

Séquence 3

Physique

Cohésion de la matière et radioactivité

Chimie

Dissolution des solides

Sommaire

1. Physique : Cohésion de la matière et radioactivité

Résumé

Exercices

2. Chimie : Dissolution des solides

Résumé

Exercices



Cohésion de la matière et radioactivité

Objectifs

- ▶ Connaître les ordres de grandeurs des distances très grandes et très petites et les interactions fondamentales.
- ▶ Connaître et appliquer la loi de Coulomb
- ▶ Connaître la composition de l'atome, de son noyau et la définition de l'isotopie
- ▶ Connaître l'ordre de grandeur des valeurs des masses d'un nucléon et de l'électron
- ▶ Savoir que toute charge électrique peut s'exprimer en fonction de la charge élémentaire e .
- ▶ Connaître la définition de l'activité et l'unité d'activité
- ▶ Connaître la définition de la demi-vie d'un nucléide
- ▶ Savoir écrire les équations des désintégrations radioactives

A

La matière à différentes échelles

1. Du noyau de l'atome à la galaxie

L'étalon de mesure des distances, le mètre, a été choisi parce qu'il est à notre échelle. Mais la découverte du monde qui nous entoure nous contraint à nous familiariser avec des distances bien plus grandes ou bien plus petites.

Nous sommes constitués d'atomes, dont les dimensions sont de l'ordre de 0,1 nanomètre (nm), chaque atome étant constitué d'électrons situés autour d'un noyau dont la taille est de l'ordre de un picomètre (pm).

L'ordre de grandeur de la majorité des cellules qui nous composent est égal à 10 micromètres (μm).

Dès qu'il s'agit d'estimer des dimensions à l'intérieur du système solaire, plutôt que d'exprimer ces distances en multiples du mètre, on utilise l'unité astronomique qui est égale à la distance moyenne Terre-Soleil (150 millions de kilomètres).

Les dimensions du système solaire, constitué du Soleil en son centre et des corps célestes gravitant autour de lui sont de l'ordre de quelques dizaines d'unités astronomiques.

Le Soleil n'est qu'une étoile parmi les centaines de milliards qui forment notre galaxie.

Pour estimer les distances, on utilise alors l'année de lumière (ou année-lumière, symbole a.l), égale à la distance parcourue par la lumière en une année (soit environ 10^{13} km).

Notre Galaxie, la Voie lactée, a une forme spirale contenue dans un disque de diamètre valant environ cent mille années-lumière.

L'univers est constitué de centaines de milliards de galaxies, certaines sont situées à des distances de plusieurs milliards d'années lumière de la nôtre.

Dans les deux cas : à l'échelle astronomique comme à l'échelle atomique, la matière a une structure lacunaire c'est-à-dire qu'elle est concentrée dans des zones séparées par du vide.

Activité 1 Calculer la distance parcourue par la lumière en une année. Exprimer l'année lumière en unité astronomique (UA).

Activité 2 A partir du cours ci-dessus, exprimez les ordres de grandeur des dimensions ou des distances en mètre en utilisant les puissances de 10.

	noyau	atome	cellule	distance Terre-Soleil	Voie lactée
Ordre de grandeur (m)					

2. Les interactions fondamentales

Tous les phénomènes observables dans l'univers peuvent être attribués à quatre interactions fondamentales :

- La gravitation qui entraîne l'attraction réciproque entre deux corps massifs. Ce sont les forces de gravitation qui expliquent les forces de pesanteur, les mouvements des planètes, les structures des galaxies.
- L'interaction électromagnétique responsable des forces attractives ou répulsives entre particules chargées et de la plupart des phénomènes quotidiens : lumière, électricité, réactions chimiques, magnétisme.
- L'interaction nucléaire forte qui explique la cohésion du noyau atomique.
- L'interaction nucléaire faible, qui intervient dans la radioactivité bêta .

Alors que la gravitation et l'interaction électromagnétique sont de portée illimitée, les interactions nucléaires forte et faible ont une portée limitée aux dimensions d'un noyau atomique.

Activité 3

A partir du cours ci-dessus, donnez les interactions fondamentales responsables de la cohésion des systèmes suivants :

	noyau	atome	cellule	Système solaire	Voie lactée
interaction					

3. L'interaction électrique ou électrostatique

Une interaction entre deux particules se traduit par deux forces exercées par chacune des particules sur l'autre, de même direction et de même valeur mais ayant des sens opposés

Nous avons déjà étudié, en classe de seconde, l'interaction gravitationnelle entre deux corps ponctuels de masses m et m' séparés par une distance d :

$$F = F' = \frac{Gm m'}{d^2} \quad \text{avec } G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ SI}$$

Cette interaction gravitationnelle est toujours attractive ; les forces exercées sur chacun des corps sont orientées l'une vers l'autre selon la droite qui rejoint les deux corps.

Activité 4

Sachant que l'interaction gravitationnelle est toujours attractive, représenter les deux forces $\vec{F}$ et $\vec{F}'$ exercées par le noyau de l'atome d'hydrogène sur l'électron et par l'électron sur le noyau de l'atome d'hydrogène. Calculer leur valeur.

Données : masse de l'électron ($m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$) ; masse du noyau d'hydrogène ($m' = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$) ; rayon de l'atome d'hydrogène ($d = 50 \text{ pm}$) ; $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ SI}$

L'interaction électrostatique correspond à l'interaction électromagnétique exercée entre deux particules immobiles chargées électriquement. Lorsqu'elles sont en mouvement, l'expression de l'interaction électromagnétique est plus complexe.

L'interaction électrostatique est aussi appelée interaction électrique.

Lorsque deux particules, l'une de charge q et l'autre de charge q' sont situées à une distance d l'une de l'autre, elles exercent l'une sur l'autre des forces qui sont attractives lorsque les charges q et q' sont de signes contraires mais qui sont répulsives lorsque les deux charges sont de même signe. Les forces électriques exercées par chacune des deux particules sur l'autre ont même direction, sont de sens opposés mais ont même valeur. En notant la valeur absolue du produit des deux charges, la valeur de la force est donnée par la loi de Coulomb :

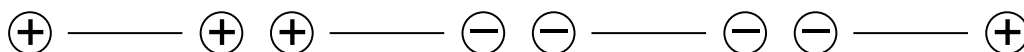
$$F = F' = k \frac{|qq'|}{d^2}$$

Dans cette relation, k est une constante égale à $9 \cdot 10^9$ dans le système international d'unités. L'interaction électrique est à l'origine de la plupart des phénomènes

d'observation courante : en effet, elle permet non seulement d'expliquer tous les phénomènes dits « électriques » tels que la foudre ou le passage du courant dans un circuit mais elle permet aussi d'expliquer le modèle de l'atome et donc de comprendre les réactions chimiques qui se produisent entre les atomes.

Remarque en mathématiques, $|x|$ s'appelle valeur absolue de x ; $|x| = x$ si x est positif et $|x| = -x$ si x est négatif.

Activité 5 Représenter la force électrique $\vec{F}$ exercée par la particule de droite sur la particule de gauche et la force électrique $\vec{F}'$ exercée par la particule de gauche sur la particule de droite dans les quatre cas ci-dessous :



Activité 6 Sachant que l'électron est chargé négativement et le noyau est chargé positivement, représenter les deux forces électriques $\vec{F}_e$ et $\vec{F}_e'$ exercées par le noyau de l'atome d'hydrogène sur l'électron et par l'électron sur le noyau de l'atome d'hydrogène. Calculer leur valeur.

En vous aidant du résultat de l'activité 4, justifiez que la cohésion de l'atome est davantage due à l'interaction électromagnétique qu'à l'interaction gravitationnelle.

Données : charge de l'électron ($-1,6 \cdot 10^{-19}$ C) ; charge d'un noyau d'hydrogène ($1,6 \cdot 10^{-19}$ C) ; rayon de l'atome d'hydrogène ($d=50$ pm)

B

Structure d'un atome

1. Les particules de l'atome

Nom	Masse (en kg)	Charge (en C)
Proton	$1,67 \cdot 10^{-27}$	$+ 1,6 \cdot 10^{-19}$
Neutron	$1,67 \cdot 10^{-27}$	0
Electron	$9,1 \cdot 10^{-31}$	$-1,6 \cdot 10^{-19}$

Un atome est formé d'un noyau autour duquel se trouve le nuage électronique constitué d'électrons.

Les particules du noyau sont appelées nucléons, il en existe deux sortes : les protons chargés positivement et les neutrons qui ne portent pas de charge électrique. La masse d'un proton et la masse d'un neutron sont pratiquement égales.

Les électrons se trouvent autour du noyau, chacun porte une charge négative qui compense exactement celle d'un proton. La charge du proton est appelée charge élémentaire e car c'est la plus petite charge électrique ayant été détectée dans l'univers. On utilise cette charge élémentaire e pour exprimer la charge électrique des particules chargées électriquement (noyaux atomiques, cortèges électroniques, ions...)

Le tableau ci-dessus résume les propriétés des ces trois particules. Il faut savoir toute la masse de l'atome est concentrée dans son noyau.

Activité 7 Donner les ordres de grandeur des masses d'un nucléon et d'un électron et justifier qu'on peut considérer que toute la masse d'un atome est contenue dans son noyau.

Activité 8 Compléter le tableau suivant :

Particule(s)	noyau de l'atome de fer ($Z=26$)	cortège électronique de l'atome de fer	atome de fer	ion Fe^{3+}
Charge électrique exprimée en charge élémentaire e				
Charge électrique en coulomb (C)	$4,2 \cdot 10^{-18}$			

Activité 9 Justifiez que la cohésion du noyau de l'atome implique l'existence d'une interaction beaucoup plus importante que l'interaction électromagnétique à courte distance. Comment appelle-t-on cette interaction ?

2. Numéro atomique

Le numéro atomique Z (ou nombre de charge) est égal au nombre de protons que contient le noyau. Comme un atome est électriquement neutre, le nombre Z de protons dans le noyau est aussi égal au nombre d'électrons qui constituent le nuage électronique autour du noyau. Il permet de connaître la charge électrique du noyau.

Activité 10 Le noyau d'un atome contient 39 nucléons et le numéro atomique de cet atome est $Z = 19$. Combien y a-t-il de protons et combien de neutrons dans le noyau ? Combien d'électrons dans le nuage électronique ? Quelle est la charge du nuage électronique ?

3. Le noyau de l'atome

Représentation d'un nucléide

Le nombre total de nucléons est appelé nombre de masse, on le note A .

Pour déterminer la composition d'un noyau, il faut donc connaître deux nombres : Z et A .

Tous les noyaux identiques (ayant même nombre de charge et même nombre de masse) constituent un seul nucléide.

Si X est le symbole chimique de l'élément auquel appartient le nucléide, celui-ci sera représenté par : $\boxed{{}_Z^AX}$

Activité 11 A l'aide des valeurs numériques indiquées dans le tableau ci-dessus, calculer la masse et la charge électrique du noyau de fluor : ${}^{19}_9\text{F}$ ainsi que la charge et la masse de l'atome correspondant.

Isotopes

On appelle isotopes deux noyaux possédant le même nombre de protons mais un nombre différent de neutrons, les deux nucléides auxquels ces deux isotopes appartiennent ont donc même nombre de charge, mais un nombre de masse différent. Deux noyaux appartenant à deux nucléides isotopes auront donc des propriétés nucléaires différentes puisque leurs noyaux ne seront pas identiques. En revanche, les atomes possédant ces noyaux auront le même nombre d'électrons (puisque les noyaux possèdent le même nombre de protons) et comme les propriétés chimiques ne dépendent que des électrons, les propriétés chimiques de ces atomes seront donc identiques : les deux atomes appartiennent au même élément chimique, et le symbole chimique X de l'élément auquel appartient le nucléide sera le même pour deux isotopes.

Activité 12 On considère trois nucléides caractérisés par leur nombre de charge Z et leur nombre de masse A :

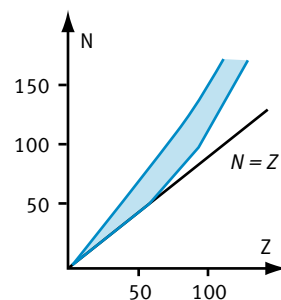
Nucléide 1 : $Z = 11, A = 22$; nucléide 2 : $Z = 11, A = 23$; nucléide 3 : $Z = 12, A = 24$.
Quels sont, parmi ces trois nucléides, les deux noyaux isotopes ?

Rechercher, dans un tableau périodique, le symbole chimique de l'élément auquel appartient chacun des atomes correspondants et écrire chaque nucléide sous la forme $\boxed{{}_Z^AX}$.

Activité 13 Indiquer la composition du noyau des nucléides suivants : ${}^{12}_6\text{C}$, ${}^{14}_7\text{N}$ et ${}^{18}_8\text{O}$.
A quel symbole chimique (C pour carbone, N pour azote ou O pour oxygène) correspond la lettre X dans le nucléide : ${}^{14}_6\text{X}$?

Stabilité du noyau

Le graphique ci-contre illustre la notion de «vallée de stabilité». Elle est représentée en gris et c'est dans cette zone que se trouvent tous les noyaux stables. Le nombre N de neutrons figure en ordonnée et le nombre Z de protons est en abscisse. On voit que les petits noyaux stables ont à peu près autant de protons que de neutrons alors que les gros noyaux stables ont à peu près 1,5 fois plus de neutrons que de protons.



Activité 14 Un nombre de charge $Z = 100$ et un nombre de masse $A = 150$ peuvent-ils simultanément correspondre à ceux d'un noyau stable ?



Emissions radioactives

1. La radioactivité : un phénomène nucléaire

On appelle radioactivité l'émission de particules de grande énergie par des noyaux peu stables : ces noyaux se transforment et, au cours de la transformation, les particules de grande énergie sont éjectées du noyau.

C'est la grande énergie des particules émises qui a permis de comprendre, dès la découverte de la radioactivité par Becquerel en 1896, que la radioactivité était un phénomène nucléaire (dû à une transformation du noyau) et non un phénomène chimique qui n'aurait concerné que les couches électroniques de l'atome où les énergies mises en jeu sont beaucoup plus faibles.

On mesure la radioactivité avec des compteurs Geiger qui détectent le passage des particules émises, ou avec des films-dosimètres constitués d'une pellicule enfermée dans un boîtier opaque mais qui est impressionnée lorsque des particules traversent le boîtier.

Activité 15 Rechercher dans une encyclopédie comment Becquerel découvrit la radioactivité et à quels scientifiques on doit les premières études sur la radioactivité.

2. Activité d'une source radioactive

L'activité d'une source radioactive se mesure en becquerel (Bq), elle est égale au nombre de désintégrations radioactives par seconde.

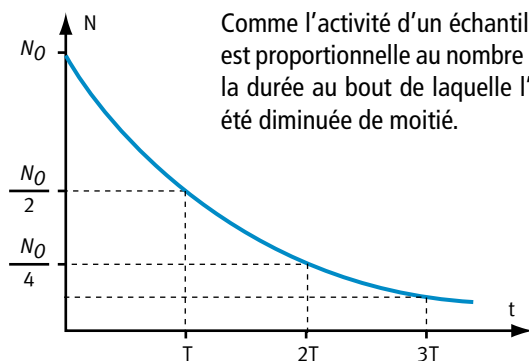
Ainsi, le corps humain, qui contient naturellement, un certain nombre d'atomes radioactifs a une activité naturelle d'environ 10000 becquerels. Les sources radioactives peuvent avoir des activités de quelques millions ou milliards de becquerel par gramme de substance.

L'activité A d'une source ne contenant qu'un seul type de noyaux radioactifs est proportionnelle au nombre N de noyaux radioactifs qu'elle contient.

Remarque : ne pas confondre l'activité d'une source avec le nombre de masse d'un nucléide, même si on les désigne tous les deux par la lettre A !

3. Demi-vie d'un nucléide

On appelle demi-vie T d'un nucléide le temps au bout duquel la moitié des noyaux radioactifs a été désintégrée.



Comme l'activité d'un échantillon (ne contenant qu'une seule sorte de nucléide) est proportionnelle au nombre de noyaux radioactifs, la demi-vie représente aussi la durée au bout de laquelle l'activité d'un échantillon contenant ces noyaux a été diminuée de moitié.

Ainsi, la courbe ci-contre représente le nombre N de noyaux non désintégrés dans un échantillon.

Initialement, l'échantillon contenant N_0 noyaux radioactifs identiques de demi-vie T , il ne restera plus que $\frac{N_0}{2}$ noyaux non désintégrés au bout d'une durée égale à T , seulement $\frac{N_0}{4}$ au bout d'une durée égale à $2T$ et ainsi de suite, le nombre de noyaux non désintégrés étant à nouveau divisé par deux lors de chaque durée supplémentaire égale à une demi-vie.

La courbe de décroissance radioactive, représentant les variations en fonction du temps du nombre de noyaux non désintégrés, a finalement l'allure représentée sur la figure ci-dessus. On obtiendrait une courbe semblable en représentant les variations de l'activité d'un échantillon en fonction du temps.

Remarque

La demi-vie est aussi appelée parfois «période de désintégration», mais c'est un terme impropre puisqu'il ne s'agit pas d'un phénomène évoluant de façon périodique.

Activité 16

Compléter la courbe de la figure ci-dessus en indiquant le nombre de noyaux non désintégrés au bout d'une durée égale à trois fois la demi-vie.

Activité 17

On dispose d'un échantillon ne contenant qu'un seul type de noyaux radioactifs de demi-vie égale à une semaine. Si l'activité initiale de l'échantillon vaut $8,00 \cdot 10^8$ Bq, combien vaudra-t-elle au bout d'une semaine ? De trois semaines ? de cinq semaines ?



Les différents types de radioactivité

1. Radioactivité α

Un nucléide est dit radioactif α (prononcer «alpha»), s'il se transforme en émettant une particule α composée de deux protons et de deux neutrons. Comme cette particule α n'est autre qu'un noyau d'hélium, on l'appelle aussi parfois «hélium» et on la représente par : ${}^4_2\text{He}$.

La radioactivité α concerne les noyaux les plus lourds qui ont trop de nucléons.

Le noyau père (celui qui a émis la particule) a donc perdu deux protons : le nombre de charge diminue de deux unités, il a aussi perdu deux neutrons, soit au total quatre nucléons : le nombre de masse diminue de quatre unités. Si on note Z le nombre de charge du noyau père et A son nombre de masse, le noyau-fils (c'est-à-dire le noyau restant après l'émission radioactive) aura donc pour nombre de charge $Z-2$ et pour nombre de masse $A-4$.

On représente donc cette désintégration par l'équation :
$${}^A_ZX \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}X + {}^4_2\text{He}$$

Activité 18 Ecrire l'équation de la désintégration α du Polonium 210 : ${}^{210}_{84}\text{Po}$ et de l'uranium 238 : ${}^{238}_{92}\text{U}$ (il vous faudra rechercher les symboles des noyaux fils dans un tableau périodique des éléments).

2. Radioactivité β^-

Un nucléide est dit radioactif β^- (prononcer «bêta moins»), s'il se transforme en émettant un électron. Comme l'électron possède une charge électrique opposée à celle du proton, on lui attribue un nombre de charge égal à -1 et on lui attribue un nombre de masse nulle puisqu'il n'y a pas de nucléons dans un électron.

Il peut paraître bien étonnant qu'un électron puisse sortir du noyau puisque celui-ci n'en contient pas ! En fait, l'émission d'un électron correspond à la transformation dans le noyau d'un neutron en un proton plus un électron, ce qu'on écrit en notant

«p» le proton, «n» le neutron et «e» l'électron : ${}_0^1n \rightarrow {}_1^1p + {}_{-1}^0e$.

La radioactivité β^- concerne les noyaux instables à cause d'un excès de neutrons.

Globalement, le noyau père et le noyau fils posséderont le même nombre de masse (proton et neutron sont tous deux des nucléons) mais le nombre de charge du noyau fils sera supérieur d'une unité : il aura gagné un proton.

On représente donc cette désintégration par l'équation :
$${}^A_ZX \rightarrow {}^A_{Z+1}X + {}_{-1}^0e$$

Remarque Une autre particule que l'électron est émise : un antineutrino. Le nombre de charge de cette particule est nul, ainsi que son nombre de masse. Nous ne mentionnerons pas cette particule dans les équations.

Activité 19 L'équation de la désintégration β^- du Césium 139 : ${}^{139}_{55}\text{Cs}$ et du phosphore 32 : ${}^{32}_{15}\text{P}$.

3. Radioactivité β^+

Un nucléide est dit radioactif β^+ (prononcer «bêta plus»), s'il se transforme en émettant un positon. Le positon n'existe pas naturellement et la radioactivité β^+

ne s'observe que sur des noyaux artificiels (obtenus en bombardant, avec des particules, des noyaux existant naturellement).

Comme le positon possède une charge électrique opposée à celle de l'électron, donc égale à celle du proton, on lui attribue un nombre de charge égal à +1 et, comme sa masse est la même que celle de l'électron, on lui attribue un nombre de masse nulle (il n'y a pas de nucléons dans un positon !).

Il peut, là aussi, paraître bien étonnant qu'un positon puisse sortir du noyau puisque celui-ci n'en contient pas ! En fait, l'émission d'un positon correspond à la transformation dans un noyau très énergétique (obtenu artificiellement) d'un proton en un neutron plus un positon, ce qu'on écrit en notant «n» le neutron,

«p» le proton et «e» le positon : ${}_1^1p \rightarrow {}_0^1n + {}_1^0e$

La radioactivité β^+ concerne les noyaux instables à cause d'un excès de protons.

Globalement, le noyau père et le noyau fils contiennent le même nombre de masse mais le nombre de charge du noyau fils sera inférieur d'une unité : il a perdu un proton.

On représente donc cette désintégration par l'équation : ${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z-1}^AX + {}_1^0e$

Remarque 1 on désigne par la même lettre «e» l'électron et le positon, mais on les distingue aisément par la valeur de leur nombre de charge.

Remarque 2 une autre particule que l'électron est émise : un neutrino. Le nombre de charge de cette particule est nul, ainsi que son nombre de masse. Nous ne mentionnerons pas cette particule dans les équations.

Activité 20 Ecrire l'équation de la désintégration β^+ du phosphore ${}_{15}^{30}\text{P}$ et de l'azote ${}_{7}^{13}\text{N}$.

4. Émission γ

La plupart des réactions radioactives (α , β^- et β^+) s'accompagnent de l'émission d'un rayonnement γ (prononcer «gamma»). Il ne s'agit pas à proprement parler de l'émission d'une particule matérielle mais d'un rayonnement électromagnétique de même nature que la lumière visible mais de bien plus grande énergie (de plus courte longueur d'onde). Le noyau obtenu à l'issue d'une désintégration α ou β est souvent dans un état excité : il possède trop d'énergie (on le note alors avec un astérisque : ${}_Z^AX^*$) et il perd cet excès d'énergie en émettant un rayonnement γ .

Comme il ne s'agit pas de l'émission de particules matérielles (même si l'on peut considérer que les rayonnements électromagnétiques sont constitués de particules appelées photons, ces particules n'ont ni masse ni charge), il n'y a pas lieu d'écrire d'équation pour illustrer l'émission γ , mais il faut savoir que ces rayonnements très énergétiques qui accompagnent la plupart des réactions nucléaires sont très dangereux par leur capacité à détruire les cellules vivantes (ils sont utilisés pour détruire des cellules malades en radiothérapie).

5. Dangers de la radioactivité

Les substances radioactives émettent des rayonnements ionisants, c'est-à-dire susceptibles d'arracher des électrons ou même de briser les molécules qu'ils rencontrent. Tous les rayonnements ionisants sont dangereux car ils peuvent réagir avec les molécules des tissus biologiques qu'ils traversent. Au niveau de la cellule, la lésion de l'ADN peut provoquer la mort de la cellule ou entraîner des mutations dans la transmission génétique.

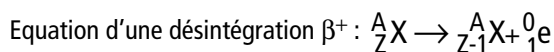
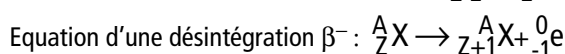
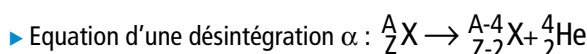
Il existe une irradiation naturelle due aussi bien au rayonnement cosmique qu'à la radioactivité naturelle des roches (différente selon les sols), et même une radioactivité naturelle d'environ dix mille becquerels émise par un corps humain (par le potassium qu'il contient). A des doses très faibles et du fait des capacités régénératrices des cellules, la radioactivité reste inférieure au seuil d'apparition d'effets significatifs mais la mise en présence d'objets contaminés peut provoquer de graves maladies ou le même le décès des personnes irradiées selon la dose reçue.

Résumé

- ▶ Tous les phénomènes observables dans l'univers peuvent être attribués à quatre interactions fondamentales : gravitation, interaction électromagnétique, interaction nucléaire forte et interaction nucléaire faible.
- ▶ La valeur de l'interaction électrique entre deux particules de charges électriques respectives q et q' séparées par une distance d se calcule par la loi de Coulomb :

$$F = k \cdot \frac{|q \cdot q'|}{d^2} \quad \text{avec } k = 9 \cdot 10^9 \text{ SI}$$

- ▶ Le noyau de l'atome contient des protons et des neutrons. On appelle nombre de charge Z le nombre de protons et nombre de masse A le nombre total de nucléons (protons et neutrons).
- ▶ Les ordres de grandeur des masses d'un nucléon et de l'électron sont respectivement 10^{-27} kg et 10^{-31} kg.
On peut donc considérer que toute la masse de l'atome est localisée dans son noyau.
- ▶ Toute charge électrique peut s'exprimer en fonction de la charge élémentaire e qui correspond à la charge du proton et est la plus petite charge électrique que l'on peut rencontrer dans la nature.
- ▶ Deux nucléides isotopes sont caractérisés par un même nombre de charge et un nombre de masse différent (même nombre de protons mais nombre différent de neutrons).



L'émission γ consiste en un rayonnement électromagnétique de haute énergie.

- ▶ L'activité A d'un échantillon radioactif mesure le nombre de désintégrations par unité de temps. Elle s'exprime en becquerel (Bq) et se mesure à l'aide d'un compteur Geiger.
- ▶ On appelle demi-vie T d'un nucléide le temps au bout duquel la moitié des noyaux radioactifs a été désintégrée. Comme l'activité d'un échantillon est proportionnelle au nombre de noyaux radioactifs, la demi-vie représente aussi la durée au bout de laquelle l'activité d'un échantillon contenant ces noyaux a été diminuée de moitié.
- ▶ Tous les rayonnements ionisants sont dangereux car ils sont susceptibles de léser les tissus biologiques qu'ils traversent.

Exercices

Exercice 1 Cohésion de la matière

Lire attentivement le texte ci-dessous avant de répondre aux questions qui le suivent.

« À l'échelle astronomique, ce sont les forces gravitationnelles qui expliquent la structure de l'univers. C'est en effet la force gravitationnelle qui explique le mouvement de la Terre autour du Soleil en courbant sans cesse sa trajectoire de façon à ce qu'elle décrive un cercle alors que sans cette force, elle irait en ligne droite se perdre dans l'espace infini.

À l'échelle de l'atome, ce sont les forces électriques qui expliquent la structure de la matière : en effet, les forces gravitationnelles entre particules sont négligeables par rapport aux forces électriques. Ce sont donc les forces électriques qui permettent d'expliquer les réactions chimiques entre les différents atomes et de comprendre les arrangements entre atomes pour former des solides.

À l'échelle du noyau, c'est l'interaction forte qui explique la stabilité du noyau. Sans elle, les noyaux seraient dissociés par les forces électriques répulsives entre les protons. Mais l'interaction forte est à courte portée : elle n'intervient entre les nucléons que lorsqu'ils sont très proches les uns des autres, c'est-à-dire à des distances correspondant aux dimensions du noyau, donc de l'ordre de 10^{-14}m ».

- 1 Comment peut-on expliquer que seules les forces gravitationnelles interviennent à l'échelle astronomique alors qu'à l'échelle de l'atome les forces électriques sont plus importantes que les forces gravitationnelles (entre deux particules chargées).
- 2 Connaissant les valeurs des constantes $k = 9 \cdot 10^9 \text{ S.I.}$ et $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ S.I.}$, comparer la force gravitationnelle et la force électrique s'exerçant entre un ion potassium K^+ de masse $6,5 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$ et de charge $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ et un ion iodure I^- de masse $2,1 \cdot 10^{-25} \text{ kg}$ et de charge $-1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ situés à une distance d l'un de l'autre. En quoi ce résultat est-il conforme au texte qui précède ?
- 3 Dans un cristal d'iodure de potassium, chaque ion K^+ se trouve à une distance $d = 350 \text{ pm}$ de l'ion iodure I^- le plus proche ($1 \text{ pm} = 10^{-12} \text{ m}$).
De quelle nature est l'interaction entre ces deux ions dans le cristal : gravitationnelle, électrique ou interaction forte ? Le noyau de l'atome d'hélium

Exercice 2 Le noyau de l'atome d'hélium

On étudie le noyau d'un atome d'hélium contenant deux protons (portant chacun une charge égale à $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$) et deux neutrons. La distance entre deux nucléons peut être estimée à 10^{-15} m .

- ❶ Connaissant $k = 9 \cdot 10^9$ S.I., calculer la force électrique entre deux protons de ce noyau.
- ❷ Comment peut-on expliquer qu'en dépit de cette force répulsive, le noyau soit stable ?

Exercice 3 Isotopes de l'hydrogène

L'hydrogène naturel est essentiellement constitué d'hydrogène 1 dont le noyau ne contient qu'un proton, mais il existe aussi l'hydrogène 2 ou deutérium dont le noyau contient un proton et un neutron et l'hydrogène 3 ou tritium, dont le noyau contient un proton et deux neutrons.

Ecrire ces trois isotopes sous la forme : A_ZX .

Exercice 4 Couples d'isotopes

Associer par couples d'isotopes les différents nucléides énumérés ci-dessous :

${}^{59}_{27}X$; ${}^{238}_{92}X$; ${}^{63}_{29}X$; ${}^{38}_{18}X$; ${}^{56}_{26}X$; ${}^{55}_{26}X$; ${}^{65}_{29}X$; ${}^{235}_{92}X$; ${}^{58}_{27}X$; ${}^{35}_{17}X$; ${}^{40}_{18}X$; ${}^{37}_{17}X$.

Dans la réponse, on remplacera (à l'aide d'un tableau périodique) la lettre X par le symbole de l'élément chimique auquel appartient chaque nucléide.

Exercice 5 Stabilité des noyaux

Dans cet exercice, on note Z le nombre de charge et N le nombre de neutrons dans le noyau.

Les noyaux stables (ceux qui ne se décomposent pas par radioactivité naturelle) ont à peu près autant de neutrons que de protons : $N = Z$ tant que Z est inférieur à 30 mais le nombre de neutrons est supérieur au nombre de protons pour les noyaux plus lourds.

Attention : ceci ne constitue qu'une vague indication de la zone dans laquelle on trouve les noyaux stables dans un diagramme sur lequel on porte N en ordonnée et Z en abscisse (il serait utile de regarder dans un manuel de physique le diagramme complet). En fait, les noyaux stables, forment dans le diagramme (N, Z) une zone dite «vallée de stabilité».

- ❶ Les nucléides radioactifs β^- sont caractérisés par un excès de neutrons. Où se situe un tel nucléide, sur un diagramme (N, Z) par rapport à un noyau stable de même nombre de charge ? Représenter sur le même diagramme le noyau père et le noyau fils. L'émission radioactive a-t-elle entraîné un rapprochement ou un éloignement par rapport à la «vallée de stabilité» ?
- ❷ Les nucléides radioactifs β^+ sont caractérisés par un défaut de neutrons. Où se situe un tel nucléide, sur un diagramme (N, Z) par rapport à un noyau stable de même nombre de charge ? Représenter sur le même diagramme le noyau père et le noyau fils. L'émission radioactive a-t-elle entraîné un rapprochement ou un éloignement par rapport à la «vallée de stabilité» ?

- ③ Les deux groupes de trois nucléides ci-dessous sont constitués d'un nucléide stable, indiqué en premier, et de deux nucléides radioactifs (l'un est radioactif β^- et l'autre β^+).

Préciser, pour chaque nucléide radioactif, le type de radioactivité observée et écrire l'équation de désintégration.

Isotopes de l'iode : $^{127}_{53}\text{I}$; $^{119}_{53}\text{I}$; $^{133}_{53}\text{I}$; isotopes du carbone : $^{12}_6\text{C}$; $^{11}_6\text{C}$; $^{14}_6\text{C}$.

Exercice 6 Équations de désintégrations radioactives.

En vous aidant d'un tableau périodique, écrire les équations de désintégration radioactives des nucléides suivants :

$^{226}_{88}\text{Ra}$ (radioactivité α)

$^{137}_{55}\text{Cs}$ (radioactivité β^-)

$^{30}_{15}\text{P}$ (radioactivité β^+)

$^{218}_{84}\text{Po}$ (trois équations à écrire décrivant trois désintégrations successives: émission d'une particule α , puis émission par le noyau-fils d'une particule β^- suivie d'une nouvelle émission β^-)

Exercice 7 Isotope 131 de l'iode

L'iode 131 : $^{131}_{53}\text{I}$ est radioactif β^- .

- ① Écrire l'équation de sa désintégration radioactive.
- ② On appelle constante radioactive λ (exprimée en s^{-1}) le quotient de l'activité d'une source (exprimée en Bq) par le nombre de noyaux radioactifs qu'elle contient. Sachant qu'une source contenant $1,0 \cdot 10^{10}$ noyaux d'iode 131 a une activité de $1,0 \cdot 10^4$ Bq, calculer la constante radioactive de ce nucléide.
- ③ La demi-vie T d'un nucléide, exprimée en secondes, dépend de sa constante radioactive λ (exprimée en s^{-1}) selon la relation : $T = \frac{0,69}{\lambda}$. Calculer, en jours, la demi-vie de l'iode 131. Quelle sera l'activité de la source mentionnée à la question 2 au bout de 16 jours ?

Exercice 8 Activité d'un échantillon de plomb 212

On mesure, à différentes dates, l'activité d'un échantillon contenant initialement $N_0 = 1,0 \cdot 10^{12}$ noyaux de plomb 212 : $^{212}_{82}\text{Pb}$ qui est radioactif β^- . Les résultats sont consignés dans le tableau ci-après:

Activité (en 10^6 Bq)	18,0	16,9	14,8	12,2	10,0	8,2	6,7	5,5	3,7	2,5	1,8	1,3
Date (en heures)	0	1	3	6	9	12	15	18	24	30	35	40

- 1 Tracer la courbe représentant les variations de l'activité en fonction du temps.
- 2 Expliquer pourquoi cette courbe a la même allure que la courbe représentant le nombre de noyaux non désintégrés en fonction du temps.
- 3 On appelle constante radioactive λ (exprimée en s^{-1}) le quotient de l'activité d'une source (exprimée en Bq) par le nombre de noyaux radioactifs qu'elle contient. Calculer la constante radioactive du plomb 212 à partir de la valeur initiale de l'activité.
- 4 Dédurre de la courbe la demi-vie de ce nucléide. Vérifier que ce résultat est compatible avec la valeur de la constante radioactive déterminée à la question précédente sachant que le produit de la constante radioactive λ (exprimée en s^{-1}) par la demi-vie (exprimée en s) vaut toujours 0,69, quel que soit le nucléide radioactif.

Exercice 9 Datation et radioactivité

Le carbone 14, produit en faible quantité dans la haute atmosphère, est absorbé sous forme de dioxyde de carbone, par les végétaux. Comme les plantes (et tout organisme vivant) absorbent du dioxyde de carbone, elles contiennent, comme l'atmosphère, une très faible proportion de carbone 14. Cette proportion reste constante pendant toute la durée de vie de la plante car elle absorbe constamment du dioxyde de carbone, mais la proportion chute dès que la plante meurt car le

carbone 14 est radioactif β^- et se désintègre avec une demi-vie $T = 5700$ ans. On peut mesurer ainsi l'activité d'un objet fossile et la comparer à l'activité de la plante vivante ayant servi à élaborer cet objet.

- 1 Ecrire l'équation de désintégration du carbone 14 : $^{14}_6\text{C}$.
- 2 Expliquer pourquoi la proportion de carbone 14 par rapport au carbone 12 est constante dans un arbre vivant et pourquoi elle diminue quand l'arbre a été abattu.
- 3 Au bout de combien de temps la proportion de carbone 14 aura-t-elle diminué de moitié ?
- 4 Il existe d'autres méthodes de datation basée sur l'étude de la radioactivité. Ainsi, la transmutation de l'isotope 40 du potassium en argon avec une demi-vie de 1,5 milliard d'années, permet de dater la roche en comparant les quantités de potassium 40 et d'argon (généralement retenu dans la roche). Comparer les demi-vies du carbone 14 et du potassium 40. Sont-ils utilisables pour des datations concernant les mêmes tranches d'âge ?

Exercice 10 Radioactivité de l'iode

Lors de la catastrophe de Tchernobyl, de nombreux corps radioactifs ont été rejetés dans l'atmosphère, en particulier de l'iode 131 qui est émetteur β^- et γ (demi vie = 8 jours).

- ① Ecrire l'équation de cette désintégration radioactive.
- ② L'iode 131 déposé par le nuage radioactif peut ensuite être ingéré sous forme d'aliment. Dans l'organisme, l'iode se fixe préférentiellement sur la thyroïde.
 - Pourquoi la radioactivité est-elle dangereuse pour les organismes vivants ?
 - Pour la protection des populations, il est prévu de distribuer, en cas d'accident nucléaire, des comprimés contenant un isotope non radioactif de l'iode. Quel est l'intérêt de cette mesure de protection ?

Dissolution des solides

Objectifs

- ▶ Connaître les interactions responsables de la solidité des solides ioniques ou moléculaires
- ▶ Savoir interpréter les mécanismes de dissolution d'un solide
- ▶ Savoir calculer les concentrations des espèces dissoutes
- ▶ Connaître l'effet d'une dilution sur la concentration

A

Solide ionique

1. Ions monoatomiques

Constitution d'un atome

La matière est constituée d'atomes, chaque atome contient un noyau autour duquel se trouve le nuage d'électrons.

Les particules du noyau sont appelées nucléons, il en existe deux sortes : les protons chargés positivement et les neutrons qui ne portent pas de charge électrique.

Les électrons se trouvent autour du noyau, chacun porte une charge négative qui compense exactement celle d'un proton.

La charge d'un proton est appelée charge élémentaire : on la note « $+e$ » (elle vaut $1,6 \cdot 10^{-19}$ C, l'unité de charge électrique est le Coulomb, noté C). La charge d'un électron vaut donc : $-e$.

Comme dans un atome, le nombre d'électrons est égal au nombre de protons du noyau (ce nombre est appelé nombre de charge ou numéro atomique), l'atome est, globalement, électriquement neutre.

Activité 1

Un atome d'aluminium possède, dans son noyau, 13 protons et 14 neutrons. Combien y a-t-il d'électrons autour du noyau ? Indiquer, en fonction de la charge élémentaire e , quelle est la charge électrique du noyau et quelle est la charge électrique de l'atome.

Constitution d'un ion monoatomique

Un ion monoatomique est un atome qui a perdu ou gagné un ou plusieurs électrons. Il n'est donc plus neutre.

Un atome dont le symbole est X et qui gagne un électron devient un ion X^- car il possède un électron de plus autour du noyau que de protons dans le noyau et porte donc globalement une charge « $-e$ ». Si l'atome X gagne deux électrons, il devient un ion X^{2-} et de même X^{3-} s'il en gagne trois.

Un atome dont le symbole est Y et qui perd un électron devient un ion Y^+ car il possède un électron de moins autour du noyau que de protons dans le noyau et porte donc globalement une charge « $+e$ ». Si cet atome Y perd deux électrons, il devient un ion Y^{2+} et de même Y^{3+} s'il en perd trois.

Activité 2 Un atome d'aluminium possède, dans son noyau, 13 protons et 14 neutrons. Comment sera noté l'ion obtenu lorsque cet atome aura perdu trois électrons ?

Structure électronique d'un ion monoatomique

Les éléments chimiques de numéro atomique inférieur ou égal à 20 ne forment qu'un seul type d'ion monoatomique et cet ion, selon la règle du duet et de l'octet, possède une dernière couche électronique avec deux ou huit électrons. Pour acquérir cette dernière couche électronique, l'atome peut perdre ou gagner un, deux ou trois électrons.

Ainsi, l'atome de sodium Na, de numéro atomique $Z = 11$, a pour structure électronique : $(K)^2(L)^8(M)^1$ et il aura tendance à perdre un électron pour donner l'ion Na^+ de structure électronique : $(K)^2(L)^8$.

Suivant la même règle, l'atome de soufre S, de numéro atomique $Z = 16$, a pour structure électronique : $(K)^2(L)^8(M)^6$ et il aura tendance à gagner deux électrons pour donner l'ion S^{2-} de structure électronique : $(K)^2(L)^8(M)^8$.

Les éléments chimiques de numéro atomique plus élevé ont une structure électronique plus complexe, nous retiendrons simplement que certains peuvent donner plusieurs sortes d'ions ; ainsi le fer peut donner l'ion Fer(II) : Fe^{2+} ou l'ion Fer(III) : Fe^{3+} .

Activité 3 Quel ion donne un atome de lithium ($Z = 3$) ? Même question pour l'atome de chlore ($Z = 17$).

2. Ions polyatomiques

Un ion polyatomique est un groupe d'atomes (unis par des liaisons de covalence) qui ont perdu ou gagné un ou plusieurs électrons.

Ainsi l'ion sulfate : SO_4^{2-} est formé d'un atome de soufre et de quatre atomes d'oxygène et ce petit groupement de cinq atomes a gagné deux électrons.

De même, l'ion hydroxyde : OH^- est une association de deux atomes (l'un d'oxygène, l'autre d'hydrogène) qui a gagné un électron.

Quant à l'ion ammonium : NH_4^+ , il est formé d'un atome d'azote et de quatre atomes d'hydrogène et cet ensemble a perdu un électron.

Activité 4 Combien d'atomes constituent l'ion H_3O^+ ? Quelle charge porte cet ion ? Mêmes questions pour l'ion nitrate NO_3^- .

3. Structure d'un solide ionique

Un solide ionique est constitué d'ions positifs (cations) et d'ions négatifs (anions). Les charges électriques des cations et des anions se compensent, si bien que le solide est électriquement neutre.

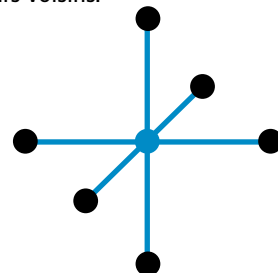
Ainsi, le chlorure de sodium solide contient autant d'ions Cl^- que d'ions Na^+ alors que le chlorure de magnésium contient deux fois plus d'ions Cl^- que d'ions Mg^{2+} .

Dans un solide ionique, les ions sont régulièrement répartis, si bien qu'ils sont tous retenus par les interactions électrostatiques avec leurs voisins.

Par exemple, supposons que, sur le schéma ci-contre, l'ion central représenté en bleu soit un ion

Na^+ . Il est attiré aussi bien par l'ion Cl^- qui se trouve au-dessus que par celui qui se trouve au-dessous, aussi bien par l'ion Cl^- qui est à droite que par celui qui est à gauche, aussi bien par l'ion

Cl^- qui est devant que par celui qui est derrière. Il se trouve donc piégé par les six ions chlorure et de même, en poursuivant la figure, on verrait que chaque ion chlorure est piégé par six ions sodium. L'ensemble est très stable et il faut atteindre des températures élevées pour faire détruire cet édifice et faire fondre les solides ioniques.



Activité 5 Combien d'ions ammonium NH_4^+ s'associent avec un ion phosphate PO_4^{3-} pour former le solide ionique appelé phosphate d'ammonium ?

Activité 6 En prenant une longueur de liaison de 0,35 nm, déterminer la valeur de l'interaction électrique entre un ion ammonium et un ion phosphate.

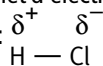
Donnée : $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; $k = 9 \cdot 10^9 \text{ SI}$

1. Électronégativité

Nous savons qu'une liaison de covalence résulte de la mise en commun entre deux atomes d'un doublet d'électrons. Ainsi, dans la molécule de chlorure d'hydrogène, l'électron appartenant à l'atome d'hydrogène est mis en commun avec un électron appartenant à l'atome de chlore.

On représente alors la liaison par un trait entre les deux atomes : H-Cl.

Mais l'atome de chlore a une plus grande électronégativité que l'atome d'hydrogène : cela signifie qu'il attire davantage à lui le doublet d'électrons que ne le fait l'atome d'hydrogène ; la liaison est dissymétrique, on l'appelle liaison polarisée : tout se passe comme si l'atome de chlore portait une petite charge négative et l'atome d'hydrogène, une petite charge positive. Attention : l'atome de chlore n'a pas pris l'électron de l'atome d'hydrogène, sans quoi, on obtiendrait deux ions. Il y a bien mise en commun d'électrons, mais cette mise en commun n'est pas égalitaire. Pour représenter cette répartition inégale du doublet d'électrons, on peut écrire la molécule de chlorure d'hydrogène sous la forme :



On indique ainsi clairement que la molécule, électriquement neutre, présente un côté légèrement positif et un côté légèrement négatif. On dit alors que la molécule est polaire.

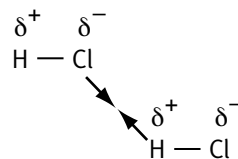
Remarque

il existe des tables donnant l'électronégativité des différents éléments, mais leur utilisation ne nous sera pas nécessaire pour la suite de ce cours.

2. Interactions entre molécules

Lorsqu'une molécule présente ainsi un côté légèrement positif et un côté légèrement négatif, il y a des interactions électrostatiques entre les différentes molécules.

Ces interactions sont appelées interactions de van der Waals.



La figure ci-contre représente de telles interactions entre deux molécules de chlorure d'hydrogène (nous n'avons représenté que les forces (attractives) entre les deux atomes les plus proches).

Lorsque ces interactions concernent un atome d'hydrogène et un autre atome, on parle de «liaison hydrogène» (alors qu'il ne s'agit pas vraiment d'une liaison, mais d'une simple attraction électrostatique).

Remarque

Les forces de Van Der Waals permettent d'expliquer que des petits objets électriquement neutres soient attirés par une tige chargée électriquement. Supposons que la tige soit chargée positivement (on lui a arraché des électrons en la frottant énergiquement) : les molécules polaires des petits objets s'orientent de façon à présenter à la tige leur côté négatif, et ils sont alors attirés.

3. Structure d'un solide moléculaire

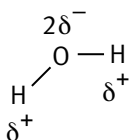
Dans un solide moléculaire (comme la glace), la solidité de l'édifice est assuré par les interactions électrostatiques entre molécules voisines, interactions entre les petites charges électriques portées par les différents atomes du fait de la différence d'électronégativité entre ces atomes.

La cohésion des solides moléculaires est inférieure à celle des solides ioniques.



Dissolution dans l'eau

1. L'eau est un solvant polaire



La molécule d'eau est formée d'un atome d'oxygène lié par deux liaisons de covalence avec deux atomes d'hydrogène. Mais ces deux liaisons sont polarisées, car l'atome d'oxygène est plus électronégatif qu'un atome d'hydrogène : ainsi, chaque atome d'hydrogène porte une petite charge positive δ^+ alors que l'atome d'oxygène porte une charge négative $2\delta^-$. Or, la molécule d'eau est « coudée » (les trois atomes ne sont pas alignés, si bien que la molécule est polaire : on peut l'assimiler pour ses propriétés électriques à un dipôle, c'est-à-dire à un ensemble de deux charges électriques : une charge négative portée par l'atome d'oxygène et une charge positive qui serait située au milieu des deux atomes d'hydrogène.

Activité 7

Comment peut-on expliquer que la molécule d'ammoniac NH_3 soit une molécule polaire et pas la molécule de méthane CH_4 ? Dans ces deux molécules, les liaisons sont polarisées : chaque atome d'hydrogène porte une petite charge positive et les atomes de Carbone et d'azote une petite charge négative.

2. Mécanisme de la dissolution dans l'eau

Lorsqu'on place un solide ionique dans de l'eau, les interactions électriques entre les molécules d'eau et les ions du solide entraînent une dislocation du cristal ionique : les ions quittent le solide pour s'éparpiller parmi les molécules d'eau. Cette dissolution du cristal s'accompagne généralement d'un autre phénomène,

appelé solvatation ou hydratation : les ions agglutinent autour d'eux, par interaction électrostatique, plusieurs molécules d'eau si bien que chaque ion se déplace avec, autour de lui, plusieurs molécules d'eau (on le précise parfois en ajoutant le préfixe «aqueux» entre parenthèse et en indice après le symbole chimique de l'ion)

Dans le cas d'un composé moléculaire et non ionique, il peut y avoir dissolution dans l'eau si ce composé contient des liaisons polarisées qui vont entraîner l'existence d'interactions électriques entre les atomes de ce composé et les molécules d'eau. Dans ce cas, le composé est dit «hydrophile», mais certaines molécules sont «hydrophobes» : elles ne se dissolvent pas dans l'eau. Les détergents sont des molécules dont une extrémité est **hydrophile** (attirant l'eau) et qui possèdent une longue chaîne (constituée d'atomes de carbone et d'hydrogène) **hydrophobe** (attirant les **lipides** : huiles et graisses).

Activité 8 Un détergent est un composé chimique doté de propriétés **tensioactives** qui permettent de former des micelles avec les salissures qui sont ainsi emportées par l'eau de lavage. Rechercher, dans une encyclopédie, ce qu'on appelle des micelles et quelles propriétés particulières des tensio-actifs permettent leur formation.

3. Équation de la dissolution dans l'eau d'un composé ionique

Les composés ioniques, lorsqu'ils sont solides, s'écrivent sans préciser les charges des ions comme s'il s'agissait de molécules. On traduit ainsi le fait que les ions sont prisonniers les uns des autres. En revanche, quand le solide est dissous, on écrit les ions séparément, en précisant leurs charges.

Ainsi, le phosphate de sodium contient 3 ions Na^+ pour chaque ion phosphate PO_4^{3-} . On l'écrit sous la forme : Na_3PO_4 quand il est solide et $3\text{Na}^+ + \text{PO}_4^{3-}$ quand il est dissous.

L'équation de dissolution s'écrit donc : $\text{Na}_3\text{PO}_4 \rightarrow 3\text{Na}^+ + \text{PO}_4^{3-}$

De même le sulfate de fer(III) contient 2 ions Fe^{3+} pour trois ions sulfate SO_4^{2-} . On l'écrit sous la forme : $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ quand il est solide et $2\text{Fe}^{3+} + 3\text{SO}_4^{2-}$ quand il est dissous.

L'équation de dissolution s'écrit donc : $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \rightarrow 2\text{Fe}^{3+} + 3\text{SO}_4^{2-}$.

Activité 9 Écrire l'équation de dissolution dans l'eau du chlorure de fer(III) sachant que ce composé ionique contient les ions Fe^{3+} et Cl^- .

Même question, pour le sulfate de potassium constitué d'ions K^+ et SO_4^{2-} .



Concentration d'une solution aqueuse

1. Rappels : notion de quantité de matière

La masse molaire s'obtient en additionnant les masses molaires atomiques de chacun des atomes qui constituent la molécule, l'ion ou le composé ionique que l'on étudie.

Ainsi, connaissant les masses molaires des trois éléments suivants :

Sodium : $M_{\text{Na}} = 23,0 \text{ g.mol}^{-1}$; Oxygène : $M_{\text{O}} = 16,0 \text{ g.mol}^{-1}$; Soufre : $M_{\text{S}} = 32,1 \text{ g.mol}^{-1}$

On peut en déduire que la masse molaire de l'ion sulfate SO_4^{2-} vaut :

$32,1 + 4 \times 16,0 = 96,1 \text{ g.mol}^{-1}$ alors que la masse molaire du sulfate de sodium

Na_2SO_4 vaut : $2 \times 23 + 32,1 + 4 \times 16,0 = 142,1 \text{ g.mol}^{-1}$.

Lorsqu'on utilise une masse m d'un composé (ionique ou moléculaire) dont la masse molaire est notée M , la quantité de matière utilisée vaut : $n = \frac{m}{M}$ et elle s'exprime en moles (abréviation mol).

Activité 10

La masse molaire du sulfate de sodium vaut : $M = 142,1 \text{ g.mol}^{-1}$.

Quelle quantité de matière contient un échantillon de sulfate de sodium de masse 25,0 g ?

2. Concentration molaire, concentration massique

Si un volume V de solution contient une quantité de matière dissoute n d'une espèce chimique X, la concentration molaire C de cette espèce chimique dans la

solution vaut : $C = \frac{n}{V}$, elle s'exprime en mol.L^{-1} .

Si on note m la masse de cette espèce chimique X dans un volume V de solution, la concentration massique C_m de cette espèce chimique dans la solution vaut :

$C_m = \frac{m}{V}$, elle s'exprime en g.L^{-1} .

La concentration massique, en g.L^{-1} , est aussi égale au produit de la concentration molaire, en mol.L^{-1} , par la masse molaire M (en g.mol^{-1}) de l'espèce dissoute : $C_m = C.M$.

Activité 11

On dissout 17,1 g de saccharose dans de l'eau de façon à obtenir 50,0 mL de solution d'eau sucrée.

Déterminez la concentration molaire C du saccharose dans cette solution ainsi que la concentration massique C_m .

La masse molaire du saccharose vaut : $M = 342 \text{ g.mol}^{-1}$.

3. Application aux solutions ioniques

La concentration molaire de chaque ion obtenu lors de la dissolution d'un composé ionique dans l'eau est différente de la concentration molaire du composé ionique si chaque entité élémentaire du composé libère plusieurs ions.

Prenons l'exemple du sulfate de sodium Na_2SO_4 et supposons que nous disposions d'une solution de concentration molaire : $\bar{C} = 0,20 \text{ mol.L}^{-1}$ en sulfate de sodium.

La réaction de dissolution : $\text{Na}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2 \text{Na}^+ + \text{SO}_4^{2-}$ montre que chaque entité élémentaire Na_2SO_4 libère dans l'eau 2 ions Na^+ et un ion SO_4^{2-} .

La concentration molaire en ions sodium vaudra donc le double de la concentration C alors que la concentration molaire en ion sulfate sera égale à C . Comme les concentrations molaires ioniques s'écrivent en plaçant le symbole de l'ion entre crochets, on écrira :

Concentration molaire de l'ion sodium dans cette solution : $[\text{Na}^+] = 0,40 \text{ mol.L}^{-1}$.

Concentration molaire de l'ion sulfate dans cette solution : $[\text{SO}_4^{2-}] = 0,20 \text{ mol.L}^{-1}$.

4. Électroneutralité

Toutes les solutions aqueuses sont électriquement neutres. Ainsi une solution qui ne contiendrait que des ions phosphate : PO_4^{3-} et des ions ammonium : NH_4^+

aurait une concentration en ions ammonium $[\text{NH}_4^+]$ triple de la concentration en ions phosphate puisqu'il faut trois ions ammonium pour compenser la charge

électrique de l'ion phosphate $[\text{PO}_4^{3-}]$.

L'équation qui traduit cette obligation d'avoir une solution neutre s'appelle l'équation d'électroneutralité. Dans le cas d'une solution de phosphate d'ammonium,

cette équation s'écrit : $[\text{NH}_4^+] = 3 [\text{PO}_4^{3-}]$

Si on mélange dans une même solution du phosphate d'ammonium et du sulfate

de sodium, la solution contiendra quatre sortes d'ions PO_4^{3-} , NH_4^+ , Na^+ et SO_4^{2-} . L'équation d'électroneutralité s'écrira :

$$[\text{Na}^+] + [\text{NH}_4^+] = 3[\text{PO}_4^{3-}] + 2[\text{SO}_4^{2-}] .$$

Activité 12 On dispose d'une solution de sulfate de fer (III) de concentration $C = 5,0 \cdot 10^2 \text{ mol.L}^{-1}$.

Connaissant l'équation de dissolution : $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \rightarrow 2 \text{Fe}^{3+} + 3 \text{SO}_4^{2-}$, calculer les concentrations molaires en ions Fe^{3+} et en ions SO_4^{2-} dans cette solution. Vérifier que ces concentrations satisfont bien à l'équation d'électroneutralité.

5. Effet d'une dilution sur la concentration

La dilution d'une solution aqueuse consiste à en diminuer la concentration en ajoutant de l'eau.

La solution initiale, de concentration C_i et de volume V_i , est appelée solution mère, la solution finale, de concentration C_f et de volume V_f , est appelée solution fille.

La quantité de matière est une grandeur qui se conserve lors d'une dissolution dans l'eau et aussi lors d'une dilution (nous n'envisageons pas le cas d'une espèce chimique qui se transformerait en un produit différent par contact avec l'eau).

L'équation de conservation de la matière s'écrit alors : $C_i \cdot V_i = C_f \cdot V_f$

Activité 13 On dispose d'une solution aqueuse de diiode I_2 de concentration $5,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$. Quel volume de solution mère faut-il prélever pour obtenir, en ajoutant de l'eau à ce prélèvement, 50,0 mL de solution diluée de diiode de concentration $1,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$?

6. Préparation d'une solution ionique de concentration donnée

► Comment préparer, à partir d'un composé ionique solide, une solution ionique de concentration molaire donnée ?

Nous allons voir quel est le protocole opératoire sur l'exemple d'une solution de sulfate de cuivre(II) dont on souhaite obtenir une solution de volume de 100 mL et de concentration $C = 0,100 \text{ mol.L}^{-1}$.

La première étape consiste à peser soigneusement, avec une balance de précision, la masse m de sulfate de cuivre nécessaire.

On introduit ensuite le sulfate de cuivre ainsi prélevé dans une fiole jaugée de 100 mL et on ajoute de l'eau déminéralisée jusqu'aux trois quarts. Il faut ensuite boucher la fiole et agiter longuement pour dissoudre totalement le sulfate de cuivre. On complète ensuite, avec de l'eau déminéralisée et on ajuste avec une pissette jusqu'au trait de jauge.

Activité 14 Sachant que le sulfate de cuivre a pour formule CuSO_4 et que sa masse molaire vaut : $M = 159,6 \text{ g.mol}^{-1}$, quelle masse m de sulfate de cuivre faudrait-il utiliser dans l'exemple précédent ?

En fait, le sulfate de cuivre utilisé est pentahydraté, ce qui signifie que chaque mole de sulfate de cuivre CuSO_4 est accompagnée de cinq moles de molécules d'eau selon la formule $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

Sachant que la masse molaire de l'eau vaut $M' = 18,0 \text{ g.mol}^{-1}$, quelle masse m' faudra-t-il prélever dans l'exemple précédent ?

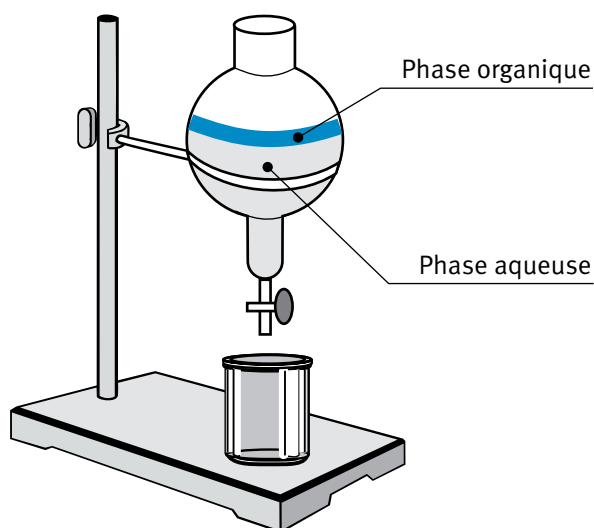
► Comment effectuer expérimentalement une dilution ?

Reprenons l'exemple précédent qui concernait une solution de sulfate de cuivre de concentration $C = 0,100 \text{ mol.L}^{-1}$ et supposons qu'on souhaite, à partir de cette solution initiale obtenir un volume $V' = 100 \text{ mL}$ de solution de concentration $C' = 0,020 \text{ mol.L}^{-1}$.

Le volume de la solution initiale à prélever vaut donc : $V = \frac{C'V'}{C} = \frac{0,020 \cdot 100}{0,100} = 20 \text{ mL}$

On utilise donc une pipette jaugée de 20 mL pour prélever 20 mL de la solution initiale versée préalablement dans un becher. On introduit ce prélèvement dans une fiole jaugée de volume 100 mL contenant un peu d'eau déminéralisée et on complète, avec de l'eau déminéralisée, jusqu'au trait de jauge.

7. Extraction d'un principe actif par extraction liquide-liquide



On peut extraire une espèce chimique dissoute dans un solvant (1) si on dispose d'un autre solvant (2) dans lequel l'espèce chimique en question est plus soluble que dans le solvant (1).

Ceci suppose que les deux solvants ne soient pas miscibles.

Prenons l'exemple de l'extraction du principe actif (le diiode I_2) contenu dans un médicament : le Lugol : solution aqueuse brune contenant des molécules de diiode et des ions iodure I^- ainsi que potassium K^+ .

Si on verse dans la solution aqueuse contenant le diiode, du cyclohexane (solvant organique) et qu'on agite, il suffit de laisser ensuite le mélange reposer dans

une ampoule à décanter pour que la phase organique surnage au-dessus de la phase aqueuse.

On constate que cette phase organique n'est pas incolore comme l'était le cyclohexane pur mais qu'elle a une teinte violette alors que la solution aqueuse est devenue beaucoup plus pâle : on a donc extrait une grande partie du diiode pour la faire passer dans la phase organique. Il suffit ensuite de laisser s'écouler la phase aqueuse pour ne conserver que le diiode dissous dans le cyclohexane.

Activité 15

Comment expliquer le déplacement du diiode à partir de la polarité des deux solvants ?

Aurait-on pu réaliser la même expérience en utilisant du sulfate de cuivre de formule CuSO_4 à la place du diiode ?

Résumé

Solide ionique

Un ion monoatomique est un atome qui a perdu ou gagné un ou plusieurs électrons. Il n'est donc plus neutre.

Un ion polyatomique est un groupe d'atomes (unis par des liaisons de covalence) qui ont perdu ou gagné un ou plusieurs électrons.

Un solide ionique est constitué d'ions positifs (cations) et d'ions négatifs (anions). Les charges électriques des cations et des anions se compensent, si bien que le solide est électriquement neutre.

Dans un solide ionique, les ions sont régulièrement répartis, si bien qu'ils sont tous retenus par les interactions électrostatiques avec leurs voisins.

Solide moléculaire

Une liaison de covalence résulte de la mise en commun entre deux atomes d'un doublet d'électrons, mais si l'un des deux atomes est plus électronégatif que l'autre, il attirera davantage le doublet d'électrons et la liaison sera polarisée.

Lorsqu'une molécule, du fait des liaisons polarisées, présente un côté légèrement positif et un côté légèrement négatif, elle est dite polaire.

Les interactions entre molécules polaires (interactions de van der Waals, liaison hydrogène) expliquent (même s'il ne s'agit en fait que d'interaction électrostatique) la cohésion des solides moléculaires.

Dissolution dans l'eau

La molécule d'eau est polaire, les interactions électriques entre les molécules d'eau et les ions d'un solide ionique ou entre les molécules d'eau et les molécules d'un solide moléculaire permettent d'expliquer le mécanisme de la dissolution.

La dissolution dans l'eau d'un solide ionique entraîne la dispersion des ions dans la solution.

Concentration d'une solution aqueuse

Lorsqu'on utilise une masse m d'un composé (ionique ou moléculaire) dont la

masse molaire est notée M , la quantité de matière utilisée vaut : $n = \frac{m}{M}$ et elle

s'exprime en moles (abréviation mol).

Si un volume V de solution contient une quantité de matière dissoute n d'une espèce chimique X , la concentration molaire C de cette espèce chimique dans la solution vaut : $C = \frac{n}{V}$, elle s'exprime en mol.L^{-1} .

Si on note m la masse de cette espèce chimique X dans un volume V de solution, la concentration massique C_m de cette espèce chimique dans la solution vaut : $C_m = \frac{m}{V}$, elle s'exprime en g.L^{-1} .

La concentration massique est aussi égale au produit de la concentration molaire par la masse molaire M (exprimée en grammes) de l'espèce dissoute : $C_m = C.M$

Électroneutralité

Toutes les solutions aqueuses sont électriquement neutres : les concentrations ioniques dans la solution vérifient l'équation d'électroneutralité.

Effet d'une dilution sur la concentration.

Lorsqu'on ajoute de l'eau à une solution, faisant passer son volume de la valeur initiale V_i à la valeur finale V_f , la concentration d'une espèce chimique (qui ne se transforme pas en un produit différent par contact avec l'eau) passe de la valeur

C_i à la valeur C_f selon la relation : $C_i \cdot V_i = C_f \cdot V_f$

Extraction d'un principe actif par extraction liquide-liquide

Pour extraire une espèce chimique dissoute dans un solvant (1), il faut disposer d'un autre solvant (2) dans lequel l'espèce chimique en question est plus soluble que dans le solvant(1). Ceci suppose que les deux solvants ne soient pas miscibles.

Exercices

Exercice 1 Forces électriques dans un cristal de chlorure de sodium

Le chlorure de sodium est constitué d'un empilement d'ions Na^+ et d'ions Cl^- . La distance entre un ion Na^+ et l'ion Cl^- le plus proche vaut 282 pm.

Calculer la valeur de la force électrique s'exerçant entre ces deux ions voisins.

L'ion Na^+ porte une charge $q = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{C}$ et l'ion Cl^- une charge $q' = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{C}$. La constante électrique vaut $9 \cdot 10^9\text{S.I}$ et un picomètre (pm) vaut 10^{-12}m .

Exercice 2 Solution de chlorure de magnésium

- 1 Quel ion donne un atome de magnésium ($Z = 12$) ? Même question pour l'atome de chlore ($Z = 17$).
- 2 Écrire la réaction de dissolution dans l'eau du chlorure de magnésium.
- 3 Comment expliquer que les ions qui formaient un cristal ordonné dans le chlorure de magnésium solide se soient séparés au contact de l'eau ?
- 4 Quelle masse de chlorure de magnésium faut-il dissoudre dans 100 cm^3 d'eau pour obtenir une solution de concentration $0,10\text{ mol.L}^{-1}$ en chlorure de magnésium ? Quelle est la concentration molaire en ion magnésium et la concentration molaire en ion chlorure dans cette solution ?

Données : masses molaires atomiques : Magnésium : $M_{\text{Mg}} = 24,3\text{ g.mol}^{-1}$; chlore : $M_{\text{Cl}} = 35,5\text{ g.mol}^{-1}$;

Exercice 3 Vrai ou faux

Les affirmations suivantes sont-elles vraies ou fausses ?

- 1 La molécule d'eau est électriquement neutre.
- 2 La dissolution d'un composé ionique dans l'eau s'explique par les interactions électriques entre les ions du solide et les molécules d'eau.
- 3 La concentration molaire s'exprime en mol.L^{-1} .
- 4 Si on ajoute un litre de solution de saccharose de concentration molaire C_0 , à un autre litre de solution de saccharose de même concentration molaire C_0 , la concentration molaire dans le mélange obtenu vaudra le double de C_0 .
- 5 Lorsqu'on dilue une solution de façon à diviser par deux sa concentration molaire, on divise aussi par deux sa concentration massique.

Exercice 4 Solution de nitrate de nickel

Données : masses molaires atomiques : Nickel : $M_{Ni} = 58,7 \text{ g.mol}^{-1}$; azote : $M_N = 14,0 \text{ g.mol}^{-1}$; oxygène : $M_O = 16,0 \text{ g.mol}^{-1}$.

Le nitrate de nickel est constitué d'ions Ni^{2+} et d'ions NO_3^- .

- ❶ Écrire la réaction de dissolution dans l'eau du nitrate de nickel.
- ❷ On dispose de 500 cm^3 de solution de nitrate de nickel de concentration molaire $0,10 \text{ mol.L}^{-1}$. Cette solution sera appelée solution S_0 .
Pour obtenir cette solution on a pesé une masse m de nitrate de nickel et on a ajouté progressivement de l'eau jusqu'au volume $V = 500 \text{ cm}^3$. Quelle masse m de nitrate de nickel a-t-il fallu dissoudre ?
- ❸ Calculer la concentration massique de la solution S_0 .
- ❹ On ajoute 500 cm^3 d'eau pure aux 500 cm^3 de solution S_0 . Quelle est la concentration molaire de cette nouvelle solution ?

Exercice 5 Électroneutralité

En utilisant l'équation d'électroneutralité, calculer la concentration en ions sodium Na^+ dans les quatre solutions suivantes :

Première solution : solution de chlorure de sodium dans laquelle $[Cl^-] = 0,15 \text{ mol.L}^{-1}$.

Deuxième solution : solution de chlorure de sodium et de chlorure de potassium.
Cette solution contient donc des ions potassium K^+ en plus des ions sodium et chlorure.

Dans cette solution $[Cl^-] = 0,15 \text{ mol.L}^{-1}$ et $[K^+] = 0,07 \text{ mol.L}^{-1}$

Troisième solution : solution de chlorure de sodium et de sulfate de sodium.

Cette solution contient donc des ions sulfate SO_4^{2-} en plus des ions sodium et chlorure.

Dans cette solution $[Cl^-] = 0,15 \text{ mol.L}^{-1}$ et $[SO_4^{2-}] = 3.10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$

