

ARCHITECTURE DE LA MATIÈRE

Quatrième période

Tab. 9.20 : Configuration électronique (quatrième période)

39-19	K	Potassium	Métal alcalin	[Ar] 4s ¹	[Cr] G 16 ¹
40-20	Ca	Calcium	Métal alcalino-terreux	[Ar] 4s ²	[Cr] G 16 ²
45-21	Sc	Scandium	Métal de transition	[Ar] 4s ² 3d ¹	[Cr] G 16 ³
48-22	Ti	Titane	Métal de transition	[Ar] 4s ² 3d ²	[Cr] G 16 ⁴
51-23	V	Vanadium	Métal de transition	[Ar] 4s ² 3d ³	[Cr] G 16 ⁵
52-24	Cr	Chrome	Métal de transition	[Ar] 4s ¹ 3d ⁵	[Cr] G 16 ⁶
55-25	Mn	Manganèse	Métal de transition	[Ar] 4s ² 3d ⁵	[Zn] D 16 ¹
56-26	Fe	Fer	Métal de transition	[Ar] 4s ² 3d ⁶	[Zn] D 16 ²
59-27	Co	Cobalt	Métal de transition	[Ar] 4s ² 3d ⁷	[Zn] D 16 ³
58-28	Ni	Nickel	Métal de transition	[Ar] 4s ² 3d ⁸ ou 4s ¹ 3d ⁹	[Zn] D 16 ⁴
63-29	Cu	Cuivre	Métal de transition	[Ar] 4s ¹ 3d ¹⁰	[Zn] D 16 ⁵
64-30	Zn	Zinc	Métal pauvre	[Ar] 4s ² 3d ¹⁰	[Zn] D 16 ⁶
69-31	Ga	Gallium	Métal pauvre	[Ar] 4s ² 3d ¹⁰ 4p ¹	[Kr] G 20 ¹
74-32	Ge	Germanium	Métalloïde	[Ar] 4s ² 3d ¹⁰ 4p ²	[Kr] G 20 ²
75-33	As	Arsenic	Métalloïde	[Ar] 4s ² 3d ¹⁰ 4p ³	[Kr] G 20 ³
80-34	Se	Sélénium	Non-métal	[Ar] 4s ² 3d ¹⁰ 4p ⁴	[Kr] G 20 ⁴
79-35	Br	Brome	Halogène	[Ar] 4s ² 3d ¹⁰ 4p ⁵	[Kr] G 20 ⁵
84-36	Kr	Krypton	Gaz noble	[Ar] 4s ² 3d ¹⁰ 4p ⁶	[Kr] G 20 ⁶

Nous abordons maintenant, avec cette quatrième période, l'introduction successive des couches cylindriques **G16 D16** et **G20**.

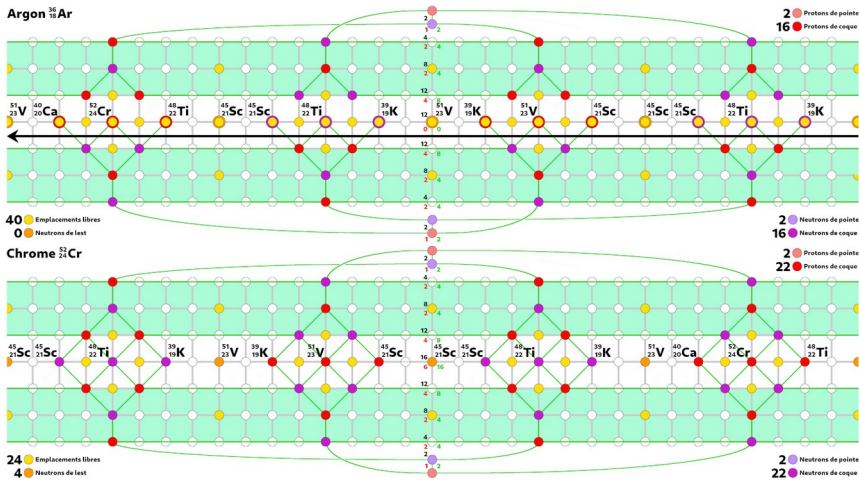
La nomenclature du Modèle standard fait apparaître trois anomalies, signalées en rouge, au niveau des atomes de **chrome 52**, de **nickel 58** et de **cuivre 63**. D'un point de vue global, ces anomalies sont au nombre de vingt et donc associées à environ un sixième des cent-dix-huit éléments répertoriés dans le tableau périodique, sans que les spécialistes du domaine ne soient apparemment en mesure de fournir une explication théorique à ces « dérogations » aux règles de Klechkowski¹ et de Hund² qu'il ont établies empiriquement³.

1 Voir article WIKIPÉDIA : https://fr.wikipedia.org/wiki/Règle_de_Klechkowski
2 Voir article WIKIPÉDIA : https://fr.wikipedia.org/wiki/Règle_de_Hund
3 Il est intéressant de noter que la subdivision entre **fer 26** et **cobalt 27** des sous-couches du Modèle standard dans cette quatrième période (**2+6+10**) ne montre aucune rupture de continuité dans la nomenclature, puisque du **manganèse 25** à la première version du **nickel 28** la progression de l'orbitale **3d** est absolument régulière, ce qui jette un doute sur la pertinence du modèle.

THÉORIE NR

Regardons donc quelles hypothèses nous pourrions proposer à partir de la description graphique des trois étapes (6+6+6) de la nucléogénèse de la théorie NR associées à la quatrième période du tableau périodique des éléments, en commençant par l'introduction de la couche cylindrique **G16** :

Fig. 9.93 : Nucléogénèse Argon → Chrome



Les évolutions décrites sont les suivantes :

- Argon → Potassium : $^{36}_{18}\text{Ar} + {}^2_1\text{D} + {}^1_0\text{n} = {}^{39}_{19}\text{K}$
- Potassium → Calcium : $^{39}_{19}\text{K} + {}^1_1\text{p} = {}^{40}_{20}\text{Ca}$
- Calcium → Scandium : $^{40}_{20}\text{Ca} + {}^2_1\text{D} + 3 {}^1_0\text{n} = {}^{45}_{21}\text{Sc}$
- Scandium → Titane : $^{45}_{21}\text{Sc} + {}^1_1\text{p} + 2 {}^1_0\text{n} = {}^{48}_{22}\text{Ti}$
- Titane → Vanadium : $^{48}_{22}\text{Ti} + {}^1_1\text{p} + 2 {}^1_0\text{n} = {}^{51}_{23}\text{V}$
- Vanadium → Chrome : $^{51}_{23}\text{V} + {}^1_1\text{p} = {}^{52}_{24}\text{Cr}$

La procédure baptisée (3+1) — inaugurée avec la genèse des noyaux des atomes de **fluor 19** et de **néon 20**, puis suivie quatre fois comme l'a montré l'étude des éléments de la troisième période — se prolonge ici une seule fois, générant les atomes de **potassium 39** et de **calcium 40**.

Après quoi apparaît pour la première fois (en exceptant le « phénomène local » de l'**argon 40**) le processus d'équilibrage des pressions interne et externe des noyaux atomiques, avec l'incorporation en leur sein de *neutrons de lest*. Ce sont les noyaux des atomes de **scandium 45** et de **vanadium 51** qui assument ce rôle, en incorporant chacun deux neutrons de lest positionnés sur l'équateur du graphe.

ARCHITECTURE DE LA MATIÈRE

Reste à chercher quelle pourrait être la justification, dans la couche cylindrique **G16**, de l'anomalie que constitue selon le Modèle standard les caractéristiques des orbitales atomiques de l'atome de **chrome 52**.

Le graphe équatorial de son noyau est spécial, en raison de l'absence de mailles hexagonales autour des axes verticaux des différents quadrants. Cette configuration particulière génère effectivement deux « anomalies », du point de vue de la description graphique proposée par la théorie NR.

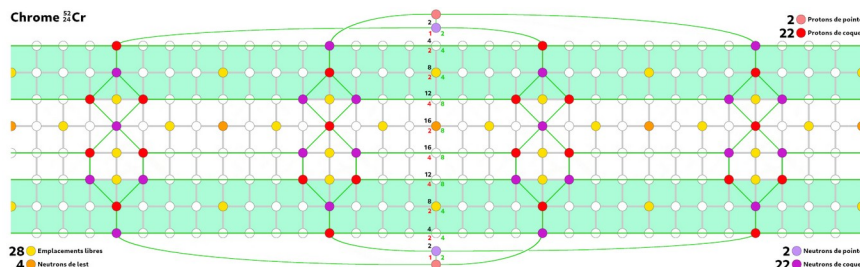
Premièrement, les vingt nucléons présents au centre des quadrants — représentant un carré et son centre — partagent avec leurs voisins des liaisons *quadruples*, et non *triples* comme ce fut le cas dans les précédentes descriptions graphiques (sans tenir compte du cas particulier des mailles carrées accueillant les protons et les neutrons de pointe). Cette disposition doit nécessairement affaiblir l'énergie de liaison entre nucléons, puisque précisément ceux-ci possèdent une architecture hexagonale, permettant d'assurer le meilleur contact possible entre protons et neutrons adjacents (voir Fig. 9.3 - Page 10 : Structure schématique de la « peau » des noyaux atomiques).

Deuxièmement, le niveau équatorial **G16** montre dans la configuration proposée avec la figure 9.93 ci-dessus *vingt-quatre* emplacements — pouvant accueillir six neutrons de coque, six protons de coque, quatre neutrons de lest et huit emplacements libres — alors qu'il devrait n'en comporter que *seize*, ce qui génère une sorte « d'encombrement potentiel » de cette sous-couche cylindrique. Il est donc possible d'imaginer que ces deux contraintes de *liaisons affaiblies* et d'*encombrement* oblige le dernier proton incorporé au cours de cette partie de la nucléogenèse à se projeter vers l'extérieur, prenant ainsi la position d'un proton de pointe, ce qui pourrait justifier ainsi l'anomalie relevée dans la description du Modèle standard, avec la configuration des sous-couches **4s¹ 3d⁵**, cette sous-couche **3d⁵** constituant en quelque sorte une anticipation du passage à la couche cylindrique suivante **D16**.

En effet, de même que nous avons imaginé que le noyau atomique de l'atome de **krypton 84** puisse subir une *transition isomérique* lui permettant d'adopter une configuration énergétique plus favorable (voir Sous-section dédiée Pages 114 et 115), une semblable opération est envisageable pour le noyau de l'atome de **chrome 52**.

L'ajout par anticipation de la couche cylindrique **D16** permet effectivement d'obtenir ce nouveau graphe équatorial :

Fig. 9.94 : Transition isomérique du noyau de l'atome de chrome 52



Cette configuration semble apte à corriger les défauts inhérents à la précédente présentation et justifier ainsi cette anticipation de l'évolution de la nucléogénèse, pouvant expliquer l'anomalie relevée dans la nomenclature de la quatrième période du Modèle standard. Il présente certes un défaut de symétrie entre hémisphères Nord et Sud, ce qui semble sans conséquence, mais l'allègement de l'occupation de la couche cylindrique **G16** apporte un bénéfice certain, puisqu'il est facile de constater que l'apparition de huit emplacements libres assure d'importantes possibilités de développement.

D'autre part, les taux d'occupation des différentes couches cylindriques évoluent favorablement, la suite **2 4 4 8 16 8 4 4 2** devenant **2 4 4 8 8 8 8 4 4 2**.

Indépendamment de ce problème d'anomalie de configuration des orbitales atomiques de l'atome de **chrome 52**, il est intéressant de constater que celui-ci possède, selon les données expérimentales, dix isotopes de masses atomiques inférieures à la sienne, allant du **chrome 42** au **chrome 51**, et quinze isotopes de masses atomiques supérieures, allant du **chrome 53** au **chrome 67**¹.

Ceci correspond quasiment aux dix neutrons pouvant être enlevés sans nuire à la stabilité du graphe, en comptant les deux neutrons de pointe, et aux seize emplacements libres des graphes, utilisables sans générer un encombrement excédentaire sur l'équateur dans la version proposée avant transition isomérique.

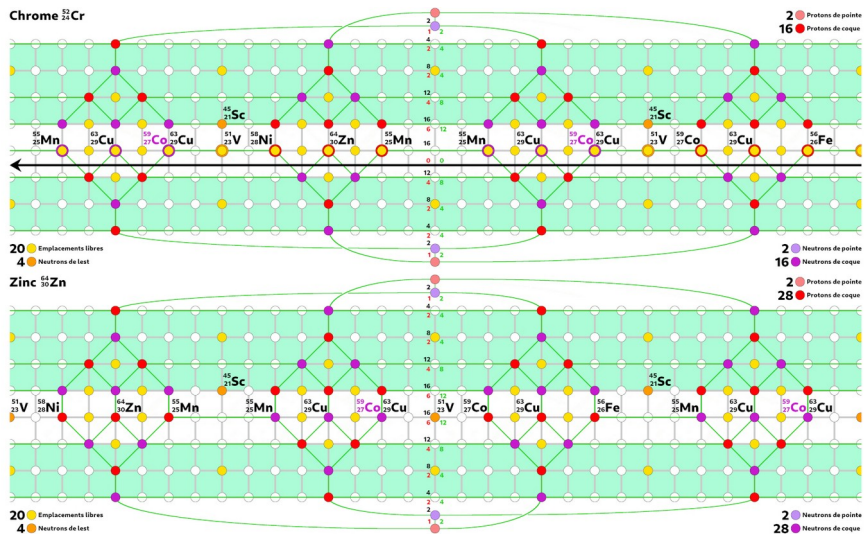
Nouvelle performance à inscrire au crédit du modèle de structure nucléaire dit « du vieux galion » ?

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

ARCHITECTURE DE LA MATIÈRE

Passons maintenant au développement de la couche cylindrique **D16**.

Fig. 9.95 : Nucléogénèse Chrome → Zinc



Les évolutions décrites sont les suivantes :

- Chrome → Manganèse : $^{52}_{24}\text{Cr} + {}^2_1\text{D} + {}^1_0\text{n} = {}^{55}_{25}\text{Mn}$
- Manganèse → Fer : $^{55}_{25}\text{Mn} + {}^1_1\text{p} = {}^{56}_{26}\text{Fe}$
- Fer → Cobalt : $^{56}_{26}\text{Fe} + {}^2_1\text{D} + {}^1_0\text{n} = {}^{59}_{27}\text{Co}$
- Cobalt → Nickel : $^{59}_{27}\text{Co} + {}^1_1\text{p} - 2 {}^1_0\text{n} = {}^{58}_{28}\text{Ni}$
- Nickel → Cuivre : $^{58}_{28}\text{Ni} + {}^1_1\text{p} + 4 {}^1_0\text{n} = {}^{63}_{29}\text{Cu}$
- Cuivre → Zinc : $^{63}_{29}\text{Cu} + {}^1_1\text{p} = {}^{64}_{30}\text{Zn}$

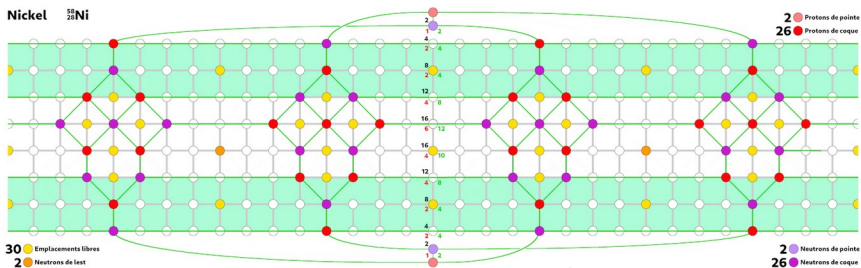
De nouveau, la procédure « standard » (3+1) débute cette deuxième séquence de la nucléogénèse des éléments de la quatrième période, mais ne se poursuit que pour moitié dans la deuxième séquence *Fer*→*Nickel*, avec la suppression de deux neutrons. Notons qu'au final le bilan des nouveaux neutrons introduits — six en tout — est globalement neutre en ce qui concerne les neutrons de lest apparus dans la précédente séquence, avec avec la nucléogénèse des noyaux des atomes de *scandium 45* et de *vanadium 51*. Ceci peut s'expliquer en observant que l'introduction de la couche équatoriale **D16** ne fait que répliquer la configuration précédente, en dédoublant la couche **G16**, ce qui est sans incidence sur la courbure des calottes polaires des noyaux atomiques concernés par cette séquence — en procédant à une sorte d'ovalisation de la « coque du galion » — et ne nécessite donc pas l'introduction de nouveaux neutrons de lest dans un but d'équilibrage des pressions interne et externe.

Notons également que les deux neutrons ayant participé à la genèse du noyau atomique de l'atome de **cobalt 59** disparaissent à l'étape suivante lors de la genèse de celui du **nickel 58**, phénomène que nous retrouverons dans la séquence suivante **Zinc** → **Krypton**, ce qui nous amène directement sur la recherche d'une explication des nouvelles *anomalies* mise en évidence dans la nomenclature du Modèle standard, celles qui concernent les atomes de **nickel 58** et de **cuivre 63**.

Le noyau de l'atome de **nickel 58** « s'est déjà fait remarquer » en raison de sa très importante *énergie de liaison par nucléon*, maximale en ce qui concerne son isotope **nickel 62** (voir Section : *Énergies de liaison des noyaux atomiques* - Pages 55 à 60). Mais il y a peu de chance que ce soit ce caractère exceptionnel qui puisse nous être utile pour tenter de justifier l'anomalie signalée dans la nomenclature du Modèle standard, l'évolution des énergies de liaison par nucléon se faisant par étapes tellement réduites qu'il n'y a vraisemblablement aucune raison d'isoler ainsi un noyau atomique particulier (Voir Figure 9.47 - Page 73).

Le graphe équatorial du noyau de l'atome de **nickel 58**, le plus naturellement abondant (**68,08%**), s'obtient très facilement à partir de celui du **chrome 52**, dans sa version présentée après transition isomérique, en remplissant tout simplement les huit emplacements libres de la couche cylindrique **G16**, ce qui nous donne cette représentation :

Fig. 9.96 : Premier graphe équatorial du noyau de l'atome de nickel 58



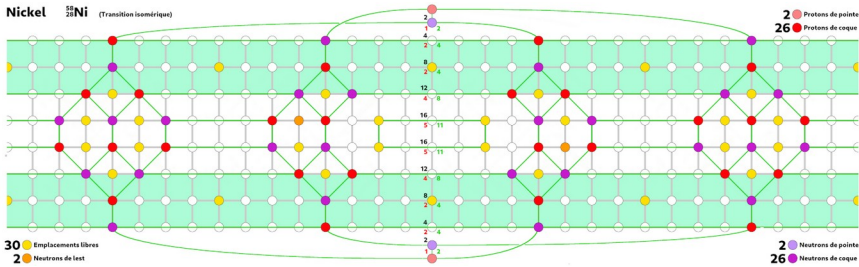
Mais tout comme le premier graphe équatorial du noyau de l'atome de **chrome 52** (voir page 152 - Fig. 9.93 : Nucléogénèse Argon → Chrome) a été critiqué en raison de son absence de possibilités d'évolution, le graphe ci-dessus semble également bloqué, si on exclut un début de remplissage des mailles hexagonales verticales, procédure que nous réserverons aux noyaux atomiques des éléments situés au delà de l'atome de **krypton 84**.

ARCHITECTURE DE LA MATIÈRE

C'est pourquoi il nous faut envisager une nouvelle *transition isomérique* appliquée au noyau de l'atome de **nickel 58** ; ce qui par parenthèse nous permet de proposer une explication au dédoublement de la description des orbites électroniques de cet élément dans la nomenclature du Modèle standard.

Le résultat de cette recherche est le suivant :

Fig. 9.97 : Transition isomérique du noyau de l'atome de nickel 58



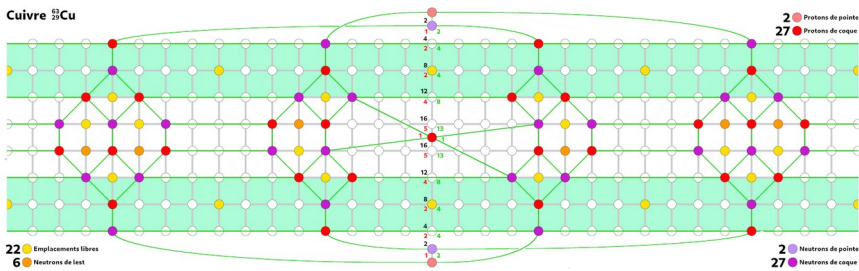
Ce nouveau graphe équatorial fait disparaître la dissymétrie entre hémisphères Nord et Sud, en revanche l'apparition au centre de la représentation d'une unique *maille octogonale* peut s'interpréter comme une absence de symétrie entre hémisphères Ouest et Est, si nous considérons les deux quadrant centraux comme un de ces deux hémisphères. Quatre emplacements libres sont indiqués au centre de cette maille octogonale, ce qui permet d'envisager la captation d'un noyau de l'atome d'**hélium 4** — également appelé *particule α* en physique nucléaire — assemblage de deux protons et de deux neutrons¹. Observons que la captation de deux neutrons de lest et d'une particule α nous permet de terminer directement cette deuxième séquence de la quatrième période, en générant le noyau de l'atome de **zinc 64** (Voir Page 155 - Fig. 9.95 : Nucléogenèse Chrome → Zinc).

Il nous reste à tenter de trouver une explication à la troisième anomalie signalée dans la nomenclature du Modèle standard consacrée à la quatrième période, celle qui concerne l'atome de **cuivre 63**. Celui-ci possède vingt-neuf protons, aussi s'agit-il d'un élément au *nombre atomique impair*, réputé sensible au phénomène de *résonance magnétique nucléaire* (RMN). Cet élément pourrait-il être généré directement à partir de l'atome de **nickel 58** ?

1 Notons que cette apparition d'une *maille octogonale* dans ce nouveau graphe équatorial du noyau de l'atome de **nickel 58** apporte un argument supplémentaire en faveur de l'étude très controversée de la « fusion froide » (voir Pages 87 à 98 - Section Fusion Nucléaire à Basse Énergie (FNBE)).

Effectivement, au lieu de compléter le graphe équatorial de l'atome de **nickel 58** — dans sa version transformée après *transition isomérique* — en ajoutant deux neutrons de lest et une particule α , nous pouvons résoudre l'avant-dernière évolution de cette séquence ($^{58}_{28}\text{Ni} + \frac{1}{2}\text{p} + 4\frac{1}{2}\text{n} = ^{63}_{29}\text{Cu}$) en adoptant cette représentation :

Fig. 9.98 : Graphe équatorial du noyau de l'atome de cuivre 63



Comme dans toutes les précédentes représentations, les neutrons de lest sont positionnés soit sur la couche cylindrique équatoriale quand celle-ci est unique, soit à cheval sur les deux couches centrales adjacentes comme c'est ici le cas, en intercalant les quatre nouveaux neutrons de lest entre deux protons, ce qui n'est qu'une simple convention graphique, les neutrons de lest associés à une maille hexagonale verticale devant plus vraisemblablement être situés au centre de la maille et en retrait coté intérieur de la « coque » des noyaux atomiques (voir Page 135 Fig. 9.84 : Maille hexagonale du dodécaèdre rhombique tronqué).

Il nous faut donc compléter ces quatre possibilités en ajoutant les cas de la captation d'un unique neutron de lest dans une maille hexagonale verticale, et non d'un noyau d'atome de deutérium, et celui de l'ajout d'un unique proton au centre d'une maille octogonale.

Cette dernière hypothèse revient à créer une couche cylindrique supplémentaire sur l'équateur du graphe équatorial du noyau de l'atome de **cuivre 63**, couche au caractère quelque peu virtuel puisque que n'accueillant qu'un unique proton. La maille octogonale se transforme ainsi en un assemblage de quatre mailles carrées, aux formes relativement excentriques, rompant ainsi avec le caractère orthogonal de cette conception graphique.

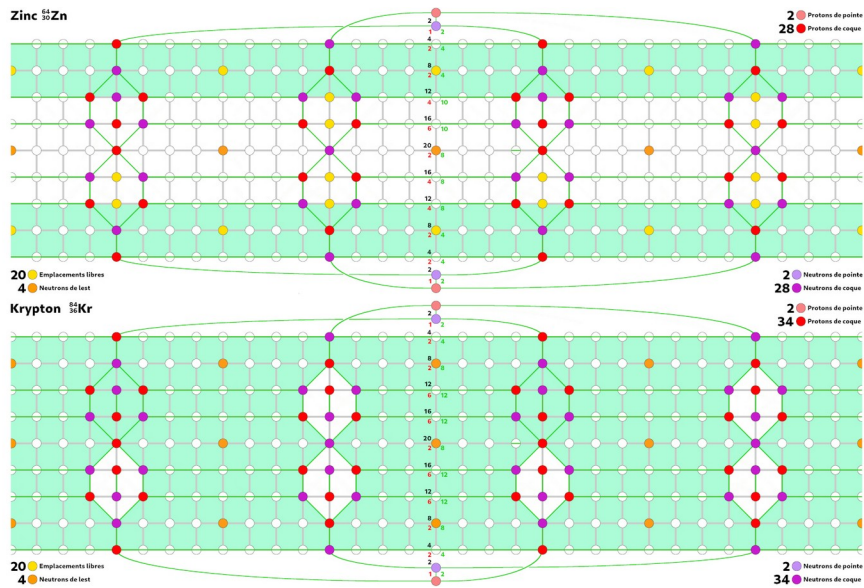
Globalement, la transition isomérique du noyau de l'atome de **nickel 58** nous donne ainsi une clé pour « finir sans blocage » l'évolution de cette deuxième séquence de la quatrième période.

ARCHITECTURE DE LA MATIÈRE

Introduisons, pour finir l'étude de la quatrième période, la couche cylindrique **G20**.

Cette troisième et dernière séquence de la quatrième période va nous amener à envisager une nouvelle stratégie pour décrire l'évolution des cortèges électroniques. Le Tableau 9.20 de la page 151 intitulé *Configuration électronique (quatrième période)* nous montre un parfait accord entre la nomenclature du Modèle standard et celle de la théorie NR, avec une progression régulière du nombre d'électrons. Ce constat nous amène très naturellement à supposer que la procédure d'évolution des cortèges électroniques que nous allons suivre doit être d'une grande simplicité, ce qui est le cas de cette représentation, basée sur l'architecture que nous avons retenue pour le noyau de l'atome de **krypton 84**, dans sa version obtenue après *transition isomérique* (voir Section dédiée - Pages 114 et 115) :

Fig. 9.99 : Nucléogénèse Zinc → Krypton



Les évolutions décrites devraient en principe être les suivantes :

- Zinc → Gallium : ${}^{64}_{30}\text{Zn} + {}^2_1\text{D} + 3 {}^1_0\text{n} = {}^{69}_{31}\text{Ga}$
- Gallium → Germanium : ${}^{69}_{31}\text{Ga} + {}^2_1\text{D} + 3 {}^1_0\text{n} = {}^{74}_{32}\text{Ge}$
- Germanium → Arsenic : ${}^{74}_{32}\text{Ge} + {}^1_1\text{p} = {}^{75}_{33}\text{As}$
- Arsenic → Sélénium : ${}^{75}_{33}\text{As} + {}^1_1\text{p} + 4 {}^1_0\text{n} = {}^{80}_{34}\text{Se}$
- Sélénium → Brome : ${}^{80}_{34}\text{Se} + {}^1_1\text{p} - 2 {}^1_0\text{n} = {}^{79}_{35}\text{Br}$
- Brome → Krypton : ${}^{79}_{35}\text{Br} + {}^1_1\text{p} + 4 {}^1_0\text{n} = {}^{84}_{36}\text{Kr}$

Mais nous n'avons pas trouvé d'indication dans la nomenclature du Modèle standard nous laissant supposer que le noyau de l'atome de **zinc 64** pourrait posséder deux versions isomériques d'architectures différentes, à l'instar de celles de l'atome de **nickel 58**. Or c'est précisément avec son isotope **nickel 62** que se produit l'inversion de la *courbe d'Aston* donnant les *énergies de liaison par nucléon* des différents noyaux atomiques (voir Figure 9.36 - Page 55), ce qui signifie qu'au delà de cet élément particulier, si on imagine possible de continuer à suivre la croissance des numéros atomiques pour poursuivre le développement de la nucléogénèse et des cortèges électroniques associés *par projection*, il nous faut constater que les réactions nucléaires à envisager deviennent *endothermiques* — et non pas *exothermiques* comme ce fut le cas auparavant — ce qui signifie qu'il faudrait apporter de l'énergie pour les réaliser. La solution est alors d'envisager une *genèse descendante* ($Z \searrow$) des noyaux atomiques, et non *ascendante* ($Z \nearrow$). Les évolutions de cette troisième séquence de la quatrième période seraient alors les suivantes :

- Krypton → Brome : ${}^{84}_{36}\text{Kr} - {}^1_1\text{p} - 4 {}^1_0\text{n} = {}^{79}_{35}\text{Br}$
- Brome → Sélénium : ${}^{79}_{35}\text{Br} - {}^1_1\text{p} + 2 {}^1_0\text{n} = {}^{80}_{34}\text{Se}$
- Sélénium → Arsenic : ${}^{80}_{34}\text{Se} - {}^1_1\text{p} - 4 {}^1_0\text{n} = {}^{75}_{33}\text{As}$
- Arsenic → Germanium : ${}^{75}_{33}\text{As} - {}^1_1\text{p} = {}^{74}_{32}\text{Ge}$
- Germanium → Gallium : ${}^{74}_{32}\text{Ge} - {}^2_1\text{D} - 3 {}^1_0\text{n} = {}^{69}_{31}\text{Ga}$
- **Gallium → Zinc :** ${}^{69}_{31}\text{Ga} - {}^2_1\text{D} - 3 {}^1_0\text{n} = {}^{64}_{30}\text{Zn}$

La dernière *évolution* a été indiquée en rouge, car nous devons la considérer comme *virtuelle*. Elle est effectivement inutile dans cette nouvelle procédure, ce qui nous évite de créer une *version isomérique* du noyau de l'atome de **zinc 64**. Reste à justifier ce qui nous permet de sauter directement à l'atome de **krypton 84** et d'inverser ainsi le principe initialement croissant de la nucléogénèse. La Figure 9.79 de la Page 125 intitulée *Polyèdres associés à la nucléogénèse intermédiaire croissante* nous fournit cette justification. En effet, le volume du noyau de l'atome de **krypton 84** dans sa version obtenue après transition isomérique nous montre ce que nous pouvons considérer comme la fusion de deux noyaux de l'atome d'**argon 36** suivant la réaction ${}^{36}_{18}\text{Ar} + {}^{36}_{18}\text{Ar} + 12 {}^1_0\text{n} = {}^{84}_{36}\text{Kr}$.

L'évolution décroissante de la troisième séquence de la quatrième période peut être envisagée de nombreuses manières, c'est pourquoi nous pouvons nous dispenser de la décrire en détail.