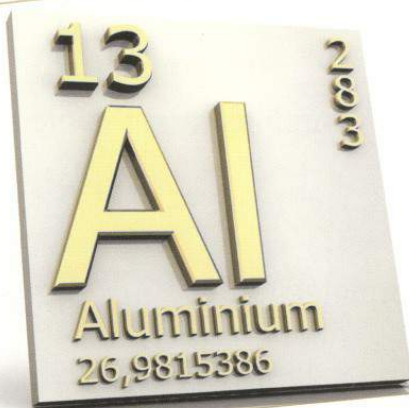
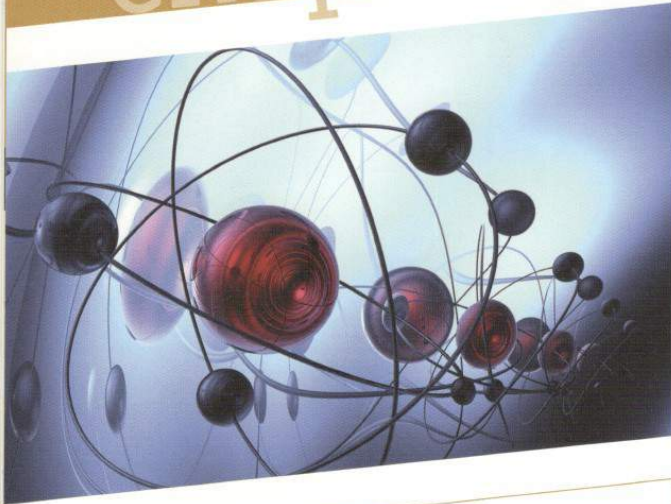


Chapitre 14



Masse atomique relative et masse moléculaire relative

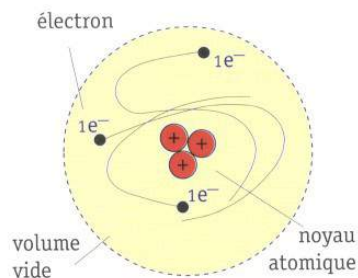
Suite à la détermination des masses des atomes les unes par rapport aux autres, les chimistes ont été amenés à revoir le modèle de Rutherford. Cette évolution du modèle atomique fut significative grâce à la découverte des neutrons par J. Chadwick. Le modèle de Rutherford-Chadwick a permis une meilleure compréhension du lien entre la structure de l'atome et les renseignements fournis dans chaque case du tableau de Mendelév.

Mise en situation

Tu as appris que les modèles de l'atome ont évolué au cours du temps et le dernier modèle étudié précédemment a été celui de Rutherford.

Le texte et le schéma ci-dessous te permettent de te remémorer ce modèle.

Rutherford se représentait l'atome dans un espace au centre duquel se trouve un noyau constitué de protons positifs (p^+). Il imaginait qu'autour de ce noyau des électrons négatifs (e^-) de masse très petite, en même nombre que les protons p^+ , se déplacent dans ce volume quasiment vide.



Si tu consultes le tableau de Mendeléeïv à la fin de ce manuel, tu retrouves dans chaque case le symbole d'un atome différent ainsi que plusieurs nombres. Voici, reproduite ci-dessous, la case du lithium Li^1 .

2	3	1,00
1	Li	
		6,94

Que représentent les données numériques entourant le symbole du lithium ? Dans un premier temps, voyons s'il est possible d'établir une relation entre le modèle de l'atome et deux de ces nombres : 3 et 6,94.

¹ Le lithium (du grec *lithos* : pierre) a été découvert en 1817. Le lithium et ses sels sont utilisés dans les accumulateurs (véhicules électriques, GSM, ordinateurs portables...), dans les médicaments prescrits pour des problèmes neurologiques, dans les lentilles (télescope Hubble), dans les alliages pour les avions,...

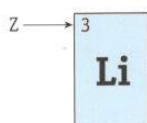
Numéro atomique Z

Dans la case du lithium Li, le nombre entier « 3 » situé dans le coin supérieur gauche correspond au nombre de protons ou d'électrons présents dans l'atome lithium.

Ce nombre est appelé **numéro atomique Z**.

De façon plus générale, Z indique :

- l'ordre de classement d'un atome dans le tableau ;
- le nombre de protons (p^+) ainsi que le nombre d'électrons (e^-) présents dans un atome électriquement neutre.



Ainsi l'atome lithium, que nous avons représenté dans sa case, a comme numéro atomique $Z = 3$.

C'est le 3^e atome par ordre de complexité. Il possède 3 protons et 3 électrons.

De l'hypothèse d'Avogadro à la masse atomique relative A_r

Tu viens de découvrir la signification et l'utilité du nombre situé dans le coin supérieur gauche de chaque case du tableau de Mendelév.

Attachons-nous maintenant à donner un sens au nombre situé sous le symbole de l'atome.

Pour ce faire, suivons le raisonnement d'Avogadro².

Il avait d'abord émis l'hypothèse que la plupart des gaz sont constitués, non d'atomes isolés, mais de molécules. De plus, presque un siècle avant la découverte des protons et des électrons, A. Avogadro s'était déjà attelé au travail de la détermination de la masse des atomes.

En 1811, il émit ensuite l'hypothèse suivante :

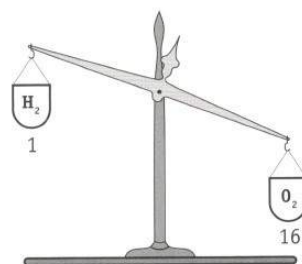
Dans les mêmes conditions de température et de pression, des volumes égaux de gaz renferment le même nombre de molécules.



² Amadeo Avogadro (1776-1856), physicien italien.

Ainsi, dans un litre de dioxygène (O_2) et dans un litre de dihydrogène (H_2), il devrait y avoir le même nombre x de molécules.

Or, par pesée, Avogadro a constaté qu'un litre de dioxygène (O_2) est 16 fois plus lourd qu'un litre de dihydrogène (H_2).



Il conclut que x molécules O_2 sont 16 fois plus lourdes que x molécules H_2 :

$$\frac{m_{x(O_2)}}{m_{x(H_2)}} = \frac{16}{1}$$

Si $x = 1$, alors pour une molécule :

$$\frac{m_{(O_2)}}{m_{(H_2)}} = \frac{16}{1}$$

Puisque chaque molécule contient 2 atomes, la masse d'un atome O est donc 16 fois plus grande que la masse d'un atome H :

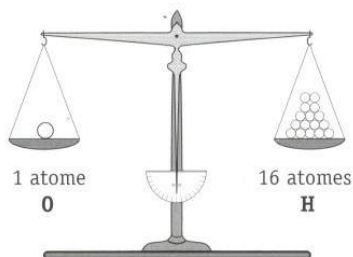
$$\frac{m_{(O)}}{m_{(H)}} = \frac{16}{1}$$

Qu'elle soit effectuée par la méthode des volumes gazeux ou par des méthodes plus modernes (spectrométrie de masse), la mesure de la masse des atomes aboutit à une masse relative puisque la masse est comparée à une masse étalon : l'atome H, le plus léger.

La **masse atomique relative (A_r)** d'un atome est le rapport entre la masse de cet atome et la masse de l'atome H, choisie comme masse étalon.

Quand on dit, par exemple, que la masse atomique relative de l'oxygène est 16, cela signifie que l'atome O est 16 fois plus lourd que l'atome H.

Ainsi, si on imaginait une balance ultrasensible capable de peser 1 atome, il faudrait placer 1 atome O sur un des plateaux et 16 atomes H sur l'autre plateau pour obtenir l'équilibre.



Dans la pratique, si tu veux connaître la masse atomique relative d'un atome, consulte le tableau de Mendelév.

La masse atomique relative figure sous le symbole de chacun des atomes. Quand tu devras l'utiliser, tu l'arrondiras à l'unité la plus proche.

Ainsi, suite à la consultation du tableau pour H, Li, C et O

H 1,01	Li 6,94	C 12,01	O 16,00
-----------	------------	------------	------------

tu retiendras :

$$A_{r(\text{H})} = 1 \quad A_{r(\text{Li})} = 7 \quad A_{r(\text{C})} = 12 \quad A_{r(\text{O})} = 16$$

Découverte du neutron

Tu viens d'apprendre à déterminer le nombre de protons et d'électrons à partir du numéro atomique Z .

Les scientifiques ont établi que la *masse du proton* est pratiquement égale à la masse d'un atome H (soit $1,672 \cdot 10^{-24}$ g) et que la *masse de l'électron*, environ 1836 fois plus petite, est négligeable par rapport à la masse du proton. La masse d'un atome devrait donc être égale à la somme des masses des protons.

Ainsi, l'atome He ($Z = 2$), constitué de $2p^+$ et de $2e^-$, devrait avoir une masse équivalente à celle de 2 atomes H ; or sa masse atomique relative est 4, comme tu peux le vérifier en consultant le tableau de Mendelév.

De même, l'atome Li ($Z = 3$), constitué de $3p^+$ et de $3e^-$, devrait avoir une masse équivalente à celle de 3 atomes H ; or sa masse atomique relative est 7.

Le modèle atomique de Rutherford ne permet donc pas d'expliquer d'où vient cette différence de masse.

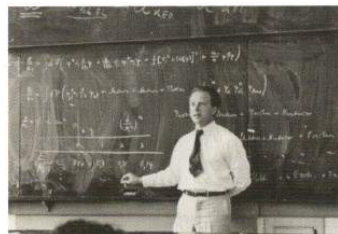
Pour expliquer le fait que la masse atomique relative de l'atome He est 4 et non 2 et que celle de l'atome Li est 7 et non 3, les scientifiques émirent, vers 1920, l'hypothèse de l'existence de particules supplémentaires dans le noyau de l'atome.



J. Chadwick

Comme les atomes sont électriquement neutres (ils sont constitués d'un nombre égal de protons et d'électrons, de charge égale mais de signe contraire), ces particules supplémentaires doivent donc être électriquement neutres : c'est pourquoi les scientifiques leur donnèrent le nom de **neutrons**.

C'est seulement en 1932 que **J. Chadwick**³ confirma expérimentalement l'existence du neutron et que sa masse fut mesurée comme étant pratiquement équivalente à celle du proton et donc de l'atome H.



W. Heisenberg

W. Heisenberg⁴ vérifia ensuite que les neutrons faisaient partie intégrante du noyau, et proposa dès lors le terme **nucléon** pour désigner une particule du noyau atomique, qu'elle soit proton ou neutron.

³ J. Chadwick (1891-1974), physicien anglais, prix Nobel 1935.

⁴ W. Heisenberg (1901-1976), physicien allemand, prix Nobel 1932.



Un **neutron** (n°) est un nucléon, particule du noyau atomique, de masse équivalente à celle d'un proton (ou d'un atome H) mais sans charge électrique.

L'existence du neutron nous permet de lever les incompréhensions formulées plus haut.

Ainsi,

- la masse atomique relative de He est 4 parce que son noyau est constitué de 2 protons et de 2 neutrons ;
- la masse atomique relative de Li est 7 parce que son noyau est constitué de 3 protons et de 4 neutrons.

Tu détermineras aisément le nombre de neutrons présents dans le noyau d'un atome en effectuant le calcul suivant :

$$\text{nombre de neutrons} = A_r (\text{arrondie}) - Z$$

Ainsi,

- dans le noyau de l'atome He, le nombre de neutrons étant égal à 2 ($A_r(4) - Z(2)$), le noyau de l'atome He contient donc 2 protons et 2 neutrons ;
- dans le noyau de l'atome Li, le nombre de neutrons étant égal à 4 ($A_r(7) - Z(3)$), le noyau de l'atome Li contient donc 3 protons et 4 neutrons.

La **masse atomique relative d'un atome** équivaut pratiquement à la somme de ses protons et de ses neutrons.

Le modèle atomique de Rutherford-Chadwick

La découverte du neutron par Chadwick obligea les scientifiques à revoir le modèle atomique de Rutherford.

Quand un modèle scientifique ne permet plus de rendre compte des observations faites, les scientifiques élaborent d'autres modèles. La mise à l'épreuve de ceux-ci aboutit à l'émergence de l'un d'entre eux qui est alors retenu par la communauté scientifique jusqu'à ce qu'il devienne, à son tour, éventuellement insatisfaisant.

C'est ainsi qu'après le modèle de Rutherford, émergea un nouveau modèle atomique que nous appelons « **modèle de Rutherford-Chadwick** » :

Tout atome, électriquement neutre, est composé :

- d'un noyau qui comprend :
 - un ou plusieurs protons
 - zéro, un ou plusieurs neutrons
 } ce sont les nucléons
- d'électrons qui évoluent autour du noyau, en nombre égal à celui des protons.

En conclusion, tu viens d'apprendre que, depuis l'Antiquité, le modèle atomique a bien évolué grâce aux découvertes technologiques et surtout grâce aux travaux d'éminents hommes et femmes à l'esprit curieux et aux idées brillantes.

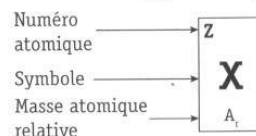
Cette évolution continue et continuera au cours des siècles...

Carte d'identité de l'atome

Ce que nous avons appris jusqu'à présent au sujet de l'atome nous permet de commencer à établir sa carte d'identité.

À partir de la lecture d'une case du tableau de Mendéléev, nous pouvons facilement déterminer le nombre de nucléons, de protons, de neutrons et d'électrons d'un atome neutre donné, au départ des nombres Z et A_r :

- Nombre de protons = Z
- Nombre d'électrons = Z
- Nombre de nucléons = A_r (arrondie)
- Nombre de neutrons = A_r (arrondie) - Z

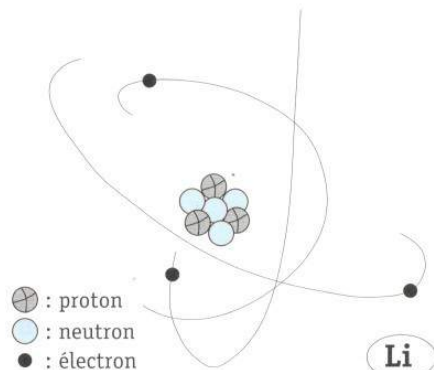


À partir de la case du lithium, tu peux déterminer la composition de l'atome lithium :

- Nombre de protons = $Z = 3$
- Nombre d'électrons = $Z = 3$
- Nombre de nucléons = A_r (arrondie) = 7
- Nombre de neutrons = A_r (arrondie) - $Z = 7 - 3 = 4$

3
Li
6,94

Le modèle de l'atome lithium peut-être schématisé comme ci-dessous :



De la masse atomique relative A_r à la masse moléculaire relative M_r

Comme toute molécule est constituée d'une association d'atomes, nous pouvons calculer la masse moléculaire relative comme suit :

La **masse moléculaire relative**, M_r , est la somme des masses atomiques relatives A_r de tous les atomes constituant la molécule.

Ainsi, la masse moléculaire relative de l'eau H_2O vaut

$$\begin{aligned}M_r(H_2O) &= 2 A_r(H) + 1 A_r(O) \\ &= 2 \cdot 1 + 16 \\ &= 18\end{aligned}$$

De la même manière,

$$\begin{aligned}M_r(KNO_3) &= A_r(K) + A_r(N) + 3 \cdot A_r(O) \\ &= 39 + 14 + 3 \cdot 16 \\ &= 101\end{aligned}$$

En nous référant à la définition de la masse atomique relative, retenons aussi que



La **masse moléculaire relative** M_r est le rapport entre la masse d'une molécule et la masse de l'atome H, pris comme étalon.

Cela signifie donc qu'une molécule H_2O est 18 fois plus lourde qu'un atome H et une molécule KNO_3 est 101 fois plus lourde qu'un atome H.

Exercices, problèmes et tâches

1 Définis l'électron, le proton et le neutron selon trois critères : la position dans l'atome, la charge électrique et la masse de la particule.

2 Donne le nom et le symbole des atomes dont le numéro atomique Z vaut : 7, 19, 26, 47.

3 Donne le nom et le symbole des atomes dont la masse atomique relative arrondie A_r vaut : 19, 31, 64, 127.

4 Recherche dans le tableau de Mendelév le numéro atomique et la masse atomique relative des atomes suivants : calcium, zinc, chlore, plomb.

5 Détermine le nombre de protons, neutrons et électrons présents dans les atomes suivants : fer, magnésium, brome, argent.

6 Cherche le nom des atomes qui ont respectivement :

- a) $8p^+$
- b) $13e^-$
- c) $10n^0$

7 Trouve le nom des atomes qui possèdent respectivement :

- a) 9 électrons et 10 neutrons ;
- b) 24 protons et 28 neutrons.

8 Détermine la masse moléculaire relative arrondie M_r des molécules suivantes :

HCl, NaOH, K_2CO_3 , $ZnBr_2$, $Al_2(SO_4)_3$.

9 Réponds aux questions suivantes en choisissant la ou les bonne(s) proposition(s).

a) Quels sont les nombres de protons présents respectivement dans l'atome Mg et dans l'ion Mg^{2+} ?

- 1) 10 et 12
- 2) 12 et 10
- 3) 12 et 12



Ruban de magnésium

- 4) 12 et 14
- 5) 14 et 12

b) Quels sont les nombres d'électrons présents respectivement dans l'atome Mg et dans l'ion Mg^{2+} ?

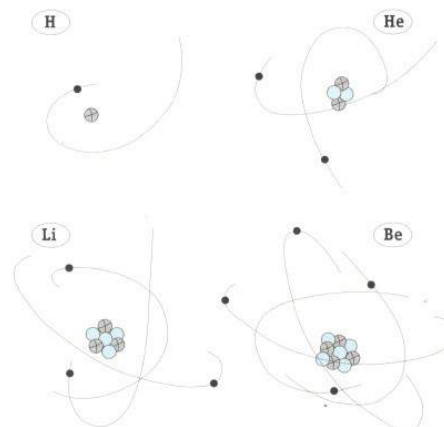
- 1) 10 et 12
- 2) 12 et 10
- 3) 12 et 12
- 4) 12 et 14
- 5) 14 et 12

c) Que représente le numéro atomique Z pour n'importe quel atome ?

- 1) le nombre d'électrons
- 2) le nombre de protons
- 3) le nombre de neutrons
- 4) le nombre de nucléons



10 Les quatre schémas ci-dessous représentent les modèles des atomes : H, He, Li et Be (ce modèle suggère l'évolution des électrons autour du noyau).



Résume tes observations dans un tableau.