 : Le niveau d'énergie $E_{\text{he}35}$

En prenant la combinaison ayant une énergie E_{L5} pour le deuxième neutron, on a :

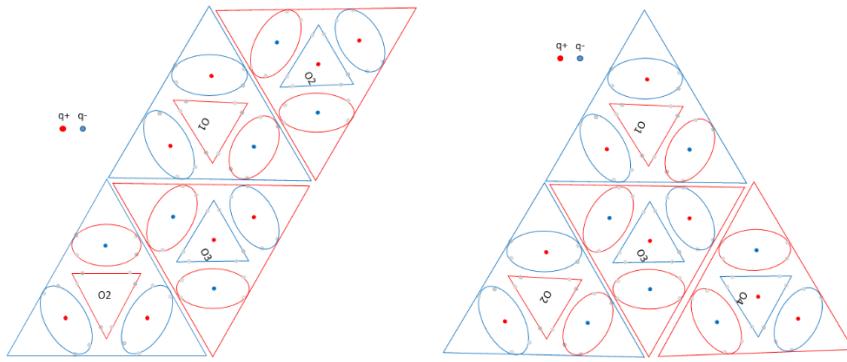
$$E_{he35} = E_{L3} + E_{L5} = 117.4518 + 582.3062 \text{ MeV} = 699.76 \text{ MeV}$$



4.9.7.4.3.1 Cas 355 : Le niveau d'énergie E_{he355}

Le dernier neutron prend le niveau d'énergie E_{L5} :

$$E_{he355} = E_{L3} + E_{L5} + E_{L5} = 117.4518 + 582.3062 + 582.3062 \text{ MeV} = 1282.06 \text{ MeV}$$



4.9.7.5 Cas 4n : Le niveau d'énergie E_{he4n}

En prenant la combinaison ayant une énergie E_{L4} pour la première liaison, on a :

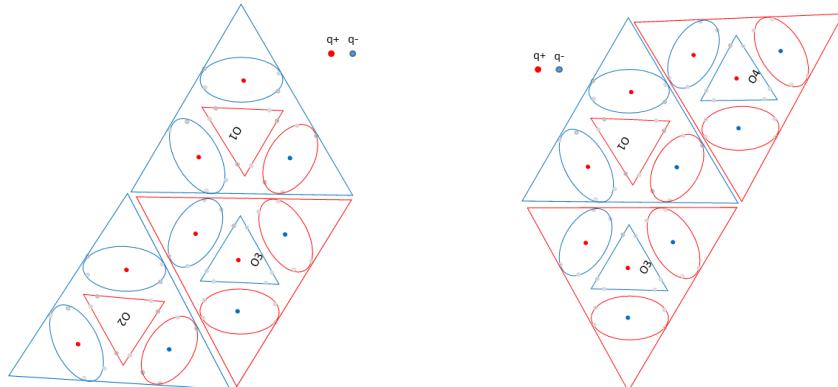
$$E_{he4n} = E_{L4} = 530.1671 \text{ MeV}$$

La première liaison est L_{4n} . Le premier proton est en côte à côte avec le premier neutron.

4.9.7.5.1 Cas 44 : Le niveau d'énergie E_{he44}

En prenant la combinaison ayant une énergie E_{L4} pour le deuxième neutron, on a :

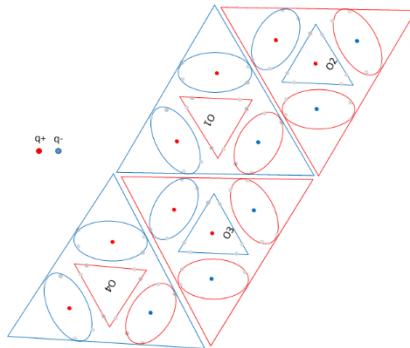
$$E_{he44} = E_{L4} + E_{L4} = 530.1671 + 530.1671 \text{ MeV} = 1060.33 \text{ MeV}$$



4.9.7.5.1.1 Cas 444 : Le niveau d'énergie E_{he444}

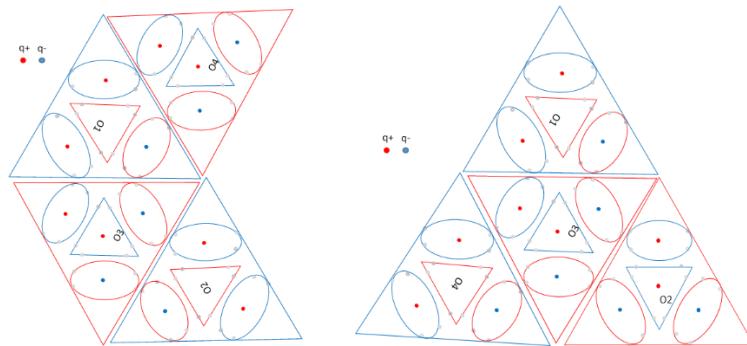
Le dernier neutron prend le niveau d'énergie E_{L4} :

$$E_{he444} = E_{L4} + E_{L4} + E_{L4} = 530.1671 + 530.1671 + 530.1671 \text{ MeV} = 1590.50 \text{ MeV}$$

4.9.7.5.1.2 Cas 445 : Le niveau d'énergie E_{he445}

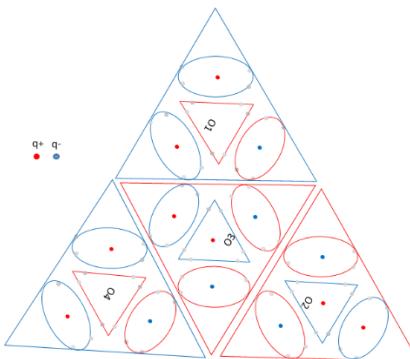
Le dernier neutron prend le niveau d'énergie E_{L5} :

$$E_{he445} = E_{L4} + E_{L4} + E_{L5} = 530.1671 + 530.1671 + 582.3062 \text{ MeV} = 1642.64 \text{ MeV}$$

4.9.7.5.1.3 Cas 446 : Le niveau d'énergie E_{he446}

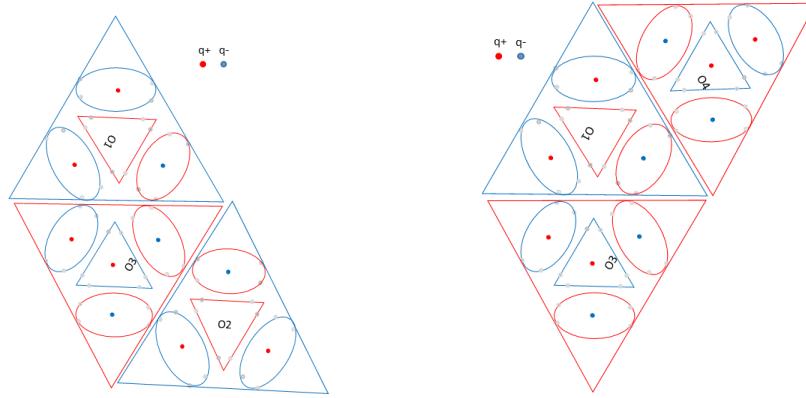
Le dernier neutron prend le niveau d'énergie E_{L6} :

$$E_{he446} = E_{L4} + E_{L4} + E_{L6} = 530.1671 + 530.1671 + 1047.161 \text{ MeV} = 2107.50 \text{ MeV}$$

4.9.7.5.2 Cas 45 : Le niveau d'énergie E_{he44}

En prenant la combinaison ayant une énergie E_{L5} pour le deuxième neutron, on a :

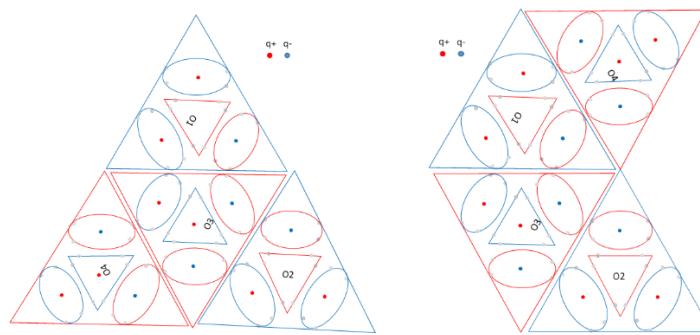
$$E_{he45} = E_{L4} + E_{L5} = 530.1671 + 582.3062 \text{ MeV} = 1112.47 \text{ MeV}$$



4.9.7.5.2.1 Cas 455 : Le niveau d'énergie E_{he455}

Le dernier neutron prend le niveau d'énergie E_{L5} :

$$E_{he455} = E_{L4} + E_{L5} + E_{L5} = 530.1671 + 582.3062 + 582.3062 \text{ MeV} = 1694.78 \text{ MeV}$$



4.9.7.6 Conclusion

Le bilan des niveaux d'énergie de liaison, sont résumés dans le tableau suivant :

No	Combinaison	Energie de liaison	Stabilité statique	Stabilité dynamique	Stabilité électrique	Commentaire
1	He000	-28.297	1000	1	10	Empilage taux +
2	He001	-5.6914	100	10	10	basse énergie taux +
2b	He010	-5.6914	100	10	10	basse énergie taux +
3	He002	46.448	100	60	10	basse énergie taux +
4	He003	98.585	100	110	10	basse énergie taux +
5	He013	121.19	10	130	0	basse énergie taux n0
5b	He022	121.19	10	130	0	basse énergie taux n0
6	He023	173.33	10	180	20	basse énergie taux ++
7	He0330	216.04	100	230	60	Boucle très stable taux +++++
8	He033	225.47	10	230	50	basse énergie taux +++++
9	He133	248.08	1	250	20	basse énergie taux ++
9b	He223	248.08	1	250	20	basse énergie taux ++
10	He233	300.22	1	300	40	basse énergie taux +++
11	He333	352.36	1	350	60	basse énergie taux +++++
12	He004	511.30	100	500	-20	mi énergie taux --

No	Combinaison	Energie de liaison	Stabilité statique	Stabilité dynamique	Stabilité électrique	Commentaire
13	He014	533.91	10	550	-40	mi énergie taux ----
14	He005	563.44	100	600	0	mi énergie taux n0
15	He015	586.05	10	600	-20	mi énergie taux --
15b	He024	586.05	10	600	-20	mi énergie taux --
16	He0250	628.75	100	650	0	Boucle taux n0
17	He025	638.19	10	650	0	mi énergie taux n0
17b	He034	638.19	10	650	0	mi énergie taux n0
18	He134	660.79	1	650	-20	mi énergie taux --
18b	He224	660.79	1	650	-20	mi énergie taux --
19	He035	690.33	10	700	20	mi énergie taux ++
20	He135	712.93	1	700	0	mi énergie taux n0
20b	He225	712.93	1	700	0	mi énergie taux n0
20c	He234	712.93	1	700	0	mi énergie taux n0
21	He235	765.07	1	750	20	mi énergie taux ++
21b	He334	765.07	1	750	20	mi énergie taux ++
22	He335	817.21	1	800	40	mi énergie taux ++++
23	He060	1028.29	10	1000	-40	mi énergie taux ----
24	He0160	1041.47	100	1000	-40	Boucle taux ----
24b	He0440	1041.47	100	1000	-40	Boucle taux ----
25	He044	1050.90	10	1000	-40	haute énergie tau -----
26	He144	1073.51	1	1000	-60	haute énergie taux -----
27	He045	1103.04	10	1100	-20	haute énergie taux --
27b	He062	1103.04	10	1100	-20	haute énergie taux --
28	He145	1125.65	1	1100	-40	haute énergie taux ----
28b	He244	1125.65	1	1100	-40	haute énergie taux ----
29	He055	1155.18	10	1100	0	haute énergie taux n0
29b	He063	1155.18	10	1100	0	haute énergie taux n0
30	He136	1177.79	1	1100	-40	haute énergie taux ----
30b	He226	1177.79	1	1100	-20	haute énergie taux --
30c	He155	1177.79	1	1100	-20	haute énergie taux --
30d	He245	1177.79	1	1100	-20	haute énergie taux --
30e	He344	1177.79	1	1100	-20	haute énergie taux --
31	He236	1229.93	1	1200	0	haute énergie taux n0
31b	He255	1229.93	1	1200	0	haute énergie taux n0
31c	He345	1229.93	1	1200	0	haute énergie taux n0
32	He336	1282.06	1	1200	20	haute énergie taux ++
32b	He355	1282.06	1	1200	20	haute énergie taux ++
33	He064	1567.90	10	1500	-40	haute énergie taux ----
34	He146	1590.50	1	1500	-60	haute énergie taux -----
34b	He444	1590.50	1	1500	-60	haute énergie taux -----
35	He246	1642.64	1	1600	-40	haute énergie taux ----
35b	He445	1642.64	1	1600	-40	haute énergie taux ----
36	He346	1694.78	1	1600	-40	haute énergie taux ----
36b	He455	1694.78	1	1600	-20	haute énergie taux --

No	Combinaison	Energie de liaison	Stabilité statique	Stabilité dynamique	Stabilité électrique	Commentaire
37	He446	2107.50	1	2100	-60	haute énergie taux ---- --

On voit un grand nombre de possibilités de relier ces 4 nucléons. On remarque la configuration bouclée suivante :

$$he0330 = \begin{bmatrix} P - N \\ N - P \end{bmatrix}$$

Les 2 liaisons neutron-proton empilées ont l'énergie E_{L0} . Les 2 liaisons neutron-proton radiales ont l'énergie E_{L3} . On a les énergies de liaison :

$$E_{he0330} = 2 * E_{L3} + 2 * E_{L0} = 231.38 \text{ MeV}$$

Cette énergie correspond à un niveau bas. Cette configuration se forme lors d'un refroidissement dans un environnement à basse température.

4.9.8 Modélisation du noyau de lithium 6

Le noyau de lithium 6 est composé de 3 protons et de 3 neutrons. Quelle est la position relative entre ces 6 nucléons ?

Pour décrire les configurations possibles, on part de la description de l'hélium, pour chacun de ses cas, un proton et un neutron seront rajoutés. Le nombre de combinaisons devient tout de suite élevé. Ici, seul le cas où l'énergie de liaison la plus basse sera étudié.

4.9.8.1 Cas 0000n : Le niveau d'énergie $E_{li0000n}$

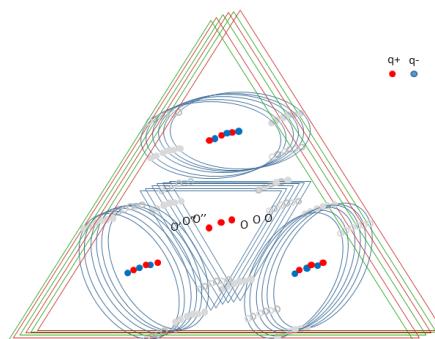
En prenant la combinaison ayant une énergie la plus basse correspondante à la première configuration d'hélium, on a :

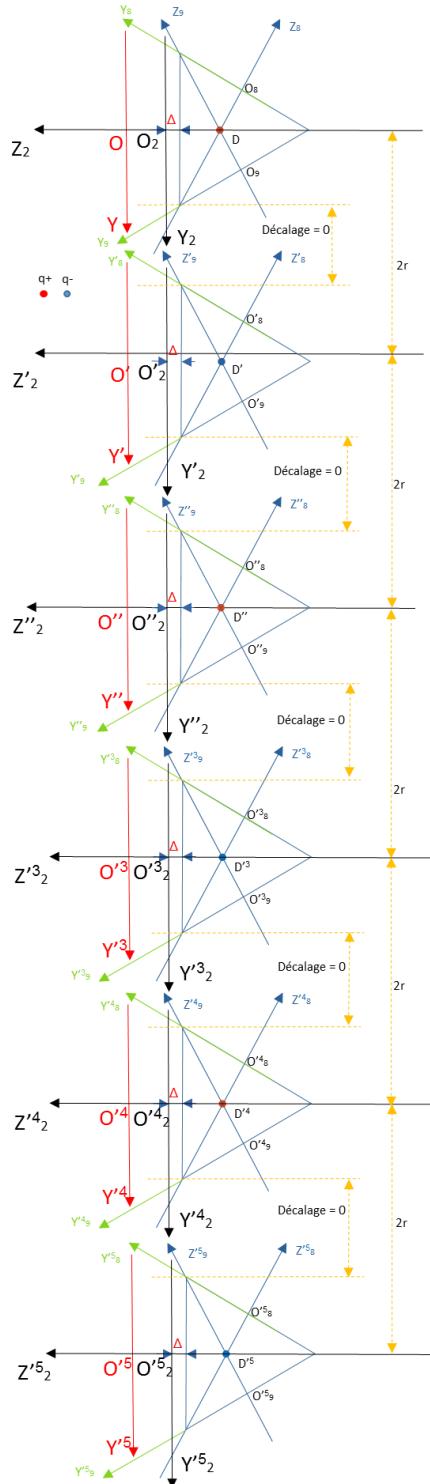
$$E_{li0000n} = -21. 330 050 514 \text{ MeV}$$

Les 6 nucléons sont empilés selon leurs axes de symétries de la façon suivante :

- N-P-N-P-N-P

$$E_{li00000} = E_{li000n} + E_{li0n} + E_{li0n} = -31. 995 075 771 \text{ MeV}$$





Les énergies de liaison sont calculables de la même façon que pour l'hélium.

Les coordonnées des points D, D', D'', D'³, J, J', J'', J'³, A, A', A'', A'³, G, G', G'' et G'³ dans le repère global sont :

$$\overrightarrow{OD} = 2 \cdot \overrightarrow{OO_2}$$

$$\begin{aligned}
D(x, y, z) &= 2O_2 \left(-\frac{\sqrt{3}}{2}z_0, 0, -\frac{1}{2}z_0 \right) = D \left(-\sqrt{3} \frac{r}{\sqrt{3}}, 0, -\frac{r}{\sqrt{3}} \right) = D(-r, 0, -\frac{r}{\sqrt{3}}) \\
D'(x, y, z) &= D'(-r, -2r, -\frac{r}{\sqrt{3}}) \\
D''(x, y, z) &= D''(-r, -4r, -\frac{r}{\sqrt{3}}) \\
D'^3(x, y, z) &= D'^3(-r, -6r, -\frac{r}{\sqrt{3}})
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A(x, y, z) &= 2O_3 \left(\frac{\sqrt{3}}{2}z_0, 0, -\frac{1}{2}z_0 \right) = A \left(\sqrt{3} \frac{r}{\sqrt{3}}, 0, -\frac{r}{\sqrt{3}} \right) = A(r, 0, -\frac{r}{\sqrt{3}}) \\
A'(x, y, z) &= A'(r, -2r, -\frac{r}{\sqrt{3}}) \\
A''(x, y, z) &= A''(r, -4r, -\frac{r}{\sqrt{3}}) \\
A'^3(x, y, z) &= A'^3(r, -6r, -\frac{r}{\sqrt{3}})
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
J(x, y, z) &= 2O_1(0, 0, z_0) = J \left(0, 0, 2 \frac{r}{\sqrt{3}} \right) = J(0, 0, \frac{2r}{\sqrt{3}}) \\
J'(x, y, z) &= J'(0, -2r, \frac{2r}{\sqrt{3}}) \\
J''(x, y, z) &= J''(0, -4r, \frac{2r}{\sqrt{3}}) \\
J'^3(x, y, z) &= J'^3(0, -6r, \frac{2r}{\sqrt{3}})
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
G(x, y, z) &= G(0, 0, 0) \\
G'(x, y, z) &= G'(0, -2r, 0) \\
G''(x, y, z) &= G''(0, -4r, 0) \\
G'^3(x, y, z) &= G'^3(0, -6r, 0)
\end{aligned}$$

Déterminer les énergies potentielles entre les couples de charges électriques du premier neutron et le proton :

$$E = E_A^{A'} + E_D^{D'} + E_J^{J'} + E_D^{J'} + E_J^{D'} + E_G^{A'} - E_A^{D'} - E_A^{J'} - E_D^{A'} - E_J^{A'} - E_G^{D'} - E_G^{J'}$$

$$E_x^{y'} = k_e \frac{\text{中}_x \cdot \text{中}_{y'}}{\text{中}_{ref}^2} \cdot \frac{e^2}{d_x^{y'}} = k_e \cdot \frac{(\text{中}_{ref} + \alpha_E \cdot \text{中}_{\delta y' 5})^2 e^2}{\text{中}_{ref}^2 \cdot d_x^{y'}}$$

Les termes en plus sont définis comme suit :

- α_E : le coefficient de proportionnalité de la charge neutre affectant lithium.
- $\text{中}_{\delta y' 5}$: la charge neutre de lithium sans les électrinettes statiques.

$$E = \frac{k_e \cdot e^2}{4r} \cdot [6 - 2\sqrt{2} - \sqrt{3}] \frac{(\text{中}_{ref} + \alpha_E \cdot \text{中}_{\delta y' 5})^2}{\text{中}_{ref}^2}$$

Ici,

$$E = E_{li00000} / 5 = -6.399\ 015\ 154 \text{ MeV} = -10.252\ 3741 \cdot 10^{-13} \text{ J.}$$

On en déduit la valeur de α_E :

$$\frac{E \cdot \text{中}_{ref}^2 \cdot 4r}{k_e \cdot e^2 \cdot [6 - 2\sqrt{2} - \sqrt{3}]} = (\text{中}_{ref} + \alpha_E \cdot \text{中}_{\delta y' 5})^2$$

$$\alpha_E \cdot \text{中}_{\delta y' 5} = \sqrt{\frac{E \cdot \text{中}_{ref}^2 \cdot 4r}{k_e \cdot e^2 \cdot [6 - 2\sqrt{2} - \sqrt{3}]}} - (\text{中}_{ref})$$

On a :

$$\text{中}_{\delta y' 5} = 18(\text{中}_F + \text{中}_F + \text{中}_H) + 18(\text{中}_H + \text{中}_H + \text{中}_F) = 4469.464818 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

$$\text{中}_{ref} = 9.1 \cdot 10^{-31}$$

$$\alpha_E \text{中}_{\delta y' 5} = \sqrt{\frac{10.2523741 \cdot 10^{-13} \cdot 82.81 \cdot 10^{-62} \cdot 4 \cdot 0.36373 \cdot 10^{-15}}{8.987552 \cdot 1.6021772 \cdot 10^{-29} \cdot [6 - 2\sqrt{2} - \sqrt{3}]} - 9.1 \cdot 10^{-31}}$$

$$\alpha_E \text{中}_{\delta y' 5} = \sqrt{\frac{37.193377188 \cdot 10^{-61}}{1.0} - 9.1 \cdot 10^{-31}}$$

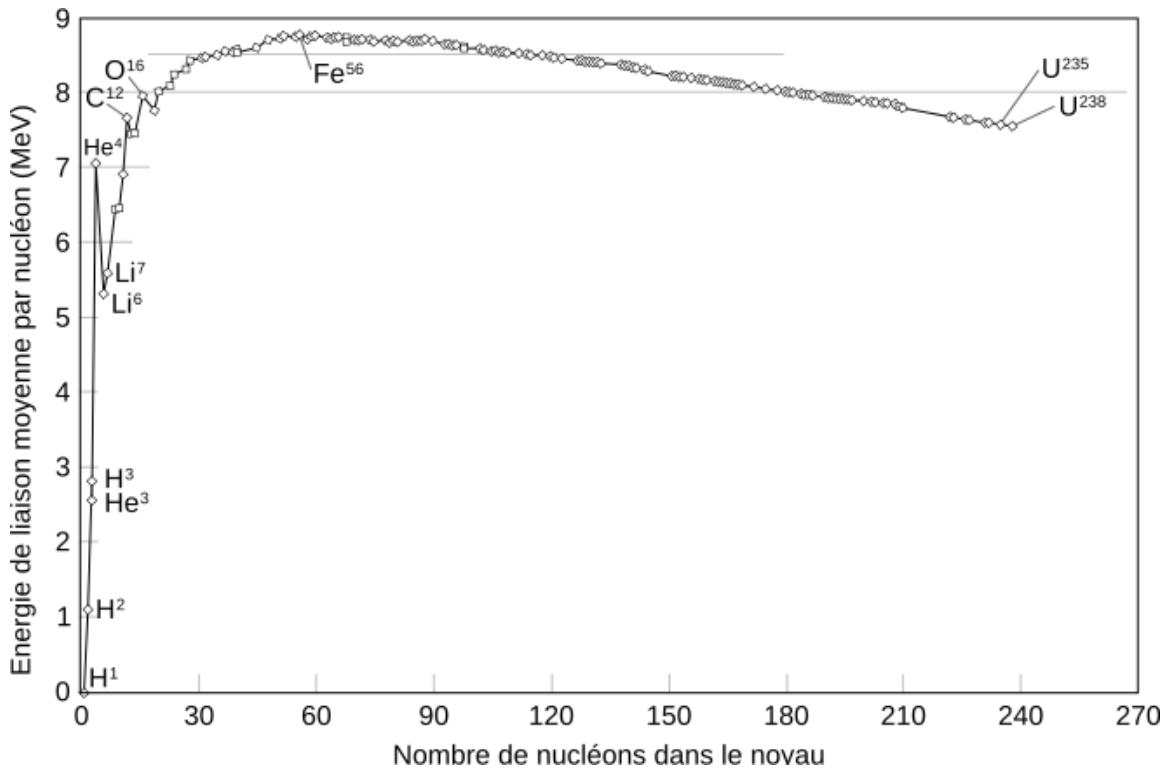
$$\alpha_E \text{中}_{\delta y' 5} = 19.285\ 584\ 562 \cdot 10^{-31} - 9.1 \cdot 10^{-31}$$

$$\alpha_E \cdot 4469.464818 \cdot 10^{-31} = 10.185\ 584\ 562\ 037 \cdot 10^{-31}$$

$$\alpha_C = 0.002\ 278\ 927$$

4.9.9 Interprétation de la courbe d'Aston

La courbe d'Aston est une courbe représentant l'énergie de liaison par nucléon des noyaux atomiques, en fonction de leur nombre de masse.



La configuration géométrique des quarks au sein des protons et des neutrons permet d'expliquer facilement cette courbe.

Si les noyaux atomiques ne contiennent que des liaisons à énergie négative (axiales ou radiales), cette courbe serait strictement croissante. En effet, la densité volumique de l'énergie augmente au départ, puis sature rapidement au fur et à mesure de la construction.

Le crochet entre He^4 et Li^6 s'explique par une augmentation de volume plus grande que la variation de l'énergie.

L'abaissement de la courbe après le Fe^{56} s'explique par l'apparition de liaisons à énergie positive (radiales dynamiques). La somme des énergies de liaison augmente moins vite quand le nombre de nucléons augmente. Ce qui fait baisser la moyenne.

4.9.10 Modélisation des fusions

Ce paragraphe décrit les conditions de fusion des nucléons et les énergies mises en jeu. La légende suivante sera utilisée :

- Proton :
- Neutron :

4.9.10.1 Les conditions nécessaires de fusion entre un proton et un neutron

Pour qu'une fusion entre 1 proton et 1 neutron puisse avoir lieu, il est impératif de respecter les conditions suivantes :

1. Si la fusion s'effectue par une liaison axiale, alors l'énergie est négative. Cette liaison est basée sur les 3 paires d'électrinettes séparées d'une distance constante. La valeur absolue de cette liaison est la plus faible. La condition est que les axes de ces 2 nucléons soient sur la même droite.
2. Si la fusion s'effectue par une liaison radiale, alors les 4 paires d'électrinettes entrant en contact du nucléon O1 doivent être en synchronisation avec les 4 paires d'électrinettes entrant en contact du nucléon O2. Les nucléons O1 et O2 doivent se mettre en position face à face.
3. Les 2 nucléons doivent se rapprocher jusqu'à entrer en contact. Dans le cas d'une liaison axiale, le rapprochement peut s'effectuer automatiquement. Dans le cas d'une liaison radiale, une pression est nécessaire pour compenser la force électrique générée par deux charges électriques de même signe, sauf le cas 3 du deutérium.

4.9.10.2 Les conditions nécessaires de fusion entre 2 protons

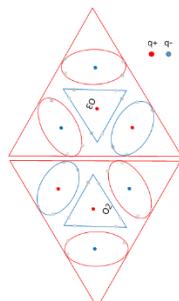
Pour qu'une fusion entre 2 protons puisse avoir lieu, il est impératif de respecter les conditions suivantes :

1. La fusion ne peut s'effectuer que par une liaison radiale.
2. Les 2 protons doivent se rapprocher jusqu'à entrer en contact. Une pression est nécessaire pour compenser la force générée par deux charges électriques de même signe.

4.9.10.3 Les conditions nécessaires de fusion entre 2 neutrons

Pour qu'une fusion entre 2 neutrons puisse avoir lieu, il est impératif de respecter les conditions suivantes :

1. La fusion ne peut s'effectuer que par une liaison radiale.
2. Les 2 neutrons doivent se rapprocher jusqu'à entrer en contact. Une pression est nécessaire pour compenser la force générée par deux charges électriques de même signe. Il y a une exception :



Dans ce cas précis, la force d'expulsion est inférieure à celle d'attraction. La pression n'est pas nécessaire pour entrer en contact.

4.9.10.4 Les conditions nécessaires de fusion entre 2 noyaux atomiques

Ici, les noyaux atomiques ont au moins 2 nucléons. Généralement, les 2 premiers nucléons sont proton-neutron. Pour qu'une fusion entre 2 noyaux atomiques puisse avoir lieu, il est impératif de respecter les conditions suivantes :

1. Si la liaison est axiale, alors la section de liaison doit être en accord avec les 2 noyaux. Il y a donc un nombre positif de liaisons L_0 .
2. Si la liaison est radiale, alors la coupe de liaison doit comporter un nombre suffisant de doubles liaisons à énergie négative LL_0 .
3. Les nucléons en liaison doivent se mettre en bonne position face à face.
4. Dans le cas de la liaison radiale, il y a une deuxième possibilité. L'énergie de liaison est positive. Ce sont des liaisons entre les électrinettes liées. Elles sont dynamiques. Tandis que la liaison axiale et la liaison radiale à énergie négative sont statiques.
5. Dans ce dernier cas, les électrinettes en liaison doivent être synchronisées par rapport aux points de contact.
6. Le problème de l'énergie de liaison : dans le cas de l'énergie positive, le résultat de la fusion reste immobile. Dans le cas de l'énergie négative, l'énergie de liaison émise se convertit en énergie cinétique. Selon la loi de conservation des moments cinétiques, le moment cinétique final doit être égal au moment cinétique initial. Dans le cas du moment initial nul, le moment final doit être nul. Cela conduit à la séparation des 2 noyaux dans 2 sens opposés. C'est la raison pour laquelle on préfère choisir une fusion qui donne au moins deux particules qui facilitent la conservation du moment cinétique.

En pratique, les 2 premières conditions ne sont pas si simples qu'elles y paraissent. En effet, les noyaux à fusionner portent une charge électrique globale positive. Donc à une distance supérieure au rayon r des charginettes, les noyaux se repoussent. Donc, il faut une pression suffisante pour les rapprocher.

Le problème est que la force électrique est proportionnelle à la densité d'énergie volumique. Donc, l'augmentation de la pression entraînera l'augmentation de la densité d'énergie. Ce qui conduit à l'augmentation de la force répulsive. Donc, il y a une sorte de régulation naturelle de la vitesse de fusion.

Par le même raisonnement, l'augmentation de la température a le même effet que celle de la pression.

La dernière condition de synchronisation est la plus difficile. En effet, si les nucléons sont construits au fil du temps, ils ne sont pas tous en phase. Il faut un très grand nombre de nucléons pour obtenir un petit nombre de nucléons synchronisables.

Si on prend le diamètre de l'électron, au mieux (car certains estimes que d_e tend vers 0), à la valeur suivante :

$$d_e = 10^{-22} \text{ m}$$

La circonference d'une charginette est :

$$l_c = \pi * 2 * r = \pi * 2 * 0.36373 = 2.285382992 * 10^{-15} \text{ m.}$$

Le nombre de position sur la trajectoire d'une charginette :

$$N_p = l_c / d_e = 2.285 * 10^7.$$

Il faut en moyenne $N_p + 1$ noyaux pour avoir 2 noyaux synchronisables. Il faut donc N_p rencontres différentes pour croiser un noyau synchronisable.

La troisième condition est moins sévère que la dernière. Mais il faut quand même du temps pour qu'ils puissent tomber face à face naturellement, même sous pression. En effet, la rotation des charginettes se rend neutre à une distance au-dessus de leur rayon. Auto positionnement n'est pas possible.

Dans le cas général d'une liaison à énergie négative, la nouvelle liaison libère de l'énergie. Il s'agit d'une énergie potentielle. Cette énergie ne reste pas dans l'espace au sein du champ d'énergie. Elle sera convertie en énergie cinétique au nouveau noyau atomique.

Dans le cas général d'une fusion à énergie positive, il faut fournir les énergies des nouvelles liaisons. Il s'agit d'une énergie potentielle. Cette énergie reste dans l'espace au sein du champ d'énergie.

4.9.10.5 Les conditions nécessaires de fusion entre 1 noyau atomique et 1 neutron

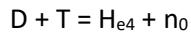
Ici, le noyau atomique a au moins 2 nucléons. Généralement, les 2 premiers nucléons sont proton-neutron. Pour qu'une fusion entre 1 noyau atomique et un neutron puisse avoir lieu, il est impératif de respecter les conditions suivantes :

1. Si la liaison est axiale, alors le neutron doit trouver 1 proton du noyau pour se positionner sur son axe. Cela suppose que le noyau possède au moins un proton ayant une place axiale libre.
2. Si la liaison est radiale, alors le neutron tout seul ne peut qu'avoir une liaison dynamique, donc à énergie positive.

L'uranium possède un isotope 235 avec 143 neutrons et 92 protons. Le nombre de neutron est presque le double du nombre de proton. Il y a donc un certain nombre de neutron avec leurs liaisons dynamiques. Comme ces liaisons dynamiques sont moins stables par rapport aux liaisons statiques, la radioactivité trouve son explication.

4.9.10.6 Exemple de fusion entre Deutérium et Tritium

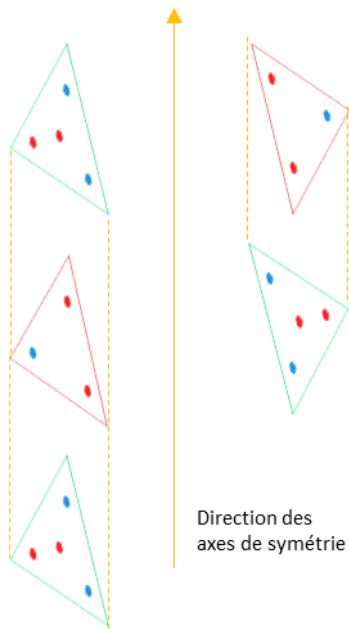
Dans la fusion d'un deutérium et d'un tritium donnant un noyau d'hélium 4 et un neutron, l'équation est la suivante :



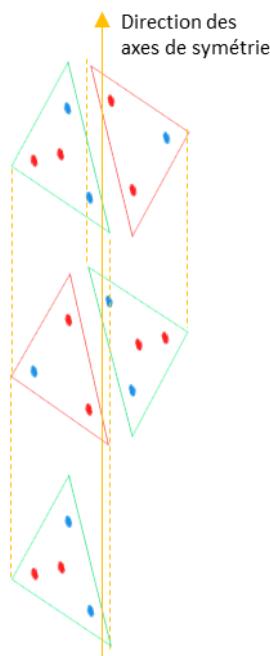
4.9.10.6.1 Déroulement de la fusion

Dans le cas du laboratoire, les cas d'entrée et de sortie sont les suivants :

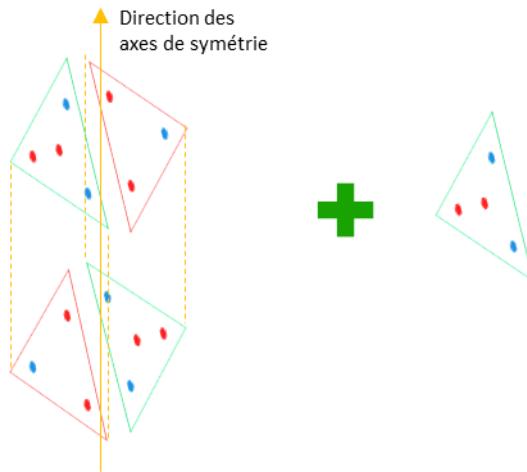
1. Etape 1 : le deutérium E_{de0} et le tritium E_{tr00} se positionnent en parallèle par l'agitation thermique à haute température ou par la haute pression.



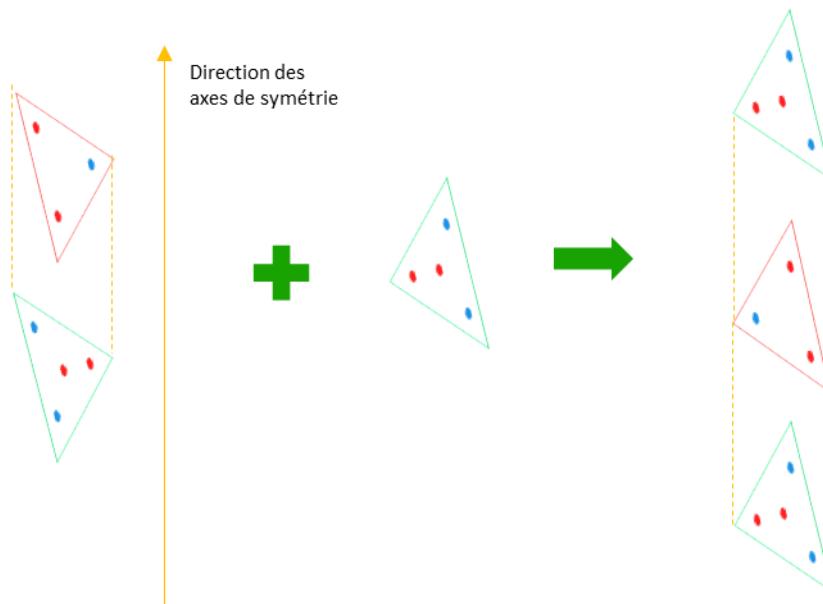
2. Etape 2 : le deutérium E_{de0} se combine avec le tritium E_{tr00} sous l'effet de la haute pression et l'agitation thermique qui compensent la force électrique.
3. Etape 3 : la combinaison la plus compacte à réaliser est la liaison radiale du deutérium et du tritium en hélium 5 : $E_{he000LL0}$.



4. Etape 4 : la conservation des quantités de mouvement rend l'hélium 5 instable et libère le neutron du niveau d'énergie E_{L0} .



5. étape 5 : comme le tritium coûte cher, il faut profiter du neutron libéré pour obtenir un tritium.



Cette dernière étape 5 exige qu'en entrée, il faut mettre plus de deutériums. Les tritiums de départ jouent un rôle de catalyseur. Ensuite, la fusion auto génère des tritiums.

Remarque :

Cette dernière étape 5 produit une seule particule. La conservation des quantités de mouvement peut rendre les chocs colinéaires instables si le deutérium et le neutron se déplaçaient dans 2 directions opposées. Le rebondissement est possible et probable.

La fusion entre 2 deutériums sans passer par un tritium est également possible. La probabilité est moins grande que le cas tritium + deutérium pour la même raison que ci-dessus qui a pour résultat une seule particule.

4.9.10.6.2 Energie mise en jeu

Le deutérium initial a une configuration E_{de0} . Ce deutérium combine avec un tritium de configuration E_{tr00} pour donner un hélium 5. Le bilan des masses est le suivant :

$$\Delta M_1 = M_{he5} - M_{de} - M_{tr}$$

$$\Delta M_1 = 5.01222u - 2.014102u - 3.016049u = -0.017931u = -16.702\ 619\ MeV$$

L'hélium 5 devient un hélium 4 en perdant un neutron. Le bilan des masses est le suivant :

$$\Delta M_2 = M_{he4} + M_n - M_{he5}$$

$$\Delta M_2 = 4.002603u + 1.008666u - 5.01222u = -0.000\ 951u = -0.885\ 851\ MeV$$

Le bilan énergétique est :

$$E = \Delta M_1 - \Delta M_2 = -16.702\ 619\ MeV + 0.885\ 851\ MeV = -15.816\ 769\ MeV$$

4.9.10.6.3 Conditions favorisant la fusion

Solution :

Pour que la fusion entre deutérium et tritium puisse avoir lieu, il faut réaliser deux opérations : éloigner l'électron de chacun d'eux et rapprocher les 2 noyaux.

La première opération peut être réalisée par élévation de la température, tandis que la deuxième peut être réalisée par élévation de la pression. Le problème est qu'il est difficile de réaliser la très haute température et la très haute pression en même temps. Le seul cas connu de cette réalisation est la bombe H. L'inconvénient de cette méthode est qu'elle ne permet pas de fournir de manière contrôlée l'énergie de la fusion.

Il faut donc trouver une autre façon de libérer rapidement une grande quantité d'énergie. La plus puissante source d'énergie (la bombe H, par exemple) connue à ce jour est d'origine nucléaire. Selon le présent modèle, cette énergie provient de liaison électron-positron. Ce qui conduit à utiliser deux électrodes de très haute tension (méthode proche du mode bombe H), pour libérer une très grande quantité d'énergie par neutralisation des charges électriques. Si la quantité d'énergie est suffisante, les 2 conditions haute température et haute pression seront réalisées pendant la décharge électrique qui dure généralement un temps très court (1 à 10 ms).

Cette fusion pendant une durée courte et très localisée bénéficie d'une faveur électromagnétique. Le présent modèle indique que la force électrique est proportionnelle à la densité volumique d'énergie. Mais la rapidité de l'augmentation de l'énergie rend cette proportionnalité inopérante pendant une courte durée au début de cette augmentation. C'est un retard inhérent de l'électromagnétisme, comme la rémanence magnétique. Ce qui permet de rapprocher les noyaux atomiques avec une force répulsive correspondant à l'ancienne densité d'énergie. Cela favorise la fusion.

Par contre, le mécanisme de Tokamak ne bénéficie pas de cette faveur. En effet, le plasma dans un Tokamak est obtenu par chauffage progressif. Ce qui augmente au fur et à mesure la force électrique en diminuant la probabilité de fusion des noyaux.

Avec le mode bombe H, le taux maximal de fusion pendant une décharge électrique se calcule en tenant compte des caractéristiques suivantes :

1. Le deutérium et le tritium ont chacun 5 facettes : deux axiales, 3 radiales
2. Pour chaque noyau, la probabilité d'obtenir une facette fusionnable est : $\frac{3}{5}$. En effet, seules les 3 facettes radiales sont fusionnables.

3. Pour chaque facette fusionnable, la probabilité de tomber sur la bonne facette de l'autre noyau est : $\frac{1}{5}$ dans le cas de la facette unique (2 électrinettes de même signe) ou bien : $\frac{1}{5}$ dans le cas de la facette double (2 électrinettes de signes différents).
4. La probabilité globale est : $\tau = \frac{3}{5} \cdot \left(\frac{1}{3} \cdot \frac{1}{5} + \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{5} + \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{5} \right) = \frac{3}{5} \cdot \left(\frac{3}{15} \right) = \frac{3}{25}$
5. Si le temps d'une fusion est inférieur à la durée d'une décharge et à la durée de rémanence magnétique, ce taux peut être plus grand qu'un dixième.

Ce calcul tient compte de l'hypothèse suivante :

Sous la haute pression, les 2 noyaux ont le temps de se réajuster pour fusionner lors que les 2 faces sont bonnes grâce à la force d'attraction.

Ceci n'est pas valable si la pression est faible. En effet, si les électrinettes ne sont pas suffisamment en face, les noyaux vont se rebondir.

Pour augmenter la probabilité de fusion, il est possible d'envisager d'influencer l'orientation des noyaux en utilisant leur moment électrique et leur moment magnétique.

Il n'est pas possible de compter sur une condition cumulant la haute température, la haute pression et la continuité des 2 premières grandeurs. En effet, un récipient supportant 100 millions de degrés et 10 mille bars est difficile à réaliser. En plus, un milieu stabilisé diminue le taux de fusion. Donc, il faut utiliser un système qui décharge cycliquement, un peu comme un cylindre à 4 temps d'un moteur à essence. Le récipient est refroidi par un système de refroidissement. Ainsi la température moyenne du récipient est bien plus basse que la température de fusion.

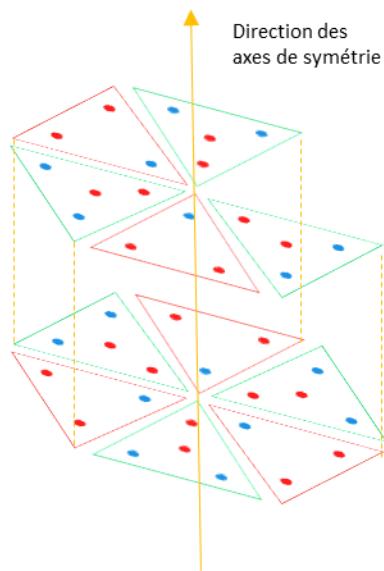
4.9.10.7 Un autre exemple entre un proton et un noyau de bore

La fusion d'un proton et d'un noyau de bore :

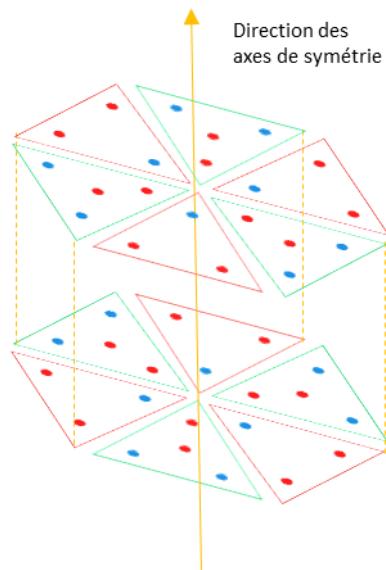


4.9.10.7.1 Déroulement de la fusion

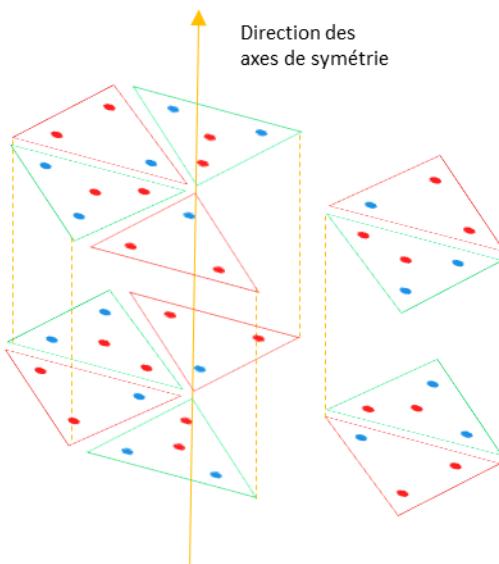
La structure du noyau Bore peut être représentée par le schéma suivant :



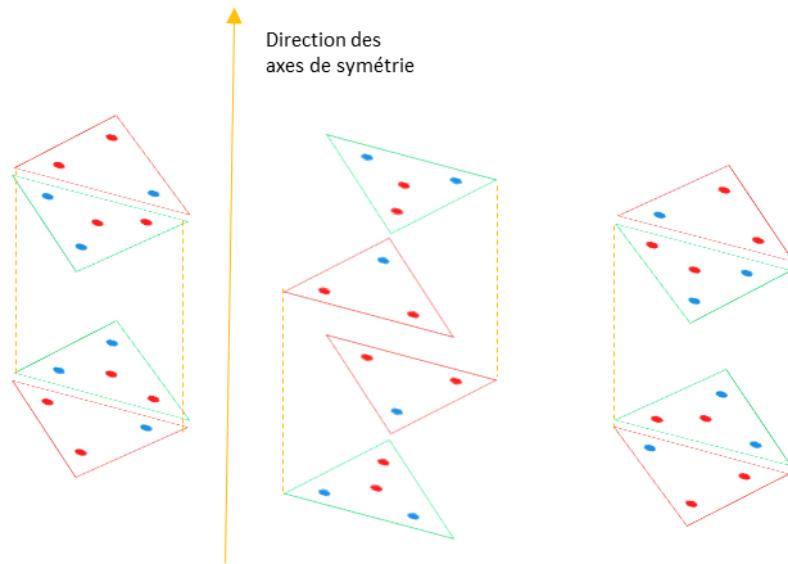
La fusion du noyau Bore avec un proton donne un noyau carbone dont la structure est la suivante :



L'énergie cinétique issue de la fusion sépare le carbone d'abord en 1 hélium et 1 béryllium :



L'énergie cinétique continue de séparer le beryllium en 2 héliums :



4.9.10.7.2 Energie mise en jeu

La masse de Bore 11 est :

$$\Delta M_1 = 11,0093054u = 10255, 102 232 528 \text{ MeV}$$

La somme de la masse du proton et du Bore :

$$\Delta M_2 = M_p + M_B$$

$$\Delta M_2 = 1,007 276 u + 11,0093054u = 11193. 374 532 528 \text{ MeV}$$

La somme des 3 héliums :

$$\Delta M_3 = 3M_{he4}$$

$$\Delta M_3 = 3 * 4,002 602 u = 11185. 199 577 \text{ MeV}$$

Le bilan énergétique est :

$$E = \Delta M_2 - \Delta M_3 = 11193.374 532 528 \text{ MeV} - 11185.199 577 \text{ MeV} = 8.175 \text{ MeV}$$

4.9.10.7.3 Conditions favorisant la fusion

Solution :

Le noyau du bore a 5 charges positives. La force de répulsion est bien plus grande que celle d'un noyau de tritium.

La pression à mettre en œuvre est plus grande que pour le deutérium et le tritium.

L'avantage de cette fusion est qu'il n'y a pas de neutrons libérés. L'énergie libérée se trouve sous forme cinétique.

La façon la plus directe de récupérer cette énergie est d'utiliser le principe du moteur à pistons.

4.9.10.8 Conclusions

Le présent modèle peut expliquer pourquoi une étoile a une durée de vie aussi longue :

La durée de vie d'une étoile est environ 10 milliards d'années en fonction de sa réserve de combustibles. Cette longévité est également due à l'auto régulation des fusions qui prend du temps à réaliser.

Contrainte :

Le présent modèle révèle un aspect important. En effet, les projets de réalisation de centrales nucléaires à fusion doivent tenir compte de cette contrainte d'auto régulation des fusions. Sinon, des échecs seront rencontrés.

Vérification avec les résultats expérimentaux :

Les réalisations actuelles des fusions nucléaires montrent que le rendement du mode inertiel (mode bombe H) est 1.53 ; Tandis que le mode Tokamak est 0.64 ; Ce qui est cohérent avec la description des conditions favorisant la fusion.

Axes d'amélioration du taux de fusion :

Comme les noyaux sont chargés électriquement, il est donc possible d'influencer leur orientation à l'aide d'un champ électromagnétique. Si par exemple, les axes de symétrie des noyaux étaient tous parallèles, alors cela augmenterait le taux de fusion.

4.9.11 Modélisation des fissions

Ce paragraphe décrit les conditions de fission des nucléons et les énergies mises en jeu.

4.9.11.1 Conditions de fission des nucléons

La structure d'un noyau atomique composé d'un grand nombre de nucléons peut ne pas être très stable. Cela se produit quand il y a des liaisons dynamiques.

Un neutron peut par sa relative neutralité pénétrer dans l'atome. Si ce neutron possède une énergie supérieure à la barrière de fission qui vaut 5.7 MeV, le noyau de l'atome peut se briser en plusieurs

noyaux de plus petites tailles. Une fission libère des neutrons de plus grande énergie qui déclenche ainsi une réaction en chaîne.

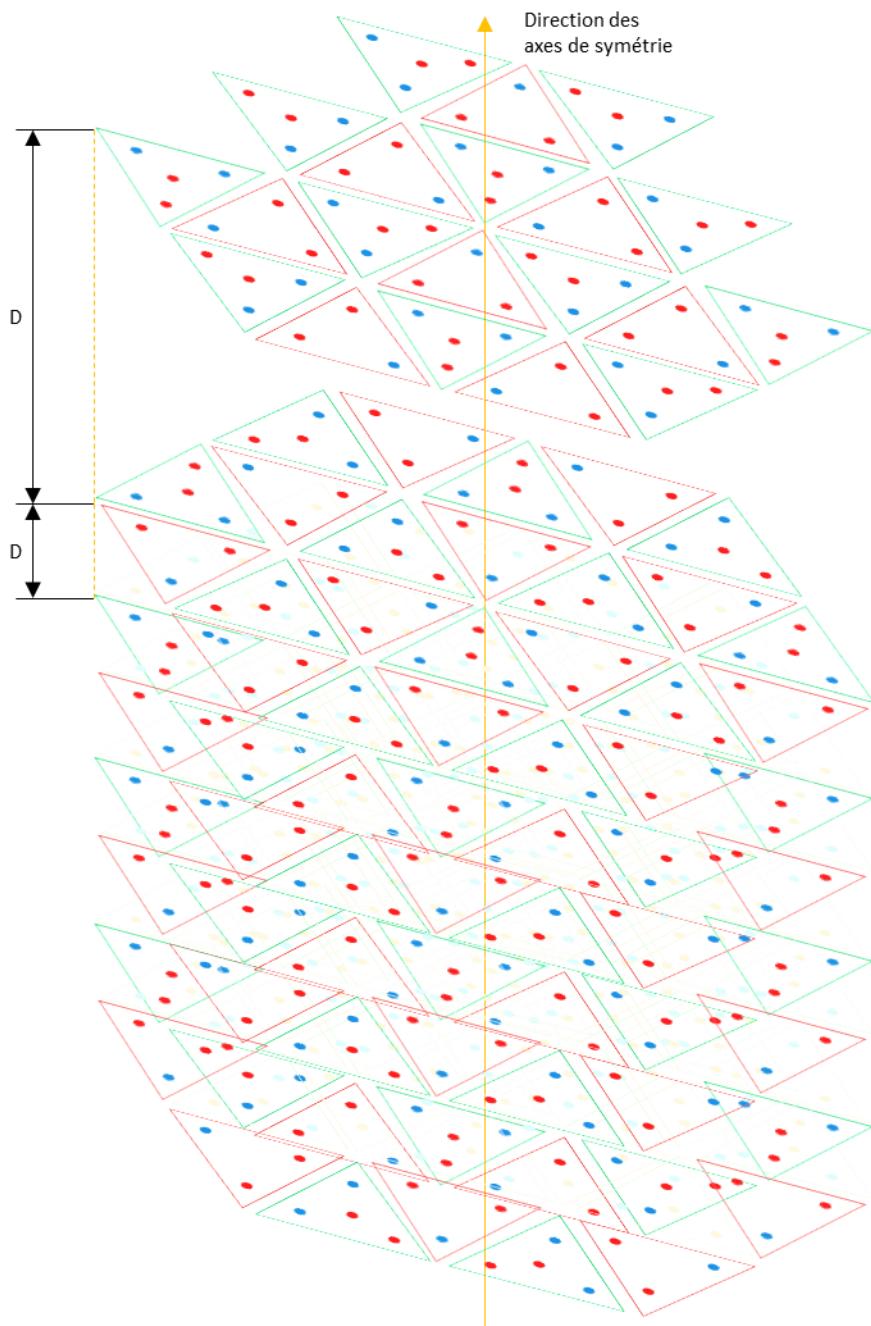
4.9.11.2 Exemple de fission et d'énergie mise en jeu

La fission de l'uranium U_{92}^{235} peut être décrite par l'équation suivante :

$$U_{92}^{235} + n_0^1 = K_{r36}^{92} + B_{a56}^{141} + 3 n_0^1 + E_\Delta$$

4.9.11.2.1 Structure géométrique idéale

La structure idéale d'un noyau atomique est un réseau homogène avec proton et neutron alternés sur les 3 dimensions. Par exemple : 92 protons + 96 neutrons = U_{92}^{188} un isotope de l'uranium.



L'uranium 188 ainsi obtenu est très stable.

4.9.11.2.2 Placement des neutrons restants

Après avoir placé les 92 protons + 96 neutrons selon la structure idéale d'un noyau atomique, il reste : $235 - 92 \text{ protons} - 96 \text{ neutrons} = 47 \text{ neutrons}$.

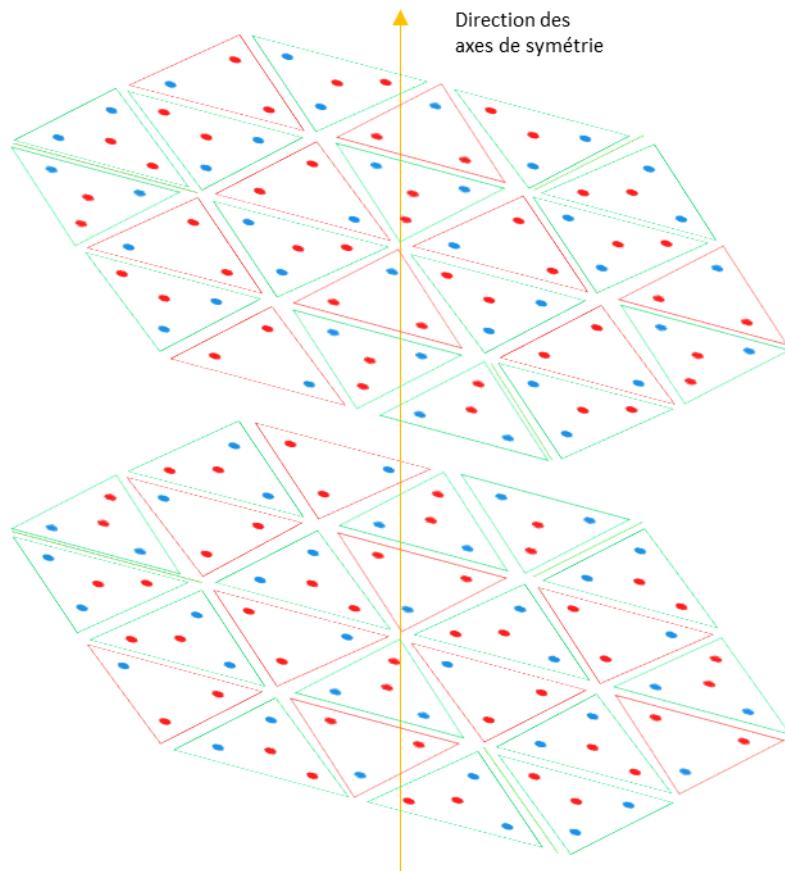
Il reste 12 places de protons en bas du nucléon + 8 places de protons en haut du nucléon. Il restera 27 neutrons à placer. Mais il n'y a plus de places pour établir une liaison axiale. Il n'est pas possible d'établir des liaisons radiales à énergie négative car les neutrons sont seuls. Il ne reste plus que la possibilité d'établir des liaisons radiales à énergie positive. Chaque étage possède 12 places possibles. 7 étages donnent 84 places possibles sans compter le dernier étage. Il suffit de placer les 27 neutrons restants.

4.9.11.2.3 Structure géométrique fragile

La structure d'un noyau atomique possède un grand nombre de possibilités, quasiment infini. Parmi eux, il faut trouver celles qui sont fragiles.

Une possibilité est à la place de certains protons, un neutron s'y trouve. Cette configuration coupe la liaison axiale. Ce qui fragilise la stabilité axiale.

Avec un noyau de 10 étages, il faut 5 neutrons de plus par étage, donc 5 protons de moins. Ce qui donne 15 neutrons + 9 protons par étage, sauf les 2 derniers étages qui compte 10 protons + 12 (ou 11) neutrons. Le schéma suivant montre 2 étages consécutifs :



Chaque étage comporte 3 liaisons radiales à énergie positive, illustrées par les 3 traits verts. Ces 3 liaisons constituent 3 points fragiles de l'étage. Les neutrons remplaçants de protons constituent également les points de fragilité inter étage.

Il existe un très grand nombre (quasi infini) de possibilités de remplacement de proton par neutron dans le noyau atomique. Ces remplacements constituent les points de scission lors d'une fission. Une fission peut passer par un ou plusieurs points de scission.

L'énergie libérée lors d'une fission est égale à la somme des énergies de liaisons cassées. Elle est égale à la somme des énergies radiales à énergie positive moins celles des énergies de liaisons radiales à énergie négative.

4.9.12 Modélisation des radioactivités β

Ce paragraphe décrit les conditions de radioactivités $\beta+$, $\beta-$ et les énergies mises en jeu. Dans la suite, l'origine de la chrominette Up est l'environnement qui contient un océan de particules neutres dont des chrominettes Up et Down.

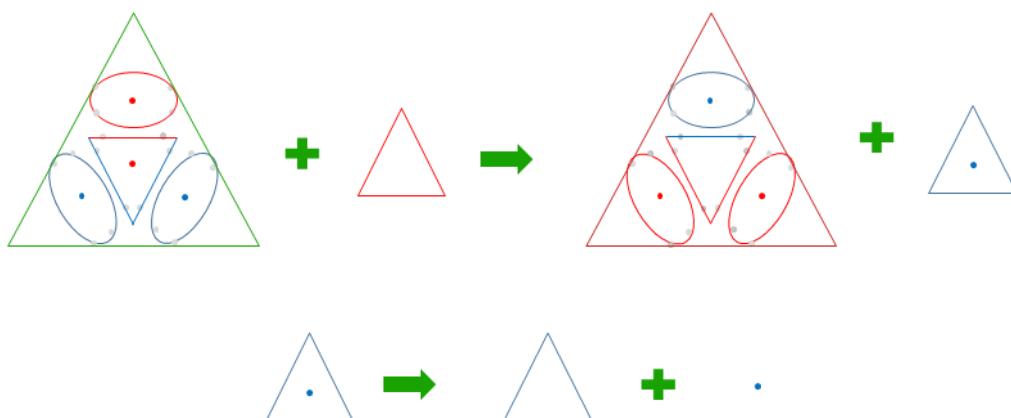
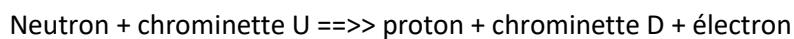
Que se passe-t-il si cette chrominette n'est pas synchronisée avec le noyau atomique ? Dans ce cas, lors du remplacement du quark en place, le proton ou le neutron va se désintégrer. Ainsi, il va libérer des quarks synchronisés avec les autres nucléons de cet atome.

4.9.12.1 La radioactivité $\beta-$

Le modèle standard considère qu'un neutron devient un proton avec l'aide la force électro faible :



Le présent modèle considère qu'une chrominette up pénètre dans le cœur du neutron en remplaçant une des 2 quarks down du neutron. Au passage, le positron du cœur est capturé par cette chrominette Up.

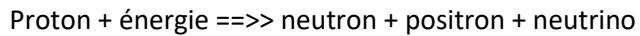


Le quark Down détaché libère l'électron en son sein pour devenir une chrominette D.

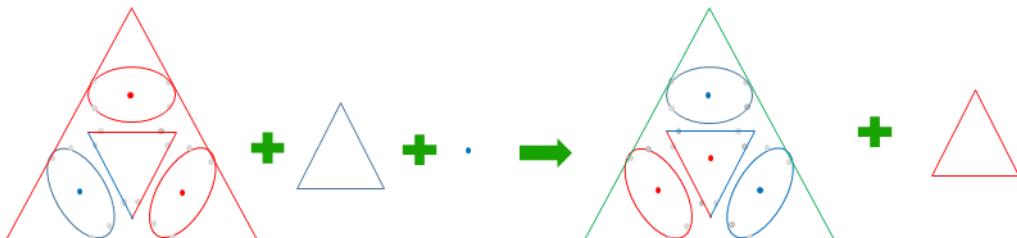
La condition est que cette chrominette U soit issue du même noyau atomique. C'est la condition de synchronisation entre les charginettes.

4.9.12.2 La radioactivité $\beta+$

Le modèle standard considère qu'un proton devient un neutron avec l'aide la force électro faible :



Le présent modèle considère qu'une chrominette down énergétique après avoir capturé un électron (un quark Down), pénètre dans le cœur du proton en remplaçant une des 2 quarks up du proton.



Le quark Up détaché libère le positron en son sein qui est capturé par le cœur pendant le remplacement du quark Up par le quark Down.

La condition est que cette chrominette D soit issue du même noyau atomique. C'est la condition de synchronisation entre les charginettes.

4.10 Modélisation de grandes structures à base de nucléons

L'examen de la structure du proton et celle du neutron permet de déduire l'existence de leurs structures symétriques schématisées comme suit :

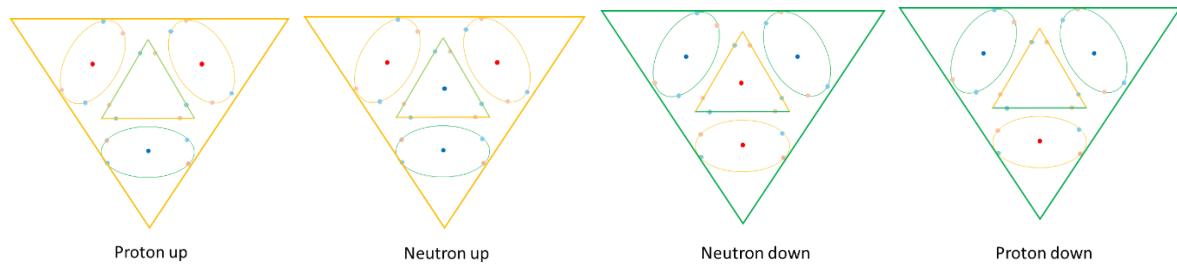


Figure 44 - Nucléons symétriques

Le présent modèle prévoit l'existence du proton down la particule symétrique du proton qui est un proton up. De même il prévoit l'existence du neutron up la particule symétrique du neutron qui est un neutron down.

Pour les mêmes raisons que celles du proton up, le proton down est stable. Par contre, la stabilité du neutron up est moins certaine. La raison de non observation de ces 2 nucléons symétriques dans la nature n'est pas connue à ce jour.

4.10.1 Modélisation de structures à base de neutrons

Il est possible de construire des structures avec uniquement des neutrons up et down. Il faut faire attention au fait que le neutron symétrique n'est pas l'anti neutron. Au sens neutralisation, l'anti neutron est le neutron lui-même, mais avec les charges électriques libres (= célibataires = sans la charge de signe opposé pour former une charginette) de signes opposés. Cela vient de la définition

de l'anti quark. Un anti quark d'un quark Q est le quark Q lui-même, mais avec une charge électrique de signe opposé.

4.10.1.1 Neutronette

Le composé le plus simple est un neutron up + un neutron down.

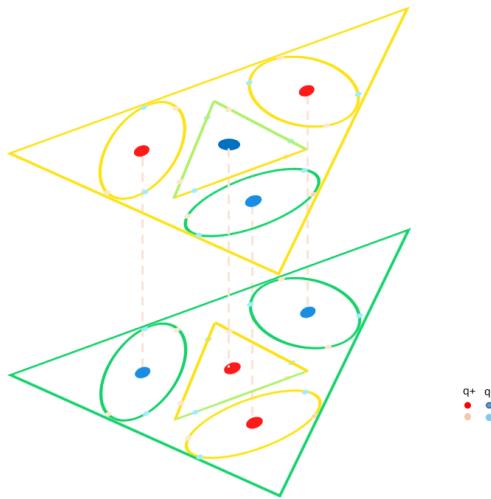


Figure 45 - Structure d'une neutronette

Les 2 électrons et 2 positrons du neutron up sont face à face avec les 2 positrons et 2 électrons du neutron down. Les axes de symétrie des 2 neutrons sont dans le même sens et confondus. Cette structure est encore plus stable que le deutérium. Elle sera nommée neutronette.

4.10.1.2 Neutron triple

Le composé suivant est un neutron up + 2 neutrons down ou un neutron down + 2 neutrons up.

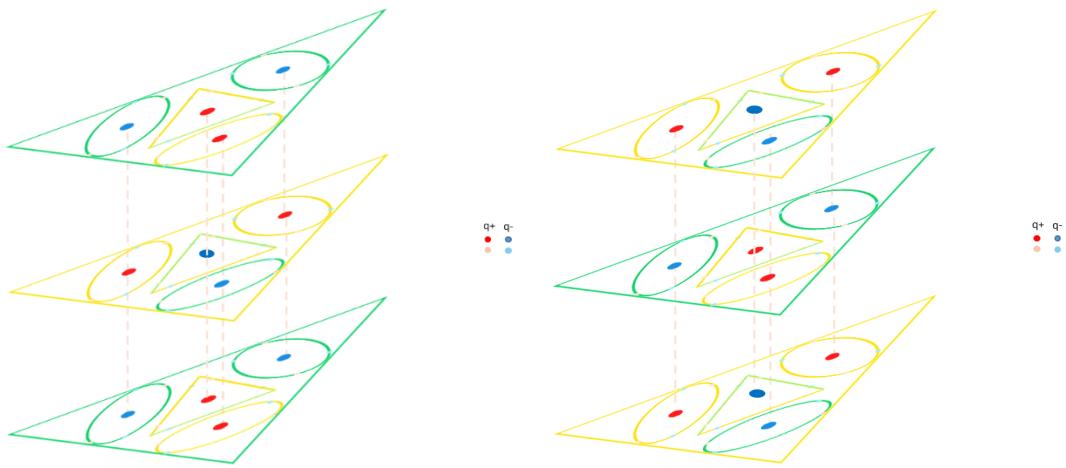


Figure 46 - Neutron triple

Les axes de symétrie des 3 neutrons sont dans le même sens et confondus. Cette structure est encore plus stable que le tritium. Elle sera nommée neutron triple.

4.10.1.3 Neutronette double

Deux neutronettes peuvent se mettre en parallèle et devenir la structure suivante :

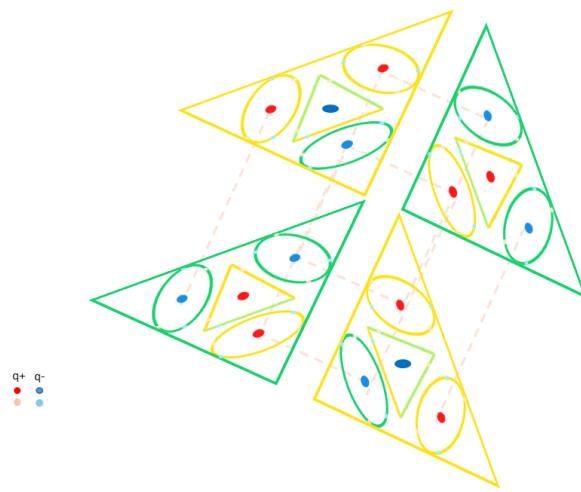


Figure 47 - Neutronette double

Les axes de symétrie des 2 neutronettes sont dans 2 sens opposés. Cette structure est encore plus stable que l'hélium. Elle sera nommée neutronette double.

4.10.1.4 Structure complexe à base de neutron

Il est possible de généraliser la structure de la neutronette double en une structure complexe :

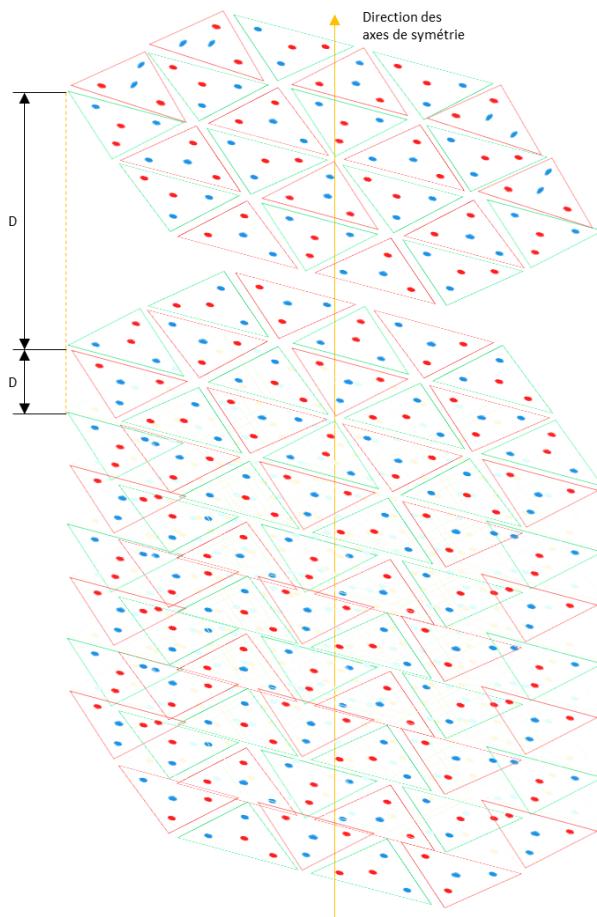


Figure 48 - Grande Structure à neutronettes

Les axes de symétrie des neutrons sont tous parallèles. Mais leurs sens s'opposent pour former des neutronettes. Cette structure peut s'étendre indéfiniment. Elle est très stable car toutes les liaisons inter neutrons sont statiques à énergie négatives. Elle sera nommée structure à neutronettes.

Une structure à neutronettes possède les propriétés suivantes :

- La densité est très élevée, au moins 100 000 fois plus que la matière ordinaire.
- La rigidité est très élevée, au moins 100 000 fois plus que le diamant.
- La température de fusion est très élevée, au moins 250 millions de degrés.
- Elle doit réfléchir la lumière un peu comme un miroir.
- Elle est isolante électriquement.
- Elle est isolante thermiquement.
- Etc.

Les applications de cette matière seraient extraordinaires. Par exemple :

- Blindage extrêmement résistant, pour tanks, navires de guerre, etc.
- Coque de sous-marin résistante à la très haute pression,
- Moteur d'avion résistant à la très haute température,
- Coque de vaisseaux spatiaux résistant à la très haute température,
- Coque de navire résistante à la corrosion,
- Mur de protection résistant à la radiation nucléaire,
- etc.

4.10.2 Modélisation de structures à base de protons

Il est possible de construire des structures avec uniquement des protons up et down.

4.10.2.1 Protonette

Le composé le plus simple est un proton up + un proton down.

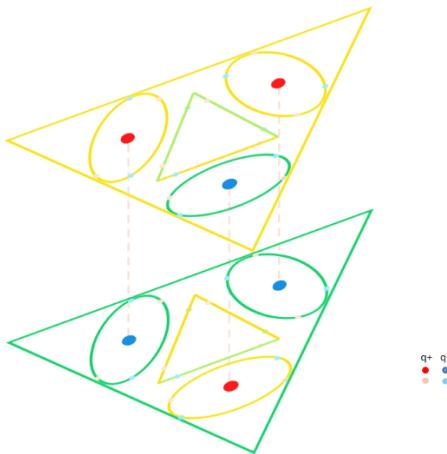


Figure 49 - Structure d'une protonette

L'électron et 2 positrons du proton up sont face à face avec le positron et 2 électrons du proton down. Les axes de symétrie des 2 protons sont dans le même sens et confondus. Cette structure est encore plus stable que le deutérium. Elle sera nommée protonette.

4.10.2.2 Proton triple

Le composé suivant est un proton up + 2 protons down ou un proton down + 2 protons up.

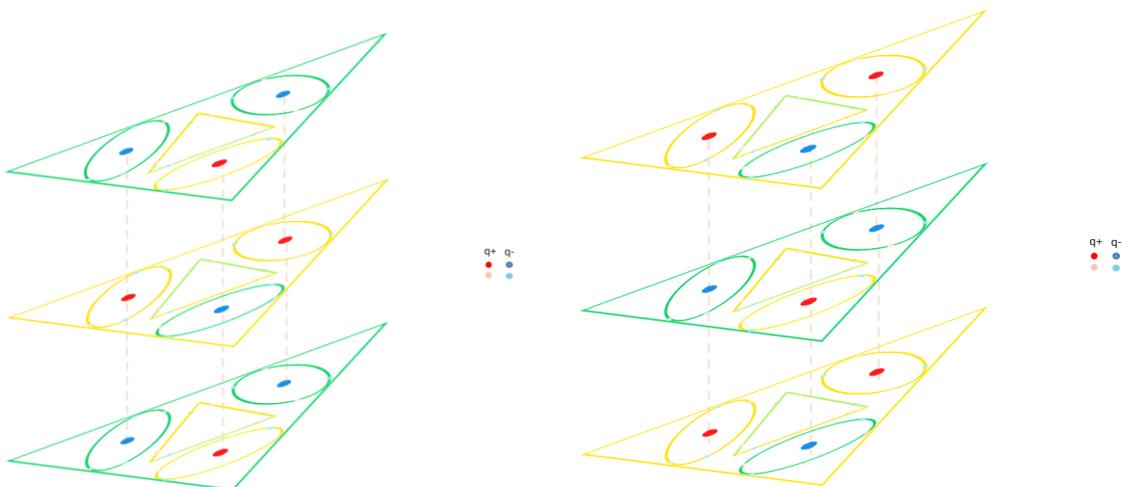


Figure 50 - Proton triple

Les axes de symétrie des 3 protons sont dans le même sens et confondus. Cette structure est encore plus stable que le tritium. Elle sera nommée proton triple.

4.10.2.3 Protonette double

Deux protonettes peuvent se mettre en parallèle et devenir la structure suivante :

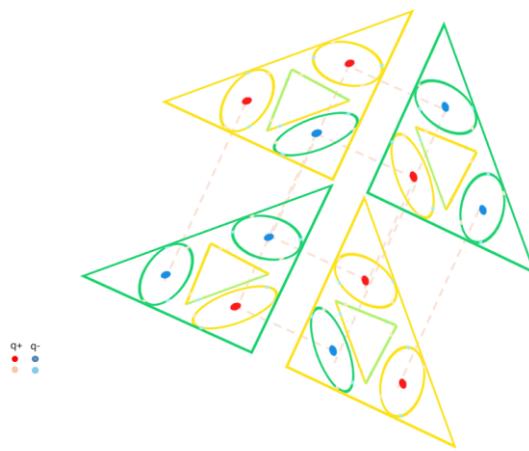


Figure 51 - Protonette double

Les axes de symétrie des 2 protonettes sont dans 2 sens opposés. Cette structure est encore plus stable que l'hélium. Elle sera nommée protonette double.

4.10.2.4 Structure complexe à base de proton

Il est possible de généraliser la structure de la protonette double en une structure complexe :

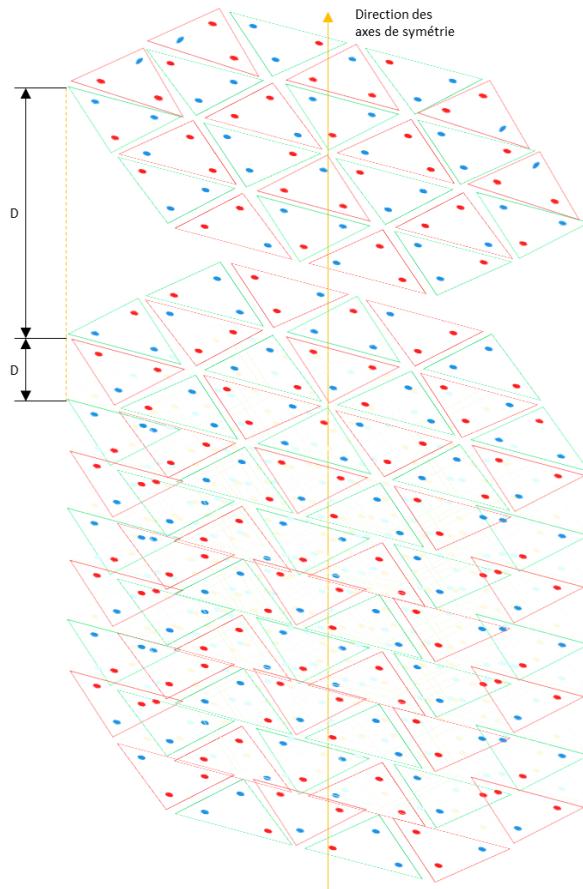


Figure 52 - Grande Structure à protonettes

Les axes de symétrie des protons sont tous parallèles. Mais leurs sens s'opposent pour former des protonettes. Cette structure peut s'étendre indéfiniment. Elle est très stable car toutes les liaisons inter protons sont statiques à énergie négatives. Elle sera nommée structure à protonettes.

Une structure à protonettes possède les propriétés suivantes :

- La densité est très élevée, au moins 100 000 fois plus que la matière ordinaire.
- La rigidité est très élevée, au moins 100 000 fois plus que le diamant.
- La température de fusion est très élevée, au moins 250 millions de degrés.
- Elle doit réfléchir la lumière un peu comme un miroir.
- Elle est isolante thermiquement.
- Elle est isolante électriquement.
- Elle est conductrice des photons dans le sens de leur axe de symétrie. Le photon peut même être le rayon gamma γ .
- Etc.

Les applications de cette matière seraient extraordinaires. Par exemple :

- Blindage extrêmement résistant, pour tanks, navires de guerre, etc.
- Coque de sous-marin résistante à la très haute pression,
- Moteur d'avion résistant à la très haute température,
- Coque de vaisseaux spatiaux résistant à la très haute température,
- Coque de navire résistante à la corrosion,
- Mur de protection résistant à la radiation nucléaire,
- etc.

4.10.3 Modélisation de structures à base de proton-neutron

Il est possible de construire des structures avec uniquement des protons up et neutrons down.

C'est le cas des noyaux atomiques sur Terre, et peut-être même dans l'univers.

Mais si cette structure est trop grande, l'accumulation de la charge électrique positive est tellement grande, que tout nouveau nucléon à charge électrique positive sera repoussé. Ce qui empêche les grandes structures de se former. Ce qui explique pourquoi dans la nature il n'existe pas de grandes structures formées de nucléons (protons up and neutrons down).

4.10.4 Modélisation de structures à base de symétrie de proton-neutron

Il est possible de construire des structures avec uniquement des protons down et neutrons up. Il s'agit des structures symétriques par rapport aux structures à base de protons et neutrons. L'absence de ces structures dans la nature pourrait signifier l'instabilité de ces structures.

4.10.4.1 Deutériumelle

Le composé le plus simple est un proton down + un neutron up.

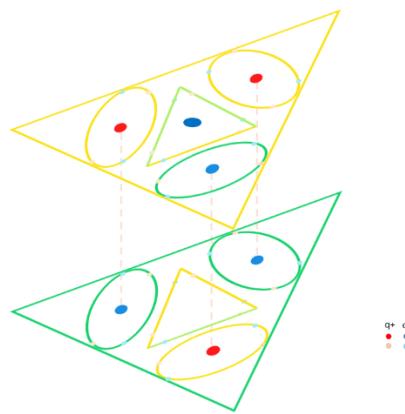


Figure 53 - Structure d'une deutériumelle

Les 2 électrons et le positron du proton down sont face à face avec les 2 positrons et l'un des électrons du neutron up. Les axes de symétrie des 2 nucléons sont dans le même sens et confondus. La stabilité de cette structure est incertaine. Elle sera nommée deutériumelle.

4.10.4.2 Tritiumelle

Le composé suivant est un neutron up + 2 protons down ou un proton down + 2 neutrons up.

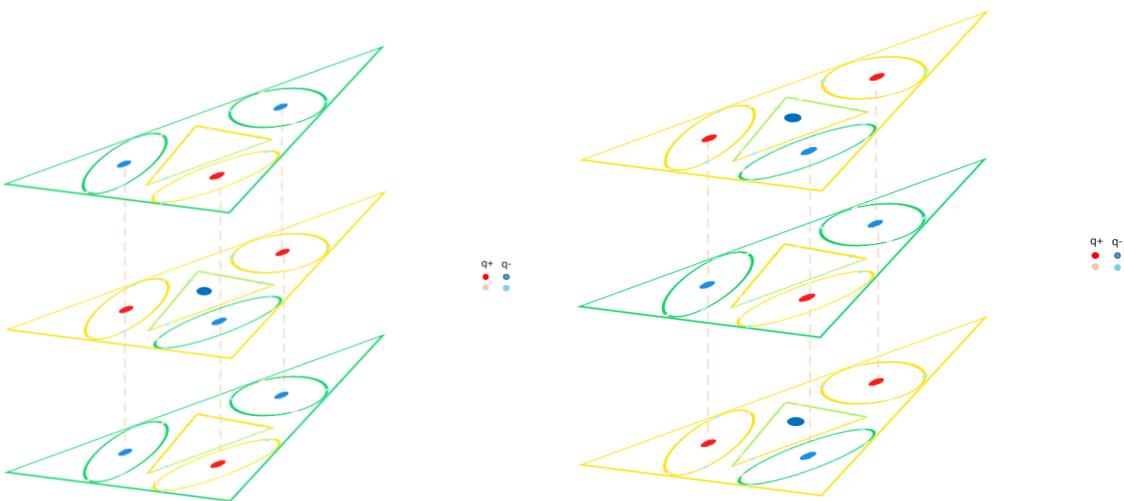


Figure 54 - Tritiumelle

Les axes de symétrie des 3 nucléons sont dans le même sens et confondus. La stabilité de cette structure est incertaine. Elle sera nommée tritiumelle.

4.10.4.3 Héliumelle

Deux deutériumelles peuvent se mettre en parallèle et devenir la structure suivante :

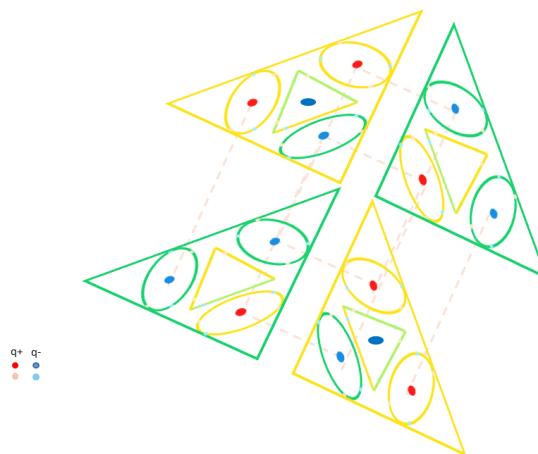


Figure 55 - Héliumelle

Les axes de symétrie des 2 deutériumelles sont dans 2 sens opposés. La stabilité de cette structure est incertaine. Elle sera nommée héliumelle.

4.10.4.4 Structure complexe à base d'héliumelle

Il est possible de généraliser la structure de la héliumelle en une structure complexe :

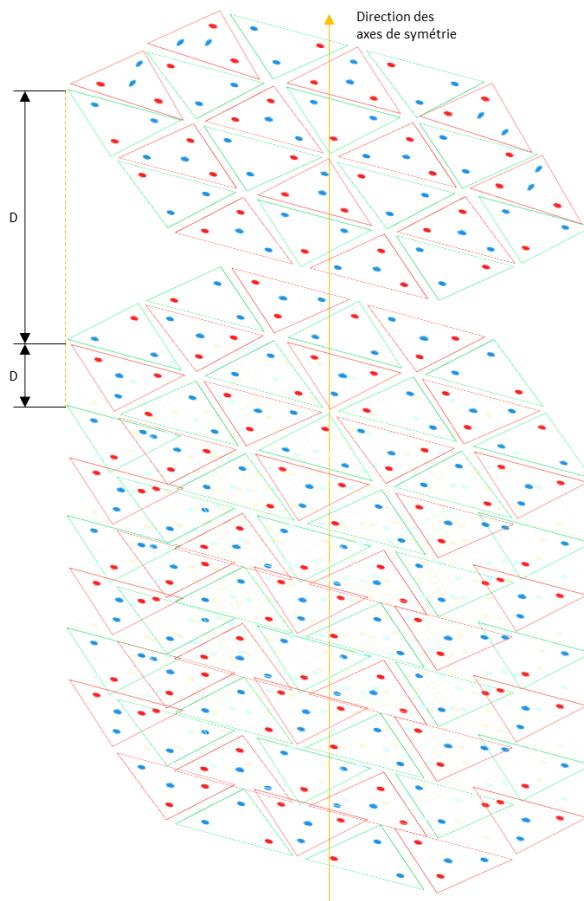


Figure 56 - Grande Structure à héliumelles

Les axes de symétrie des deutériumelles sont tous parallèles. Mais leurs sens s'opposent pour former des héliumelles. Cette structure peut s'étendre un peu, mais dans une certaine limite. Elle est très

stable car toutes les liaisons inter nucléons sont statiques à énergie négatives. Elle sera nommée structure à héliumelles. Mais si cette structure est trop grande, l'accumulation de la charge électrique négative est tellement grande, que tout nouveau nucléon à charge électrique négative sera repoussé. Ce qui empêche les grandes structures de se former.

4.10.5 Modélisation de structures à base de deutérium et sa symétrie

Il est possible de construire des structures avec des deutériums et des deutériumelles alternés par rangée.

4.10.5.1 Alternancelle

Le composé suivant est un deutérium + une deutériumelle.

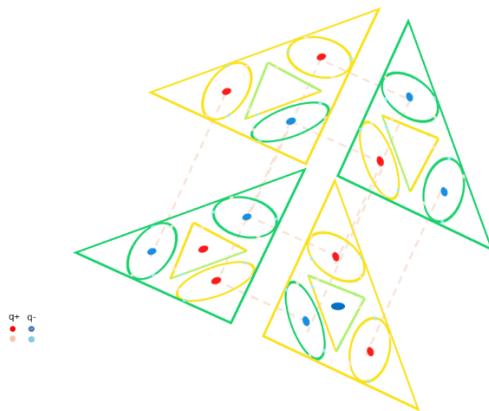


Figure 57 - Alternancelle

Cette structure est quasiment identique à celle d'hélium. La différence est qu'un des deutériums est remplacé par une deutériumelle. Elle sera nommée Alternancelle. La plus importante propriété d'une alternancelle par rapport à l'hélium est sa neutralité électrique.

La stabilité de cette structure est incertaine. La seule incertitude est la stabilité de l'électron du neutron up. S'il s'échappait, la structure restante deviendrait électriquement positive, mais resterait stable.

4.10.5.2 Structure complexe à base d'Alternancelle

Il est possible de généraliser la structure de l'alternancelle, à la fois dans la direction des axes de symétrie des nucléons, et dans les directions perpendiculaires. En plus, la neutralité électrique de l'alternancelle permet d'avoir des structures macroscopiques.

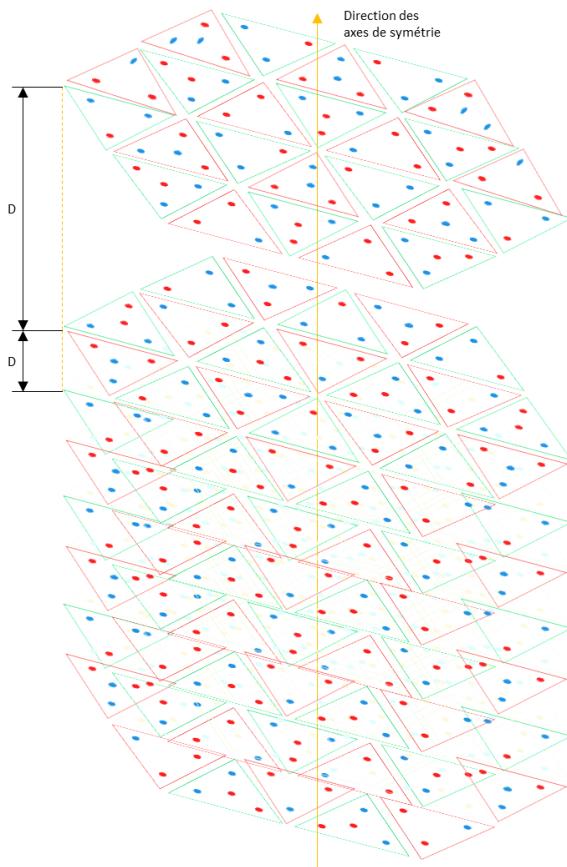


Figure 58 - Solide à base d'alternance

En dehors des 2 faces aux extrémités du solide dans la direction de symétrie, les électrons des neutrons up sont stables. En effet, les 2 sorties de l'électron du neutron up sont bloquées par 2 protons down, et même renforcés par d'autres neutrons up.

Un tel solide possède les propriétés suivantes :

- La densité est très élevée, au moins 100 000 fois plus que la matière ordinaire.
- La rigidité est très élevée, au moins 100 000 fois plus que le diamant.
- La température de fusion est très élevée, au moins 250 millions de degrés.
- Elle doit réfléchir la lumière un peu comme un miroir.
- Elle est isolante thermiquement.
- Elle est isolante électriquement dans le sens perpendiculaire à leur axe de symétrie.
- Elle est conductrice électriquement dans le sens de leur axe de symétrie. Il s'agit même d'une supra conductivité.
- Etc.

Les applications de cette matière seraient extraordinaires. Par exemple :

- Blindage extrêmement résistant, pour tanks, navires de guerre, etc.
- Coque de sous-marin résistante à la très haute pression,
- Moteur d'avion résistant à la très haute température,
- Coque de vaisseaux spatiaux résistant à la très haute température,
- Coque de navire résistante à la corrosion,
- Mur de protection résistant à la radiation nucléaire,

- Générateur de champs magnétiques de grande intensité.
- etc.

5 Prédictions

Certaines prédictions sont immédiates suite à la présente modélisation. Les plus marquantes sont listées ici.

5.1 Deux particules suffisent pour bâtir l'univers

A part le photon et l'électro, toutes les particules sont des composées de ces deux premiers.

5.2 L'énergie potentielle se trouve dans l'environnement

L'existence de l'énergie potentielle n'est plus à démontrer. Par exemple entre la Lune et la Terre, quand la distance entre elles d diminue, l'énergie potentielle E_p se convertit en énergie cinétique. La vitesse de la Lune v augmente. Quand la distance d augmente, la vitesse v diminue. Et l'énergie potentielle E_p augmente. Mais où E_p est localisée ? Elle n'est ni dans la Lune, ni dans la Terre. Elle se trouve dans le médium environnant.

5.3 La conservation des matières est une loi stricte

Le présent modèle prédit qu'un photon reste un photon, une charge électrique reste une charge électrique. Il n'y a pas de conversion entre un photon et une charge électrique. Un photon ne disparaît jamais. Une charge électrique ne disparaît jamais.

Par conséquent, la conservation des énergies est également absolue.

En conséquence, il n'y a pas de neutralisations destructives entre matière et antimatière. D'ailleurs, l'antimatière n'existe pas. Ce ne sont que des électrinettes de signes opposés.

5.4 Un quark possède une charge électrique élémentaire entière e^+ ou e^-

Connaissant la structure du proton et celle du neutron, il est aisément de prédire que chaque quark possède sa propre charge électrique élémentaire. Il n'y a pas besoin de fractionner les charges pour obtenir une somme 0 pour la charge électrique du neutron. Puisque le cœur de ces particules est un quatrième quark qui peut héberger une électrinette.

5.5 La masse inerte est vectorielle

La masse inerte d'une particule n'est pas la même dans toutes les directions. Elle est variable dans la direction de déplacement en fonction de sa vitesse. Mais elle est constante dans la direction perpendiculaire. Cette constante est égale à la charge neutre de la particule.

5.6 Le photon a une masse inerte et une masse grave

Contrairement au modèle standard qui considère que le photon a une masse nulle (inerte ou grave), le présent modèle considère que le photon a une masse inerte linéaire infinie et une masse inerte perpendiculaire égale à sa charge neutre.

La raison est simple. La vitesse du photon n'est pas modifiable. Tout se passe comme si le photon a une masse infinie.

Les observations montrent que le photon est dévié les objets massifs. Ce qui indique que la masse inerte perpendiculaire n'est pas infinie. Et que le photon est sensible à la gravitation.

5.7 Le photon peut sortir des trous noirs

Etant donné que le photon a une masse inerte linéaire infinie et une masse inerte perpendiculaire égale à sa charge neutre, il peut parfaitement sortir d'un trou noir en suivant l'axe de symétrie de ce dernier.

En effet, la grande masse du trou noir ne peut pas modifier la vitesse du photon. Par contre, la direction du photon sera modifiée par cette grande masse. Mais dans le cas où l'axe de rotation du trou noir est également l'axe de symétrie du trou noir, la symétrie fait que la direction du photon ne sera pas modifiée. Donc, le photon continuera son déplacement jusqu'à la sortie du trou noir.

Les jets gigantesques des trous noirs observés en astronomie confirment cette prédition ^[12].

5.8 La vitesse du photon peut être supérieure à c

Etant donné que le photon est propulsé par une substance sensible à la gravitation, les vitesses mesurées des photons dans les repères locaux R_{li} sont toutes égales à c . Mais dans un repère absolu R_a , les repères locaux ont chacun leur vitesse $v_{ri} > 0$. Ce qui donne une vitesse résultante du photon dans le repère absolu R_a :

$$\vec{v}_a = \vec{v}_{rl} + \vec{c}$$

Si la direction \vec{v}_{rl} et la direction \vec{c} sont dans le même sens, $v_a > c$.

Si la direction \vec{v}_{rl} et la direction \vec{c} sont dans les sens opposés, $v_a < c$.

Dans l'espace, lorsqu'un photon traverse plusieurs régions ayant des vitesses différentes dans un repère absolu, la trajectoire de ce photon n'est pas une ligne droite. Elle est en zigzag.

5.9 L'expansion accélérée de l'univers n'a pas besoin d'énergie noire

Le présent modèle prédit que l'accélération de l'expansion de l'univers ^[7] est simplement due aux photons.

En effet, les photons libres se déplacent plus vite que les particules composées. Donc, ces photons se trouvant en parties extérieures de l'univers attirent par la force grave les matières se trouvant en parties intérieures de l'univers. Et avec le temps, l'expansion s'accélère.

5.10 Il existe des océans de particules neutres gravitant autour des centres massifs
 Le présent modèle prédit que des océans de particules neutres existent dans l'univers. La densité de ces océans de particules dépend des masses des centres auxquels ces particules gravitent.

Les résultats d'observation en astronomie prouvent cette prédition [11].

5.11 L'aspect ondulatoire des particules n'appartient pas à ces particules

Le présent modèle prédit que l'aspect ondulatoire des particules appartient à l'environnement composé de champ d'énergie et de particules neutres.

Dans le cas du photon, en se déplaçant, les charginettes dans l'environnement peuvent capturer temporairement le photon. L'une des 2 électrinettes ayant capturé le photon fera un mouvement d'arc, puis libère le photon. Ce qui produit une onde dépendant de l'énergie du photon.

En présence de plusieurs photons, les charginettes ayant capturé les photons interagissent entre elles. La trajectoire de chaque photon sera ainsi modifiée par la charginette voisine, énergisée par un autre photon. Si les électrinettes énergisées des charginettes sont de signes opposés, les deux photons vont s'approcher un peu. Dans le cas contraire, les deux photons vont s'éloigner un peu. Le résultat final s'appelle l'interférence.

Dans le cas d'une électrinette, elle attire l'électrinette d'une charginette de l'environnement de signe opposé. Ce qui oblige l'autre électrinette de la charginette de s'orienter dans la direction opposée.

En présence de plusieurs électrinettes de même signe, elles vont s'interagir à distance à travers les charginettes. Le même phénomène que l'interférence se produit. On a l'impression que les électrinettes ont des propriétés ondulatoires.

5.12 La fusion des noyaux nucléaires nécessite des conditions

Le présent modèle prédit que la fusion des noyaux nucléaires ne peut se produire que sous une pression et une température suffisamment élevée. Ce phénomène provient de l'auto régulation de la force électrique proportionnelle à la densité d'énergie environnante. En plus, il faut un certain temps pour que deux noyaux soient mis en bonne face.

5.13 Il existe un solide 100 000 fois plus résistant que le diamant

Le présent modèle prédit qu'il est possible de créer un solide uniquement constitué de nucléons et leurs symétries. Ce solide est bien plus dense, plus résistant, plus isolant que les solides constitués d'atomes.

5.14 Il existe un super conducteur de photons, y compris le rayon gamma

Le présent modèle prédit qu'il est possible de créer un solide uniquement constitué de nucléons et leurs symétries. Ce solide est bien plus dense, plus résistant, plus isolant que les solides constitués d'atomes. Et ce solide conduit les photons dans le sens des axes de symétrie des nucléons. Même le rayon gamma γ peut y circuler. L'atténuation des photons est beaucoup plus faible que les fibres optiques.

5.15 Il existe un supra conducteur électrique à toute température

Le présent modèle prédit qu'il est possible de créer un solide uniquement constitué de nucléons et leurs symétries. Ce solide est bien plus dense, plus résistant, plus isolant que les solides constitués d'atomes. Et par-dessus le marché, ce solide offre une supra conductivité dans le sens des axes de symétrie des nucléons. Et cette supra conductivité est insensible au changement de température jusqu'à 250 millions de degrés.

Auteur : Jacques Xijie Dong Tél. +33 6 95 31 23 08 E-mail : jacques.dong@free.fr

6 Abréviations

Les abréviations suivantes sont utilisées dans ce manuscrit :

Alternancelle	Mot nouveau pour nommer la particule composé d'1 deutérium et d'1 deutériumelle.
Charginette	Mot nouveau pour nommer une particule nouvellement introduite : un couple formé d'électron et de positron
Chrominette	Mot nouveau pour nommer une particule nouvellement introduite : une particule composée de 3 charginettes
Deutériumelle	Mot nouveau pour désigner le deutérium symétrique.
Electrinette	Mot nouveau pour désigner un électron ou un positron.
Héliumelle	Mot nouveau pour désigner l'hélium symétrique.
Neutronette	Mot nouveau pour nommer une particule nouvellement introduite : un composé de neutron up et de neutron down.
Nucléonette	Mot nouveau pour nommer une particule nouvellement introduite : une particule composée de 3 chrominettes
PC	Personal Computer
Photonette	Mot nouveau pour nommer une particule nouvellement introduite : un couple de photon
Protonette	Mot nouveau pour nommer une particule nouvellement introduite : un composé de proton up et de proton down.
SM	Standard Model
Tritiumelle	Mot nouveau pour désigner le tritium symétrique.
XM	XijieDong Model
♾	Symbol yin et yang dont l'Unicode hexadécimal est 0x262f. Il représente une charginette dans XM.
Δ	Caractère Grec delta majuscule. Il représente une chrominette dans XM.
品	Idéogramme désignant un objet dont l'Unicode hexadécimal est 0x4637. Il représente une nucléonette dans XM.
中	Idéogramme désignant le neutre dont l'Unicode hexadécimal est 0x3197. Il représente la charge neutre d'un photon dans XM.
口	Idéogramme désignant une bouche dont l'Unicode hexadécimal est 0x2f1d. Il représente une charge électrique pure dans XM.
古	Idéogramme désignant un objet ancien dont l'Unicode hexadécimal est 0x3945. Il représente le champ d'énergie dans XM.
重	Idéogramme désignant la masse d'un objet dont l'Unicode hexadécimal est 0x5658. Il représente le champ gravitationnel dans XM.
电	Idéogramme désignant un objet électrique dont l'Unicode hexadécimal est 0x3567. Il représente le champ électrique dans XM.
磁	Idéogramme désignant un objet magnétique dont l'Unicode hexadécimal est 0x3445. Il représente le champ magnétique dans XM.

山

Idéogramme désignant une montagne dont l'Unicode hexadécimal est 0x2f2d. Il représente le champ potentiel dans XM.

7 Appendice A : Utilisation de Matlab Simulink

7.1 Appendice A.1 : Caractéristique des charginettes

La relation entre le rayon r , la vitesse de rotation v et la masse 中 est une nappe qui peut être tracée à l'aide de Matlab.

Les détails sont donnés dans le fichier généré par Matlab version R2019a :

charginette_nappe_r_v_zh_kn_10_12_noPot_En.m

L'axe OX représente la masse. Unité est 10^{-31} kg. La variable de traçage est :

xx = [0.08:0.08:8.0]; (plage par défaut)

%xx = [0.001:0.001:0.10]; (plage de réserve)

%xx = d'autres plages souhaitées

Pour obtenir une visibilité convenable, il faut bien dimensionner la plage des valeurs à visualiser. Supprimer le « % » devant yy à utiliser et rajouter « % » devant la plage en cours.

L'axe OY représente la vitesse. Unité est 10^2 mètre/seconde. La variable de traçage est :

yy = [0.1:0.1:10]; (plage par défaut)

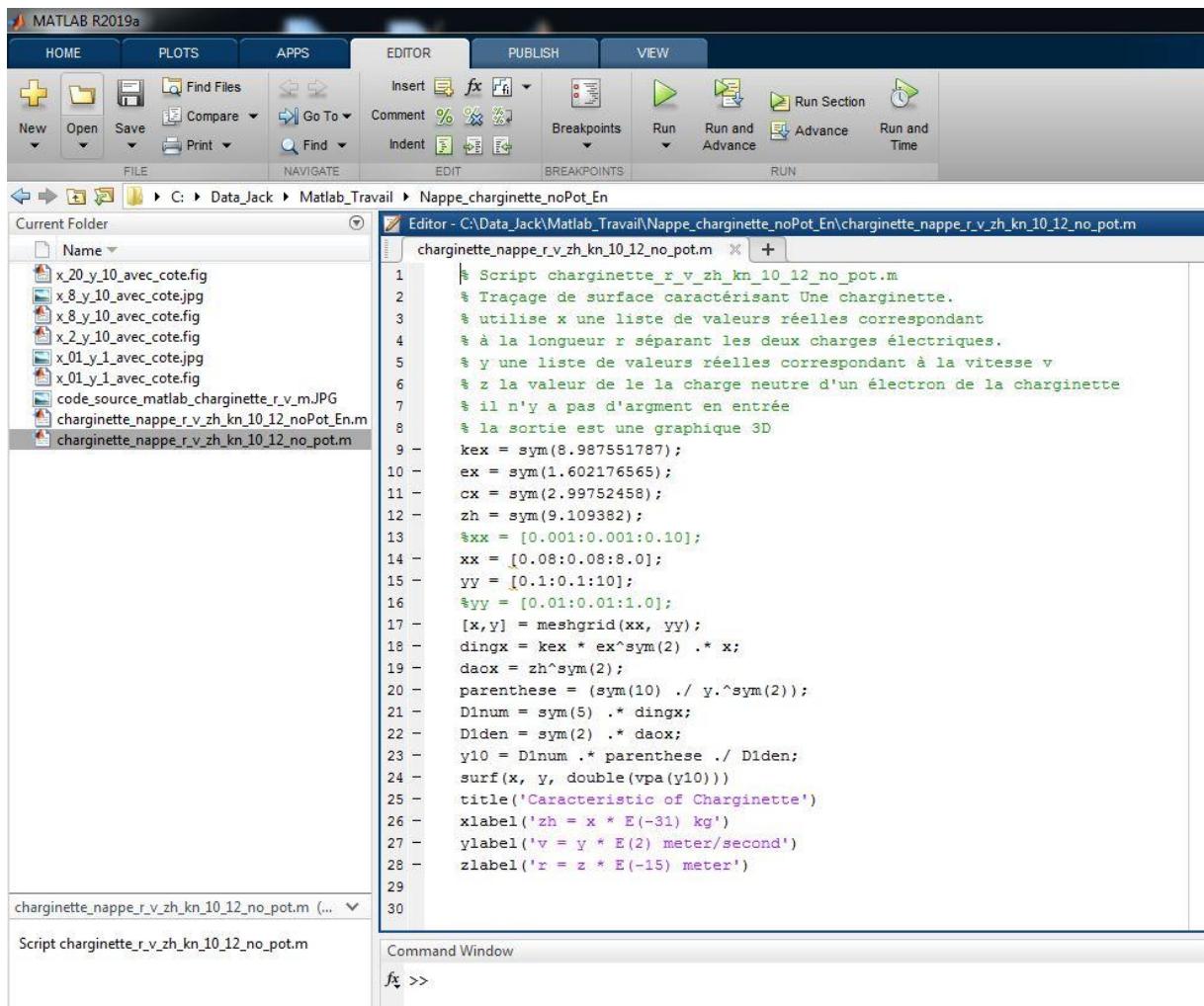
%yy = [0.01:0.01:1.0]; (plage de réserve)

%yy = d'autres plages souhaitées

Pour obtenir une visibilité convenable, il faut bien dimensionner la plage des valeurs à visualiser. Supprimer le « % » devant yy à utiliser et rajouter « % » devant la plage en cours.

L'axe OZ représente le rayon r . Unité est 10^{-15} mètre.

La capture d'écran suivant montre le code source Matlab de la charginette :



7.2 Appendice A.2 : Le système d'équations différentielles d'une chrominette

Le système d'équations différentielles régissant le comportement des charginettes au sein d'une chrominette est composé de 2 équations suivantes :

Équation 30 - équation différentielle 1 de la chrominette

Équation 24 - équation différentielle 2 de la chrominette

L'outil logiciel Simulink de Matlab est bien adapté à la résolution numérique de ce système d'équations différentielles.

Les détails sont donnés dans le fichier généré par Matlab Simulink version R2019a :

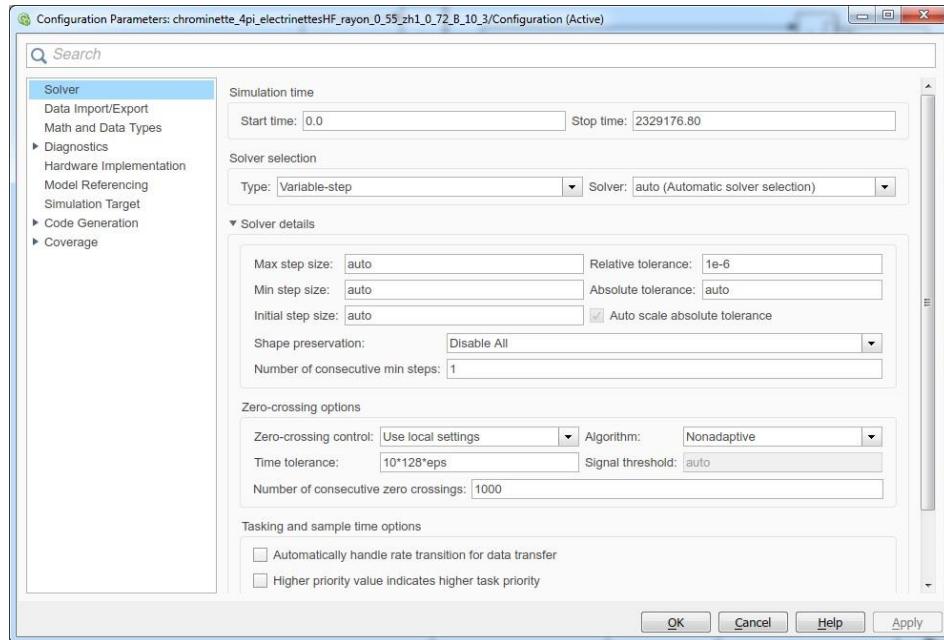
chrominette_4pi_electrinetteHF_r_055_zhf_072_B_10_3_kn_21.slx

Où :

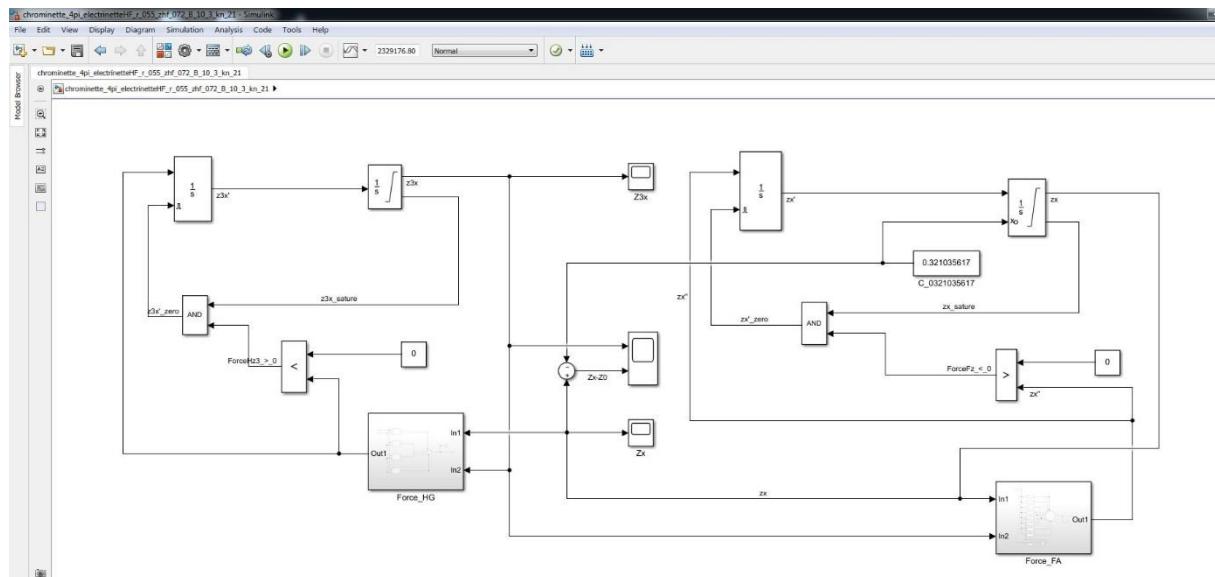
1. chrominette : signifie qu'il s'agit d'une chrominette.
2. 4pi : signifie que la simulation est faite sur 2 périodes de 2π .
3. electrinetteHF : signifie que les équations portent sur l'électrinette H et l'électrinette F.
4. r_055 : signifie que le rayon r_x des charginettes est 0.55605.

5. zhf_072 : signifie que la charge neutre z_0 de l'électrinette F est 0.72×10^{-31} kg.
6. B_10_3 : signifie que la valeur de la constante β est : $10^{-3} \times 10^{-15}$ m.
7. kn_21 : signifie que le coefficient d'atténuation est : $10^{-100D/r} + 10^{-21}$.

Les paramètres de la simulation sont donnés par la copie d'écran suivante :



La capture d'écran suivant montre la première vue du schéma Simulink de la chrominette :



7.3 Appendice A.3 : Le système d'équations différentielles d'une nucléonette

Le système d'équations différentielles régissant le comportement des charginettes au sein d'une nucléonette est composé de 4 équations suivantes :

Équation 25 - équation différentielle 1 de la nucléonette

Équation 26 - équation différentielle 2 de la nucléonette

Équation 27 - équation différentielle 3 de la nucléonette

Équation 28 - équation différentielle 4 de la nucléonette

L'outil logiciel Simulink de Matlab est bien adapté à la résolution numérique de ce système d'équations différentielles.

Les détails sont donnés dans le fichier généré par Matlab Simulink version R2019a :

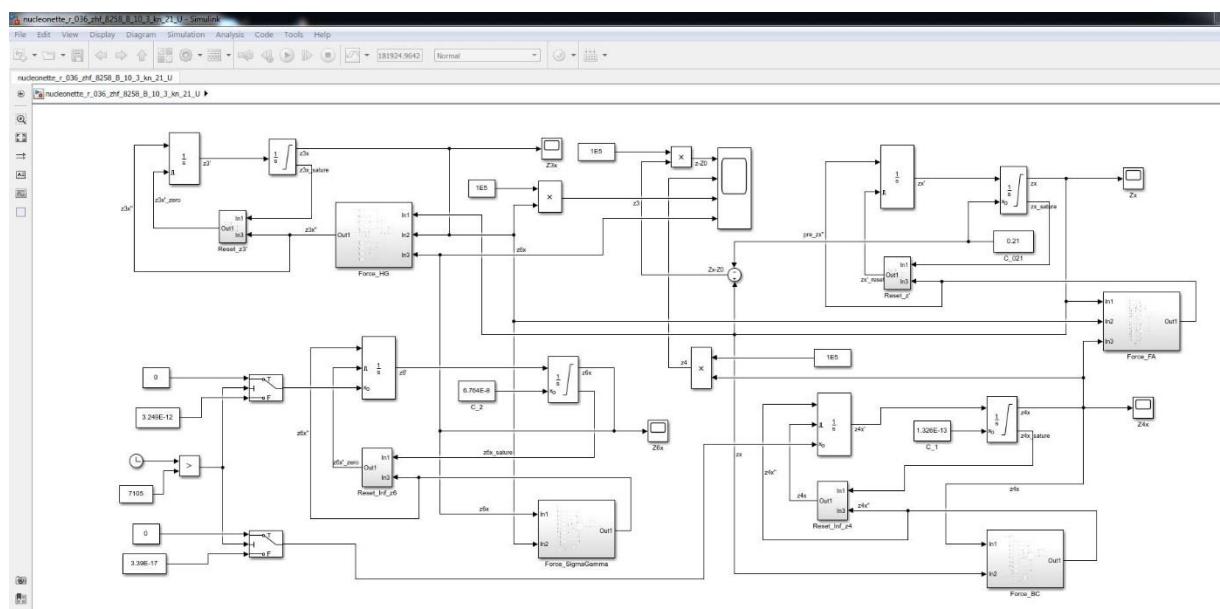
nucleonette_r_036_zhf_8262_B_10_3_kn_21_U.slx

Où :

1. nucleonette : signifie qu'il s'agit d'une nucleonette.
2. r_036 : signifie que le rayon r_x des charginettes est 0.36373.
3. zhf_8262 : signifie que la charge neutre \bar{e}_0 de l'électrinette F est 8.262×10^{-31} kg.
4. B_10_3 : signifie que la valeur de la constante β est : $10^{-3} \times 10^{-15}$ m.
5. kn_21 : signifie que le coefficient d'atténuation est : $10^{-100D/r} + 10^{-21}$.
6. U : signifie que la version du fichier est U.

Les paramètres de la simulation sont les mêmes que pour la chrominette.

La capture d'écran suivant montre la première vue du schéma Simulink de la nucléonette :



8 Références

1. G. Kane, Modern Elementary Particle Physics, Addison Editions – Wesley Publishing Company, 1987.

2. ATLAS collaboration, « Measurement of the Higgs boson mass from the H to $\gamma\gamma$, H to ZZ channels with the ATLAS detector using 25 fb⁻¹ of pp collision data », arXiv, 15 juin 2014 (Bibcode 2014arXiv1406.3827A, arXiv 1406.3827);
3. Purcell, Edward M.; Morin, David J. (2013). Electricity and Magnetism (3rd ed.). Cambridge University Press. ISBN 9781107014022.
4. Les équations de Maxwell : Lev Landau et E. Lifchitz (trad. Sergueï Medvédov), Physique théorique : en 10 tomes [« Teoriâ polia . . . »], Moscou, Éditions Mir, coll. « Physique théorique » (no 2), 1989, 4e éd. (ISBN 978-5-030-00641-3 et 978-5-030-00197-5)
5. Louis de Broglie. Recherches sur la théorie des Quanta. Physique [physics]. Migration - université en cours d'affectation, 1924. Français. tel-00006807
6. A Quantum Theory of the Scattering of X-Rays by Light Elements. L'article original datant de 1923, publié dans la Physical Review par Arthur H. Compton, sur le site de l'American Institute of Physics.
7. Frieman, Joshua A.; Turner, Michael S.; Huterer, Dragan (2008). "Dark Energy and the Accelerating Universe". Annual Review of Astronomy and Astrophysics. 46 (1): 385–432. arXiv:0803.0982. Bibcode:2008ARA&A..46..385F. doi:10.1146/annurev.astro.46.060407.145243
8. W. K. Guthrie, A History of Greek Philosophy, Cambridge University Press, 1962-1965, t. I, p. 270 ss. Sur le cinquième Élément (l'Ether). Einstein 1905. De l'éther aux quanta de Françoise Balibar, éd PUF, 1992, (ISBN 2 13 044298 6)
9. J. Steinberger: First Result at the LEP e+ e- collider. European Organization for Nuclear Research. CERN-PPE/90-149. 12 October 1990.
10. Stanley J. Brodsky: High energy photon-photon collisions at a linear collider. arXiv:hep-ph/0404186v1 21 Apr 2004.
11. W. J. G. de Blok1 and A. Bosma: High-resolution rotation curves of low surface brightness galaxies. <https://doi.org/10.1051/0004-6361:20020080> Published online 15 April 2002.
12. « Evidence for Ultra-Energetic Particles in Jet from Black Hole » [archive du 2008], Yale University – Office of Public Affairs, 20 juin 2006.
13. (en) Eugene Hecht (trad. T. Becherrawy, Joël Martin), Physique, De Boeck, 9 juillet 1998, 1332 p. (ISBN 978-2-7445-0018-3. (pages 1079-1296)
14. L. Brillouin. L'énigme E = Mc² : énergie potentielle et renormalisation de la masse. Journal de Physique, 1964, 25 (10), pp.883-886. 10.1051/jphys:019640025010088300. jpa-00205888.
15. Electroweak Measurements in Electron-Positron Collisions at W-Boson-Pair Energies at LEP CERN-PH-EP/2013-022 arXiv:1302.3415v4 [hep-ex] 19 Sep 2013
16. Measurement of the proton antiproton pair production from two photon collision at TRISTAN. KEK preprint 97-9 KOBE HEP 97-02 OULNS 97-01 TMU-HEP 97-21 April 1997
17. A. A. Michelson *et al.* « Conference on the Michelson-Morley Experiment », *Astrophysical Journal* 68, 341 (1928)
18. <http://philippelopes.free.fr/JeanDeClimontChampMagnetiqueDesFaisceauxCathodiques.pdf>
jeandeclimont@yahoo.ca
19. M. Cardoso *et al.*, Lattice QCD computation of the colour fields for the static hybrid quark-gluon-antiquark system, and microscopic study of the Casimir scaling, *Phys. Rev. D* 81, 034504 (2010)).
20. Maurice Jacob, Au cœur de la matière : la physique des particules élémentaires, Odile Jacob, 2001, 400 p. (ISBN 978-2-7381-0980-4)
21. Jacques Heyman (de), Coulomb's Memoir on Statics – An Essay in the History of Civil Engineering, Imperial College Press, 1997, 224 p. (ISBN 978-1-78326-257-1).

22. Isaac Newton (trad. du latin en français par Émilie du Châtelet (1756)), *Principes mathématiques de la philosophie naturelle* « *Philosophiae naturalis principia mathematica* »

Auteur : Jacques Xijie Dong Tél. +33 6 95 31 23 08 E-mail : jacques.dong@free.fr