

Architecture des corps non moléculaires

Nota : Dans cette section consacrée **aux corps non moléculaires**, les différents atomes sont identifiés par leur numéro atomique **Z**.

Classification

L'article WIKIPÉDIA intitulé *Molécule* qui nous a donné la définition des *corps moléculaires* (voir page 205) comprend également une section consacrée aux *corps non moléculaires*. Quatre catégories sont évoquées :

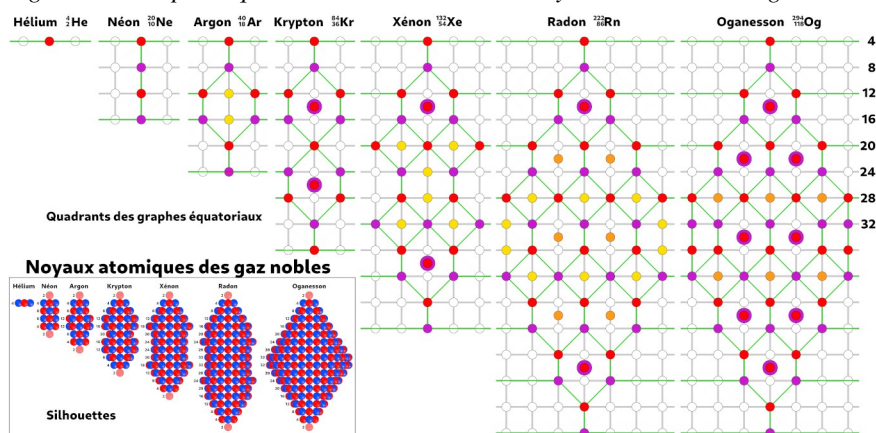
1. Les **gaz nobles** et autres **gaz monoatomiques** à haute température.
2. Les **métaux**.
3. Les **composés ioniques**, ou sels, à l'état solide ou liquide.
4. Les **réseaux covalents solides** (diamant, graphite, graphène...).

Le domaine des *corps non moléculaires* est extrêmement vaste, et nous nous contenterons de quelques observations pouvant être mises en rapport avec la géométrie particulière de la théorie NR.

Gaz nobles et monoatomiques

L'architecture des atomes a été décrite *par projection* à partir de celle de leurs noyaux, selon les deux principes des *puits de potentiel cardioïdes* et de l'*intégrale des quatre chemins*. La figure ci-dessous montre les *quadrants des graphes équatoriaux* des noyaux atomiques des gaz nobles, en précisant que les noyaux de deutérium présents dans certaines mailles hexagonales verticales doivent être pensés « en profondeur » (voir Fig. 9.84 Page 135 : *Maille hexagonale du dodécaèdre rhombique tronqué*). L'encadré en bas à gauche reprend les silhouettes de ces noyaux (voir Fig. 9.82 Page 131 : *Quelques silhouettes des noyaux atomiques*).

Fig. 9.131 : Graphes équatoriaux et silhouettes des noyaux des atomes des gaz nobles



Nota : Dans cette sous-section consacrée aux **gaz nobles**, les différents atomes sont identifiés par leur numéro atomique **Z**, ceci afin de ne pas exclure les différents isotopes susceptibles d'intervenir dans des réactions chimiques.

Les graphes des noyaux atomiques des gaz nobles ont été qualifiés de *saturés*, en ce sens que leurs quadrants sont entièrement composés de mailles carrées diagonales et de mailles hexagonales verticales, les intervalles entre quadrants étant eux définis par des mailles carrées et hexagonales horizontales. Cette *saturation* se juge au niveau de la *coque* du noyau atomique considéré, les neutrons de lest devant être visualisés en arrière du graphe, et donc à l'intérieur de cette coque, les protons des noyaux de deutérium présents au centre des mailles hexagonales verticales étant eux déportés à l'extérieur de la coque, ce qui du point de vue de la structuration des couches électroniques est susceptible de leur donner une possible réactivité chimique, bien que le coté saturé des graphes soit censé confirmer le caractère particulièrement inerte de ces gaz nobles. L'encyclopédie WIKIPÉDIA nous donne des informations intéressantes sur la *chimie des gaz nobles*¹, et donc quelques nuances à apporter à cette supposée inertie réactive.

Selon l'article cité, les atomes d'**hélium 2**, de **néon 10** et d'**argon 18** s'avèrent être chimiquement inertes, sous réserve qu'ils ne soient pas artificiellement « excités » pour former des *eximères*² qui se dissocient quand les atomes retrouvent leur *état fondamental*³.

En revanche, les atomes de **krypton 36**, de **xénon 54** et de **radon 86** — précisément ceux qui en théorie NR possèdent des protons déportés — sont susceptibles de quitter leur statut de *corps non moléculaires* et de former des molécules stables en se liant avec les éléments particulièrement réactifs que sont le **fluor 9** et l'**oxygène 8**.

Quant à l'atome d'**oganesson 118**, son caractère synthétique et éphémère fait que ses éventuelles participations à des réactions chimiques restent à ce jour purement théoriques, son caractère gazeux n'étant d'ailleurs pas lui-même clairement établi.

En ce qui concerne les *gaz monoatomiques à haute température*, ils seront étudiés dans une prochaine section consacrée aux différents états de la matière, *moléculaire* ou *non moléculaire*.

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

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

3 Voir article WIKIPÉDIA : https://fr.wikipedia.org/wiki/État_fondamental

ARCHITECTURE DE LA MATIÈRE

Métaux

Le tableau suivant nous donne le classement établi par les chimistes des *métaux*¹, des *métalloïdes*² et des *non-métaux*³.

Fig. 9.132 : Mailles cristallines des métaux, métalloïdes et non-métaux

Source : WIKIPÉDIA: <https://fr.wikipedia.org/wiki/Métal>

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	H																	He
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	*	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	**	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	Og
				HCD	HCD	HCD	HCD	HCD	R	CC	HC	HC	HC	HC	HC	HC	HC	HC
				La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
				CFC	CFC	TC	O	O	M	HCD	HCD	HCD	HCD	CFC	CFC	CFC	CFC	CFC
				Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

Mailles cristallines des métaux (Prédictions)

3 Cubique	C	7 Hexagonal	H	5 Orthorhombique	O
22 Cubique centré	CC	28 Hexagonal compact	HC	2 Orthorhombique à base centrée	OBC
28 Cubique à faces centrées	CFC	9 Hexagonal compact double	HCD	3 Tétragonal centré	TC
3 Cubique diamant	CD	6 Rhomboédrique	R	1 Monoclinique	M

Les atomes qualifiés de *métaux* occupent la plus grande partie du tableau périodique des éléments, les *métalloïdes* se situant eux dans une position incertaine, à cheval sur les domaines métallique et non-métallique. Comme l'indique l'article WIKIPÉDIA consacré à ces derniers : « *Dans la littérature scientifique, faute de définition standard des métalloïdes, la liste des éléments classés dans cette famille varie selon les auteurs* ». Affaire de chimiste donc et nous n'entrerons pas dans ce débat.

Mais ce qui intéresse la théorie NR, c'est la structure géométrique de ces métaux, et pour prendre une comparaison architecturale macroscopique, nous allons maintenant passer du domaine du « logement individuel » des atomes et des molécules simples à celui du « logement collectif ».

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

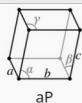
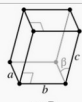
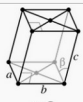
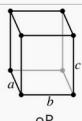
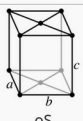
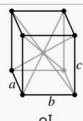
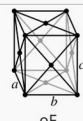
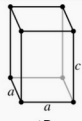
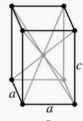
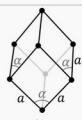
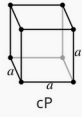
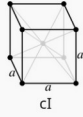
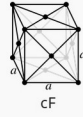
2 Voir article WIKIPÉDIA : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Métalloïde>

3 Voir article WIKIPÉDIA : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Non-métal>

THÉORIE NR

Aux conditions normales de température et de pression¹ (CNTP) — si l’on excepte le cas particulier du *mercure*, liquide à température ambiante — les métaux adoptent une *structure cristalline*², que les spécialiste du domaine ont répartie en sept familles et quatorze mailles, dont voici les représentations géométriques :

Fig. 9.133 : Familles et mailles cristallines - **Source** : WIKIPÉDIA
https://fr.wikipedia.org/wiki/Structure_cristalline#Groupe_d'espace,_unité_asymétrique

Famille cristalline	Système réticulaire	Groupe ponctuel de symétrie (Schoenflies)	Mailles cristallines des 14 réseaux de Bravais			
			Primitive (P)	Base centrée (S)	Corps centré (I)	Face centrée (F)
Triclinique (a) (ou anortique)		C_i	 aP			
Monoclinique (m)		C_{2h}	 mP	 mS		
Orthorhombique (o)		D_{2h}	 oP	 oS	 oI	 oF
Tétragonal (t) (ou quadratique ^a)		D_{4h}	 tP		 tI	
Hexagonale (h)	Rhomboédrique	D_{3d}	 hR			
	Hexagonal	D_{6h}	 hP			
Cubique (c) (ou isométrique)		O_h	 cP		 cI	 cF

Douze de ces mailles apparaissent dans le classement des atomes et elles ont été indiquées en **noir** sur la figure 9.132.

1 Voir article WIKIPÉDIA : https://fr.wikipedia.org/wiki/Conditions_normales_de_température_et_de_pressi.
2 Voir article WIKIPÉDIA : https://fr.wikipedia.org/wiki/Structure_cristalline

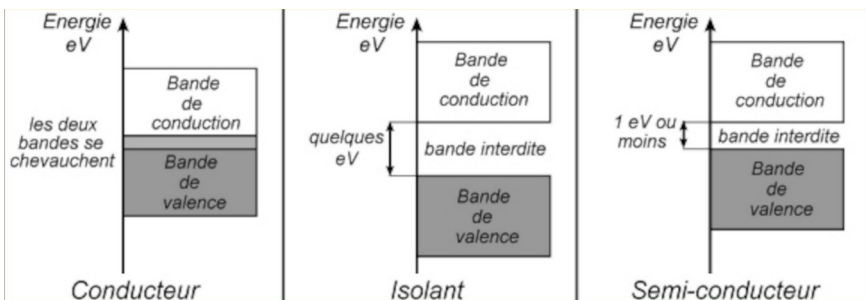
ARCHITECTURE DE LA MATIÈRE

Ces différentes mailles ne sont *in fine* que des déformations de la *maille cubique* cP, en faisant varier les angles du quadrilatère de *base* — « plancher » et « plafond » pour un architecte — la hauteur de « l'immeuble », l'inclinaison des « façades », et en ajoutant des possibilités d'occuper par des *nœuds de réseau* supplémentaires les centres des bases, ceux de toutes les faces ou le centre de la maille. La description *géométrique* d'une structure cristalline particulière consiste à juxtaposer « à l'infini » la maille de base dans les trois directions de l'espace définies par les longueurs de ses cotés et par les valeurs des angles des quadrilatères qui la caractérise. Tout ceci semble « radicalement euclidien », mais n'entre cependant pas en contradiction avec les principes *semi-euclidiens* de la théorie NR. Chacun comprend facilement qu'un cristal métallique *réel* ne se développe pas à l'infini dans un espace qui n'est pas vide de toute matière. Quant à la courbure de l'espace, un bloc de métal peut très bien posséder une « apparence euclidienne » tout en se voyant appliquer aux longueurs des arêtes de sa maille le coefficient TNR caractéristique de l'*espace neutralisé* C_{Lo} , dans la mesure où ce bloc de métal n'est pas électriquement chargé.

Les physiciens ont recours à la *théorie des bandes*¹ pour expliquer les diverses propriétés des métaux, ainsi évoquées dans l'article WIKIPÉDIA qui leur est consacré : « *Il s'agit de corps simples ou d'alliages le plus souvent durs, opaques, brillants, bons conducteurs de la chaleur et de l'électricité* ».

Voici une illustration des principes de cette théorie:

Fig. 9.134 : Illustration de la théorie des bandes - **Source** : Maxicours
<https://www.maxicours.com/se/cours/conducteurs-semi-conducteurs-supraconducteurs/>



La *bande de valence* des atomes isolés se voit ainsi complétée par une *bande de conduction*, séparée ou non par une *bande interdite*.

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

Cette dissociation d'atomes isolés de la bande de valence aboutit à la création de ce que les physiciens appellent une *liaison métallique*¹, liaison chimique où les atomes des métaux sont reliés entre eux par l'intermédiaire d'un *gaz d'électrons libres délocalisés*, ce qui ne semble guère « géométrique » *a priori*. Les atomes impliqués dans la construction d'un cristal métallique forment alors un réseau de *cations*, ions portant une charge électrique positive compensée par la charge négative des électrons présents dans la bande de conduction. Ces cations sont bien sûr sensibles à l'agitation thermique, ce qui agit directement sur les propriétés des métaux.

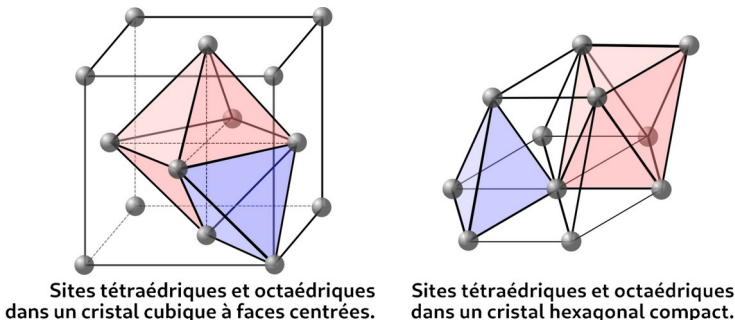
Après avoir de nombreuses fois évoqué la tendance très « impressionniste » des physiciens théoriciens à développer des concepts « évanescents » — *mer de quarks et de gluons, goutte liquide, nuages électroniques* — nous voici une nouvelle fois devant une confrontation entre le flou du gaz d'électron et la très rigoureuse structure cristalline des métaux à l'échelle atomique. Une solution « architecturale » serait de considérer ce gaz d'électron comme une sorte de « mortier » permettant d'assembler les « briques » que sont les cations. Mais dans une construction achevée, le mortier ne coule pas entre les briques. Ainsi, « pas de courant ».

La théorie NR se doit donc d'imaginer sa propre interprétation de cette *théorie des bandes*, avec la proposition qui va suivre que nous pourrions qualifier de *théorie de l'éponge*.

La cristallographie est basée sur la notion élémentaire de *maille*, laquelle débouche naturellement sur le concept *dual* de *site interstitiel*, également appelé *polyèdre de coordination des vides*.

Fig. 9.135 : Exemples de sites interstitiels dans des mailles cristallines

Source : WIKIPÉDIA https://fr.wikipedia.org/wiki/Site_interstitiel



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

ARCHITECTURE DE LA MATIÈRE

Les connaisseurs de la géométrie des polyèdres n'ignorent pas qu'il est possible de rigoureusement paver l'espace euclidien par une juxtaposition de tétraèdres et d'octaèdres réguliers, ce qui est impossible en n'utilisant que l'un de ces deux objets, raison pour laquelle la théorie NR a développé une *géométrie semi-euclidienne* permettant de paver un espace devenant courbe avec des tétraèdres réguliers parfaitement euclidiens, en résorbant ce que les géomètres appellent la *frustration géométrique* (voir Tome 1 – Chapitre 6 : *Masses-énergies des particules – Section : Principes - Page 97*). Ces tétraèdres ont été présentés comme des objets *duals* de sphères utilisées pour tenter de réaliser un *empilement compact* dans l'espace euclidien (voir Tome 1 – Chapitre 2 : *Espace – Section : Caractéristiques du tracé régulateur - Page 23*).

Une démarche semblable est appliquée par les praticiens de la cristallographie, qui considèrent souvent les cristaux comme un empilement compact de sphères associées aux objets situés aux nœuds du maillage, dont les arêtes forment un *graphe tridimensionnel*.

Les *sites interstitiels* identifiés dans les mailles cristallines sont susceptibles d'accueillir des atomes différents de ceux qui sont disposés aux nœuds du graphe, ce qui dans le cas des métaux purs est susceptible de former des *alliages*¹.

Mais ces vides peuvent aussi être regardés comme l'espace de circulation dans la *bande de conduction des électrons libres*² ou *quasi-libres*³ de la théorie des bandes (voir Fig. 9.134 de la page 237), ce qui nous donne une vision architecturale tridimensionnelle de la cristallographie — que nous appellerons *théorie de l'éponge* — plus élaborée que celle de la *théorie des bandes*, avec ses espaces de valence et de conduction séparés ou non par une sorte de plancher « en dur » dénommé *bande interdite*.

Reste à examiner dans quelles conditions le « fluide électronique » présent dans la bande de conduction des métaux va avoir la possibilité de circuler dans cette « éponge ».

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

2 Voir article WIKIPÉDIA : https://fr.wikipedia.org/wiki/Modèle_de_l'électron_libre

3 Voir article WIKIPÉDIA : https://fr.wikipedia.org/wiki/Modèle_de_l'électron_quasi_libre

Cette métaphore architecturale (voire *taxonomique*¹) nous permet de donner un caractère stable à la *liaison métallique*, en autorisant certains électrons « prisonniers » — c'est-à-dire non transférés dans la bande de conduction — à conserver des *liaisons covalentes* entre atomes du réseau, même si celles-ci sont susceptibles de voir leur distance intra-atomique augmenter, en réponse aux contraintes géométriques globales du réseau cristallin considéré. Accorder cette élasticité aux liaisons covalentes est une manière élégante d'expliquer deux caractéristiques physiques des métaux, leur *ductilité*² et leur *malléabilité*³, propriétés qui leur permettent, dans une certaine mesure, de se déformer sans se rompre.

A noter que les douze mailles cristallines impliquées dans la construction des métaux étant toutes dérivées de la maille cubique, chaque nœud du réseau établit six liaisons avec ses voisins, ce qui pose problème dans le cas des deux premiers atomes classés comme métalliques que sont le *lithium 3* et le *béryllium 4*, lesquels ne possèdent pas cette disponibilité, sauf à imaginer de possibles liaisons intra-atomiques neutron ↔ neutron (plus précisément liaison quark up ↔ quark down de deux neutrons), ce qui n'est pas impossible en théorie NR, considérant les possibilités de rotation des liaisons neutron ↔ proton dans les noyaux atomiques (voir Fig. 9.114 page 189 : *Coupe de principe d'un atome et de son noyau*).

Regardons maintenant quelles sont les longueurs caractéristiques du maillage de la structure cristalline des différents métaux, et comment elles se situent dans le cadre de ce que la théorie NR a appelé la *zone d'influence des particules*, associée à la norme secondaire $N^{1/2}$ valant **3 175 pm** (un picomètre = 10^{-12} m).

Nous prendrons pour référence le tableau 9.25 de la page 217 intitulé *Évolution des rayons covalents des différents atomes*, puisque nous avons décidé de considérer la *liaison métallique* comme un « produit dérivé élastique » de la liaison covalente.

1 Les *éponges naturelles* sont en effet situées dans l'arbre du vivant tout au début de la branche *animalia* dont nous sommes l'un des fleurons, et il n'est pas inintéressant d'observer comment la Nature a choisi cette structure extrêmement simple pour démarrer notre « arbre généalogique » (certains individus « épris de boisson » ne manquant d'ailleurs pas de revendiquer cette filiation!).

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

3 Voir article WIKIPÉDIA : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Malléabilité>

ARCHITECTURE DE LA MATIÈRE

Pour clore cette étude de la structure cristalline des métaux, regardons le tableau suivant qui nous montre — pour chacune des douze mailles cristallines des différents métaux répertoriées dans la figure 9.132 *Mailles cristallines des métaux, métalloïdes et non-métaux* — ce que nous appellerons le *coefficient d'élasticité des paramètres de maille* **a b** et **c**, associés aux trois longueurs des arêtes d'une maille cristalline, coefficient (exprimé en pourcentage) représentant le rapport entre le paramètre de maille et le double du rayon covalent de l'élément chimique considéré, puisque nous sommes en présence de cristaux métalliques monoatomiques (*unité de longueur utilisée : 1 pm = 10⁻¹² m*).

Tab. 9.27 : Coefficients d'élasticité de douze paramètres de maille des métaux

Source des rayons covalents : https://fr.wikipedia.org/wiki/Modèle:Tableau_des_rayons_de_covalence

Source des paramètres a b et c : <https://periodictable.com/Properties/A/LatticeConstants.al.html>

Calculs de coefficients d'élasticité des mailles cristallines de 12 métaux								
Élément	Maille	2 R _{cov}	a (pm)	% R _{cov}	b (pm)	% R _{cov}	c (pm)	% R _{cov}
Polonium 84	C	290	335,90	115,83	335,90	115,83	335,90	115,83
Fer 26	CC	232	286,65	123,56	286,65	123,56	286,65	123,56
Palladium 46	CFC	240	389,07	162,11	389,07	162,11	389,07	162,11
Germanium 32	CD	248	565,75	228,12	565,75	228,12	565,75	228,12
Magnésium 12	H	278	320,94	115,45	320,94	115,45	521,08	187,44
Titane 22	HC	272	295,08	108,75	295,08	108,75	468,55	172,26
Lanthane 57	HCD	360	377,2	104,77	377,20	104,77	1 214,40	337,33
Samarium 62	R	344	362,10	105,26	362,10	105,26	2 625,00	763,08
Uranium 92	O	340	285,37	83,93	586,95	172,63	495,48	145,73
Gallium 31	OBC	248	451,97	182,25	766,33	309,00	452,60	182,5
Étain 50	TC	280	583,18	208,28	583,18	208,28	318,19	113,64
Plutonium 94	M	344	618,30	179,74	482,20	140,17	1 096,30	318,69

Sans surprise, les *coefficients d'élasticité* appliqués aux paramètres **a b** et **c** des quatre mailles cubiques — simple, centrée, à faces centrées et diamant — progressent régulièrement en raison de l'évolution de l'encombrement de la maille lorsque l'on passe d'une structure à la suivante. Quant aux trois mailles hexagonales (simple, compacte et compacte double) le grand coefficient **c** du **lanthane 57** s'explique par le fait qu'il s'agit de deux mailles superposées pivotées de 180°. Le coefficient **c** hors norme de la maille rhomboédrique du **samarium 62** tient au fait que les physiciens ont choisi de présenter cette maille particulière posée sur une pointe et non couchée sur une face, auquel cas les trois paramètres **a b** et **c** seraient égaux.

L'**uranium 92** et le **neptunium 93** — son voisin dans le tableau périodique des éléments, présent dans la nature seulement sous forme de traces — sont les seuls métaux à posséder une *maille cristalline orthorhombique* (c'est-à-dire avec ses trois angles $\alpha \beta \gamma$ droits et ses trois arêtes **a b c** de longueurs différentes) que nous pouvons comparer à une *brique pleine traditionnelle*¹ (**5 x 10,5 x 22 cm**). Le **plutonium 94** — également présent dans la nature sous forme de traces — est lui caractérisé par une *maille cristalline monoclinique*, qui n'est qu'une *maille orthorhombique* penchée, « façon Tour de Pise », au détail près que « plancher et plafond » restent horizontaux. Le graphe équatorial du noyau de l'atome de **plutonium 94** a été proposé avec la figure 9.50 de la page 75, et sa parfaite symétrie Est ↔ Ouest et Nord ↔ Sud ne permet pas par elle-même d'expliquer, dans cadre de la *nouvelle géométrie projective cardioïde* de la théorie NR, cette inclinaison de la *maille monoclinique* ; sauf à imaginer que la Nature, « dans sa grande sagesse », ait décidé d'arrêter là sa production de noyaux atomiques naturels, précisément parce que la masse atomique élevée du **plutonium 94** menaçait la stabilité de l'édifice, problème déjà sensible, puisqu'à partir du **polonium 84**, tous les éléments chimiques sont radioactifs, et donc relativement instables.

Le **gallium 31** adopte une configuration de maille cristalline dite *orthorhombique à base centrée*, et si on compare ses coefficients d'élasticité à ceux de la *maille orthorhombique* de l'**uranium 92**, ils sont pratiquement doublés, alors que le rayon covalent du **gallium 31** ne représente que **73 %** de celui de l'**uranium 92**. Il est possible d'imaginer qu'en raison de sa profusion d'électrons disponibles pour établir des liaisons covalentes, l'**uranium 92** utilise des liaisons doubles ou triples, limitant ainsi le nombre d'électrons affectés à la conduction électrique. Enfin, l'**étain 50** est un des trois métaux ayant opté pour la *maille cristalline tétragonale centrée*, qui ne diffère de la *maille orthorhombique* que par l'égalité des longueurs des arêtes de sa base, sorte de variante de la *brique pleine traditionnelle* qui aurait les dimensions (**10,5 x 10,5 x 22 cm**).

Nous voici maintenant munis d'une *architecture des métaux unifiée*, grâce au concept de liaison covalente « élastique », ce qui n'explique pas tout, la notion d'*énergie de liaison* n'ayant pas été abordée. Le sujet des *électrons quasi libres* circulant dans la *bande de conduction* sera abordé dans une prochaine section intitulée **États de la matière**.

1 Il semble bien que la plupart des architectes et des maçons ignorent cette qualité *orthorhombique* de ce matériau classique.

ARCHITECTURE DE LA MATIÈRE

Composés ioniques

Avec cette nouvelle catégorie d'éléments chimiques qualifiés de *corps non moléculaires*, deux questions méritent d'être posées pour tenter de poursuivre la démarche d'unification et de simplification de la théorie NR :

1. Pourquoi les *composés ioniques* — également qualifiés de *sels* — sont-ils qualifiés de *substance non moléculaire*, et non de *type particulier de molécule* ?
2. En quoi les *liaisons ioniques* diffèrent-elles des *liaisons covalentes* et en sont-elles un cas particulier ?

La réponse à la première question est qu'une *substance non moléculaire* n'est pas constituée d'atomes ou de molécules isolées, mais se présente dans les *conditions normales de température et de pression* (CNTP) sous la forme *cristalline*¹, c'est-à-dire celle d'un réseau maillé de très grande dimension à l'échelle atomique. Les *composés ioniques* sont considérés par les chimistes comme étant des assemblages d'*ions*, portant une ou plusieurs charges électriques élémentaires, positives pour les *cations* et négatives s'agissant des *anions*.

Quant au statut des *liaisons ioniques*, le mieux est de se référer aux appréciations des spécialistes, avec ces deux exemples puisés dans l'encyclopédie en ligne WIKIPÉDIA :

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

[...] La différence d'électronégativité entre ces deux atomes détermine la nature de la liaison : liaison covalente apolaire lorsque la différence est nulle ou faible, liaison covalente polaire quand la différence est moyenne, et liaison ionique quand la différence est tellement forte qu'un des atomes a attiré complètement, **ou presque**, les électrons de la liaison. Dans le dernier cas les atomes sont devenus des ions et portent des charges électriques entières, **ou presque**. [...]

[...] Il y a trois types de liaisons covalentes : [...]

1 Notons qu'en raison du processus de *dissociation ionique* — également appelé *dissociation électrolytique* — un composé ionique se sépare en ions positifs (cations) et en ions négatifs (anions) lorsqu'il est mis en solution dans un solvant polaire comme l'eau. C'est pourquoi on ne trouve pas de molécule de sel de table isolée, lorsque cet élément chimique est dissous dans l'eau, les deux ions Na^+ et Cl^- se trouvant séparés par l'interposition de molécules H_2O .

THÉORIE NR

• Le dernier type de liaison covalente est celui de coordinence. Dans **ce type de liaison covalente**, il y a un partage d'électrons entre deux atomes. Par contre, le doublet d'électrons formant la liaison provient d'un seul des deux atomes. Autrement dit, les deux électrons partagés viennent du même atome. Hors du cas particulier des liaisons métalliques, **on qualifie parfois ce type de liaison de ionique**. [...]

Source: https://fr.wikipedia.org/wiki/Liaison_ionique

La liaison ionique pure n'existe pas. Tous les composés présentent un degré de liaison covalente. Plus la différence d'électronégativité entre deux atomes est importante, plus la liaison est ionique.

Ainsi, le concept de *liaison ionique* est-il relativement flou, et semble bien n'être qu'une liaison « presque » covalente. Le tableau suivant nous donne quelques exemples de sels dont les longueurs des liaisons ioniques sont connues, ainsi que la comparaison avec les sommes des rayons covalents des atomes impliqués, exprimée en pourcentage, sous la forme de ce que nous avons nommé *coefficients d'élasticité* à propos des longueurs des arêtes des mailles cristallines des métaux.

Tab. 9.28 : Coefficients d'élasticité de quatre liaisons de composés ioniques

Source des rayons covalents : https://fr.wikipedia.org/wiki/Modèle:Tableau_des_rayons_de_covalence

Source des longueurs de liaisons ioniques : <https://www.google.com/search?>

Calculs de coefficients d'élasticité des liaisons ioniques de quatre sels								
Composé ionique	Formule	Longueur Li (pm)			Longueur Lc (pm)			Li/Lc
Appellation	+ ions –	+	–	Σ	+	–	Σ	%
Fluorure de lithium	Li ⁺ F ⁻	133	76	201	133	64	197	102
Chlorure de sodium	Na ⁺ Cl ⁻	181	102	282	155	99	254	111
Chlorure de potassium	K ⁺ Cl ⁻	181	138	319	196	99	295	108
Iodure de potassium	K ⁺ I ⁻	220	138	358	196	133	329	109

Ainsi, les longueurs mesurées des liaisons ioniques de ces quatre exemples de sels se trouve être légèrement supérieures à celles de la somme des liaisons covalentes correspondantes, ce qui confirme le caractère « presque » covalent de ces liaisons, la structure cristalline impliquant tout de même une faible dilatation, ce qui n'est guère étonnant, puisque le but d'un composé ionique est en quelque sorte « de s'ennoblir » en adoptant dans sa couche de valence la configuration électronique très compacte d'un gaz noble, en suivant les *règles du duet*¹ et de *l'octet*².

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

2 Voir article WIKIPÉDIA : https://fr.wikipedia.org/wiki/Règle_de_l'octet

ARCHITECTURE DE LA MATIÈRE

Réseaux covalents solides

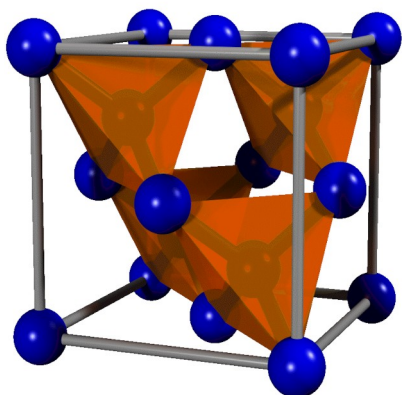
L'encyclopédie WIKIPÉDIA consacre un très court article au concept de *solide covalent*, dont voici le texte intégral :

Un **solide covalent** est un solide dont les constituants sont reliés entre eux par des liaisons covalentes. Par exemple, le diamant ou la silice. Cette notion s'oppose à un solide moléculaire (exemple : la glace), à un solide ionique (exemple, le sel alimentaire : chlorure de sodium), à un solide métallique (exemple, l'or massif).

Les propriétés de ces matériaux sont leur *dureté élevée*, leurs très hauts *points de fusion*, leur faible *conductivité électrique* et leur caractère *insoluble*, c'est-à-dire leur incapacité à se dissoudre.

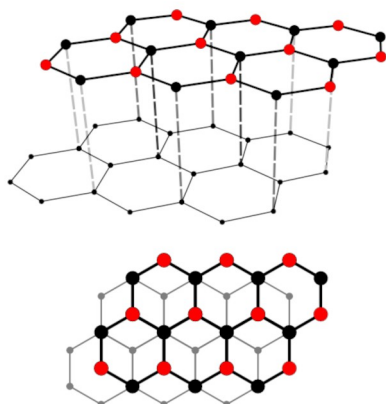
A titre d'exemple, regardons les deux structures cristallines de l'atome de carbone, sous ses formes *diamant*¹ et *graphite*.².

Fig. 9.136 : Mailles cristallines du carbone, diamant et graphite



Maille cubique du diamant

Source : WIKIPÉDIA



Structure en feuillets du graphite

Source : WIKIPÉDIA

La maille cubique du diamant n'est pas très facile à visualiser. Huit atomes de carbone occupent les sommets du cube, formant la *maille cubique simple*. En ajoutant six atomes au centre des faces du cube, on arrive à former la *maille cubique à faces centrées*. Le volume du cube peut être partiellement pavé par un octaèdre central et huit tétraèdres joignant les huit sommets du cube aux huit faces de l'octaèdre. Quatre de ces tétraèdres (oranges sur la figure) accueillent en leurs centres quatre atomes de carbone.

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

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

Le paramètre de maille **a** de la structure cristalline du diamant, soit le coté de sa maille cubique, est de **356,6 pm**.

En dépit de la dureté exceptionnelle du diamant, la *compacité*¹ de sa maille n'est que de **34 %**, ce qui est très inférieur à celle d'un *empilement compact de sphères identiques*² qui est de **74 %** ; valeur également caractéristique des mailles cristallines *hexagonale compacte* et *cubique à faces centrées*. C'est en fait la présence de *liaisons covalentes* à l'intérieur de sa maille cristalline qui procure au diamant sa grande dureté, d'où son appartenance à la catégorie des *réseaux covalents solides*.

La forme graphite du carbone — également appelée d'une manière désuète *mine de plomb*³ — possède une toute autre structure. Le terme de *réseau covalent solide* ne s'applique en réalité qu'à des feuillets d'atomes de carbone, formant un maillage plan hexagonal, maintenant baptisé *graphène*⁴.

Dans le plan du feuillet, la distance entre atomes de carbone est de **142 pm**, légèrement inférieure à la liaison covalente du carbone qui est de **150 pm**. Ces feuillets se superposent en se décalant comme le montre la figure 9.136 en bas à droite, ce qui impose de considérer une hauteur de maille hexagonale de **669,6 pm**, soit deux fois l'écart entre feuillets.

Cette structure cristalline en « mille feuilles » a pour conséquence que le graphite est un matériau dont les propriétés diffèrent sensiblement de celles qui viennent d'être énumérées au début de la présente sous-section. En effet, sa dureté est faible en raison du phénomène de clivage entre feuillets. D'autre part, sa conductivité électrique est forte dans le plan des feuillets, mais faible dans le sens perpendiculaire.

Pour conclure ce sujet des *réseaux covalents solides*, le caractère *covalent* des différentes liaisons entre atomes n'est que partiel, et nous pouvons une nouvelle fois constater qu'avec la variété de ses *structures cristallines*, la Nature n'est jamais avare d'astuces diverses et variées pour dérouter nos « physiciens classificateurs ».

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

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

3 Voir article WIKIPÉDIA : https://fr.wikipedia.org/wiki/Mine_de_plomb

4 Voir article WIKIPÉDIA : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Graphène>

ARCHITECTURE DE LA MATIÈRE

États de la matière

Classification

La matière peut adopter quatre états différents, dont les caractéristiques principales sont les suivantes :

Tab. 9.29 : Caractéristiques principales des différents états de la matière

Source : https://fr.wikipedia.org/wiki/État_de_la_matière

État	État condensé	Fluide	Forme	Volume	Compressibilité	Capacité de diffusion
Solide	Oui	Non	Définie	Défini	Pratiquement nulle	Très lente
Liquide	Oui	Oui	Indéfinie	Défini	Très faible	Lente
Gaz	Non	Oui	Indéfinie	Indéfini	Très grande	Très rapide
Plasma	Non	Oui	Indéfinie	Indéfini	Extrême	Extrême

Certains états particuliers de la matière peuvent être ajoutés à ces quatre états fondamentaux :

- **Solides** : État cristallin. État amorphe. Quasi-cristal.
- **Liquides** : Cristal liquide. Superfluide.
- **Gaz** : Gaz rare ou noble. Gaz parfait (objet mathématique).
- **Plasma** : Plasma de quarks et de gluons.

La matière est sujette à des *changements phase*, lui permettant de passer d'un état fondamental à un autre :

- *Liquéfaction, solidification (solide ↔ liquide).*
- *Vaporisation, condensation (liquide ↔ gaz).*
- *Sublimation, condensation solide (solide ↔ gaz).*

Par ailleurs, dans ses quatre états fondamentaux, la matière peut présenter des propriétés particulières :

- *État conducteur, semi-conducteur, supraconducteur, etc...*
- *État ferromagnétique, antiferromagnétique, etc...*
- *Couleur, transparence, ductilité, chiralité, effet tunnel, etc...*

Elle peut également adopter des états intermédiaires, mélangeant différents états : *Pâtes, Gels, Mousses*.

Enfin, et jusqu'à nouvel ordre, il n'existe de pas de *matière noire*, « objet obscur mythique et légendaire » chéri de nombreux physiciens théoriciens « aux idées noires » et faisant souvent la une de nos magazines scientifiques de vulgarisation.