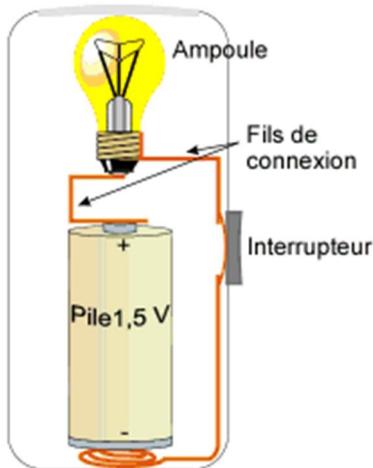


# Réaliser un circuit électrique simple

L'électricité fait partie de notre quotidien. Quels sont les éléments indispensables pour réaliser un circuit électrique ?

*Réponse* : trois éléments sont indispensables dans un circuit électrique : un générateur, un récepteur et des fils de connexion.

## 1. Un circuit électrique élémentaire pour faire briller une lampe



**La composition  
d'une lampe de poche**

La lampe de poche est composée d'une **ampoule**, d'une **pile** et d'un **interrupteur**. Ces éléments sont reliés entre eux par des **fils de connexion**.

Reconstituons ce dispositif : pour faire briller l'ampoule, il suffit de la mettre en contact avec les deux bornes d'une pile carrée. Nous obtenons alors de la lumière, mais ce système d'éclairage n'est pas très pratique.

Nous pouvons améliorer notre dispositif en mettant l'ampoule sur un support, en plaçant des fils de connexion entre l'ampoule et la pile et nous pouvons même ajouter un interrupteur pour allumer et éteindre la lampe plus facilement. Nous avons fabriqué une lampe de poche.

## 2. Les éléments du circuit électrique

En suivant les fils de connexion depuis une borne du circuit, à travers la lampe et l'interrupteur fermé, jusqu'à l'autre borne du circuit, nous avons suivi un circuit puisque nous revenons à notre point de départ. Au même titre qu'un circuit de formule 1, le circuit électrique revient toujours à son point de départ et ne fonctionne que lorsqu'il est **fermé**. Ce circuit comprend trois éléments de base : un générateur, un récepteur et des fils de connexion.

### 2.1. Le générateur

Il peut s'agir d'une pile, d'une génératrice de bicyclette ou d'une prise du **secteur** (attention à ne pas s'électrocuter !). Le générateur est un élément indispensable pour que du courant électrique circule dans le circuit. C'est lui qui permet la circulation du courant nécessaire au fonctionnement des appareils électriques.

## 2.2. Les récepteurs

Tout appareil qui a besoin du courant électrique pour fonctionner est un **récepteur**. Une ampoule, une **diode électroluminescente** (DEL) ou un moteur électrique sont des récepteurs. Il est très important qu'il y ait **au moins un** récepteur dans un circuit électrique, sous peine de créer un **court-circuit** au niveau du générateur.

## 2.3. Les fils de connexion

Ils sont en général **métalliques** et entourés d'une **gaine de protection** pour éviter les risques d'électrocution. Ils permettent de relier les éléments du circuit entre eux et de fermer physiquement le circuit électrique. L'interrupteur est considéré comme un fil de connexion spécial permettant de fermer ou d'ouvrir le circuit et ainsi d'assurer ou d'interrompre le passage du courant électrique. En effet, le courant électrique ne peut circuler que si le circuit est **fermé**.

## 2.4. Les dipôles

Tout élément du circuit électrique qui possède **deux bornes** est appelé un dipôle. C'est le cas du générateur ou des récepteurs comme l'ampoule ou le moteur électrique. En revanche, le transistor étudié en technologie possède trois bornes et n'est donc pas un dipôle.

Copyright © 2006 rue des écoles / Magnard-Vuibert. Tous droits réservés.

Microsoft ® Encarta ® 2008. © 1993-2007 Microsoft Corporation. Tous droits réservés.

# Conducteurs et isolants

Si l'on observe de près un fil électrique à la maison, on s'aperçoit qu'il est composé de métal et de plastique. À quoi sert la gaine en plastique ?

*Réponse* : le plastique est un matériau isolant qui empêche le passage du courant électrique et évite que l'on s'électrocute lorsqu'on manipule les fils.

## 1. Conduire le courant électrique

Pour faire briller une lampe, il suffit de construire un petit circuit électrique composé d'une pile dont les extrémités sont **métalliques**, d'une lampe dont le filament est **métallique** et de fils de connexion **métalliques** entourés d'une gaine en plastique.

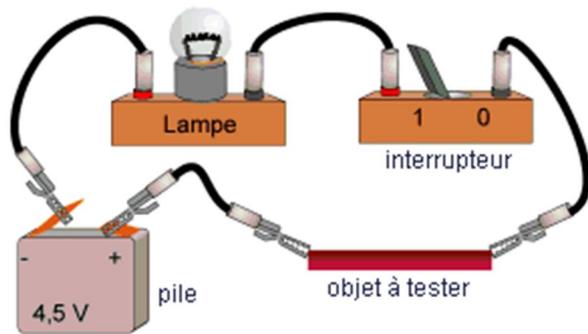
Les métaux permettent donc le passage du courant électrique. Est-ce que tous les matériaux sont dans le même cas ?

*Protocole* : on réalise un circuit composé d'une pile et d'une lampe (voir le schéma ci-dessous).

Un fil de connexion relie une borne de la pile à une borne de la lampe.

De l'autre borne de la pile et de l'autre borne de la lampe, on fait partir deux fils entre lesquels on placera des tiges de différents matériaux.

Si le courant circule dans le circuit, la lampe s'allume.



### Le matériau est-il conducteur ?

#### Observations :

Si on ne met rien entre les deux fils, la lampe ne s'allume pas : **l'air** ne permet pas le passage du courant électrique.

Avec des tiges en acier, en cuivre ou en aluminium, la lampe s'allume, les **métaux** permettent effectivement le passage du courant électrique. Les matériaux qui permettent le passage du courant électrique sont appelés des **conducteurs électriques**.

Avec des tiges en plastique, en verre ou en céramique, la lampe ne s'allume pas donc ces matériaux ne permettent pas le passage du courant électrique. Les matériaux qui ne laissent pas passer le courant électrique sont appelés **isolants électriques**.

Enfin, si l'on place un crayon (taillé aux deux extrémités) entre les deux fils, la lampe s'allume. La mine de crayon, en **graphite**, est un conducteur du courant électrique. Le graphite est d'ailleurs utilisé à l'intérieur des piles rondes où il constitue la borne positive, mais il est recouvert d'une couche de métal pour ne pas noircir les mains de celui qui l'utilise.

## 2. Circuit ouvert et circuit fermé

Lorsque le courant électrique **circule** dans le circuit, c'est que le circuit est **fermé**. Lorsque le courant **ne circule pas** dans le circuit, celui-ci est **ouvert**.

Pour qu'un circuit électrique soit fermé, il faut qu'il soit entièrement composé de matériaux conducteurs du courant électrique.

Pour utiliser plus aisément un circuit électrique, on peut y insérer un interrupteur dont le rôle est d'ouvrir et de fermer le circuit. Cet interrupteur est composé d'une lame métallique mobile qui fait contact avec les bornes de l'interrupteur pour fermer le circuit.

*Remarque* : attention aux abus de langage, lorsqu'on parle « d'ouvrir la lumière », il s'agit bien de fermer le circuit électrique afin que le courant électrique puisse circuler et faire briller la lampe !

# Schématiser un circuit électrique

Comment peut-on représenter le circuit électrique d'un appareil compliqué comme un magnéto ou un téléviseur ?

*Réponse* : il est évidemment exclu de faire un dessin représentant chaque élément du circuit. Pour représenter facilement et rapidement un circuit électrique, on réalise un schéma en utilisant des symboles. Quels sont ces symboles ?

## 1. La différence entre dessin et schéma

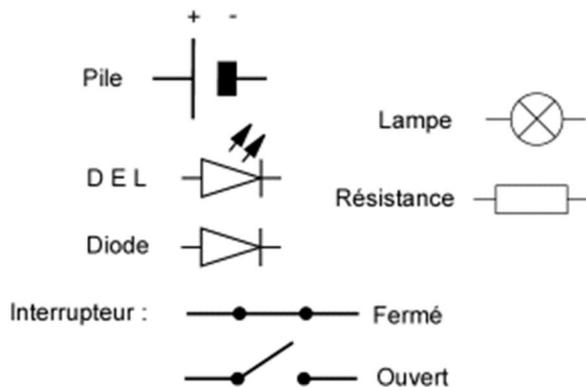
Un dessin est destiné à donner une représentation artistique d'un objet. Il est possible de mettre de la couleur pour représenter plus fidèlement l'objet et on peut même y ajouter des ombres et d'autres effets artistiques. Un dessin ne sera pas forcément compris de la même façon dans le monde entier car il intègre des choix artistiques qui sont propres à la culture du dessinateur.

En revanche, un schéma doit permettre de comprendre très rapidement le fonctionnement d'un objet ou d'un mécanisme. Pour qu'il soit compris rapidement par tous ses utilisateurs, quels que soient leurs pays d'origine, il doit se référer à un certain nombre de règles.

S'il s'agit de règles définies par des normes internationales, on dit que c'est un **schéma normalisé**. C'est le cas des schémas de circuits électriques.

## 2. Les symboles électriques

Dans le schéma d'un circuit électrique, chaque élément est représenté par un symbole. En voici quelques exemples.



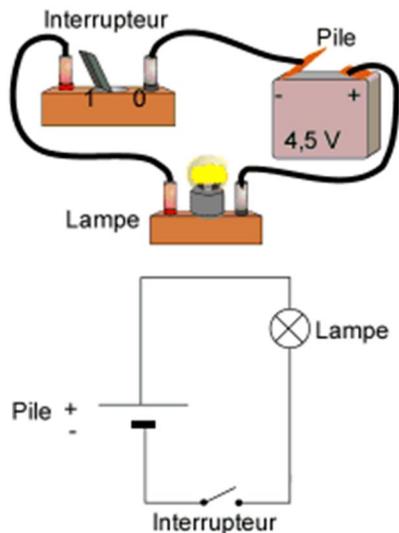
### Quelques symboles

Ces symboles ont été acceptés pratiquement par tous les pays du monde, ce qui permet à un électricien du Japon de comprendre le circuit électrique d'un électricien français, même s'il ne comprend pas le français.

Ces symboles sont donc **universels** et suivent une **norme très stricte** : il faut les apprendre et ne pas improviser dans leur représentation.

## 3. Exemple de schéma électrique

En utilisant des symboles, on peut réaliser très rapidement des schémas de circuit dont le dessin serait long à faire.



### Un dessin de circuit et son schéma

*Remarques :* Les fils de connexion sont représentés par des traits bien droits tracés à la règle. Pour représenter plus facilement le **sens du courant** dans le circuit, on place la pile (ou le générateur) sur la gauche du circuit, dans la partie verticale, la borne positive vers le haut. Les récepteurs du circuit sont répartis sur les autres côtés du carré pour améliorer la lisibilité du schéma.

Copyright © 2006 rue des écoles / Magnard-Vuibert. Tous droits réservés.

Microsoft ® Encarta ® 2008. © 1993-2007 Microsoft Corporation. Tous droits réservés.

## Le sens du courant électrique

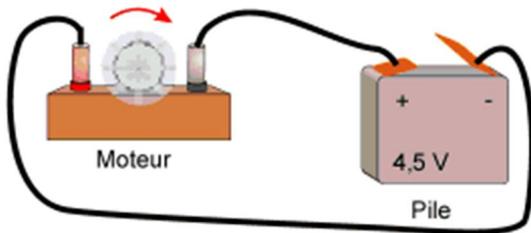
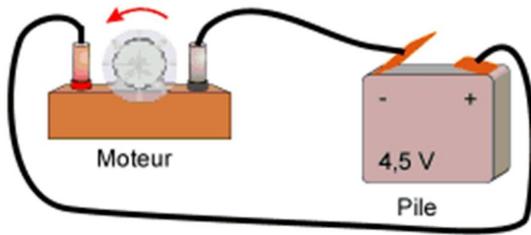
Une pile possède deux extrémités de formes différentes : les bornes. Pourquoi attribue-t-on à ces bornes les signes « + » et « - » ?

*Réponse :* ces signes indiquent que les bornes d'une pile ne sont pas identiques ; ils permettent de placer la pile à l'endroit dans un circuit électrique. Mais quel est le sens du courant électrique ?

### 1. Mise en évidence du sens du courant

Les circuits électriques permettant de faire briller des lampes fonctionnent quel que soit le sens de branchement de la pile. Il n'en est pas toujours ainsi.

*Protocole :* réalisons un circuit comprenant une **pile** et un **moteur électrique**. La pile est branchée dans un sens puis dans l'autre (voir le dessin ci-dessous).



### Le sens de rotation d'un moteur électrique

*Observation* : suivant le sens dans lequel on branche la pile, le moteur tourne dans le sens des aiguilles d'une montre ou dans le sens contraire. Les deux bornes de la pile ne sont donc pas identiques et le courant ne circule que dans **un seul sens**. C'est pour cette raison que l'on différencie les deux bornes de la pile (ou d'un générateur) en y indiquant les symboles « + » et « - ».

## 2. Le sens conventionnel du courant

Le courant électrique ne circule donc que dans un seul sens, mais lequel ?

Le problème s'est posé aux physiciens et comme on ne peut pas voir le courant électrique, un sens arbitraire a été donné : le courant circule de la borne **positive** vers la borne **négative** du générateur (ou de la pile) à l'extérieur de celui-ci. C'est le sens conventionnel du courant électrique.

Si nous réalisons nos schémas en plaçant le générateur à gauche du circuit avec la borne positive vers le haut, le courant électrique circulera dans le sens des aiguilles d'une montre.

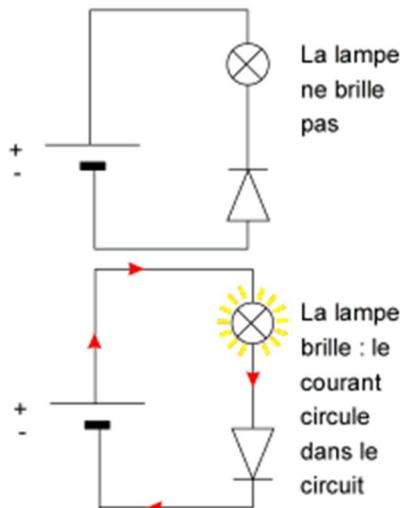
## 3. Le sens du courant et les diodes

Nous avons vu que le moteur est sensible au sens du courant. C'est également le cas d'un composant électrique très courant appelé diode.

La diode possède deux bornes qui ne sont pas identiques. C'est ce que nous allons mettre en évidence expérimentalement.

*Protocole* : nous réalisons un circuit électrique composé d'une diode, d'une lampe et d'une pile. La diode est placée dans un sens puis dans l'autre.

*Observation* : la lampe ne s'allume que pour un seul sens de la diode : c'est le **sens passant**. Si la diode est dans l'autre sens la lampe ne s'allume pas car aucun courant ne circule dans le circuit.



**Une diode placée dans deux circuits électriques**

*Interprétation* : la diode ne laisse donc passer le courant que dans un seul sens. C'est un composant qui est très utilisé dans les appareils ménagers pour bloquer le passage du courant si les piles sont placées dans le mauvais sens.

On parle alors de diode de protection car elle protège certains éléments électroniques du circuit qui sont sensibles au sens du courant électrique.

Il existe également des diodes électroluminescentes (DEL) qui ont la même fonction qu'une diode mais qui en plus émettent de la lumière et peuvent servir de témoin pour indiquer que le courant électrique circule et que le circuit électrique est fermé.

## Réaliser un circuit en série ou en dérivation

Dans certaines guirlandes de Noël, il suffit qu'une lampe grille pour que toute la guirlande s'éteigne. Pourquoi est-ce différent dans d'autres guirlandes ?

*Réponse* : une guirlande de Noël peut être réalisée de deux façons différentes : en série ou en dérivation. Pour que les autres lampes continuent à fonctionner quand une lampe grille, il faut que le circuit soit monté en dérivation. Voyons pourquoi.

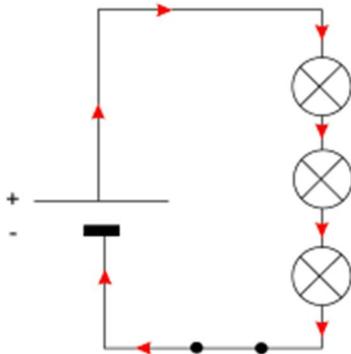
### 1. L'association de plusieurs lampes

Dans les circuits ne comprenant qu'une lampe, il n'y a qu'une seule façon de placer celle-ci. Par contre, avec deux lampes, on peut réaliser deux types de circuit. Le plus simple est réalisé en plaçant les deux lampes l'une à la suite de l'autre : le circuit est **en série**.

Il est également possible de relier chaque lampe à la pile avec ses propres fils en créant deux circuits dérivés : c'est le montage **en dérivation**.

### 2. Les propriétés des circuits en série

Les flèches rouges indiquent le sens du courant.



### Un circuit en série

Dans un circuit en série, tous les dipôles sont reliés les uns aux autres. C'est pourquoi dans le montage précédent, si une lampe ne fonctionne plus, le circuit est ouvert et les autres lampes s'éteignent. Ce type de montage, très simple, présente deux inconvénients que nous pouvons montrer dans l'expérience qui suit.

*Protocole* : on réalise un montage en série avec une pile et deux lampes, puis on passe à trois et enfin à quatre lampes.

*Observation* : plus on ajoute de lampes au circuit, moins les lampes brillent.

*Interprétation* : dans un circuit en série, la tension électrique de la pile est partagée entre les lampes. Donc plus il y a de lampes, moins la puissance lumineuse de chacune est élevée.

Cette propriété peut constituer un avantage dans le cas des guirlandes électriques : la tension électrique fournie par la prise du secteur est répartie entre les ampoules de la guirlande.

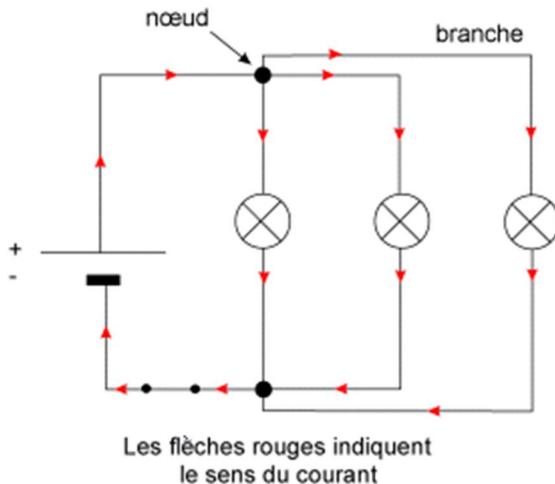
Aucun dispositif pour régler cette tension n'est nécessaire, ce qui constitue une économie.

En revanche, si l'on dévisse une ampoule, toutes les autres cessent de fonctionner. Une ampoule retirée ou cassée constitue en effet une ouverture dans le circuit, ce qui empêche le courant de circuler.

### 3. Les propriétés des circuits en dérivation

Dans un circuit en dérivation, les différents éléments du circuit sont placés dans des sections indépendantes dont les extrémités sont reliées au générateur : les **branches**. Le point où les branches se rejoignent est un **nœud**.

*Protocole* : on réalise un circuit en dérivation avec une pile et deux lampes placées sur deux branches reliées à la pile. On ajoute ensuite une troisième puis une quatrième branche au circuit.



### Un circuit en dérivation

*Observation* : les lampes brillent beaucoup **plus fort** que dans le circuit en série. De plus, quand on ajoute des branches, les nouvelles lampes brillent toujours autant. En revanche, plus on ajoute de branches, plus la pile chauffe.

*Interprétation* : dans un circuit en dérivation, les différentes branches ont la **même tension électrique**, toutes les lampes brillent donc de la même façon. Il est pourtant impossible de mettre une quantité illimitée de lampes car la puissance électrique que peut délivrer une pile est limitée.

Si on enlève une lampe dans une des branches, les lampes placées dans les autres branches continuent de fonctionner. En fait, chaque branche constitue un **circuit indépendant**, si l'un des circuits est ouvert cela n'empêche pas le courant de circuler dans les autres branches. Les circuits en dérivation sont utilisés dans les habitations pour relier les différents appareils électriques.

## Mettre un dipôle en court-circuit

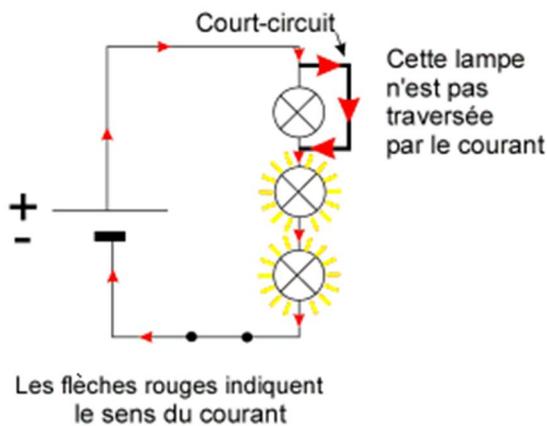
Pourquoi certains appareils électriques défectueux font-ils griller les fusibles du tableau électrique quand on les branche sur une prise de courant ?

*Réponse* : il arrive que certains appareils électriques endommagés possèdent de mauvais contacts. Lorsqu'on les branche sur une prise de courant, ils provoquent un court-circuit ; les fusibles grillent pour protéger l'installation électrique. Mais qu'est ce qu'un court-circuit ?

### 1. Cas des circuits en série

Il y a court-circuit quand on **relie les deux bornes** d'un dipôle par un **fil conducteur**.

*Protocole* : on réalise un circuit en série avec trois lampes et une pile. Un fil conducteur est placé aux bornes d'une des lampes.



### Court-circuit sur une lampe en série

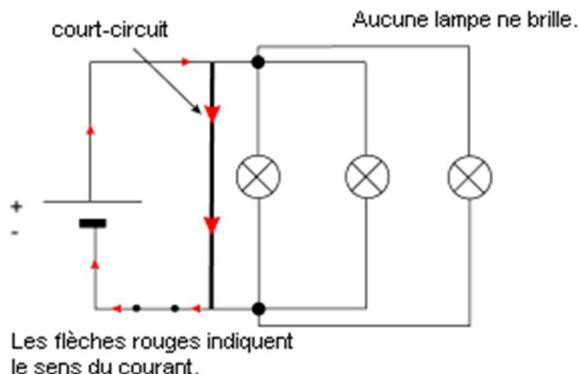
*Observation* : la lampe, qui est court-circuitée, ne fonctionne plus, mais les autres lampes fonctionnent toujours et brillent même un peu plus fort.

*Interprétation* : le courant électrique cherche toujours à passer dans les conducteurs qui possèdent **la plus faible résistance électrique**. Un fil conducteur possède une résistance électrique pratiquement nulle alors qu'une lampe possède une résistance électrique assez forte. Si on court-circuite une lampe, tout le courant électrique passe dans le fil conducteur et la lampe, qui n'est plus traversée par le courant électrique, ne fonctionne plus. Comme la tension de la pile n'est plus divisée qu'entre deux lampes au lieu de trois, ces deux lampes brillent plus fort.

## 2. Cas des circuits en dérivation

Le court-circuit dans un circuit en dérivation est plus dangereux que dans un circuit en série car on risque d'endommager la pile. Lors des expériences, il faut donc maintenir le fil en court-circuit **le moins de temps possible** (si possible moins de cinq secondes) pour éviter tout accident.

*Protocole* : on réalise un circuit en dérivation avec trois branches comprenant chacune une lampe. Les trois branches sont reliées à une pile. Un court-circuit très court est effectué aux bornes d'une des lampes.



### Court-circuit en dérivation

*Observation* : lorsqu'une des lampes est en court-circuit, toutes les autres lampes s'éteignent. En effet, la branche en court-circuit ne présente plus de résistance au passage du courant

électrique qui ne circule donc plus que dans cette branche. Aucune lampe n'est donc plus traversée par le courant électrique : toutes les lampes sont éteintes.

Comme le branchement électrique d'une maison est en dérivation, il suffit également qu'un seul appareil soit en court-circuit pour que tous les autres ne fonctionnent plus. En réalité, nous n'avons pas le temps de nous en rendre compte car le panneau électrique de la maison coupe le contact électrique à l'aide d'un **fusible** ou d'un **disjoncteur** différentiel afin d'éviter tout risque d'accident.

### 3. L'échauffement d'une pile

Dans l'expérience précédente (circuit en dérivation), si nous maintenons plus longtemps le court-circuit, la pile et les fils de connexion commencent à s'échauffer rapidement. En effet, le courant électrique ne rencontre **plus de résistance** car il n'y a plus de récepteurs dans le circuit. La pile va donc se mettre à débiter une très forte quantité de courant électrique, ce qui va provoquer son échauffement ainsi que celui du fil de court-circuit.

Si on maintient le court-circuit, la pile risque d'être détruite. Cette destruction peut même s'accompagner d'une explosion pour certains types de piles. D'autre part, si la pile est plus résistante au court-circuit, c'est la gaine du fil de court-circuit qui, par échauffement, risque de s'enflammer. Il ne faut donc jamais faire de court-circuit sur une pile et encore moins sur une prise du secteur sous peine de provoquer de graves dégâts.

## Les dangers de l'électricité

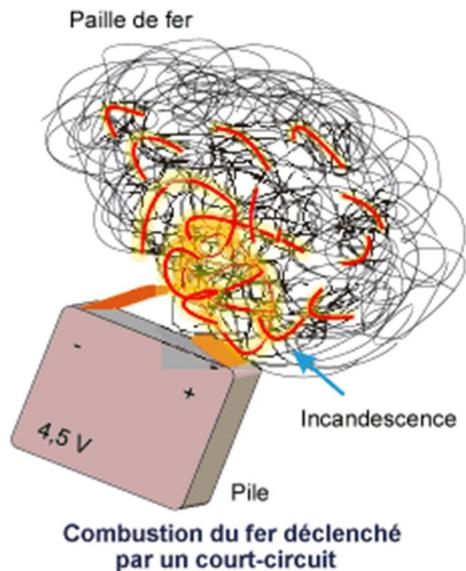
Toucher une pile ne provoque aucun effet. Alors pourquoi est-ce si dangereux de toucher une prise de courant ?

*Réponse* : le courant électrique fourni par les prises de courant de la maison est très fort. Il peut traverser la peau pourtant relativement isolante et induire un choc très dangereux, voire mortel si le contact se prolonge. Quels sont les risques de l'électricité et les moyens de s'en protéger ?

### 1. Le court-circuit d'une pile

La lampe à incandescence fonctionne grâce à l'échauffement du filament. Cet échauffement est tel que le filament émet de la lumière. Si nous effectuons un court-circuit avec un fil de connexion aux bornes d'une pile, il y a échauffement du fil et de la pile. Jusqu'où peut aller cet échauffement ?

*Protocole* : un peu de paille de fer est placé dans une assiette résistant à la chaleur. Une pile carrée est placée en contact avec la paille de fer.



*Observation* : des étincelles sont tout de suite visibles sur la paille de fer qui commence à s'enflammer. La combustion chauffe suffisamment pour que l'incandescence se propage à toute la paille de fer.

*Interprétation* : cette expérience nous permet de constater que **l'échauffement** lors d'un court-circuit est très fort. À plus grande échelle, avec le courant du secteur dans la maison, un court-circuit peut provoquer des incendies.

En effet, même si les fils conducteurs de la maison sont suffisamment gros pour ne pas s'enflammer en cas de court-circuit, ce n'est pas le cas des circuits électriques dans les appareils ménagers. Les gaines des câbles électriques peuvent également fondre et parfois s'enflammer en provoquant l'incendie de toute une maison ou d'un immeuble.

## 2. Les fusibles

Pour protéger les circuits de la maison contre les risques d'incendie, on équipe les panneaux électriques de fusibles. Ils sont constitués d'un fil conducteur assez fin protégé par un isolant en verre. Le courant électrique traverse le fusible dès qu'un appareil est branché sur une prise de courant. S'il y a un court-circuit, l'échauffement du fusible provoque la **fusion** du fil conducteur qui devient liquide et, en coulant vers le bas du fusible, **ouvre** le circuit électrique. Pour que ce système fonctionne correctement, il est indispensable de prévoir un fusible adapté à chaque circuit. Il est extrêmement dangereux de remplacer le fusible par un simple fil en cuivre car il n'y aurait plus alors de protection pour la maison. Si un fusible a fondu, il est indispensable de chercher pourquoi avant de le remplacer. Sinon on risque de faire fondre le suivant !

Actuellement, les fusibles sont de plus en plus remplacés par des disjoncteurs électroniques qui coupent le contact en cas de surtension. Ces derniers ont l'avantage de disposer d'un interrupteur qu'il suffit de refermer pour remettre en fonction le circuit électrique.

## 3. Les risques et la prévention

Le courant électrique peut être très dangereux pour l'être humain. Ce danger vient surtout du courant du secteur car il est très fort et traverse sans problème notre peau pour entrer dans notre corps.

Comme tout notre système nerveux fonctionne à l'aide d'impulsions électriques, le contact soudain avec le courant électrique du secteur peut provoquer de très graves dégâts : arrêt du cœur, tétanisation des muscles et même dommages au cerveau.

Il faut donc éviter au maximum le contact avec le courant du secteur. Pour cela, il faut systématiquement **couper** l'alimentation électrique lorsqu'on souhaite changer une lampe ou travailler sur un circuit électrique. Il convient également de vérifier la qualité des équipements électriques de la maison et notamment qu'ils portent bien la mention *NF Électricité*. Enfin, si vous êtes témoins d'une électrocution, il ne faut jamais hésiter à appeler les pompiers au 18.

Copyright © 2006 rue des écoles / Magnard-Vuibert. Tous droits réservés.

Microsoft ® Encarta ® 2008. © 1993-2007 Microsoft Corporation. Tous droits réservés.

## Mesurer l'intensité d'un courant électrique

La force du courant d'une rivière correspond à son débit, c'est-à-dire à la quantité d'eau qui passe en une heure ; son unité est le  $m^3/h$ . Mais qu'est ce que la force du courant électrique et comment la mesure-t-on ?

*Réponse* : il s'agit de l'intensité du courant électrique. On la mesure avec un ampèremètre. Comment faut-il procéder ?

### 1. L'intensité du courant électrique

Le courant électrique est un **déplacement de charges électriques**. Quand une ampoule est parcourue par un courant électrique, des charges électriques (électrons) se déplacent dans le filament et le chauffent ; de la lumière est émise. Plus le courant est fort, plus l'ampoule brille intensément.

La « force » d'un courant est appelée l'intensité et se note ***I***. Elle est **proportionnelle** au nombre de charges électriques qui traversent un conducteur en une seconde. L'unité d'intensité est l'**ampère**, noté **A**.

L'intensité ***I*** qui parcourt une petite lampe de poche est d'environ 0,5 A (ou 500 mA). Pendant un orage, un éclair correspond au passage d'un courant électrique, dont l'intensité est voisine d'une dizaine de milliers d'ampères. Les circuits intégrés, dans un ordinateur par exemple, sont parcourus par des courants dont l'intensité est de l'ordre d'un dix millième d'ampère.

### 2. La mesure de l'intensité du courant électrique

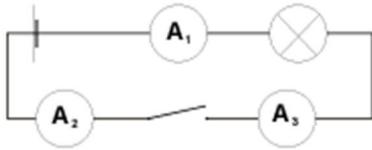
Pour mesurer des grandeurs électriques, on utilise des **multimètres**. Peu encombrants, ils permettent de mesurer plusieurs grandeurs : la tension, l'intensité ou la résistance. À chaque type de grandeur mesurée correspond une fonction du multimètre. Ainsi, pour mesurer une intensité, on utilise **la fonction ampèremètre**. Sous cette fonction, le multimètre sera appelé ampèremètre.

Un ampèremètre mesure **l'intensité du courant qui le traverse**. Pour mesurer l'intensité du courant qui traverse un dipôle, il faut brancher l'ampèremètre **en série** avec ce dipôle.

Le symbole d'un ampèremètre est le suivant : 

### 3. L'intensité du courant électrique dans un circuit série

Protocole : mesurons l'intensité du courant électrique en plusieurs points d'un circuit série à l'aide de trois ampèremètres notés  $A_1$ ,  $A_2$  et  $A_3$ .



*Mesures :*

Avec l'interrupteur fermé :  $I_1 = 228 \text{ mA}$  ;  $I_2 = 229 \text{ mA}$  ;  $I_3 = 229 \text{ mA}$ .

Avec l'interrupteur ouvert :  $I_1 = 0 \text{ A}$  ;  $I_2 = 0 \text{ A}$  ;  $I_3 = 0 \text{ A}$ .

*Interprétation :* si on tient compte de la précision des ampèremètres (de l'ordre de 1 %), les valeurs des intensités sont les mêmes en tout point du circuit. La position des ampèremètres n'a pas d'importance. **Dans un circuit série, l'intensité du courant électrique est la même partout.**

Quand l'interrupteur est ouvert, le courant ne passe pas, l'ampoule ne s'allume pas et l'intensité du courant est nulle. Si on ferme l'interrupteur, l'intensité du courant traversant l'ampoule ou les fils de connexion est de 229 mA.

Dans un circuit série, tous les dipôles étant parcourus par le même courant, **l'ordre dans lequel ils sont branchés n'a aucune importance.** Qu'une lampe soit branchée avant ou après un interrupteur, elle s'allume si l'interrupteur est fermé.

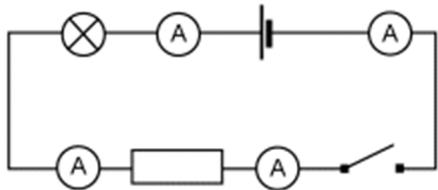
## Les propriétés de l'intensité du courant électrique

Dans un circuit avec dérivation, le courant électrique passe dans plusieurs branches. Comment se répartit alors l'intensité de ce courant ?

*Réponse :* l'intensité du courant électrique se partage entre les différentes branches en fonction des dipôles présents. Qu'en est-il dans un circuit série ?

### 1. Les circuits série

Réalisons le circuit suivant et mesurons les intensités des courants traversant les dipôles.



**Interrupteur ouvert :** les intensités mesurées sont toutes nulles ; le courant ne passe pas.

Qu'un dipôle soit placé avant ou après l'interrupteur ne change rien, il n'est traversé par aucun courant.

**Interrupteur fermé :** tous les ampèremètres indiquent sensiblement la même valeur :

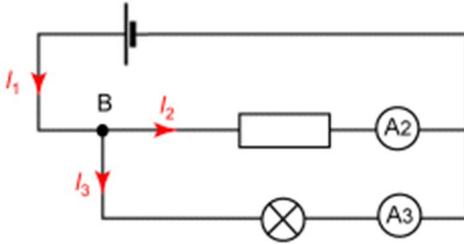
$I = 86 \text{ mA}$ . C'est le même courant qui traverse tout le circuit.

*Remarque :* dans une guirlande électrique, les ampoules ne sont généralement pas branchées en série, car sinon il suffit que l'une d'elles grille pour que le courant ne passe plus et qu'elles s'éteignent toutes.

### 2. Les circuits avec dérivation

#### 2.1. Première expérience

*Protocole* : réalisons le circuit suivant et mesurons les intensités  $I_1$ ,  $I_2$  et  $I_3$  comme indiqué sur le schéma.



*Mesure* : un **nœud** est un point de contact ou de connexion entre plusieurs dipôles, le point B, par exemple. Faisons un **bilan des intensités arrivant et partant** de B :

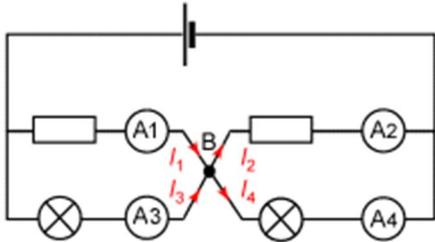
- $I_1$ , l'intensité du courant produit par la pile et entrant en B,
- $I_2$  et  $I_3$ , les intensités des courants sortant de B pour passer dans la résistance et dans l'ampoule.

En faisant la somme  $I_2 + I_3$ , on retrouve la valeur de  $I_1$ . En changeant la résistance de l'ampoule, on trouve d'autres valeurs pour  $I_1$ ,  $I_2$  et  $I_3$  mais on a toujours la même relation  $I_1 = I_2 + I_3$ .

*Interprétation* : ces résultats nous permettent de conclure que **l'intensité du courant qui entre en B est égale à la somme des intensités des courants qui en sortent**. Est-ce toujours vrai avec plus de dipôles connectés à un nœud ?

## 2.2. Seconde expérience

*Protocole* : réalisons le circuit suivant de manière à vérifier l'interprétation de l'expérience précédente. Les deux résistances et les deux ampoules ne sont pas identiques.



*Mesure* :  $I_1 = 117$  mA,  $I_2 = 143$  mA,  $I_3 = 128$  mA et  $I_4 = 98$  mA.

*Interprétation* : en B, on peut alors écrire  $I_1 + I_3 = I_2 + I_4$ . En tenant compte du sens des courants, nous pouvons généraliser notre conclusion précédente :

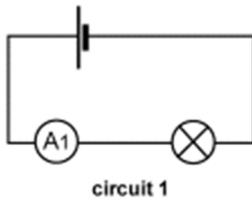
**dans un nœud, la somme des intensités des courants qui entrent est égale à la somme des intensités des courants qui sortent. Le courant est conservé.**

La conservation du courant se traduit aussi par le résultat suivant : dans un circuit contenant plusieurs branches, l'intensité du courant se répartit en fonction des dipôles présents, mais l'intensité du courant sortant du générateur par le pôle « + » est toujours égale à celle entrant par le pôle « - ».

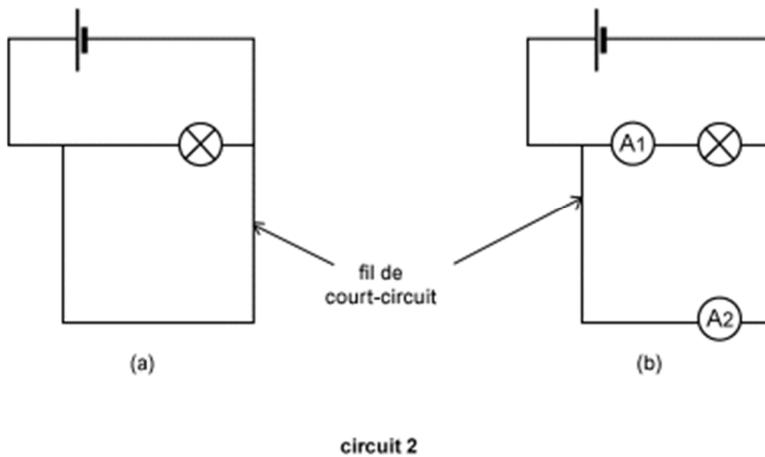
## 3. Le court-circuit

Un court-circuit se produit quand le courant ne circule pas de manière souhaitée. Réalisons un circuit simple permettant de l'illustrer.

*Mesure* : mesurons l'intensité du courant passant dans l'ampoule (circuit 1) :  $I_1 = 220$  mA.



Branchons maintenant un fil de connexion aux deux bornes de l'ampoule (circuit 2.a). On mesure ensuite l'intensité du courant dans la lampe et dans le fil de court-circuit (circuit 2.b).



On trouve  $I_1 = 2 \text{ mA}$  et  $I_2 = 1,52 \text{ A}$ .

*Interprétation* : pratiquement aucun courant ne passe dans l'ampoule mais, en revanche, **l'intensité du courant passant dans le fil de court-circuit est très grande, et le fil chauffe.** Dans une installation électrique où la tension est nettement supérieure à 4,5 V, un fil à l'origine d'un court-circuit chauffe beaucoup plus et peut provoquer un incendie. Les installations électriques sont heureusement protégées contre les courts-circuits par des fusibles ou des disjoncteurs.

## Mesurer la tension électrique

Pour faire fonctionner un baladeur ou une lampe de poche, nous utilisons des piles que nous choisissons en tenant compte de l'indication 4,5 V ou 6 V portée sur celles-ci. À quelle grandeur correspondent ces valeurs ?

*Réponse* : 4,5 V et 6 V correspondent à la tension délivrée par les piles. La lettre V signifie « volt » : c'est l'unité de tension. Comment mesure-t-on une tension ?

### 1. Définition et ordres de grandeur

La tension électrique correspond à une **différence d'état électrique entre deux points**. On la définit donc toujours entre deux points d'un circuit ou entre deux bornes d'un dipôle.

Par exemple, l'indication « 4,5 V » pour une lampe de poche signifie qu'elle doit être alimentée par une pile dont la tension entre les deux bornes est de 4,5 V. Les deux bornes d'une pile ne sont pas équivalentes, l'une est marquée d'un signe « + », l'autre d'un signe « - ». Les valeurs de la tension peuvent considérablement varier. Ainsi, la tension entre le sol et les nuages avant un éclair peut atteindre des centaines de milliers de volts alors que la tension aux bornes des piles varie de 1,5 V à 12 V.

La tension aux bornes d'une prise électrique, que l'on appelle tension du secteur, est de 220 V.

Les tensions des lignes EDF (lignes électriques) varient de 20 000 V à 400 000 V.

## 2. Mesure de la valeur de la tension électrique

Pour mesurer des grandeurs électriques, on utilise des **multimètres**. Peu encombrants, ils permettent de mesurer plusieurs grandeurs : la tension électrique, l'intensité du courant électrique ou la résistance électrique. À chaque type de grandeur mesurée, correspond une fonction du multimètre. Ainsi pour mesurer une tension, on utilise la **fonction voltmètre**. Un voltmètre mesure la tension entre les deux points connectés à ses deux bornes. Pour mesurer la tension aux bornes d'un dipôle, il faut brancher le voltmètre **en dérivation** (ou en parallèle) avec ce dipôle.

Le symbole d'un voltmètre est : 

## 3. La tension aux bornes de quelques dipôles

### 3.1. Première expérience

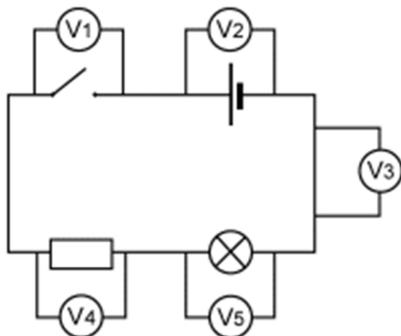
*Protocole* : mesurons la tension aux bornes de quelques dipôles pris isolément (ils ne sont donc parcourus par aucun courant).

*Mesure* :  $U$  (ampoule) = 0 V ;  $U$  (pile plate) = 4,47 V ;  $U$  (fil) = 0 V ;  $U$  (résistance) = 0 V.

*Interprétation* : **seule la pile possède une tension non nulle à ses bornes**. C'est un générateur de tension ; il délivre une tension sans avoir besoin d'être parcouru par un courant.

### 3.2. Seconde expérience

*Protocole* : mesurons maintenant la tension aux bornes des dipôles placés dans le circuit série suivant.



*Mesure* :  $U$  (ampoule) = 2,79 V ;  $U$  (pile) = 4,40 V ;  $U$  (fil) = 2 mV ;  $U$  (interrupteur fermé) = 3 mV ;  $U$  (résistance) = 1,61 V.

*Interprétation* : la tension aux bornes de la pile est restée **la même**. Elle dépend peu du fait qu'elle produise ou pas du courant dans un circuit. Les tensions aux bornes des fils de connexion et de l'interrupteur fermé sont **très faibles**. Par la suite, nous les considérerons comme nulles.

En revanche, les tensions aux bornes de la résistance et de l'ampoule ont une **valeur conséquente** quand elles sont parcourues par un courant.

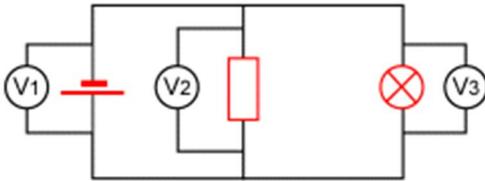
# Les propriétés de la tension électrique

Les appareils électroménagers fonctionnent avec une tension de 220 V. Dans la maison, le générateur de tension, également appelé compteur, est relié aux prises électriques par des fils électriques. Comment sont branchées les prises les unes par rapport aux autres ?

*Réponse :* les prises sont toutes branchées en dérivation ; elles délivrent la même tension : 220 V. Serait-ce différent si elles étaient branchées en série ?

## 1. Circuit avec dérivation

*Protocole :* réalisons le circuit suivant et mesurons les tensions aux bornes des dipôles.



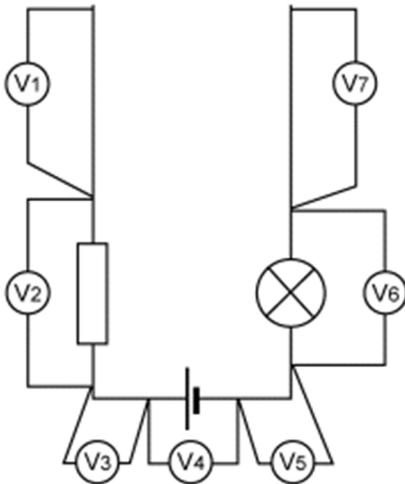
*Mesure :*  $U_1 = 4,48 \text{ V}$  ;  $U_2 = 4,47 \text{ V}$  et  $U_3 = 4,48 \text{ V}$ .

*Interprétation :* les tensions aux bornes des trois dipôles sont sensiblement égales. Nous pouvons généraliser ce résultat. **Les tensions aux bornes de deux dipôles branchés en dérivation sont égales.**

La majorité des appareils électriques fonctionnant dans un appartement ou dans une maison doivent être alimentés par une tension de 220 V. EDF fournit cette tension de 220 V sur une seule « prise ». Tous les appareils sont donc branchés en dérivation et fonctionnent indépendamment les uns des autres.

## 2. Circuit en série ouvert

*Protocole :* réalisons le circuit suivant et mesurons les tensions aux bornes des dipôles.

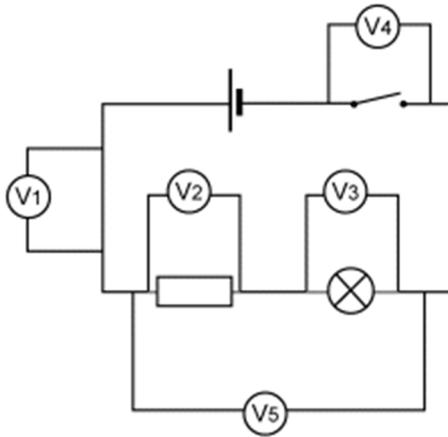


*Mesure :* la résistance, l'ampoule et les fils de connexion ont une tension nulle à leurs bornes, alors que la pile a une tension de 4,5 V. Mesurons la tension entre les extrémités des fils 1 et 7. On retrouve 4,5 V, la tension aux bornes de la pile. Branchons un interrupteur ouvert entre les fils 5 et 6. La tension aux bornes de l'interrupteur est aussi de 4,5 V. L'interrupteur ouvert n'est pas un conducteur électrique puisque le courant n'y passe pas. De même, entre les extrémités des deux fils, l'air qui est un isolant empêche le courant de circuler.

*Interprétation* : dans un circuit en série ouvert comportant un générateur de tension (une pile), la tension aux bornes du générateur se retrouve **aux extrémités ouvertes du circuit**.

### 3. Circuit en série fermé

*Protocole* : réalisons le circuit suivant et mesurons les tensions aux bornes des dipôles.



*Mesure* :  $U_1 = 0,002 \text{ V}$  ;  $U_2 = 2,95 \text{ V}$  ;  $U_3 = 1,51 \text{ V}$  et  $U_4 = 0,003 \text{ V}$  (quand l'interrupteur est fermé).

Mesurons la tension aux bornes de l'association de deux dipôles, résistance plus ampoule. On trouve une tension  $U_5 = 4,47 \text{ V}$ , c'est la somme des tensions aux bornes des deux dipôles.

Si nous calculons la somme des tensions aux bornes de tous les dipôles hormis la pile, on retrouve la tension aux bornes de la pile (4,5 V).

*Interprétation* :

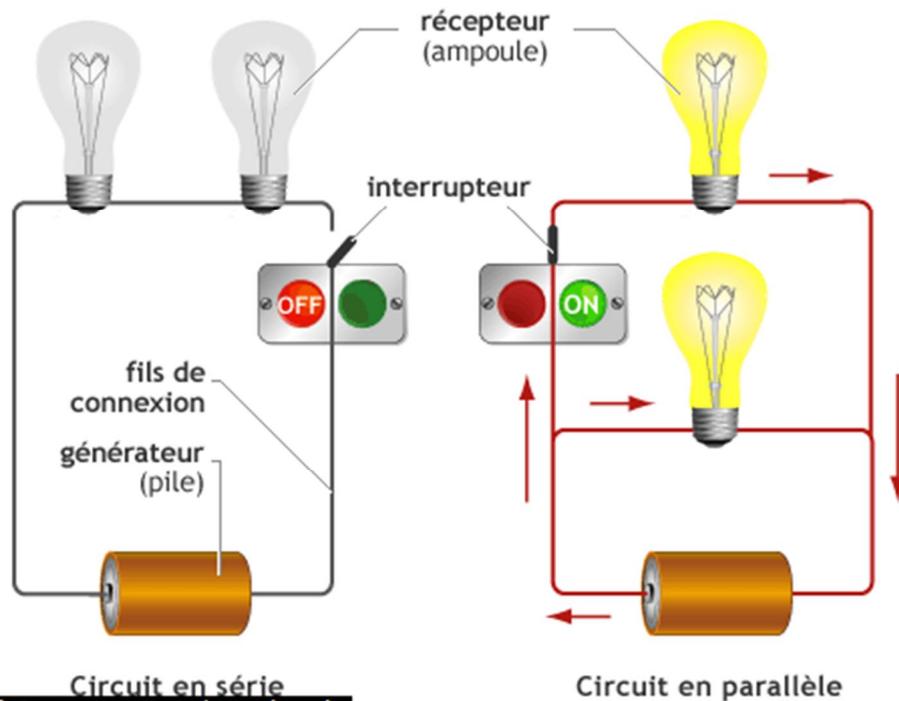
Un fil de connexion ou un interrupteur fermé, parcourus par un courant, ont une tension très faible à leurs bornes. On peut la considérer comme **nulle**.

La tension entre les deux bornes de l'association de dipôles branchés en série (s'il n'y a pas de pile parmi ces dipôles) est égale à la **somme des tensions aux bornes de ces dipôles**.

Dans un circuit série, la tension aux bornes du générateur se répartit **sur l'ensemble des autres dipôles**.

Copyright © 2006 rue des écoles / Magnard-Vuibert. Tous droits réservés.

Microsoft ® Encarta ® 2008. © 1993-2007 Microsoft Corporation. Tous droits réservés.



© Microsoft Corporation. Tous droits réservés.

#### les circuits électriques

Il existe deux types principaux de circuits électriques : les circuits en série et les circuits en parallèle (aussi appelés en dérivation). Dans le circuit en série, l'intensité du courant électrique délivré par la pile est la même pour les deux ampoules, et la tension aux bornes du générateur est répartie entre les deux ampoules. De ce fait, si l'une des ampoules grille, la circulation du courant est coupée dans tout le circuit (comme si l'interrupteur était ouvert). En revanche, dans un circuit en parallèle, l'intensité du courant électrique délivré par la pile est partagée entre les deux ampoules, et les tensions aux bornes des deux ampoules sont égales. Ainsi, si l'une des ampoules grille, la circulation du courant n'est pas interrompue dans la branche de dérivation contenant l'autre ampoule.

## Les courants continu et alternatif

Que signifie la petite vague qui suit souvent l'inscription 220 V ~ au dos des appareils électriques ménagers ?

*Réponse* : elle indique que l'appareil doit être alimenté par du courant alternatif et non par du courant continu. Quelle est la différence entre ces deux types de courants ?

### 1. Deux types de générateurs

Qu'il soit continu ou alternatif, le courant électrique dans un métal est dû à un déplacement des électrons libres.

Lorsque le générateur est une **pile**, les électrons se déplacent toujours dans le même sens, de la borne « - » à la borne « + », c'est-à-dire dans le sens inverse du sens conventionnel du courant. Le courant que fournit une pile va donc toujours dans le **même sens** : c'est un courant **continu**.

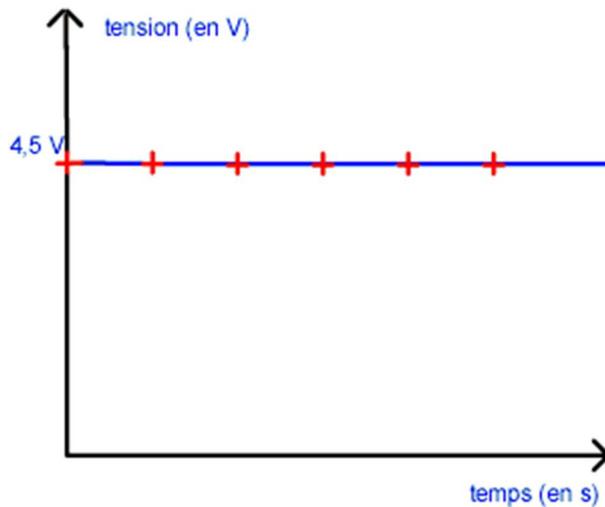
Si le générateur est une **dynamo de bicyclette**, les électrons vont aller tantôt dans un sens tantôt dans l'autre. On dit que les électrons **oscillent** sur place. Une dynamo fournit un courant qui change de sens régulièrement : un courant **alternatif**.

### 2. Visualisation des tensions aux bornes de ces deux types de générateurs

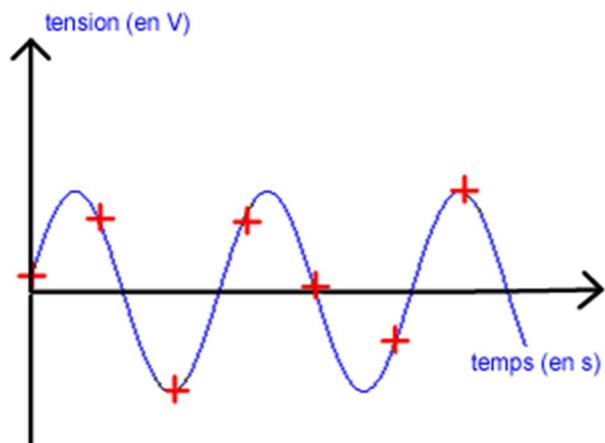
Étudions les caractéristiques de ces deux types de courant.

*Protocole* : on branche aux bornes d'un voltmètre les deux types de générateurs et on note les valeurs prises par la tension au cours du temps.

*Observation* : les représentations graphiques de ces deux tensions en fonction du temps sont les suivantes :



Cas d'un générateur de courant continu



Cas d'un générateur de courant alternatif

*Interprétation* :

Un générateur de courant continu présente à ses bornes une **tension constante**. C'est elle qui impose aux électrons de se déplacer toujours dans le même sens.

Un générateur qui fournit du courant alternatif a une **tension variable** à ses bornes. Elle prend des valeurs **positives puis négatives**. Une tension positive impose aux électrons d'aller dans un sens ; quand elle devient négative, les bornes du générateur s'inversent et les électrons vont dans l'autre sens. Ce phénomène se reproduit périodiquement.

Maintenant qu'est éclaircie la différence entre courants alternatif et continu, nous pouvons nous demander comment se fait le choix d'utiliser l'un plutôt que l'autre.

### 3. Courant alternatif ou continu ?

Certains appareils électriques tels que les lampes, les fours, etc. fonctionnent tout aussi bien en alternatif qu'en continu. D'autres, au contraire, ne fonctionnent qu'en courant continu : c'est

le cas de certains moteurs d'appareils (les baladeurs, par exemple) qui doivent tourner toujours dans le même sens.

Nos habitations sont alimentées par du courant alternatif. Pourtant il n'en a pas toujours été ainsi. Au début de l'électricité industrielle, certaines villes pionnières dans la distribution de l'électricité comme New York étaient alimentées en courant continu. Mais on s'est vite aperçu que l'utilisation du courant alternatif est plus économique en énergie et celui-ci a donc totalement remplacé le courant continu au début des années 1950.

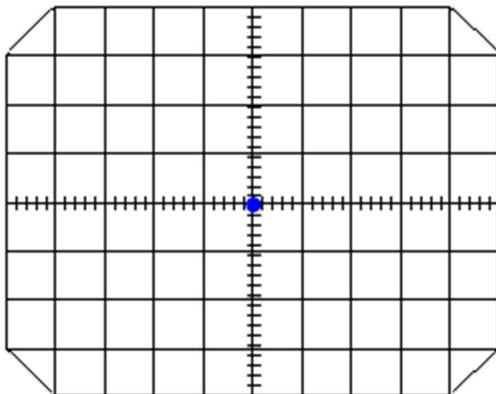
## L'utilisation d'un oscilloscope

À l'hôpital, l'activité cardiaque des malades est souvent surveillée grâce à un appareil appelé familièrement scope. Que mesure exactement cet appareil ?

*Réponse :* son véritable nom est oscilloscope. Il permet de mesurer les tensions électriques auxquelles le cœur est soumis constamment. Comment utilise-t-on un oscilloscope pour visualiser une tension ?

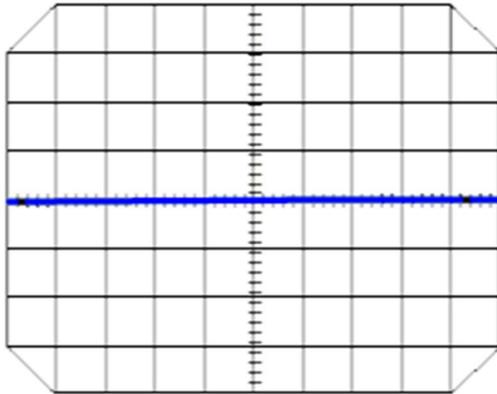
### 1. Le balayage d'un oscilloscope

Lorsque l'on allume un oscilloscope, apparaît au centre de l'écran un point lumineux appelé **spot**. Si on enclenche le **balayage** de l'oscilloscope, le spot se déplace de la gauche vers la droite de l'écran.



Écran de l'oscilloscope à l'allumage

Le bouton appelé « **vitesse de balayage** » (souvent noté Time/div) permet de régler la vitesse de déplacement du spot. Lorsque la vitesse de balayage est grande, l'œil humain ne perçoit plus le mouvement et voit une ligne horizontale fixe. C'est le même principe qui est utilisé dans les téléviseurs. La vitesse de balayage s'exprime en général en millisecondes par division horizontale (ms/div).



**Écran de l'oscilloscope avec une grande vitesse de balayage**

*Exemple* : si on a un balayage de 10 ms/div, cela signifie que le spot met 10 ms pour parcourir une division horizontale. Comme il y a, en général, 10 divisions horizontales sur un écran d'oscilloscope, le spot met 100 ms pour parcourir l'écran.

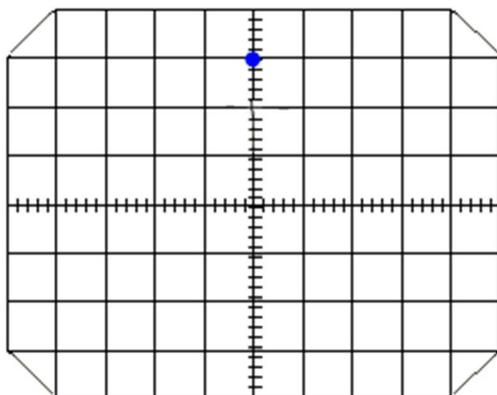
Branchons maintenant différents générateurs de tension aux bornes de l'oscilloscope.

Qu'allons-nous observer ?

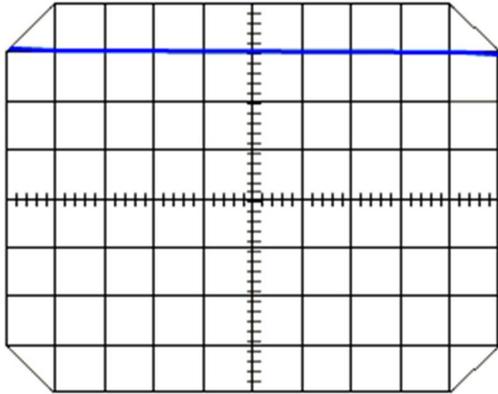
## 2. Visualisation d'une tension continue

Branchons aux bornes d'un oscilloscope un générateur de tension continue ; le spot dévie verticalement. Plus la tension appliquée est grande, plus la déviation verticale est importante : la déviation verticale est donc **proportionnelle** à la tension appliquée.

Le bouton de l'oscilloscope appelé « **sensibilité verticale** » (noté V/div) indique à combien de volts correspond une division verticale. Il devient ainsi facile de mesurer la tension appliquée aux bornes de l'oscilloscope.



**Visualisation d'une tension (sans vitesse de balayage)**



**Visualisation d'une tension  
avec une grande vitesse de balayage**

*Exemple :* avec une sensibilité verticale réglée sur 2V/div, si le spot se situe à 3 divisions verticales au-dessus de l'axe central, la tension appliquée est de  $2 \times 3 = 6 \text{ V}$ .

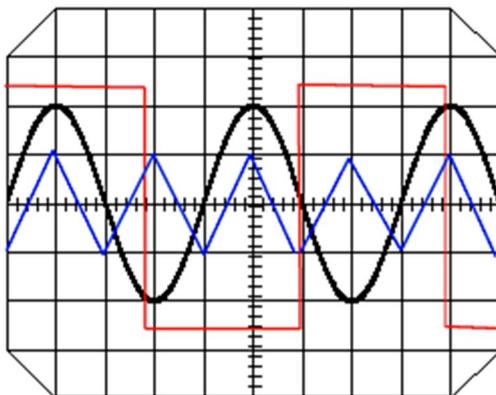
*Remarques :*

Dans l'exemple précédant, avec une sensibilité verticale réglée sur 1V/div, on ne voit plus le spot car celui-ci se situe à 6 divisions au-dessus de l'axe central. Or un oscilloscope n'en compte en général que 4.

Si on inverse les bornes du générateur, on observe que le spot est en dessous de l'axe central, ce qui signifie que la tension mesurée est négative.

### 3. Visualisation d'une tension alternative

Branchons maintenant aux bornes de l'oscilloscope un générateur de tension alternative. La courbe obtenue n'est plus une ligne horizontale mais elle prend des valeurs positives et négatives. Comme dans le cas d'une tension continue, la déviation verticale varie proportionnellement à la tension du générateur. Différents types de tensions alternatives existent : sinusoïdales, triangulaires ou en créneaux.



**Exemples de signaux sinusoïdal,  
triangulaire et en créneaux**

*Remarque :* agir sur les boutons « vitesse de balayage » et « sensibilité verticale » ne change rien à la tension appliquée ; c'est seulement la visualisation de cette tension qui est différente. Il faut régler ces boutons de façon à visualiser la tension le plus efficacement possible.

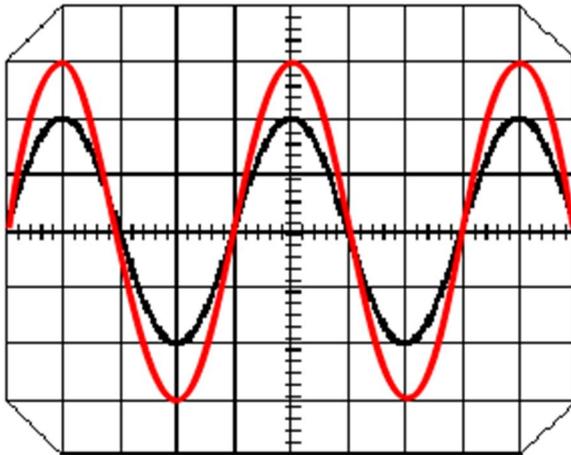
# Les propriétés d'une tension alternative

À quoi correspondent les indications « 230 V - 50 Hz » qui sont souvent notées au dos des appareils électriques ?

*Réponse* : 230 V est la tension efficace du secteur et 50 Hz est la fréquence de la tension du secteur. Que représentent ces deux grandeurs ?

## 1. La tension maximale

Toute tension alternative peut être différenciée d'une autre par **la valeur maximale prise par la tension au cours du temps** qui est appelée tension maximale et notée  $U_{\max}$ .



Sur le schéma ci-dessus représentant un écran d'oscilloscope, la tension maximale est représentée par 2 divisions verticales pour la courbe noire et par 3 divisions verticales pour la courbe rouge. Si 1 division verticale représente 5 V, la tension maximale est de  $2 \times 5 = 10$  V, dans le premier cas, et de  $3 \times 5 = 15$  V, dans le second.

## 2. La tension efficace

Prenons maintenant un générateur de tension alternative sinusoïdale qui fournit une tension de valeur maximale 10 V mesurée à l'oscilloscope comme dans l'exemple ci-dessus. Branchons aux bornes de ce générateur un voltmètre positionné en alternatif. La tension indiquée n'est pas 10 V mais 7,1 V : le voltmètre n'indique donc pas la valeur maximale de la tension. Mais alors qu'indique-t-il ?

**Le voltmètre indique une tension appelée tension efficace et notée  $U_{\text{eff}}$ .** Pour comprendre à quoi correspond cette tension réalisons l'expérience suivante.

*Protocole* : on branche deux lampes identiques, l'une aux bornes d'un générateur de tension continue, et l'autre aux bornes d'un générateur de tension alternative sinusoïdale dont on peut régler la valeur maximale de la tension. Des voltmètres permettent de mesurer les tensions aux bornes des deux lampes. On règle la tension alternative de telle façon que l'éclat de la lampe soit la même qu'avec la tension continue.

*Observation* : lorsque les deux lampes brillent de la même façon, les deux voltmètres indiquent les mêmes valeurs.

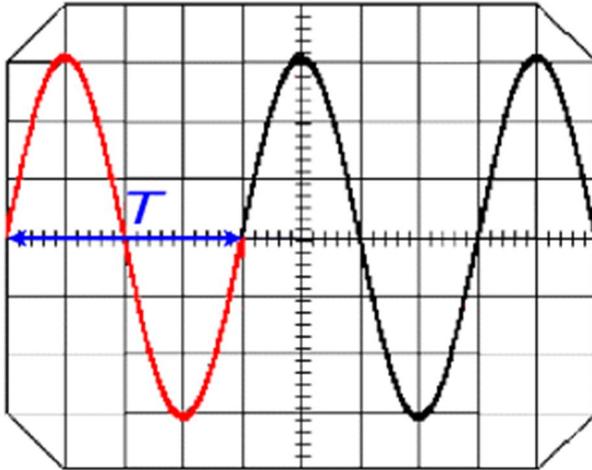
*Interprétation* : la tension efficace d'une tension alternative est égale à **la valeur de la tension continue qui produirait le même éclat lumineux dans une lampe identique.**

La tension maximale  $U_{\max}$  est proportionnelle à la tension efficace  $U_{\text{eff}}$  et le coefficient de proportionnalité est, **pour une tension alternative sinusoïdale**, égale à  $\sqrt{2}$ , ce qui signifie que :

$$\frac{U_{\max}}{U_{\text{eff}}} = \sqrt{2}$$

### 3. La période d'une tension alternative

Toutes les tensions alternatives visualisées jusqu'à présent peuvent être découpées en parties identiques qui se répètent à intervalles de temps régulier : ces tensions sont dites **périodiques** et la plus petite partie d'une tension qui se répète est appelée motif élémentaire. La durée pendant laquelle le spot décrit un motif élémentaire est appelée **période** (exprimée en secondes).



En rouge, est représenté un motif élémentaire et en bleu, la période correspondante (notée  $T$ ).

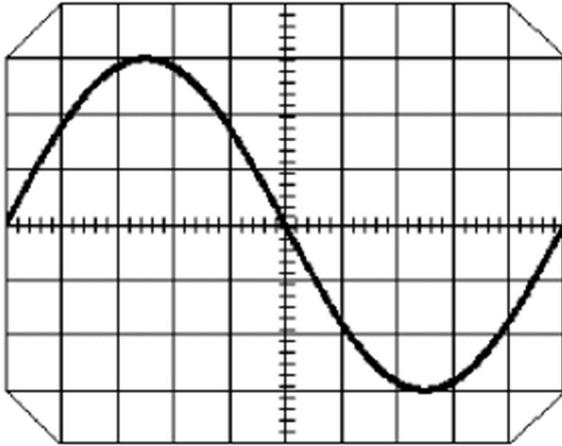
*Remarque* : nous connaissons tous des phénomènes qui se répètent à intervalles de temps réguliers : Noël (période de 1 an), la parution d'un quotidien (période de 1 jour), la parution d'un hebdomadaire (période de 1 semaine), etc.

### 4. La fréquence d'une tension alternative

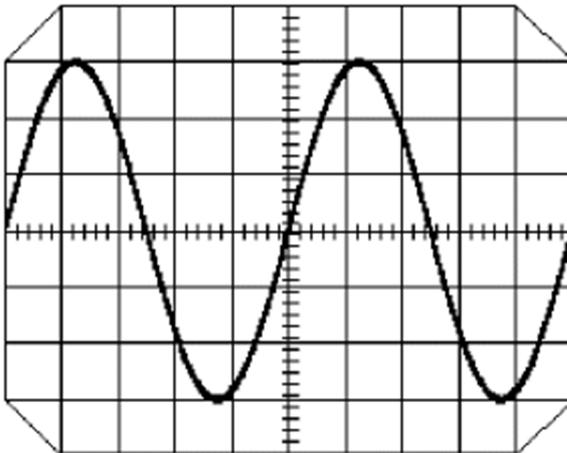
La période d'un quotidien est beaucoup plus courte que la période d'un hebdomadaire : un quotidien a donc une fréquence de parution plus grande qu'un hebdomadaire. Plus généralement, plus un phénomène se reproduit souvent dans un temps donné, plus sa fréquence est grande et plus sa période est petite.

On peut de la même façon définir la fréquence d'une tension périodique. C'est le **nombre de fois que se répète le motif élémentaire pendant une seconde**. Elle s'exprime en hertz (Hz) et se note  $f$ .

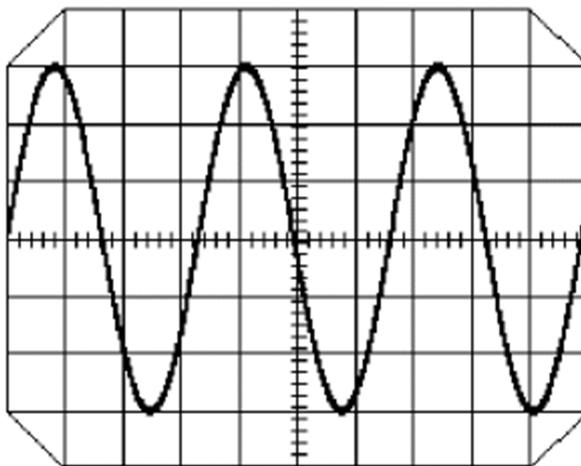
*Protocole* : réglons l'oscilloscope sur une vitesse de balayage de 0,1 s par division. Ainsi, le spot parcourt tout l'écran en 1 s. Visualisons trois tensions alternatives sinusoïdales de fréquences différentes.



$T = 1 \text{ s}$  ; un motif élémentaire  
donc  $f = 1 \text{ Hz}$ .



$T = 1/2 \text{ s}$  ; 2 motifs élémentaires  
donc  $f = 2 \text{ Hz}$ .



$T = 1/3 \text{ s}$  ; 3 motifs élémentaires  
donc  $f = 3 \text{ Hz}$ .

*Observation* : plus la période  $T$  de la tension est petite, plus on observe de motifs élémentaires et plus la fréquence de la tension augmente.

*Interprétation* : la fréquence d'une tension est simplement l'inverse de la période, soit :

$$f = \frac{1}{T} \text{ où } f \text{ est exprimée en hertz (Hz) et } T \text{ en secondes (s).}$$

# La production d'une tension alternative

Comment la dynamo de bicyclette transforme-t-elle le mouvement de la roue en électricité ?

*Réponse* : la dynamo est principalement constituée d'un aimant qui tourne et d'une bobine fixe en cuivre. C'est la rotation de l'aimant devant la bobine de cuivre qui produit l'électricité.

Comment l'électricité est-elle produite dans la dynamo ? Existe-t-il d'autres manières de produire de l'électricité ?

## 1. Produire une tension

*Protocole* : on branche une **bobine de cuivre** aux bornes d'un oscilloscope et on déplace un **aimant** devant celle-ci.

*Observation* : on constate que le spot dévie verticalement ; cette déviation s'effectue vers le haut ou vers le bas selon le pôle de l'aimant présenté lors du déplacement. En revanche, le spot ne dévie pas quand l'aimant est immobile.

*Interprétation* : une tension apparaît aux bornes de la bobine quand un aimant se déplace à proximité de celle-ci. Ce phénomène s'appelle l'**induction**. La tension est positive ou négative selon le pôle de l'aimant situé devant la bobine.

*Remarque* : le phénomène se produit également si on déplace la bobine près de l'aimant. La tension produite s'annule dès que le mouvement cesse. Comment faire pour obtenir une tension permanente et si possible alternative ?

## 2. Produire une tension alternative

*Protocole* : on fixe un aimant sur un moteur afin de le faire tourner devant une bobine de cuivre (reliée à un oscilloscope).

*Observation* : une tension alternative est produite aux bornes de la bobine.

*Interprétation* : à chaque fois que l'aimant fait un demi-tour devant la bobine (c'est-à-dire à chaque fois qu'il lui présente soit son pôle nord soit son pôle sud), la tension change de signe. Un aimant tournant devant une bobine (ou l'inverse) constitue donc un **générateur de tension alternative** appelé **alternateur**.

Pour produire une tension alternative avec des caractéristiques données, il suffit de faire tourner l'aimant plus ou moins rapidement : plus sa vitesse est grande, plus la tension maximale et la fréquence de la tension augmentent.

## 3. De la dynamo à la centrale électrique

Une **dynamo de bicyclette** est donc un alternateur ; quand le galet d'entraînement frotte contre la roue, il entraîne la rotation d'un aimant devant une bobine de cuivre : une tension alternative apparaît aux bornes de la bobine reliée aux lampes du vélo.

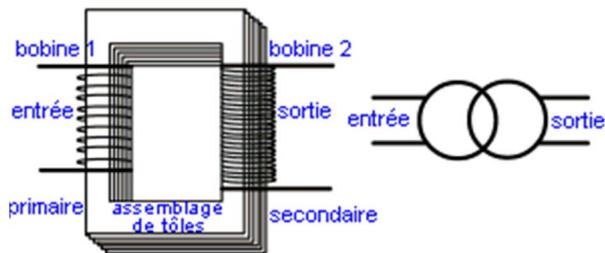
C'est de la même façon, mais avec des alternateurs plus imposants, qu'on produit industriellement l'électricité : dans les centrales électriques, les différentes formes d'énergie (hydraulique, thermique, nucléaire, etc.) permettent de faire tourner des turbines qui mettent en rotation des rotors (constitués d'aimants) dans des stators (constitués de bobines métalliques), l'ensemble des deux constituant l'alternateur.

# La transformation d'une tension alternative

La tension domestique fournie par EDF est de 230 V. Comment modifier cette tension lorsque des appareils ne fonctionnent pas à 230 V ?

*Réponse* : pour modifier la tension fournie, il faut utiliser un transformateur de tension. Comment celui-ci fonctionne-t-il ?

## 1. La constitution d'un transformateur



Un transformateur et son symbole

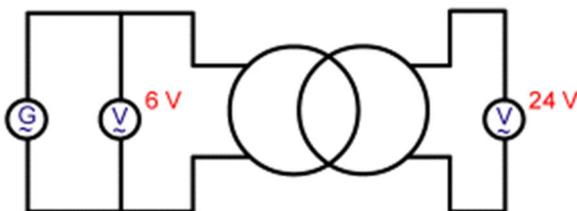
Un transformateur est composé de deux bobines de fils métalliques (en général, en cuivre) recouverts d'un isolant. Chacune de ces deux bobines, isolées l'une de l'autre, est enroulée autour d'un assemblage de tôles de fer.

Le nombre de tours de fils effectués par chaque bobine n'est en général pas le même et les fils ont un diamètre différent. Comment tous ces éléments permettent-ils de transformer des tensions ?

## 2. Le principe de fonctionnement d'un transformateur

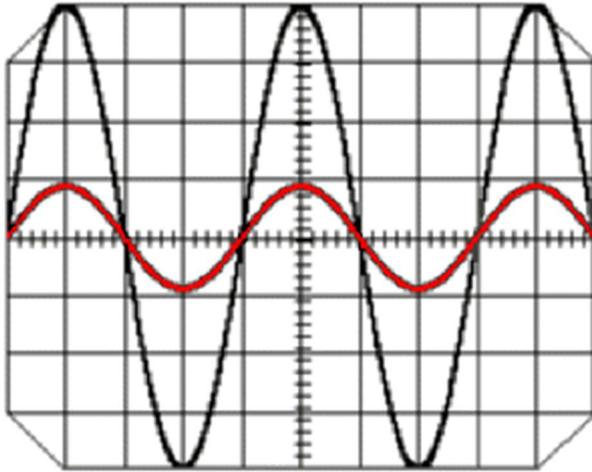
Pour le comprendre, réalisons l'expérience suivante avec un transformateur (sur lequel est porté la mention « 6 V-24 V ») dont le nombre de tours de fil de la première bobine est moins grand que celui de la seconde bobine.

*Protocole* : la première bobine du transformateur est alimentée par un générateur de tension alternative. On mesure à l'aide de voltmètres (utilisés en alternatif) la tension d'entrée aux bornes de la première bobine (appelée le primaire) et la tension de sortie aux bornes de la seconde bobine (appelée le secondaire). On visualise ces deux tensions sur un oscilloscope.



L'utilisation d'un transformateur

*Observation* :



Visualisation des tensions d'entrée et de sortie

On constate que la tension de sortie (en noir) est quatre fois plus importante que la tension d'entrée (en rouge) mais que la fréquence de la tension demeure inchangée.

*Interprétation* : un transformateur dont le nombre de tours de fil de la première bobine est moins grand que celui de la seconde bobine est un **transformateur élévateur de tension**. La fréquence de la tension alternative demeure inchangée.

*Remarques* :

Si le nombre de tours de fil de la première bobine est plus grand que celui de la seconde bobine, on constate que le transformateur est **abaisseur de tension**.

Il faut éviter d'alimenter un transformateur à l'aide d'une tension d'entrée supérieure à celle indiquée.

Le transformateur n'aurait fourni aucune tension de sortie s'il avait été soumis à une tension d'entrée continue : **un transformateur ne fonctionne pas en courant continu**.

### 3. L'utilisation des transformateurs

On utilise des transformateurs abaisseurs de tension ( $220\text{ V} \rightarrow 12\text{ V}$ ) pour les **jouets d'enfants**, les radios, etc. Ainsi, l'utilisation de ces objets ne présente plus de danger, à part le branchement à la prise. Ils sont également utilisés dans les petites **stations de transformation** (en général, il y a une tête de mort sur la porte), qui permettent de transformer une haute tension de  $20\ 000\text{ V}$  en une basse tension de  $220\text{ V}$ .

On utilise des transformateurs éleveurs de tension dans les **téléviseurs** : le tube cathodique nécessite une tension de plusieurs milliers de volts. (C'est pour cela qu'il est formellement déconseillé d'ouvrir le capot de la télé quand celle-ci est allumée.) Ces transformateurs sont également utilisés pour transformer la tension à la sortie des **centrales** ( $20\ 000\text{ V}$ ) en une très haute tension ( $400\ 000\text{ V}$ ) plus efficace pour le transport de l'énergie électrique.

## Le rôle d'un adaptateur

Une console de jeux ne fonctionne qu'avec du courant continu, alors qu'elle se branche sur une prise fournissant une tension alternative. Quel dispositif permet de transformer du courant alternatif en courant continu ?

*Réponse* : on utilise un adaptateur de tension qui permet de transformer une tension alternative en tension continue. Quelles sont les différentes étapes de cette transformation ?

### 1. Abaisser la tension

L'adaptateur de tension est souvent utilisé pour alimenter des jouets ou des appareils électriques en contact avec la peau (comme les rasoirs). Dans ces appareils, la tension doit être particulièrement basse pour ne pas constituer une source de danger.

L'adaptateur contient donc un **transformateur** qui permet d'**abaisser** la tension à des valeurs non dangereuses pour l'homme.

## 2. Redresser la tension

Après avoir été abaissée, la tension doit être ensuite redressée : une tension alternative est redressée quand ses valeurs sont **toujours du même signe**. Quel dispositif permet d'arriver à ce résultat ? Réalisons les montages suivants.

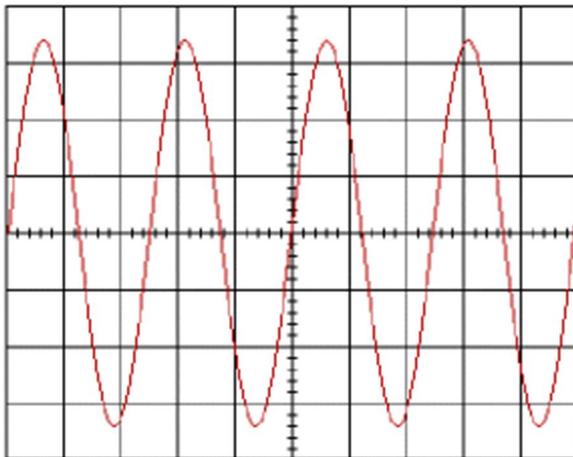
*Protocole :*

Alimentons une lampe avec un générateur de tension alternative et visualisons sur un **oscilloscope** la tension à ses bornes (montage 1).

Ajoutons en série dans le circuit une **diode** et visualisons la nouvelle tension aux bornes de la lampe (montage 2).

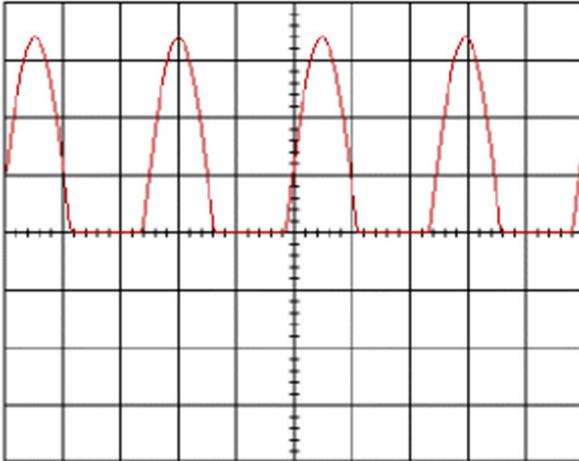
uRemplaçons la diode par un assemblage de quatre diodes appelé pont de diodes et visualisons la nouvelle tension aux bornes de la lampe (montage 3).

*Observation :* les schémas suivants représentent les tensions obtenues aux bornes de la lampe dans les différents montages.

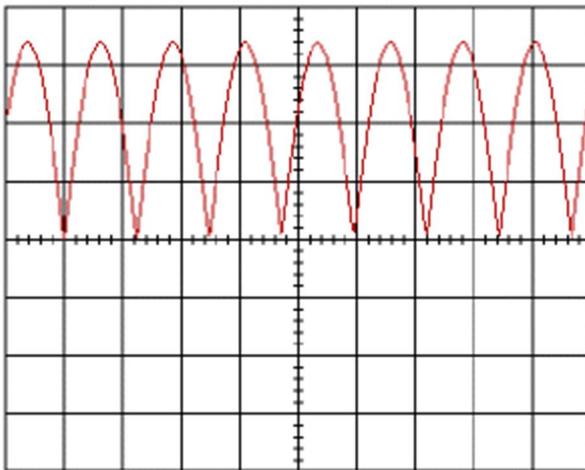


**Montage 1**

La tension est alternative et sinusoïdale ;  
la lampe brille normalement.



**Montage 2**  
Les alternances négatives ont disparu ;  
la lampe brille plus faiblement.



**Montage 3**  
Les alternances négatives sont remplacées par  
des alternances positives; la lampe brille normalement.

*Interprétation :*

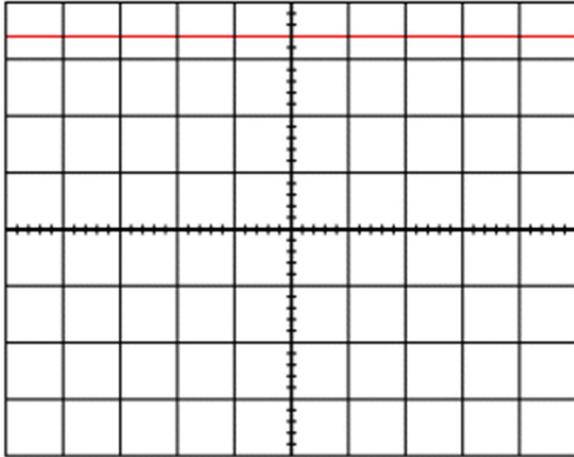
Dans le montage 2, la diode ne permet au courant que de passer dans un seul sens ; la tension s'annule quand la diode est bloquée. La tension obtenue est variable mais n'est plus alternative ; comme les alternances négatives ont été supprimées, l'éclat de la lampe est plus faible. On dit que la tension est redressée **simple alternance**.

Dans le montage 3, le pont de diodes permet au courant de circuler toujours dans le même sens mais sans annuler la tension ; les alternances négatives sont devenues des alternances positives. La tension obtenue est variable mais n'est plus alternative. On dit que la tension est redressée **double alternance**. Comme l'effet sur la lampe est le même (la lampe brille normalement), ce redressage est le plus fréquemment utilisé. À partir de cette tension redressée, comment peut-on obtenir une tension continue ?

### 3. Le lissage de la tension

*Protocole :* ajoutons dans le montage double alternance un **condensateur en dérivation** et visualisons à l'oscilloscope la tension obtenue aux bornes de la lampe.

*Observation :*



Tension obtenue avec un montage  
double alternance et un condensateur

La tension est **continue**.

*Remarque* : on a pris ici un condensateur de capacité très élevée. Avec un condensateur de capacité moins grande, la tension obtenue n'est pas continue mais varie encore légèrement.

#### 4. Des adaptateurs variables

Malgré leur aspect identique, les adaptateurs ne sont pas interchangeables car ils ne fournissent pas forcément la même valeur de tension continue et le **lissage de la tension** peut être plus ou moins important selon les adaptateurs. Remplacer un adaptateur qui provient, par exemple, d'un jouet par un adaptateur de rasoir n'est donc pas conseillé et peut même endommager l'appareil.

## L'installation électrique domestique

L'alimentation de l'installation électrique domestique est gérée par un tableau de contrôle.

Quels sont les différents éléments qui le constituent ?

*Réponse* : il est composé de différents fusibles et disjoncteurs.

Étudions plus en détail la conception d'une installation électrique afin de comprendre le rôle de ces éléments.

#### 1. Les prises de courant

Toutes les prises de courant comportent aujourd'hui **trois bornes** : deux bornes femelles et une borne mâle. Appelée **terre**, la borne mâle peut être reliée à la terre de deux manières : par un piquet métallique (appelé piquet de terre) enfoui dans le sol à proximité de l'habitation ou par un câble conducteur en forme de boucle (appelé boucle à fond de fouille) enfoui dans le béton de fondation.

Les deux bornes femelles sont-elles identiques ?

Non ! Pour les distinguer l'une de l'autre, on utilise un tournevis testeur dont le manche comporte une **résistance** élevée (plusieurs mégaohms) et une petite lampe au néon. La lampe du tournevis s'allume dans la borne appelée **phase** et reste éteinte dans la borne appelée **neutre**.

*Remarques* :

Le fil de la borne neutre est aussi relié à la terre : EDF effectue ce branchement au niveau du **transformateur** de quartier pour des raisons de sécurité.

Si on mesure la **tension efficace** entre les différentes bornes de la prise, le **voltmètre** indique environ **230 V** entre la phase et le neutre, environ 230 V entre la phase et la terre et 0 V entre le neutre et la terre. Dans une prise, seule la borne phase est donc dangereuse.

Si on visualise à l'**oscilloscope** la tension entre la phase et le neutre, on constate que c'est une tension **alternative sinusoïdale**, de **fréquence 50 Hz**.

## 2. Le branchement des appareils

Quand une prise est inoccupée ou qu'un appareil branché n'est pas en fonction, les autres appareils peuvent quand même fonctionner. Les appareils sont donc branchés en **dérivation** et sont tous soumis à la même tension efficace de **230 V**, la tension du **secteur**.

En revanche, chaque appareil a besoin pour fonctionner d'une intensité différente. Lorsque plusieurs appareils sont en fonction, l'intensité du circuit principal est égale à la somme des intensités des courants qui les traversent. Elle est donc d'autant plus élevée que le nombre d'appareils en fonctionnement est grand.

## 3. Les dangers de l'électricité domestique

À cause de la tension élevée du secteur, tout contact accidentel avec un fil électrique peut s'avérer dangereux, voire fatal. On considère qu'un courant présente un danger pour une tension de 50 V dans des conditions normales et de 24 V lorsque l'humidité est importante. Une électrocution peut survenir à la suite **d'un contact avec la phase** directement ou indirectement (par l'intermédiaire d'un appareil électrique mal isolé). Le danger est d'autant plus grand que le corps humain a une moindre résistance électrique (jeunes enfants, corps humide, etc.).

Un court-circuit dans une installation peut s'avérer également très dangereux. Il peut se produire quand le fil de phase entre en contact avec le fil neutre ou avec le fil de terre ; l'intensité dans le circuit augmente très fortement (il y a **surintensité**), les fils s'échauffent et un incendie peut survenir.

## 4. La protection des personnes et des installations

### 4.1. La protection des personnes

Autrefois, les gaines isolantes qui recouvraient les fils étaient en tissu mais elles se détérioraient très vite et constituaient alors une source d'accidents électriques. C'est pourquoi les fils électriques sont maintenant recouverts de **matériaux isolants** résistants comme les matières plastiques.

La carcasse métallique des appareils est, elle, obligatoirement reliée à la **prise de terre**.

Si, par suite d'un défaut d'isolement, la carcasse métallique vient en contact avec le fil de phase, un courant électrique dit de fuite est dérivé dans le sol par l'intermédiaire du fil de terre.

Le **disjoncteur différentiel**, qui détecte ce courant, se déclenche et coupe le circuit principal.

### 4.2. La protection des installations

Pour se protéger des courts-circuits, on place dans chaque circuit un **coupe-circuit** appelé **fusible**.

Le fusible contient un **fil qui fond** lorsque l'intensité du courant dépasse une certaine valeur maximale dépendant du circuit : le circuit d'alimentation d'une machine à laver supporte une

intensité plus grande (en général, 32 A) que le circuit d'alimentation d'une lampe (en général, 16 A). Plus l'intensité du circuit est grande, plus les fils du circuit ont un diamètre important. Il est formellement déconseillé de remplacer un fusible par un conducteur quelconque ; celui-ci ne protège en aucun cas le circuit car il ne fond sans doute pas pour la valeur maximale de l'intensité supportée par le circuit.

Si trop d'appareils sont branchés dans l'installation électrique, un **disjoncteur à maximum d'intensité** permet également d'ouvrir le circuit principal très rapidement.

## L'installation électrique domestique

L'alimentation de l'installation électrique domestique est gérée par un tableau de contrôle.

Quels sont les différents éléments qui le constituent ?

*Réponse* : il est composé de différents fusibles et disjoncteurs.

Étudions plus en détail la conception d'une installation électrique afin de comprendre le rôle de ces éléments.

### 1. Les prises de courant

Toutes les prises de courant comportent aujourd'hui **trois bornes** : deux bornes femelles et une borne mâle. Appelée **terre**, la borne mâle peut être reliée à la terre de deux manières : par un piquet métallique (appelé piquet de terre) enfoui dans le sol à proximité de l'habitation ou par un câble conducteur en forme de boucle (appelé boucle à fond de fouille) enfoui dans le béton de fondation.

Les deux bornes femelles sont-elles identiques ?

Non ! Pour les distinguer l'une de l'autre, on utilise un tournevis testeur dont le manche comporte une **résistance** élevée (plusieurs mégaohms) et une petite lampe au néon. La lampe du tournevis s'allume dans la borne appelée **phase** et reste éteinte dans la borne appelée **neutre**.

*Remarques* :

Le fil de la borne neutre est aussi relié à la terre : EDF effectue ce branchement au niveau du **transformateur** de quartier pour des raisons de sécurité.

Si on mesure la **tension efficace** entre les différentes bornes de la prise, le **voltmètre** indique environ **230 V** entre la phase et le neutre, environ 230 V entre la phase et la terre et 0 V entre le neutre et la terre. Dans une prise, seule la borne phase est donc dangereuse.

Si on visualise à l'**oscilloscope** la tension entre la phase et le neutre, on constate que c'est une tension **alternative sinusoïdale**, de **fréquence 50 Hz**.

### 2. Le branchement des appareils

Quand une prise est inoccupée ou qu'un appareil branché n'est pas en fonction, les autres appareils peuvent quand même fonctionner. Les appareils sont donc branchés en **dérivation** et sont tous soumis à la même tension efficace de **230 V**, la tension du **secteur**.

En revanche, chaque appareil a besoin pour fonctionner d'une intensité différente. Lorsque plusieurs appareils sont en fonction, l'intensité du circuit principal est égale à la somme des intensités des courants qui les traversent. Elle est donc d'autant plus élevée que le nombre d'appareils en fonctionnement est grand.

### 3. Les dangers de l'électricité domestique

À cause de la tension élevée du secteur, tout contact accidentel avec un fil électrique peut s'avérer dangereux, voire fatal. On considère qu'un courant présente un danger pour une tension de 50 V dans des conditions normales et de 24 V lorsque l'humidité est importante. Une électrocution peut survenir à la suite **d'un contact avec la phase** directement ou indirectement (par l'intermédiaire d'un appareil électrique mal isolé). Le danger est d'autant plus grand que le corps humain a une moindre résistance électrique (jeunes enfants, corps humide, etc.).

Un court-circuit dans une installation peut s'avérer également très dangereux. Il peut se produire quand le fil de phase entre en contact avec le fil neutre ou avec le fil de terre ; l'intensité dans le circuit augmente très fortement (il y a **surintensité**), les fils s'échauffent et un incendie peut survenir.

## 4. La protection des personnes et des installations

### 4.1. La protection des personnes

Autrefois, les gaines isolantes qui recouvraient les fils étaient en tissu mais elles se détérioraient très vite et constituaient alors une source d'accidents électriques. C'est pourquoi les fils électriques sont maintenant recouverts de **matériaux isolants** résistants comme les matières plastiques.

La carcasse métallique des appareils est, elle, obligatoirement reliée à la **prise de terre**. Si, par suite d'un défaut d'isolement, la carcasse métallique vient en contact avec le fil de phase, un courant électrique dit de fuite est dérivé dans le sol par l'intermédiaire du fil de terre.

Le **disjoncteur différentiel**, qui détecte ce courant, se déclenche et coupe le circuit principal.

### 4.2. La protection des installations

Pour se protéger des courts-circuits, on place dans chaque circuit un **coupe-circuit** appelé **fusible**.

Le fusible contient un **fil qui fond** lorsque l'intensité du courant dépasse une certaine valeur maximale dépendant du circuit : le circuit d'alimentation d'une machine à laver supporte une intensité plus grande (en général, 32 A) que le circuit d'alimentation d'une lampe (en général, 16 A). Plus l'intensité du circuit est grande, plus les fils du circuit ont un diamètre important. Il est formellement déconseillé de remplacer un fusible par un conducteur quelconque ; celui-ci ne protège en aucun cas le circuit car il ne fond sans doute pas pour la valeur maximale de l'intensité supportée par le circuit.

Si trop d'appareils sont branchés dans l'installation électrique, un **disjoncteur à maximum d'intensité** permet également d'ouvrir le circuit principal très rapidement.

# La résistance électrique

Pourquoi, dans les câbles électriques, trouve-t-on certains matériaux tels que le cuivre plutôt que d'autres ?

*Réponse* : certains matériaux comme le cuivre conduisent le courant bien mieux que d'autres. Quelle propriété explique ce phénomène ?

## 1. Qu'est-ce que la résistance électrique ?

Lorsqu'on insère différents matériaux (du graphite puis du cuivre, par exemple) dans un petit circuit électrique contenant une lampe, on constate que la lampe ne brille pas du même éclat. Le courant électrique est plus intense avec le cuivre qui est donc un meilleur conducteur. Cela signifie que le graphite s'oppose plus au passage du courant dans le circuit que le cuivre. On dit que ces deux matériaux ne possèdent pas la même résistance au passage du courant. De manière générale, tous les conducteurs possèdent une propriété qui s'appelle la résistance électrique : celle-ci traduit la capacité à **s'opposer plus ou moins au passage du courant**. Ainsi, la résistance du cuivre étant plus faible que celle du graphite, c'est un meilleur conducteur.

On sait déjà mesurer l'intensité du courant et la tension électrique mais comment peut-on mesurer la résistance électrique ?

## 2. Comment peut-on mesurer une résistance ?

Comme pour toute grandeur, il est nécessaire de savoir en quelle unité de mesure s'exprime la résistance électrique. Celle-ci se mesure en **ohms** (de symbole  $\Omega$ ).

On utilise également très fréquemment le kiloohm (symbole  $k\Omega$  ;  $1 k\Omega = 1\,000 \Omega$ ) et le mégaohm (symbole  $M\Omega$  ;  $1 M\Omega = 1\,000\,000 \Omega$ ).

Pour mesurer la résistance d'un conducteur, on utilise un **ohmmètre**. Il faut simplement placer cet appareil aux bornes du conducteur en dehors de tout circuit. Si on effectue un certain nombre de mesures, on constate que les matériaux présentent des résistances de valeurs extrêmement diverses.

*Exemples :*

Un morceau de cuivre a une résistance de l'ordre de quelques centièmes d'ohms, tandis que la résistance d'une mine de crayon est de l'ordre de  $10 \Omega$ .

La résistance du corps humain sec a une valeur de l'ordre de  $1 M\Omega$ , tandis que lorsqu'il est mouillé, la valeur est environ divisée par un facteur 2 (ces valeurs diffèrent selon les personnes).

Si on cherche à mesurer la résistance d'un isolant (comme le bois sec, la laine, le verre, etc.), l'ohmmètre ne peut donner aucune valeur, ce qui signifie que ces isolants ont une résistance très grande.

## 3. Quelle est l'influence d'une résistance dans un circuit ?

Nous venons de voir que la résistance du cuivre était bien inférieure à celle du graphite. On peut maintenant interpréter l'expérience de la façon suivante : la lampe brille plus avec le cuivre parce que la valeur de sa résistance est beaucoup plus faible. En généralisant, on obtient le résultat suivant : **plus la résistance dans un circuit augmente, plus l'intensité du courant électrique dans ce circuit diminue**.

Ce résultat a de nombreuses applications :

- dans des circuits électroniques, on utilise souvent des résistances pour limiter l'intensité du courant. Les bagues colorées dont elles sont cerclées indiquent, grâce à un code de couleurs, la valeur approximative de la résistance ;
- pour faire varier le volume sonore des baladeurs, on fait varier la résistance du circuit qui alimente le haut-parleur ;
- un variateur de d'intensité sur une lampe halogène fonctionne également sur le même principe.

# La loi d'Ohm

Pourquoi est-il dangereux d'utiliser des appareils électriques dans une salle de bain ?

*Réponse* : l'humidité de la salle de bains diminue la résistance électrique du corps humain ; celui-ci peut alors être plus facilement parcouru par un courant.

## 1. Trois grandeurs liées

Dans la situation évoquée ci-dessus, l'intensité du courant et la résistance ne sont pas les seuls facteurs qui importent. La **tension** électrique joue également un rôle primordial : utiliser un baladeur (tension de 4,5 V) dans la salle de bains, est-ce aussi dangereux qu'utiliser un sèche-cheveux (tension de 220 V) ?

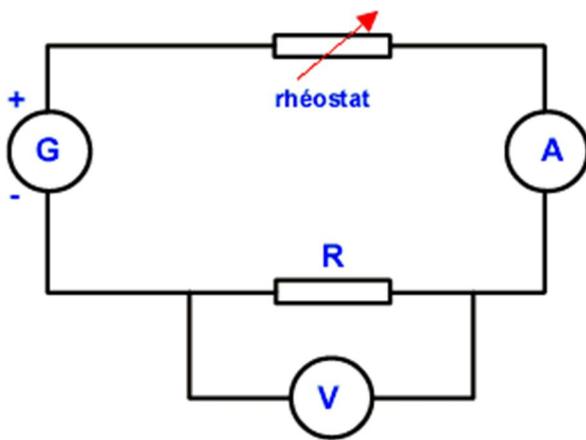
Non, car une tension de 4,5 V ne produit pas dans le corps humain une intensité suffisamment dangereuse, que le corps soit sec ou mouillé.

Existe-t-il une relation entre la tension, l'intensité et la résistance qui permette de comprendre ces faits ?

Oui, cette relation a été établie pour la première fois en 1827 par le physicien Georg Simon Ohm et se nomme la loi d'Ohm.

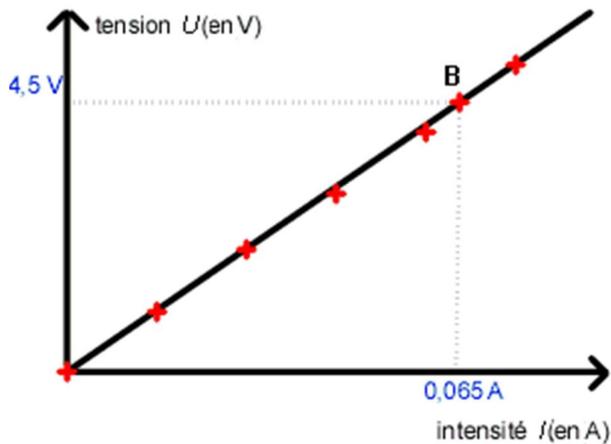
## 2. Un résultat expérimental

Pour retrouver cette loi expérimentalement, nous pouvons réaliser un circuit en série comportant un générateur, une résistance (de valeur  $R = 39 \text{ } \Omega$ ) et un rhéostat. En faisant varier la résistance du rhéostat, nous faisons varier l'intensité  $I$  du courant dans le circuit. Branchons alors un voltmètre en dérivation aux bornes de la résistance  $R$  et mesurons les variations de la tension  $U$ .



**Montage permettant d'établir la loi d'Ohm**

Grâce à ce montage, on peut tracer un graphique représentant la variation de la tension  $U$  aux bornes de la résistance de valeur  $R$  en fonction de l'intensité  $I$  du courant qui le traverse. La courbe obtenue s'appelle la **caractéristique de la résistance**.



### Caractéristique tension-intensité d'une résistance

On trace une droite qui passe le plus près possible d'un grand nombre de points. Elle passe par l'origine. Mathématiquement, cela signifie simplement que  $U$  et  $I$  sont des grandeurs **proportionnelles**. Le coefficient directeur de la droite se détermine en divisant l'ordonnée  $U$  d'un point par son abscisse  $I$ . Prenons, par exemple, les coordonnées du point B pour calculer

ce coefficient ; on trouve :  $\frac{U}{I} = \frac{4,5}{0,065} = 69$ .

Cette valeur n'est autre que celle de la résistance  $R$  ; on en déduit que :

$$\frac{U}{I} = R \quad \text{ou} \quad U = R \times I$$

### 3. Énoncé et conséquences de la loi d'Ohm

La loi d'Ohm s'énonce donc ainsi : la tension  $U$  aux bornes d'une résistance est **proportionnelle** à l'intensité  $I$  du courant qui le traverse et ce coefficient de proportionnalité n'est autre que la valeur  $R$  de la **résistance** :  $U = R \times I$  où la tension  $U$  est exprimée en volts (V), l'intensité  $I$  en ampères (A) et  $R$  en ohms ( $\Omega$ ).

De cette loi, on peut tirer quelques enseignements utiles :

- pour une valeur donnée de la résistance, l'intensité du courant augmente si la tension augmente (et inversement) ;
- pour une tension donnée (par exemple 220 V), si la résistance diminue, l'intensité augmente.

*Remarque* : si on traçait la caractéristique d'une lampe ou du corps humain, celle-ci ne serait pas une droite ; la relation de proportionnalité entre la tension et l'intensité ne pourrait pas s'appliquer (il existe d'autres relations plus complexes qui permettent de relier la tension, la résistance et l'intensité dans ces cas-là). Cependant, les enseignements qui précèdent s'appliquent quand même à la lampe ou au corps humain.

## L'influence du matériau et de la géométrie sur la résistance électrique

Pourquoi les fils de fusibles n'ont-ils pas tous le même diamètre ?

*Réponse* : plus le fil est fin, plus l'intensité de courant nécessaire pour le casser est faible. Est-ce dû à la résistance du fil ? De quels facteurs dépend celle-ci ?

## 1. La résistance dépend-elle du matériau ?

Oui, les matériaux n'ont pas tous la même résistance. Il existe, en gros, deux types de matériaux :

— les matériaux **conducteurs** qui possèdent une résistance électrique faible (tous les métaux, le carbone) ;

— les matériaux **isolants** qui possèdent une résistance électrique élevée (le verre, les matériaux plastiques, le bois sec, etc.).

Comment peut-on expliquer cette différence ?

Il existe dans les matériaux conducteurs de petites particules chargées électriquement et libres de se déplacer. On les appelle les **électrons libres**. Ce sont eux qui constituent le courant électrique dans un circuit. Dans les matériaux isolants, il y a très peu d'électrons libres donc quasiment aucun courant ne peut les parcourir.

Notons que tous les matériaux conducteurs ne conduisent pas le courant de la même façon ; ils n'ont pas la même résistance au passage du courant. Par exemple, un fil de cuivre a une résistance environ 6 fois plus petite qu'un fil de fer et 30 fois plus petite qu'un fil de carbone (ceci pour des fils de dimensions identiques).

## 2. La résistance d'un fil conducteur dépend-elle de sa longueur ?

Oui ! Si on prend un fil d'un métal quelconque, on constate que la résistance de ce fil double quand on double sa longueur.

Comment interpréter ce résultat ?

Plus le chemin à parcourir est long, plus les électrons libres se voient opposer de résistance à leur passage. Donc **plus la longueur d'un fil est grande, plus sa résistance augmente**.

## 3. La résistance d'un fil conducteur dépend-elle de son diamètre ?

Oui ! Si on prend des fils cylindriques d'un métal quelconque mais de diamètres différents, on constate que la résistance diminue quand le diamètre du fil augmente.

Comment interpréter ce résultat ?

Plus le passage offert aux électrons libres est étroit, plus la difficulté pour circuler est importante : **un chemin étroit leur oppose plus de résistance qu'un chemin large**.

## 4. Comment choisir un matériau électrique ?

Un matériau électrique a essentiellement **deux champs d'application** : conduire l'électricité ou produire de la chaleur. En effet, lorsque le courant circule dans une résistance, l'électricité se transforme en chaleur et ceci d'autant plus que la valeur de la résistance est grande (ce phénomène s'appelle l'**effet Joule**). On choisira un matériau en fonction du champ d'application souhaité et de l'usage que l'on veut en faire.

*Exemples :*

Pour des lignes de transport de l'énergie électrique à très haute tension, étant données les longueurs des lignes électriques, il est important d'utiliser un matériau conducteur de résistance peu élevée ; il faut également qu'il soit léger. Le choix d'EDF s'est porté sur l'aluminium.

Dans certaines technologies de pointe (comme les ordinateurs), on utilise le meilleur conducteur qui soit : l'argent (malgré son prix élevé).

Le fil d'un fusible doit chauffer et fondre si le courant est trop important. Le matériau doit donc être un conducteur qui fond à une température peu élevée. Un alliage de plomb et d'étain convient bien.

Au contraire, les résistances des fers à repasser, lave-linge, radiateurs électriques, grille-pain, etc. doivent chauffer mais ne pas fondre : il faut donc utiliser un matériau conducteur qui fond à une température très élevée. C'est en général un alliage de nickel et de chrome qui est utilisé.

## La puissance et l'énergie électrique

À la maison, les lampes sont toutes alimentées sous une tension efficace de 230 V. Comment expliquer qu'elles ne brillent pas toutes de la même façon ?

*Réponse* : les lampes ne reçoivent pas toutes la même puissance électrique et ne consomment pas la même énergie électrique. Que représentent ces deux nouvelles grandeurs ?

### 1. La puissance électrique

#### 1.1. La puissance électrique est fonction de la tension et de l'intensité

Afin de comprendre ce que représente la puissance électrique, réalisons l'expérience suivante.

*Protocole* : on branche deux lampes en dérivation aux bornes d'un générateur de tension continue. Elles sont alimentées par leur tension d'usage. On mesure l'intensité qui traverse chacune des lampes.

*Observation* : les deux lampes ne brillent pas de la même façon.

*Interprétation* : la lampe dont l'éclat est le plus fort est celle qui est traversée, à tension égale, par le courant de plus forte intensité. Cette lampe reçoit plus de puissance que l'autre lampe. En courant continu, la puissance reçue par la lampe, notée  $P$ , est égale au produit de la tension  $U$  à ses bornes par l'intensité  $I$  du courant qui la traverse :

$$P = U \times I$$

où  $U$  est exprimée en volts (V),  $I$  en ampères (A) et  $P$  en watts (W).

*Remarque* : en courant alternatif, pour les appareils ne comportant pas de moteur électrique, la relation est la même en considérant les valeurs efficaces de la tension et de l'intensité :

$$P = U_{eff} \times I_{eff}$$

#### 1.2. La puissance nominale

Les indications 60 W, 75 W et 100 W des ampoules du commerce correspondent donc à des puissances électriques. Ce sont les puissances appelées puissances nominales que doivent recevoir les différentes lampes pour briller normalement.

Plus généralement, la puissance nominale d'un appareil électrique est la **puissance que doit recevoir celui-ci pour fonctionner normalement**.

Elle varie selon le type d'appareil considéré :

- microphone : 0,01 mW (1 milliwatt = 1 mW =  $10^{-3}$  W) ;
- lampe de poche : 1 W ;
- fer à repasser : 1 kW (1 kilowatt = 1 kW =  $10^3$  W) ;
- lave-linge : 3 kW ;
- moteur TGV : 1 MW (1 mégawatt = 1 MW =  $10^6$  W).

Pour qu'un appareil électrique reçoive sa puissance nominale, il faut qu'il soit soumis à sa **tension nominale** (appelée aussi tension d'usage). Alimenter, par exemple, une lampe en dessous de sa tension nominale signifie que la lampe ne reçoit pas la puissance nécessaire à

son fonctionnement normal : la lampe est en **sous-tension** et brille faiblement. Au contraire, si on l'alimente au-dessus de sa tension nominale, elle reçoit trop de puissance : la lampe est en **surtension** et éclaire très fortement mais sa durée de vie sera très écourtée.

### 1.3. La puissance électrique d'une installation

La puissance électrique que peut recevoir une installation est déterminée quand on prend un abonnement auprès du fournisseur (EDF, par exemple). Elle dépend du nombre d'appareils électriques présents et susceptibles de fonctionner en même temps. Comment déterminer l'abonnement le mieux adapté ?

Lorsque les divers appareils sont en fonctionnement, leurs puissances consommées et donc reçues s'ajoutent. Si la somme de ces puissances dépasse celle allouée par l'abonnement, le disjoncteur coupe l'alimentation en courant. Si le cas se reproduit trop souvent, il vaut mieux souscrire un abonnement de puissance supérieure. EDF propose des puissances de 3 kW à 36 kW.

## 2. L'énergie électrique

### 2.1. L'énergie électrique est fonction de la puissance et du temps

Un appareil électrique reçoit une puissance uniquement lorsqu'il est en fonctionnement pendant une certaine durée. EDF ne facture donc pas une consommation de puissance mais une **consommation de puissance pendant une durée de fonctionnement**. La puissance  $P$  reçue par un appareil électrique pendant une durée  $t$  de fonctionnement est l'énergie électrique consommée par celui-ci.

Celle-ci est donnée par la relation :

$$E = P \times t$$

Si  $t$  est en secondes (s) et  $P$  en watts (W), alors  $E$  s'exprime en joules (J). Si  $t$  est en heure (h) et  $P$  en watts (W), alors  $E$  s'exprime en wattheures (Wh)

$$1 \text{ Wh} = 1 \text{ W} \times 1 \text{ h} = 1 \text{ W} \times 3\,600 \text{ s} = 3\,600 \text{ J.}$$

### 2.2. Comment mesurer l'énergie électrique ?

L'énergie électrique est mesurée par EDF à l'aide d'un **compteur électrique** qui indique la consommation d'énergie électrique en kilowattheures (1 kilowattheure = 1 kWh = 1 000 Wh). Un compteur électrique comporte souvent un disque qui tourne d'autant plus vite que l'énergie consommée est grande. Sur la façade avant du compteur est indiquée la constante  $C$  du compteur (en kWh/tour) qui représente la consommation d'énergie électrique pendant un tour de disque.

### 2.3. Les transformations de l'énergie

L'énergie électrique consommée n'est pas perdue mais **transformée en d'autres types d'énergie**.

*Exemples :*

- dans une lampe, l'énergie électrique est transformée en énergie lumineuse ;
- dans un moteur, l'énergie électrique est transformée en énergie mécanique ;
- dans un radiateur, l'énergie électrique est transformée en énergie thermique.

Tout conducteur électrique transforme une partie de l'énergie qu'il reçoit en énergie thermique. Ce phénomène est appelé **l'effet Joule**. L'effet Joule est lié à la résistance

électrique que possède tout conducteur. Plus cette résistance est grande, plus les électrons qui constituent le courant ont du mal à circuler et plus ils dépensent d'énergie pour le faire. Cette énergie dépensée se dégage du conducteur sous forme d'énergie thermique (**chaleur**). L'effet Joule présente des avantages puisqu'il est utilisé directement dans les appareils électriques qui produisent de la chaleur (grille-pain, four électrique, chauffe-eau, etc.) mais il présente aussi beaucoup d'inconvénients lorsque la fonction de l'appareil n'est pas de chauffer : il est responsable des pannes électriques lorsque les composants « grillent » et il est souvent nécessaire d'utiliser un ventilateur pour dissiper la chaleur (ventilateur du processeur d'un ordinateur).

## Le transport et la distribution de l'électricité

De la centrale électrique à la maison, le trajet de l'électricité est souvent long et difficile. Partons à la découverte des différents « chemins de l'électricité ».

### 1. La production de l'électricité

#### 1.1. Le principe de production

Toutes les centrales électriques produisent de l'électricité grâce à un **turbogénérateur**, composé d'une **turbine** et d'un **alternateur**.

L'**énergie** utilisée dans les centrales électriques est destinée à la mise en mouvement des turbines.

À la sortie de la centrale, une tension efficace de l'ordre de 20 000 V et de fréquence 50 Hz est produite.

#### 1.2. Les différents types de centrale

Les centrales électriques tirent leur énergie de diverses sources :

la **combustion** de matériaux organiques fossiles (pétrole, charbon, gaz) dans les centrales thermiques classiques ou de matériaux nucléaires pour les centrales nucléaires ; cette combustion sert à vaporiser de l'eau ; la pression de la vapeur met en mouvement la turbine ;  
— la **force de l'eau** dans les centrales hydrauliques ;  
— la **force du vent** dans les centrales éoliennes (très peu utilisées en France) ;  
— la **force de la mer** dans les centrales marémotrices (une seule centrale de ce type en France : l'usine marémotrice de la Rance).

### 2. Le transport de l'électricité

#### 2.1. Pourquoi transporter l'électricité sous haute tension ?

À la sortie des centrales, la tension est élevée de 20 000 V à une **très haute tension** de 225 000 V ou 400 000 V à l'aide de **transformateurs** élévateurs de tension.

Cette opération est nécessaire car le transport de l'énergie électrique s'accompagne de pertes d'énergie (de l'ordre de 5 %) : en effet, dans les fils électriques qui possèdent une résistance non négligeable (de l'ordre de 1 ohm par kilomètre), une partie de l'énergie électrique se

transforme en chaleur par **effet Joule**. Cette perte d'énergie serait encore plus importante si la tension n'était pas transformée en une très haute tension.

## 2.2. Les lignes électriques

Plus d'un million de kilomètres de lignes assurent le transport de l'électricité des zones de production aux zones de consommation.

Une ligne électrique très haute tension pèse 48 tonnes au kilomètre ; les lignes sont supportées par des pylônes espacés d'environ 500 m.

Le matériau qui compose les lignes est en général l'**aluminium** : un bon conducteur et un matériau léger.

## 3. La distribution de l'électricité

### 3.1. Une distribution adaptée aux besoins de chacun

Selon les besoins, EDF fournit une tension plus ou moins élevée : 230 V pour les particuliers (basse tension), 20 000 V pour les petites industries (moyenne tension), entre 63 000 V et 90 000 V aux grandes entreprises (haute tension).

Toutes ces tensions sont obtenues dans des stations de transformation à l'aide de **transformateurs** abaisseurs de tension.

### 3.2. Une distribution adaptée selon les événements

L'électricité **ne peut être stockée massivement** ; il faut donc prévoir les consommations d'électricité des usagers. D'où des plans de prévisions de consommation à 5 ans, 1 an, 1 semaine et à 1 jour.

EDF doit être capable de faire face rapidement à tous les événements imprévisibles : défaillance d'une centrale, foudre sur les lignes, tempête, etc.

Les prévisions climatiques sont très importantes : en France, une baisse de température de 1 °C entraîne la mise en marche d'un réacteur de centrale nucléaire supplémentaire.

En cas de catastrophes majeures, EDF peut se connecter à des réseaux d'électricité étrangers.

Il existe par ailleurs un marché de l'énergie électrique, un pays pouvant vendre à un pays voisin ses surplus de production.

# Sources primaires et objets diffusants

Le Soleil nous éclaire pendant la journée ; la Lune prend le relais la nuit. Mais la Lune et le Soleil ne nous éclairent pas de la même façon. Quelle différence fondamentale existe-t-il entre ces deux sources de lumière ?

Réponse : le Soleil, comme toutes les étoiles, produit de la lumière alors que la Lune nous renvoie la lumière qu'elle reçoit du Soleil. On parle de source primaire et d'objet diffusant.

## 1. Que voit-on ?

Pour voir un objet, il faut que celui-ci émette de la lumière et qu'il soit face à l'observateur, sans obstacle entre eux deux.

Deux cas sont alors possibles. Ainsi, une lampe émet de la lumière qui est directement reçue par l'œil. Des bâtiments éclairés par le Soleil, eux, ne font que renvoyer tout ou une partie de la lumière qu'ils reçoivent.

On appelle **source primaire**, toute source qui **produit de la lumière**. Elle est visible, même isolée de toute autre source lumineuse. Le Soleil, les étoiles visibles la nuit, le filament d'une ampoule, un écran de télévision sont des sources primaires de lumière.

On appelle **objet diffusant** tout objet qui **renvoie de la lumière**. Un objet diffusant n'est donc visible que s'il est éclairé. Le ciel, les murs des bâtiments, etc. sont des objets diffusants.

## 2. Les sources primaires de lumière

Tous les corps chauds émettent un rayonnement. Ce rayonnement d'abord invisible (infrarouge) devient de la lumière visible quand la température augmente ; sa couleur passe du rouge au blanc : on parle alors de corps **incandescent**.

Exemples :

1. la lumière émise par le Soleil est liée à la température de sa surface, environ 6 000 °C (ce sont les réactions de fusion thermonucléaire au cœur de celui-ci qui y maintiennent une température élevée, d'environ 15 millions de degrés) ;
2. une lampe à incandescence est constituée d'un filament parcouru par un courant électrique (le passage du courant chauffe le filament qui émet de la lumière) ;
3. la lave en fusion à l'intérieur du cratère d'un volcan est une source de lumière orangée.

Il existe des sources primaires particulières pour lesquelles l'émission de lumière n'est pas liée à l'élévation de température.

Exemples :

1. la lumière verdâtre émise par les lucioles est due à des réactions chimiques ;
2. dans les tubes à décharge, il n'y a pas de filament comme dans les lampes à incandescence (la couleur de la lumière émise ne dépend que du gaz contenu dans le tube) ;
3. l'écran de télévision est constitué d'une multitude de luminophores qui émettent le rouge, le vert ou le bleu nécessaires à la composition d'une image en couleurs.

## 3. Les objets diffusants

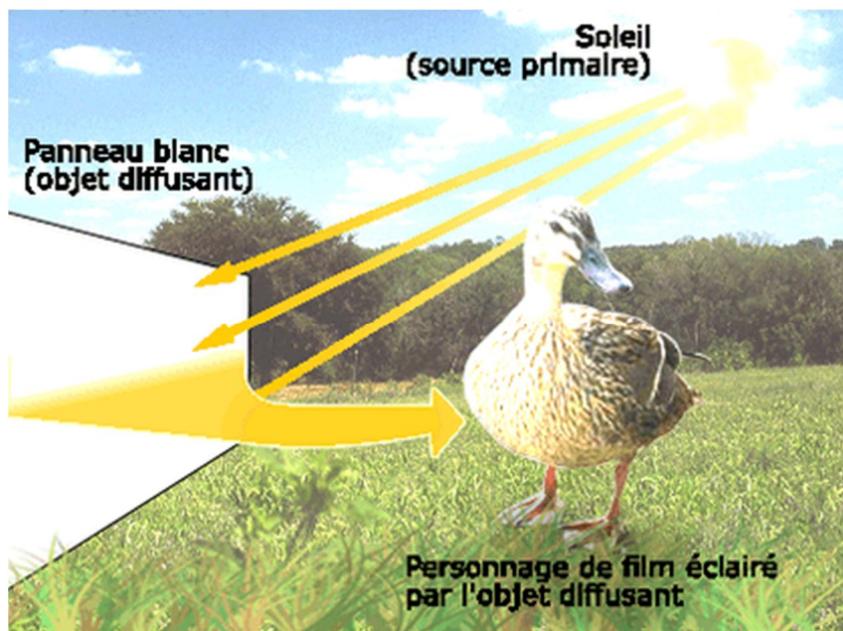
Quand une source secondaire (une feuille de papier, un mur blanc) est éclairée, elle renvoie dans toutes les directions une partie de la lumière reçue. C'est le phénomène de **diffusion**.

Si l'objet est éclairé en lumière blanche, sa couleur dépend de la composante de la lumière blanche diffusée. Les objets qui ne diffusent pas la lumière apparaissent noirs.

Pour qu'un écran diffusant puisse en éclairer un autre, il faut que cet écran diffusant soit lui-même éclairé.

Exemple :

Pour obtenir un éclairage de qualité lors de tournages de films en extérieur, on utilise de grands panneaux blancs. Ces grands panneaux reçoivent la lumière du Soleil qu'ils diffusent pour éclairer la scène filmée. Seuls les objets placés devant l'écran diffusant peuvent être éclairés par celui-ci.



## Le rayon lumineux et le faisceau de lumière

Qu'est ce qu'un faisceau de lumière ? Comment faire pour le visualiser ?

Une lampe de poche, par exemple, produit un faisceau de lumière. On peut le visualiser le soir ou par temps brumeux.

### 1. Les milieux et la vitesse de propagation de la lumière

La lumière peut se propager dans le vide. Ainsi, la lumière du Soleil nous parvient sur la Terre après avoir traversé le vide cosmique. Elle se propage également dans certains matériaux (l'air, le verre, l'eau, quelques plastiques et les pierres précieuses). Un milieu dans lequel se propage la lumière est appelé milieu transparent.

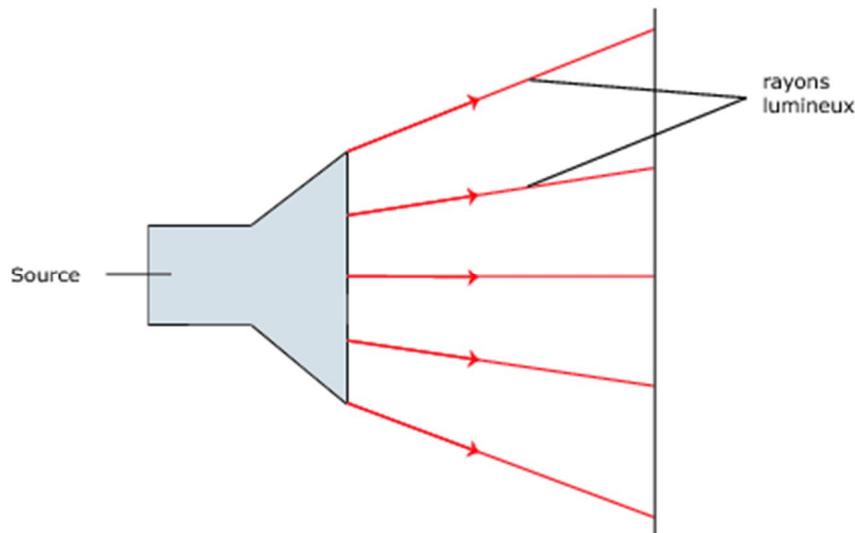
La vitesse de la lumière, qu'on appelle aussi célérité, se note  $c$  ; elle est égale à 299 792 458 m/s soit environ 300 000 km/s. La lumière qui arrive sur la Terre à 12 h 08 min 18 s a été émise à la surface du Soleil à 12 h 00. Elle met 1,3 s pour aller de la Lune à la Terre.

### 2. Le rayon lumineux

Un rayon lumineux matérialise le trajet suivi par la lumière pour aller d'un point à un autre.

On le représente par un segment de droite, avec une flèche qui indique le sens de propagation.

Un faisceau lumineux est un ensemble de rayons lumineux provenant d'une même source. Un exemple est donné ci-dessous.



Le faisceau lumineux n'est pas observable dans un milieu transparent comme l'air ou le vide. Pour le visualiser, il faut disposer d'un milieu diffusant, comme par exemple de la fumée produite sur les scènes de concert.

La zone où arrivent les rayons lumineux est éclairée. Un observateur placé dans cette zone pourra voir la source lumineuse.

La zone où n'arrivent pas les rayons lumineux est une zone d'ombre. Un observateur placé dans cette zone ne pourra pas voir la source lumineuse.

### 3. La propagation rectiligne de la lumière

Dans un milieu homogène et transparent (comme le vide), la lumière se propage en ligne droite. On dit qu'un milieu est homogène s'il possède la même composition et les mêmes propriétés en tout point. Le vide, le verre et l'air sont en général des milieux homogènes. Un milieu est transparent, si la lumière peut s'y propager sans être absorbée.

### 4. Les mirages

L'air n'est pas toujours un milieu homogène. Dans certains cas, la température de l'air varie fortement entre la couche d'air située près du sol et celle située juste au-dessus. C'est le cas quand le sol est très froid ou très chaud. L'air n'a alors pas les mêmes propriétés dans les deux couches. La lumière ne se propage plus en ligne droite ; les rayons lumineux sont courbés et on peut alors voir des mirages.

Les mirages chauds sont visibles dans le désert (où le sable est très chaud). Un phénomène du même type mais localisé se produit à la surface des chaussées en bitume lors des chaudes journées d'été. Les mirages froids, plus rares, sont visibles en mer (quand l'eau est très froide). Ils disparaissent toujours lorsqu'on s'en approche.

## Les ombres

Nous voyons souvent des ombres se projeter derrière les objets éclairés. En fonction de l'éclairage, une ombre peut être plus ou moins nette, plus ou moins sombre. Comment prévoir leur contour ?

Réponse : on peut facilement prévoir les contours d'une ombre en traçant les rayons lumineux issus de la source. Quelle différence y a-t-il alors entre une ombre propre et une ombre portée ?

## 1. L'ombre d'un objet éclairé par une source ponctuelle

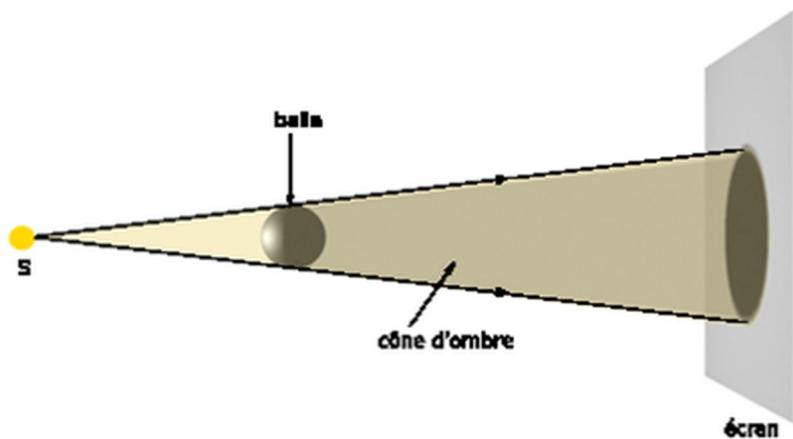
### 1.1. Définition

On qualifie de **ponctuelle** une source lumineuse qui peut-être **réduite à un point**. Nous la schématiserons donc par un point que nous appellerons **S**. Tous les rayons lumineux émis par la source partent de ce point. En revanche, ils ne partent pas forcément dans la même direction. Les lasers sont des sources particulières : elles sont quasiment ponctuelles et les rayons lumineux ont pratiquement tous la même direction.

On peut réaliser une source ponctuelle autre qu'un laser en mettant une lampe de poche dans une boîte percée d'un seul trou. Une partie de la lumière émise par la lampe sort alors par le trou. Que se passe-t-il lorsqu'on éclaire un objet avec une source ponctuelle ?

### 1.2. Expérience

Protocole : intercalons une balle de ping-pong entre un écran et une source ponctuelle **S**.



Observation : une partie de l'écran n'est plus éclairée ; c'est l'ombre portée de la balle sur l'écran. La moitié de la balle qui ne reçoit pas de lumière est appelée **ombre propre**.

Interprétation : lorsqu'un objet est éclairé par une source ponctuelle, il produit des ombres très nettes.

## 2. Le cas d'une source colorée

L'ombre portée d'un objet éclairé en lumière blanche est noire.

Si l'on éclaire l'objet avec une source de lumière colorée, l'ombre portée reste noire.

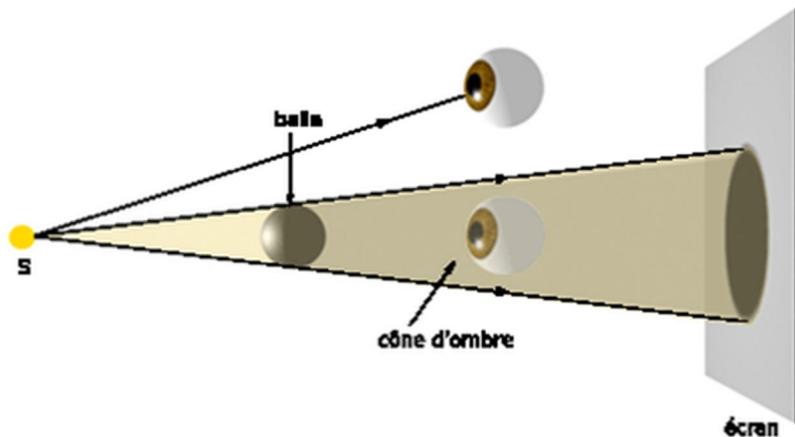
On trouve la forme de l'ombre portée d'un objet éclairé par une lumière colorée en traçant les rayons lumineux passant par les bords de cet objet, comme dans le cas de la lumière blanche.

## 3. Source de lumière visible

Un objet **opaque** est un objet qui ne se laisse pas traverser par la lumière.

Une source de lumière n'est pas visible si l'œil de l'observateur se trouve dans le cône d'ombre créé par un objet opaque situé entre la source et l'observateur.

Expérience : Reprenons l'exemple de la balle de ping-pong placée entre un écran et une source ponctuelle de lumière.



Ainsi, lorsque l'œil de l'observateur est situé en dehors du cône d'ombre, les rayons lumineux issus de la source ponctuelle atteignent l'œil. La source lumineuse est alors visible pour l'observateur.

En revanche, si l'œil de l'observateur est situé dans le cône d'ombre, entre l'objet et l'écran, les rayons lumineux issus de la source ne peuvent pas l'atteindre. La source lumineuse n'est alors plus visible par l'observateur.

## Les phases de la Lune et les éclipses

La façon dont nous pouvons observer la Lune dans le ciel varie régulièrement. L'éclairage change. Il arrive même que se produisent des éclipses. Qu'est ce qu'une éclipse ? Pourquoi en voit-on si peu souvent ?

Réponse : les variations d'éclairage et les éclipses s'expliquent par les positions relatives du Soleil, de la Terre et de la Lune. Quelles sont ces positions ?

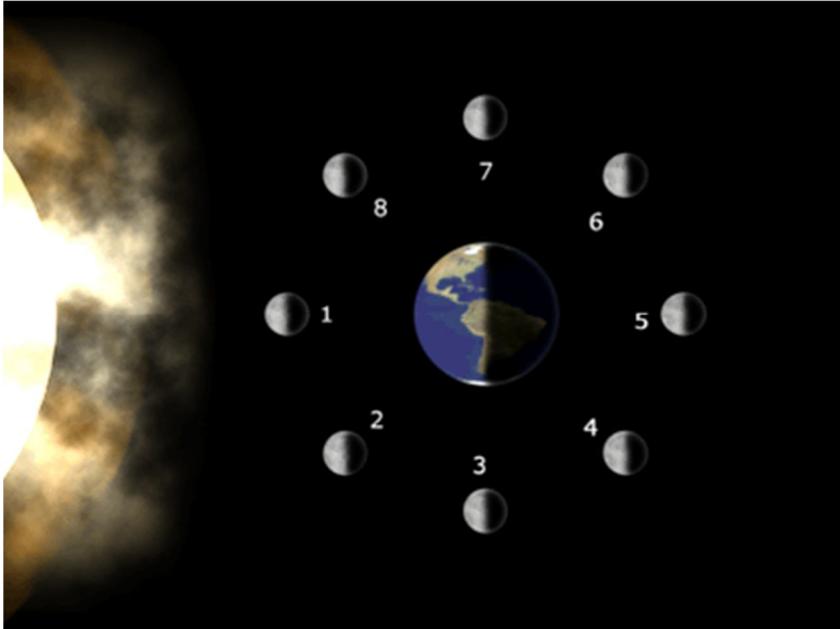
### 1. La Lune, un satellite de la Terre

La Lune est l'**unique satellite naturel de la Terre**. Sa surface est criblée d'impacts de météorites ; comme elle est dénuée d'atmosphère, les météorites atteignent sans encombre sa surface. Son rayon est de 1 740 km (rayon de la Terre : 6 400 km) et sa masse est environ 80 fois plus petite que celle de la Terre. Elle est à une distance moyenne de la Terre de 384 400 km et fait un tour complet autour de la Terre en 27 j 7 h.

Comme, dans le même temps, la Terre tourne autour du Soleil, la Lune ne reprend la même position par rapport à la Terre que tous les 29 j 12 h (durée appelée **lunaison**). De plus, la Lune tournant sur elle-même, elle présente toujours la même face à la Terre. L'autre face, la face cachée, n'est pas observable de la Terre.

### 2. Les phases de la Lune

On appelle **phase de la Lune**, l'aspect de la Lune vu de la Terre, chaque phase correspondant à une position différente de la Lune par rapport à la Terre. La durée du cycle au bout duquel reviennent les mêmes phases correspond donc à la lunaison. La moitié de la Lune est éclairée par le Soleil (sauf pendant les éclipses de Lune) mais la face que nous présente la Lune correspond plus ou moins à sa partie éclairée.



Sur le schéma ci-dessus, on remarque qu'un observateur situé en dehors du Système solaire voit toujours le Soleil (situé à gauche) éclairer la moitié de la surface de la Terre ainsi que la moitié de la surface de la Lune. L'autre moitié, plongée dans l'obscurité, correspond aux zones géographiques en phase nocturne.

Position de la Lune	1	2	3	4	5	6	7	8
Aspect observé de la Terre								

Le second schéma donne la vision de la Lune qu'aurait un observateur situé sur la Terre.

Selon la position de la Lune par rapport à l'observateur, celui-ci pourra visualiser une partie plus ou moins importante de la face éclairée de la Lune.

Lors de la **pleine Lune**, la face éclairée par le Soleil correspond exactement à la partie qui est visible de la Terre. À la **nouvelle Lune**, la face qui est visible de la Terre n'est pas éclairée par le Soleil. On peut la deviner parce qu'elle est faiblement éclairée par la Terre elle-même.

### 3. Les éclipses

De la Terre, on peut observer deux catégories d'éclipses : **l'éclipse de Soleil** et **l'éclipse de Lune**, la plus spectaculaire étant évidemment l'éclipse de Soleil. Les éclipses ont lieu **quand le Soleil, la Lune et la Terre sont alignés**.

Dans une éclipse de Soleil, une partie de la surface de la Terre est à l'ombre de la Lune. Si la Lune cache entièrement le Soleil, c'est une **éclipse totale**, sinon elle n'est que **partielle**. C'est parce que le diamètre apparent de la Lune (celui que l'on voit de la Terre) est de l'ordre de celui du Soleil, que nous pouvons observer des éclipses totales. L'ombre de la Lune portée sur la Terre a la forme d'un disque. Comme la Terre tourne, cette ombre se déplace à la surface de la Terre. Une éclipse totale de Soleil a eu lieu le 11 août 1999 ; elle était visible dans le nord de la France. La prochaine éclipse totale de Soleil sera visible, en France, le 3 septembre 2081.

Lors d'une éclipse de Lune, c'est l'ombre de la Terre qui cache la Lune.

# Les arcs-en-ciel

Les arcs-en-ciel constituent l'un des plus beaux spectacles que nous offre la nature. Comment se forment-ils ? Dans quelles conditions peut-on les observer ?

## 1. La décomposition de la lumière blanche

### 1.1. Observation

On peut observer la décomposition de la lumière blanche (lumière du Soleil) sur la surface d'un CD, dans une tache d'huile ou une bulle de savon.

Le physicien anglais Isaac Newton a effectué la décomposition de la lumière blanche avec un prisme de verre en 1666.

### 1.2. Interprétation

Un prisme permet de décomposer la lumière du Soleil en un ensemble continu de couleurs (on en distingue traditionnellement sept : violet, indigo, bleu, vert, jaune, orangé et rouge).

La lumière visible (celle à laquelle est sensible l'œil humain) n'est qu'une partie d'un ensemble de rayonnements (invisibles pour l'œil humain), parmi lesquels figurent les ondes radio, les micro-ondes, les infrarouges, les ultraviolets, les rayons X et les rayons gamma ; l'ensemble de ces ondes forme le spectre électromagnétique.

## 2. La décomposition de la lumière blanche par une goutte d'eau

Un rayon lumineux arrivant sur une goutte d'eau est dévié (réfracté).

Deux rayons lumineux de couleurs différentes ne sont pas déviés de la même façon.

Du fait de cette différence, la goutte d'eau sépare la lumière blanche du Soleil en ses différentes composantes.

## 3. Application à l'arc-en-ciel

### 3.1. L'apparition d'un arc-en-ciel

Deux conditions météorologiques sont nécessaires mais souvent inconciliables : la pluie et un soleil radieux.

L'observateur doit avoir le Soleil dans le dos.

Le Soleil doit être bas sur l'horizon.

### 3.2. La composition d'un arc-en-ciel

Les différentes couleurs observées ne proviennent pas des mêmes gouttes d'eau (en effet, deux rayons lumineux de couleurs différentes ne subissant pas la même déviation dans une goutte d'eau, ceux-ci n'ont pas la même direction et ne peuvent être observés au même endroit).

Un deuxième arc-en-ciel (appelé secondaire), beaucoup moins lumineux, est parfois visible au-dessus du premier. L'ordre des couleurs y est inversé, car il est issu de la double réflexion des rayons lumineux à l'intérieur des gouttes de pluie.

# Les couleurs

La plupart des objets qui nous entourent sont colorés ; pourtant, la lumière du Soleil semble incolore. Comment expliquer ce phénomène ?

*Réponse* : la lumière du Soleil n'est pas incolore ; sa lumière blanche résulte de la combinaison de toutes les couleurs visibles. Les objets colorés ne fabriquent pas leur propre lumière ; ils diffusent une partie de la lumière qu'ils reçoivent. Mais qu'est ce qu'une couleur et comment la perçoit-on ?

## 1. La composition de la lumière blanche

### 1.1. Expérience

*Protocole* : plaçons un prisme en verre sur le trajet d'un faisceau lumineux de lumière blanche.

*Observation* : après son passage dans le prisme, le faisceau lumineux qui ressort est formé de plusieurs couleurs, celles que l'on retrouve dans l'arc-en-ciel.

*Interprétation* : la lumière blanche a été **décomposée**.

### 1.2. La lumière blanche

La lumière que nous recevons du Soleil est appelée lumière blanche. Un objet qui diffuse toute la lumière visible apparaît blanc lorsqu'il est éclairé par cette lumière. Celle-ci est composée de toutes les couleurs de l'arc-en-ciel : du rouge au bleu en passant par le jaune et le vert.

### 1.3. Les trois couleurs fondamentales

Le rouge, le vert et le bleu sont les couleurs fondamentales. Elles correspondent aux trois couleurs auxquelles les **récepteurs lumineux de la rétine** sont sensibles et donc aux seules couleurs enregistrées par l'œil.

Dans un poste de télévision, on trouve des émetteurs lumineux correspondant à ces trois couleurs. Placés sur la surface intérieure de l'écran, ils suffisent à créer n'importe quelle couleur.

## 2. Les couleurs d'un objet

### 2.1. Un objet blanc

Un objet blanc éclairé par une lumière blanche diffuse toute la lumière qu'il reçoit. Comme il renvoie de la lumière blanche, il nous apparaît blanc.

Si le même objet est éclairé par une lumière rouge, il ne peut diffuser que du rouge. Il apparaît alors en rouge. La couleur d'un objet **dépend de la couleur de la lumière qui l'éclaire**.

Prenons un autre exemple concret : une voiture dont la carrosserie est vue bleue à la lumière du jour, devient quasiment noire dans un tunnel éclairé par des lampes émettant une lumière jaune.

### 2.2. La synthèse additive de la couleur

Si nous éclairons une feuille blanche avec un faisceau de lumière **rouge** et un faisceau de lumière **verte**, la surface de la feuille où se recouvrent les deux faisceaux est **jaune**. On a ainsi réalisé la synthèse additive de deux couleurs, le vert et le rouge, pour en obtenir une troisième, le jaune.

Si l'on fait la synthèse des trois couleurs fondamentales, on obtient du blanc.

### 2.3. Un objet coloré

Un objet éclairé par une lumière blanche est coloré s'il ne diffuse qu'une partie de la lumière reçue. Si l'objet est vert, c'est parce qu'il ne diffuse que la composante verte de la lumière blanche. Les autres composantes de la lumière sont absorbées par l'objet. Un objet éclairé en lumière blanche a **la couleur de la lumière qu'il diffuse**.

Un objet est noir parce qu'il ne diffuse aucune composante de la lumière blanche : il absorbe tout et n'émet aucune lumière.

### 2.4. La synthèse soustractive de la lumière

Les peintres ne fabriquent pas leurs couleurs en superposant des faisceaux lumineux. Ils mélangent des pigments colorés qui diffusent certaines couleurs. Le magenta étant la couleur obtenue par l'addition du rouge et du bleu, il ne diffuse donc que le rouge et le bleu et il absorbe toutes les autres couleurs.

De même, le jaune ne diffuse que le rouge et le vert. Si nous mélangeons sur une palette de peintre des pigments magenta et jaune, la couleur obtenue est le rouge. En effet, la seule couleur diffusée par les deux pigments est le rouge, les autres couleurs sont absorbées. On a réalisé la synthèse soustractive du rouge.

Si on mélange les trois couleurs magenta, jaune et cyan, on obtient du noir.

## 3. La perception des couleurs

### 3.1. Historique

Les couleurs n'ont pas toujours été perçues de la même façon qu'aujourd'hui. Jusqu'au XVII<sup>e</sup> siècle, le blanc et le noir sont considérés comme des couleurs, et on classe les couleurs par **clarté**. Le jaune assez lumineux est proche du blanc tandis que le bleu plus sombre est plus proche du noir.

C'est Isaac Newton, à la fin du XVII<sup>e</sup> siècle, qui a montré le premier que **la lumière blanche est composée de plusieurs couleurs, celles de l'arc-en-ciel**.

### 3.2. Le daltonisme

Le daltonisme est une anomalie de la vision assez courante (elle touche 8 % des hommes notamment). Il s'agit d'une **inaptitude à différencier le rouge du vert**.

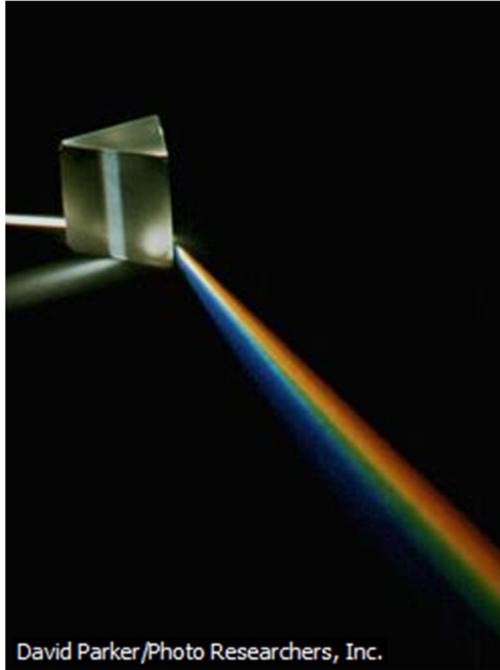
La rétine d'un daltonien est dépourvue soit des récepteurs sensibles au rouge soit des récepteurs sensibles au vert. N'ayant pas de récepteurs sensibles au rouge, le daltonien distingue difficilement l'orangé, le jaune et le vert. Le rouge lui paraît obscur ou noir.

### 3.3. Le nombre de couleurs

On peut évaluer à une **centaine de milliers** le nombre de couleurs différentes pouvant être perceptibles par l'œil. Pour les classer, on a recours à trois paramètres : la **tonalité**, la **clarté** et

la **saturation**. Les tonalités correspondent aux couleurs de l'arc-en-ciel additionnées de quelques autres. La clarté correspond à la luminosité et la saturation, à l'intensité de la couleur.

Des études comparées de perception des couleurs entre populations papoue et anglaise ont montré que la répartition des couleurs en catégories lexicales conduit à des différences notables sur la perception des couleurs. En effet, les Papous font peu de différence entre le vert et le bleu qu'ils décrivent par le même terme. En revanche, ils distinguent des nuances de vert (identifiées par des termes différents en langue papoue) inexistantes pour les Britanniques.



## la décomposition de la lumière blanche par un prisme

Lorsqu'un faisceau de lumière blanche (composée de toutes les couleurs visibles par l'œil humain) traverse un prisme, chaque couleur est déviée (réfractée) dans une direction différente des autres, formant ainsi une bande de couleurs appelé spectre visible (ou lumineux) : c'est la décomposition de la lumière blanche. Elle a été réalisée pour la première fois en 1666 par le célèbre physicien anglais Isaac Newton.

David Parker/Photo Researchers, Inc.

Microsoft ® Encarta ® 2008. © 1993-2007 Microsoft Corporation. Tous droits réservés.

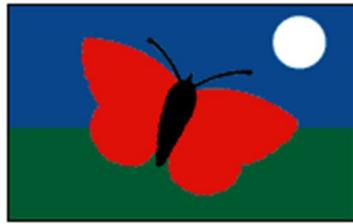


Image couleur



Couche de magenta  
(soustraction de vert)



Couche de cyan  
(soustraction de rouge)



Couche de jaune  
(soustraction de bleu)

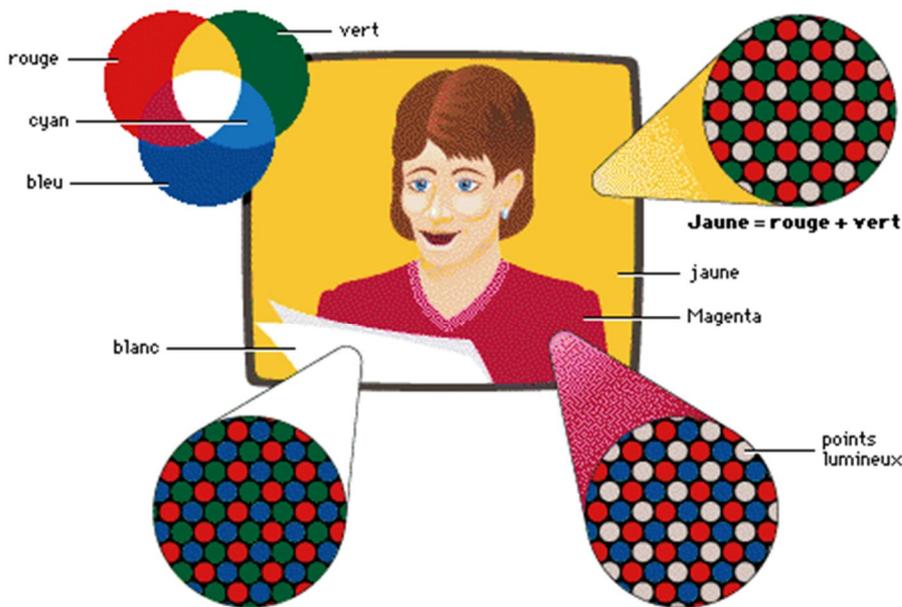
© Microsoft Corporation. Tous droits réservés.

## les couleurs primaires soustractives et la photographie couleur

Les couleurs primaires soustractives (c'est-à-dire les couleurs primaires du peintre) sont utilisées notamment dans la photographie couleur : l'image est recueillie sur trois couches chimiques superposées, qui se colorent sélectivement en magenta, cyan et jaune.

© Microsoft Corporation. Tous droits réservés.

Microsoft ® Encarta ® 2008. © 1993-2007 Microsoft Corporation. Tous droits réservés.



© Microsoft Corporation. Tous droits réservés.

## les couleurs primaires additives et les images télévisées

Les images télévisées sont obtenues grâce au procédé du mélange des trois couleurs primaires dites additives : rouge, vert, bleu (c'est-à-dire les couleurs primaires du physicien). La face intérieure d'un écran de télévision est tapissée de façon régulière par des points de trois types appelés phosphores ; lorsque l'un de ces points est touché par le faisceau d'électrons du tube cathodique, il produit une lumière rouge, tandis que les deux autres deviennent respectivement bleu ou vert. La combinaison des points bleu et rouge permet d'obtenir le violet. Le rouge et le vert s'associent pour créer le jaune et le blanc provient du mélange des trois couleurs primaires rouge, vert et bleu.

© Microsoft Corporation. Tous droits réservés.

Microsoft ® Encarta ® 2008. © 1993-2007 Microsoft Corporation. Tous droits réservés.



Phil Jude/Science Source/Photo Researchers, Inc.

## les couleurs de l'arc-en-ciel

Un arc-en-ciel est un arc de lumière qui se forme lorsque des gouttes d'eau en suspension dans l'air sont éclairées par les rayons du Soleil. La lumière du Soleil est blanche, c'est-à-dire qu'elle contient toutes les couleurs visibles par l'œil humain. Lorsque les rayons du Soleil traversent les fines gouttes d'eau de l'atmosphère, ils sont déviés dans différentes directions selon leur couleur. Il se forme alors un arc de couleurs, autrement dit un arc-en-ciel. De l'intérieur de l'arc vers l'extérieur, on distingue nettement 7 couleurs principales : violet, indigo, bleu, vert, jaune, orangé et rouge.

Toutefois, un arc-en-ciel n'est visible que dans des conditions particulières : le Soleil doit être suffisamment bas dans le ciel et l'observateur doit avoir le Soleil dans le dos.

Phil Jude/Science Source/Photo Researchers, Inc.

Microsoft ® Encarta ® 2008. © 1993-2007 Microsoft Corporation. Tous droits réservés.



Phil Jude/Science Source/Photo Researchers, Inc.

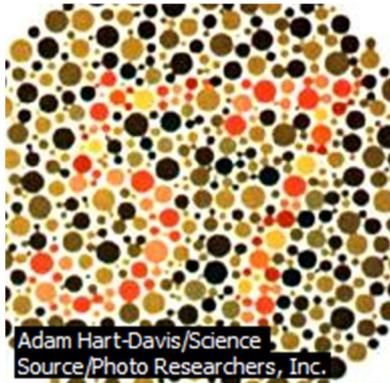
## les couleurs de l'arc-en-ciel

Un arc-en-ciel est un arc de lumière qui se forme lorsque des gouttes d'eau en suspension dans l'air sont éclairées par les rayons du Soleil. La lumière du Soleil est blanche, c'est-à-dire qu'elle contient toutes les couleurs visibles par l'œil humain. Lorsque les rayons du Soleil traversent les fines gouttes d'eau de l'atmosphère, ils sont déviés dans différentes directions selon leur couleur. Il se forme alors un arc de couleurs, autrement dit un arc-en-ciel. De l'intérieur de l'arc vers l'extérieur, on distingue nettement 7 couleurs principales : violet, indigo, bleu, vert, jaune, orangé et rouge.

Toutefois, un arc-en-ciel n'est visible que dans des conditions particulières : le Soleil doit être suffisamment bas dans le ciel et l'observateur doit avoir le Soleil dans le dos.

Phil Jude/Science Source/Photo Researchers, Inc.

Microsoft ® Encarta ® 2008. © 1993-2007 Microsoft Corporation. Tous droits réservés.

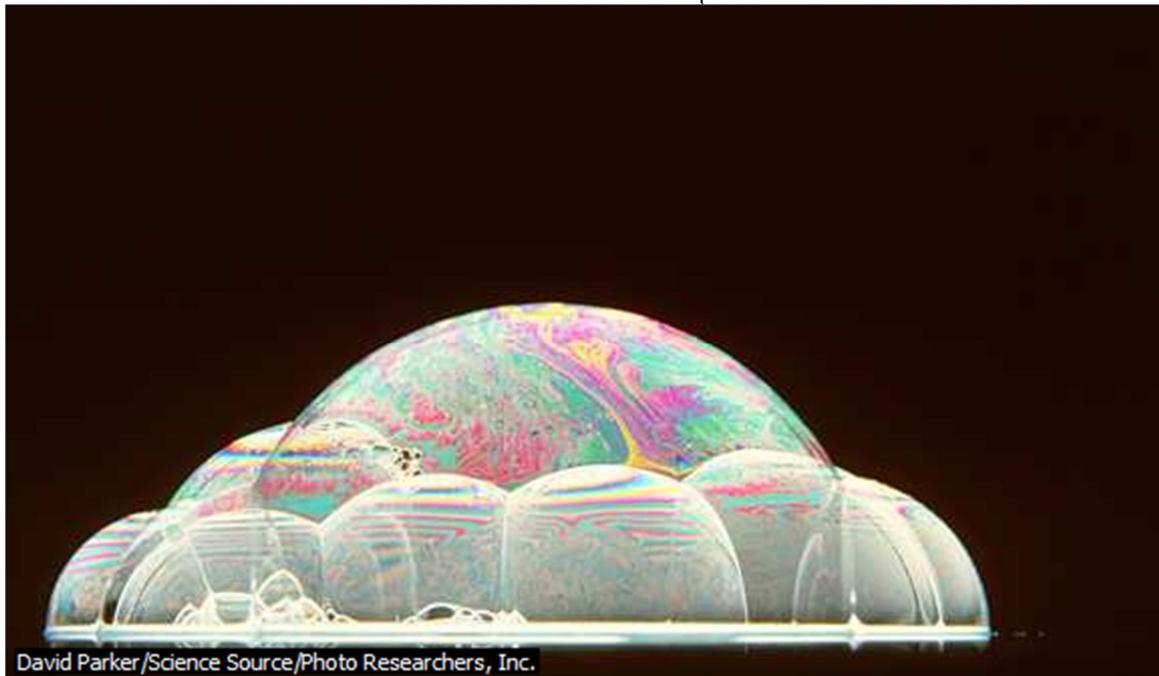


## test de vision des couleurs

Ce test est utilisé pour vérifier la bonne vision des couleurs. Les personnes dont la vision est normale voient le nombre 57, tandis que celles qui sont daltoniennes voient le nombre 35. Le daltonisme, qui se traduit par une incapacité à distinguer le rouge du vert (ou parfois le jaune du bleu), est provoqué par un dysfonctionnement des cellules de la rétine sensibles à une couleur donnée.

Adam Hart-Davis/Science Source/Photo Researchers, Inc.

Microsoft ® Encarta ® 2008. © 1993-2007 Microsoft Corporation. Tous droits réservés.



## la décomposition de la lumière blanche par les bulles de savon

Les bulles de savon présentent souvent un aspect irisé. En fait, les bulles de savon agissent comme les gouttes d'eau en suspension dans l'air qui créent les arcs-en-ciel : elles décomposent la lumière blanche du Soleil qui contient toutes les couleurs visibles par l'œil humain. Cependant, il ne se

forme pas exactement des arcs-en-ciel sur les bulles de savon mais des taches de couleur : celles-ci sont dues aux interférences des différents rayons lumineux (les différentes couleurs) qui se réfléchissent sur les parois des bulles.

David Parker/Science Source/Photo Researchers, Inc.

Microsoft ® Encarta ® 2008. © 1993-2007 Microsoft Corporation. Tous droits réservés.



## une éclipse totale de Soleil

Une éclipse de Soleil se produit lorsque la Lune passe entre la Terre et le Soleil. On dit qu'elle est totale lorsque le disque du Soleil est entièrement recouvert par le disque de la Lune. Lors d'une telle éclipse, une auréole de couleur blanche diffuse apparaît autour du disque noir de la Lune : c'est la couronne solaire.

Cette photo du Soleil a été prise au Mexique pendant l'éclipse du 11 juillet 1991.

## les éclipses

Une éclipse est un phénomène astronomique naturel qui se produit **lorsqu'un astre est caché par un autre**. Il existe deux types d'éclipses visibles depuis la Terre : **les éclipses de Lune** et **les éclipses de Soleil**. Les éclipses ont longtemps effrayé les hommes, bien qu'elles ne durent que quelques heures.

## QU'EST-CE QU'UNE ÉCLIPSE DE LUNE ?

Une éclipse de Lune se produit **lorsque la Terre passe entre le Soleil et la Lune**. De la surface terrestre, on voit donc que la Lune est partiellement cachée (éclipse partielle de Lune) ou totalement cachée (éclipse totale de Lune) par l'ombre de la Terre. Une éclipse totale de Lune ne dure que deux heures au maximum.

## QU'EST-CE QU'UNE ÉCLIPSE DE SOLEIL ?

Une éclipse de Soleil se produit **lorsque la Lune passe entre le Soleil et la Terre**. De la surface terrestre, on voit donc que le Soleil est partiellement caché (éclipse partielle de Soleil) ou totalement caché (éclipse totale de Soleil) par la Lune. La zone d'observation d'une éclipse totale de Soleil sur la Terre ne dépasse jamais 270 km de large. La majorité des éclipses totales de Soleil sont visibles seulement quelques minutes, et au maximum 8 minutes.

## COMMENT SE DÉROULE UNE ÉCLIPSE ?

Les éclipses se produisent à des moments précis, lorsque les orbites (ou trajectoires) de la Lune et de la Terre se croisent. Dans le cas d'une éclipse de Soleil, le Soleil commence à se cacher environ une heure avant qu'il ne soit totalement masqué. La surface de la Terre s'assombrit peu à peu, et est marquée par une zone de pénombre (obscurité partielle) et une zone d'ombre (obscurité totale). La taille maximale de la zone d'ombre à la surface de la Terre est de 270 km de diamètre, tandis que la zone de pénombre mesure plusieurs milliers de kilomètres de diamètre.

## PEUT-ON PRÉVOIR LES ÉCLIPSES ?

Les éclipses de Lune et de Soleil sont aujourd'hui **prévisibles** et **programmées** par les scientifiques. Exactement 70 éclipses (41 éclipses de Soleil et 29 éclipses de Lune) se déroulent sur une période déterminée appelée « Saros », qui dure environ 18 ans. Sur une année, de 2 à 7 éclipses sont visibles sur le

globe terrestre. Au xx<sup>e</sup> siècle, seulement 3 éclipses totales de Soleil ont été visibles en France (1912, 1961, 1999).

## LES ÉCLIPSES ONT-ELLES UNE UTILITÉ POUR LES HOMMES ?

Les hommes aiment observer les éclipses pour la beauté de ce phénomène astronomique extraordinaire. Mais surtout, l'observation des éclipses permet de fournir des informations précieuses en astrophysique. Les éclipses totales de Soleil permettent par exemple d'**étudier la taille et la composition de la couronne solaire**, et de **suivre les éruptions solaires à sa surface**.

### les couleurs

**Le monde apparaît coloré pour les yeux**, avec des teintes dont les nuances semblent infinies.

C'est **Isaac Newton** qui, le premier, a compris que la lumière est composée de différentes couleurs juxtaposées. Mais les peintres et les artistes ont toujours su créer et utiliser les couleurs, même sans comprendre leur origine scientifique.

## L'ORIGINE DES COULEURS

La **lumière visible** (ou **lumière blanche**) est composée d'un ensemble d'**ondes**. Ces ondes vibrent à différentes **fréquences** (ou **longueurs d'onde**) que l'**œil humain** perçoit comme différentes **couleurs** : du violet (la plus petite longueur d'onde) au rouge (la plus grande longueur d'onde), en passant par le jaune et le vert. L'ensemble de ces bandes de lumière colorée forme le **spectre lumineux** (ou **spectre visible de la lumière**).

Ainsi, la lumière blanche (comme celle qui nous vient du Soleil) est composée de toutes les couleurs du spectre lumineux. Lorsqu'elle rencontre un objet, une partie de la

lumière est **diffusée** (réfléchi) par cet objet (qui devient une source secondaire de lumière), et une autre partie est **absorbée** par l'objet. **C'est la lumière diffusée par l'objet qui lui donne sa couleur** : si toutes les couleurs de la lumière arrivant sur l'objet (lumière incidente) sont absorbées, à l'exception du bleu qui est réfléchi, l'objet nous apparaîtra alors bleu. Un objet noir ne diffuse aucune composante de la lumière blanche : il absorbe toutes les couleurs et n'en renvoie aucune. Ainsi, en optique, **le noir n'est pas une couleur** ; il correspond à l'absence de couleur.

## LES COULEURS DE LA LUMIÈRE BLANCHE

Lorsqu'un rayon lumineux traverse un objet translucide ou transparent (comme lorsqu'un rayon lumineux se propage dans l'air et atteint la surface d'un plan d'eau), sa trajectoire change en fonction de l'**indice de réfraction** du milieu. L'indice de réfraction dépend de la densité du milieu et de la longueur d'onde (c'est-à-dire de la couleur) du rayon qui le traverse : sa valeur diminue quand la longueur d'onde augmente. C'est ainsi que lorsqu'un faisceau de lumière blanche traverse un prisme, chaque couleur est déviée de façon un peu différente des autres. À la sortie du prisme, le spectre lumineux se répartit en une bande de couleurs : **la lumière blanche est ainsi décomposée**. C'est également ainsi que se forment les **arcs-en-ciel** : les gouttes d'eau en suspension dans l'air jouent le rôle de prisme et décomposent la lumière blanche du Soleil.

## LES SYNTHÈSES DES COULEURS

### La synthèse additive : les couleurs primaires du physicien

Il est possible de recréer n'importe quelle couleur en projetant sur une feuille de papier ou sur un écran de télévision des faisceaux lumineux **rouge**, **vert** et **bleu**. Ce sont les **troiscouleurs primaires** (ou **fondamentales**) du spectre lumineux, auxquelles est sensible l'œil humain. C'est ainsi

que lorsque du vert et du rouge sont superposés, il apparaît du jaune ; tandis que du bleu et du vert donnent du cyan et que du bleu et du rouge donnent du magenta : c'est la **synthèse additive** de la couleur. Lorsque l'on superpose les trois couleurs primaires, on obtient du blanc. C'est l'opération inverse de la décomposition de la lumière par un prisme.

## La synthèse soustractive : les couleurs primaires du peintre

Les couleurs primaires du physicien (rouge, vert, bleu) ne sont pas les mêmes que celles du peintre (magenta, jaune, cyan). Les peintres n'utilisent pas des faisceaux de lumière pour fabriquer les couleurs, mais ils **mélangent des pigments colorés** qui diffusent certaines couleurs.

Par exemple, un pigment magenta absorbe toutes les couleurs du spectre lumineux sauf le rouge et le bleu qu'il diffuse et qui lui donnent sa couleur (rose foncé). Lorsqu'un pigment jaune, qui ne diffuse que du rouge et du vert, est ajouté au pigment magenta, la combinaison des deux ne diffuse plus que du rouge : le bleu initialement diffusé par le pigment magenta et le vert diffusé par le pigment jaune ne sont plus diffusés par le mélange des deux pigments. C'est ainsi que l'on obtient la **synthèse soustractive du rouge** : toutes les couleurs du spectre sont absorbées par le mélange, sauf le rouge qui est seul diffusé.

Lorsque l'on mélange des pigments magenta, jaune et cyan, plus aucune couleur n'est diffusée : le mélange est alors noir.

## l'arc-en-ciel

Un arc-en-ciel est un **arc de lumière** qui se forme dans le ciel lorsque des gouttes d'eau en suspension dans l'air sont éclairées par les rayons du Soleil.

Les arcs-en-ciel ne sont cependant pas toujours visibles. Des conditions particulières doivent être réunies pour les observer.

## COMMENT SE FORMENT LES ARCS-EN-CIEL ?

La **lumière du Soleil** est **blanche**. Cela signifie aussi qu'elle est constituée de **toutes les couleurs du spectre lumineux**, autrement dit, de toutes les couleurs visibles par l'œil humain : du violet au rouge, en passant par le jaune et le vert.

Lorsqu'un rayon lumineux traverse un objet transparent (comme du verre, ou une goutte d'eau par exemple), il est plus ou moins dévié (ou **réfracté**) en fonction de sa couleur (ou **longueur d'onde**).

C'est ainsi que lorsqu'un faisceau de lumière blanche (composé des différentes couleurs du spectre) traverse un **prisme**, chaque couleur est déviée dans une direction différente des autres. Le spectre lumineux se répartit alors dans une bande de couleurs : c'est la **décomposition de la lumière blanche**.

C'est exactement ainsi que se forment les arcs-en-ciel : les **gouttes d'eau** en suspension dans l'air **jouent le rôle de milliers de prismes** et décomposent la lumière blanche du Soleil en un **arc de couleurs**.

## QUELLES SONT LES CONDITIONS NÉCESSAIRES POUR OBSERVER UN ARC-EN-CIEL ?

Deux conditions météorologiques — opposées et simultanées — sont nécessaires : la pluie et le Soleil qui brille.

De plus, le Soleil doit être **suffisamment bas dans le ciel** et l'observateur doit avoir **le Soleil dans le dos**. Le centre de l'arc-en-ciel est donc situé à l'opposé du Soleil.

Si ces conditions sont réunies, l'observateur peut voir la décomposition de la lumière blanche du Soleil à travers la multitude des gouttes d'eau en suspension dans l'atmosphère.

Par ailleurs, on peut observer un phénomène d'arc-en-ciel (décomposition de la lumière blanche) dans des situations quotidiennes : par exemple, lorsque l'on regarde sous un certain angle la surface éclairée d'un **disque compact** (CD ou DVD), d'une **tache d'huile** ou d'une **bulle de savon**.

## COMBIEN DE COULEURS A UN ARC-EN-CIEL ?

En réalité, les gouttes d'eau, éclairées par les rayons du Soleil, renvoient une **infinité de couleurs** qui se fondent les unes dans les autres. Mais traditionnellement, on distingue nettement **7 couleurs principales** qui s'étalent de l'intérieur de l'arc vers l'extérieur en **violet, indigo, bleu, vert, jaune, orangé et rouge**.

## Les couleurs

La plupart des objets qui nous entourent sont colorés ; pourtant, la lumière du Soleil semble incolore. Comment expliquer ce phénomène ?

*Réponse* : la lumière du Soleil n'est pas incolore ; sa lumière blanche résulte de la combinaison de toutes les couleurs visibles. Les objets colorés ne fabriquent pas leur propre lumière ; ils diffusent une partie de la lumière qu'ils reçoivent. Mais qu'est ce qu'une couleur et comment la perçoit-on ?

### 1. La composition de la lumière blanche

#### 1.1. Expérience

*Protocole* : plaçons un prisme en verre sur le trajet d'un faisceau lumineux de lumière blanche.

*Observation* : après son passage dans le prisme, le faisceau lumineux qui ressort est formé de plusieurs couleurs, celles que l'on retrouve dans l'arc-en-ciel.

*Interprétation* : la lumière blanche a été **décomposée**.

## 1.2. La lumière blanche

La lumière que nous recevons du Soleil est appelée lumière blanche. Un objet qui diffuse toute la lumière visible apparaît blanc lorsqu'il est éclairé par cette lumière. Celle-ci est composée de toutes les couleurs de l'arc-en-ciel : du rouge au bleu en passant par le jaune et le vert.

## 1.3. Les trois couleurs fondamentales

Le rouge, le vert et le bleu sont les couleurs fondamentales. Elles correspondent aux trois couleurs auxquelles les **récepteurs lumineux de la rétine** sont sensibles et donc aux seules couleurs enregistrées par l'œil.

Dans un poste de télévision, on trouve des émetteurs lumineux correspondant à ces trois couleurs. Placés sur la surface intérieure de l'écran, ils suffisent à créer n'importe quelle couleur.

## 2. Les couleurs d'un objet

### 2.1. Un objet blanc

Un objet blanc éclairé par une lumière blanche diffuse toute la lumière qu'il reçoit. Comme il renvoie de la lumière blanche, il nous apparaît blanc.

Si le même objet est éclairé par une lumière rouge, il ne peut diffuser que du rouge. Il apparaît alors en rouge. La couleur d'un objet **dépend de la couleur de la lumière qui l'éclaire**.

Prenons un autre exemple concret : une voiture dont la carrosserie est vue bleue à la lumière du jour, devient quasiment noire dans un tunnel éclairé par des lampes émettant une lumière jaune.

### 2.2. La synthèse additive de la couleur

Si nous éclairons une feuille blanche avec un faisceau de lumière **rouge** et un faisceau de lumière **verte**, la surface de la feuille où se recouvrent les deux faisceaux est **jaune**. On a ainsi réalisé la synthèse additive de deux couleurs, le vert et le rouge, pour en obtenir une troisième, le jaune.

Si l'on fait la synthèse des trois couleurs fondamentales, on obtient du blanc.

### 2.3. Un objet coloré

Un objet éclairé par une lumière blanche est coloré s'il ne diffuse qu'une partie de la lumière reçue. Si l'objet est vert, c'est parce qu'il ne diffuse que la composante verte de la lumière blanche. Les autres composantes de la lumière sont absorbées par l'objet. Un objet éclairé en lumière blanche a **la couleur de la lumière qu'il diffuse**.

Un objet est noir parce qu'il ne diffuse aucune composante de la lumière blanche : il absorbe tout et n'émet aucune lumière.

## 2.4. La synthèse soustractive de la lumière

Les peintres ne fabriquent pas leurs couleurs en superposant des faisceaux lumineux. Ils mélangent des pigments colorés qui diffusent certaines couleurs. Le magenta étant la couleur obtenue par l'addition du rouge et du bleu, il ne diffuse donc que le rouge et le bleu et il absorbe toutes les autres couleurs.

De même, le jaune ne diffuse que le rouge et le vert. Si nous mélangeons sur une palette de peintre des pigments magenta et jaune, la couleur obtenue est le rouge. En effet, la seule couleur diffusée par les deux pigments est le rouge, les autres couleurs sont absorbées. On a réalisé la synthèse soustractive du rouge.

Si on mélange les trois couleurs magenta, jaune et cyan, on obtient du noir.

## 3. La perception des couleurs

### 3.1. Historique

Les couleurs n'ont pas toujours été perçues de la même façon qu'aujourd'hui. Jusqu'au XVII<sup>e</sup> siècle, le blanc et le noir sont considérés comme des couleurs, et on classe les couleurs par **clarté**. Le jaune assez lumineux est proche du blanc tandis que le bleu plus sombre est plus proche du noir.

C'est Isaac Newton, à la fin du XVII<sup>e</sup> siècle, qui a montré le premier que **la lumière blanche est composée de plusieurs couleurs, celles de l'arc-en-ciel.**

### 3.2. Le daltonisme

Le daltonisme est une anomalie de la vision assez courante (elle touche 8 % des hommes notamment). Il s'agit d'une **inaptitude à différencier le rouge du vert.**

La rétine d'un daltonien est dépourvue soit des récepteurs sensibles au rouge soit des récepteurs sensibles au vert. N'ayant pas de récepteurs sensibles au rouge, le daltonien distingue difficilement l'orangé, le jaune et le vert. Le rouge lui paraît obscur ou noir.

### 3.3. Le nombre de couleurs

On peut évaluer à une **centaine de milliers** le nombre de couleurs différentes pouvant être perceptibles par l'œil. Pour les classer, on a recours à trois paramètres : la **tonalité**, la **clarté** et la **saturation**. Les tonalités correspondent aux couleurs de l'arc-en-ciel additionnées de quelques autres. La clarté correspond à la luminosité et la saturation, à l'intensité de la couleur.

Des études comparées de perception des couleurs entre populations papoue et anglaise ont montré que la répartition des couleurs en catégories lexicales conduit à des différences notables sur la perception des couleurs. En effet, les Papous font peu de différence entre le vert et le bleu qu'ils décrivent par le même terme. En revanche, ils distinguent des nuances de vert (identifiées par des termes différents en langue papoue) inexistantes pour les Britanniques.

## Les arcs-en-ciel

Les arcs-en-ciel constituent l'un des plus beaux spectacles que nous offre la nature. Comment se forment-ils ? Dans quelles conditions peut-on les observer ?

## 1. La décomposition de la lumière blanche

### 1.1. Observation

On peut observer la décomposition de la lumière blanche (lumière du Soleil) sur la surface d'un CD, dans une tache d'huile ou une bulle de savon.

Le physicien anglais Isaac Newton a effectué la décomposition de la lumière blanche avec un prisme de verre en 1666.

### 1.2. Interprétation

Un prisme permet de décomposer la lumière du Soleil en un ensemble continu de couleurs (on en distingue traditionnellement sept : violet, indigo, bleu, vert, jaune, orangé et rouge).

La lumière visible (celle à laquelle est sensible l'œil humain) n'est qu'une partie d'un ensemble de rayonnements (invisibles pour l'œil humain), parmi lesquels figurent les ondes radio, les micro-ondes, les infrarouges, les ultraviolets, les rayons X et les rayons gamma ; l'ensemble de ces ondes forme le spectre électromagnétique.

## 2. La décomposition de la lumière blanche par une goutte d'eau

Un rayon lumineux arrivant sur une goutte d'eau est dévié (réfracté).

Deux rayons lumineux de couleurs différentes ne sont pas déviés de la même façon.

Du fait de cette différence, la goutte d'eau sépare la lumière blanche du Soleil en ses différentes composantes.

## 3. Application à l'arc-en-ciel

### 3.1. L'apparition d'un arc-en-ciel

Deux conditions météorologiques sont nécessaires mais souvent inconciliables : la pluie et un soleil radieux.

L'observateur doit avoir le Soleil dans le dos.

Le Soleil doit être bas sur l'horizon.

### 3.2. La composition d'un arc-en-ciel

Les différentes couleurs observées ne proviennent pas des mêmes gouttes d'eau (en effet, deux rayons lumineux de couleurs différentes ne subissant pas la même déviation dans une goutte d'eau, ceux-ci n'ont pas la même direction et ne peuvent être observés au même endroit).

Un deuxième arc-en-ciel (appelé secondaire), beaucoup moins lumineux, est parfois visible au-dessus du premier. L'ordre des couleurs y est inversé, car il est issu de la double réflexion des rayons lumineux à l'intérieur des gouttes de pluie.

# Les appareils permettant de détecter la lumière

Les détecteurs de lumière sont aujourd'hui couramment utilisés. Ils permettent la fermeture automatique des portes d'ascenseurs ou l'ouverture de robinets d'eau, par exemple. Comment fonctionnent-ils ?

*Réponse* : les détecteurs de lumière reçoivent de l'énergie sous forme lumineuse, ils la transforment en information. Étudions quelques-uns de ces détecteurs.

## 1. La lumière, une énergie

La lumière transporte de l'énergie. Quand elle arrive sur un objet opaque, l'énergie transportée est absorbée.

On peut distinguer deux catégories de détecteurs, en fonction de la forme en laquelle se transforme cette énergie.

L'énergie lumineuse reçue par un détecteur chimique est convertie en **énergie chimique**. C'est ce qui se passe, par exemple, sur les pellicules photographiques. L'information lumineuse est ensuite restituée sur le papier pour redonner les couleurs et la lumière d'origine.

L'énergie lumineuse reçue par un détecteur électrique (une photodiode, par exemple) modifie certaines de ses propriétés électriques. L'information lumineuse est alors convertie en un **signal électrique**.

## 2. Les détecteurs photochimiques

Le détecteur de lumière le plus connu est la **pellicule photographique**. Voyons quelle transformation s'y produit.

*Protocole* : remplissons deux tubes à essai d'une solution de nitrate d'argent, puis ajoutons du chlorure de sodium dans les deux tubes. Un précipité blanc de chlorure d'argent apparaît. Laissons un des deux tubes dans le noir et exposons le second à la lumière du Soleil.

*Observation* : au bout de quelques minutes, le précipité de chlorure d'argent exposé à la lumière noircit alors que celui qui est resté dans l'obscurité garde le même aspect.

*Interprétation* : le chlorure d'argent est un détecteur de lumière, il **noircit** lorsqu'il est exposé aux rayons lumineux.

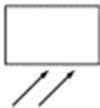
Dans une pellicule photo noir et blanc, on utilise plutôt du **bromure d'argent**. Une fois la pellicule révélée, les zones exposées apparaissent en noir ; c'est le négatif.

Dans une pellicule couleur, il y a trois couches de détecteurs. **Mélangé à des colorants**, le bromure d'argent n'est sensible qu'à une seule couleur. Il y a alors trois négatifs superposés.

## 3. Les détecteurs photoélectriques ou photoélectroniques

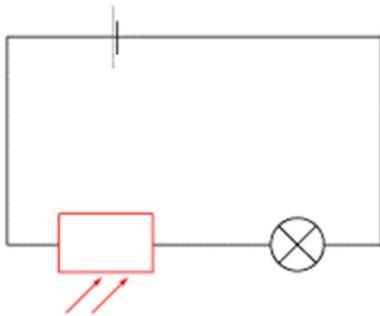
### 3.1. Les photorésistances

Le symbole d'une photorésistance est :



Les flèches représentent les rayons lumineux.

*Protocole* : réalisons le circuit suivant.



*Observation* : quand la surface de la photorésistance est dans l'obscurité, l'ampoule est éteinte. Mais dès que la photorésistance est éclairée, l'ampoule s'allume, ce qui signifie que le courant circule.

*Interprétation* : la résistance de la photorésistance **varie en fonction de l'éclairement** et modifie la valeur de l'intensité du courant qui circule dans le circuit.

### 3.2. D'autres détecteurs photoélectriques

Une **photopile** se comporte comme un générateur de tension mais seulement quand elle est éclairée.

Une **photodiode** branchée « en inverse » permet le passage d'un courant d'autant plus intense qu'elle est éclairée. L'intensité du courant est alors proportionnelle à l'éclairement. Les capteurs CCD des caméscopes sont composés de milliers de photodiodes qui mesurent l'intensité de la lumière reçue.

## L'œil

L'œil est un récepteur de lumière dont nous pouvons faire varier les caractéristiques. Il permet la vision en noir et blanc, mais également la vision des couleurs. De quoi est-il constitué ?

Comment fonctionne-t-il ?

*Réponse* : la rétine réceptionne la lumière ; les autres éléments de l'œil permettent d'acheminer la lumière sur la surface de la rétine, dans les meilleures conditions. Quel est précisément le rôle de chacun des éléments ?

### 1. L'iris

La face externe de l'œil est la **cornée** ; elle le protège contre les agressions extérieures, notamment les poussières.

Juste derrière la cornée, se trouve l'iris, un des deux constituants de l'œil (avec la rétine) qui ne soient pas transparents (ils ne laissent donc pas passer la lumière). On dit que c'est un corps **opaque**.

L'iris contient des tissus musculaires qui lui permettent de contrôler la quantité de lumière entrant dans l'œil par la pupille.

Si l'iris était grand ouvert en pleine lumière, les récepteurs de lumière situés sur la rétine seraient tous saturés et ils donneraient tous la même information. Nous ne distinguerions plus rien et nous serions éblouis. C'est pourquoi il se ferme plus ou moins suivant la quantité de lumière reçue.

Quand il fait sombre, au contraire, l'iris s'ouvre en grand pour capter le maximum de lumière.

### 2. Le cristallin

Derrière l'iris, se situe le cristallin, en forme de ballon de rugby. Grâce à des **muscles** accrochés à sa périphérie, il peut modifier sa forme.

Ce sont ces muscles que nous faisons marcher, quand nous regardons alternativement un arbre situé à 200 mètres et un stylo, que nous tenons dans la main. L'œil ne peut voir net à la fois ces deux objets situés à des distances différentes. Il fait alors deux **mises au point** différentes pour chacun des objets : on dit qu'il **accommode**.

### 3. La rétine

Sur la surface de la rétine, l'image des objets arrive **inversée** (la tête en bas) mais le cerveau par son analyse rétablit leur sens.

La surface de la rétine est tapissée de **récepteurs photochimiques**. L'énergie transportée par la lumière provoque sur ces récepteurs une réaction chimique qui les fait passer d'un état de repos à un état excité. En revenant à leur état de repos, les récepteurs émettent un **signal électrique** transmis aux neurones du cerveau.

Ces récepteurs sont de deux types :

— certains sont surtout sensibles à l'**intensité lumineuse** : ce sont les **bâtonnets** (100 millions dans un œil) ;

— d'autres, les **cônes** (6 millions), sont sensibles à la **couleur**.

Il existe trois catégories de cônes correspondant aux trois couleurs primaires : le bleu, le vert et le rouge.

Les cônes et les bâtonnets ne sont pas également répartis sur la surface de la rétine. Ainsi, on trouve plus de cônes au centre de la rétine (en face de la pupille) qu'à la périphérie.

*Remarque* : les défauts de vision empêchant de bien voir de près ou de loin proviennent d'un mauvais fonctionnement de la rétine ou d'une mauvaise position du cristallin.

## l'œil et la vision

L'œil est l'**organe sensoriel** qui permet la **vision**.

La plupart des animaux possèdent deux yeux (cependant certains, en particulier chez les insectes, en ont plus : des yeux simples s'ajoutent à leurs yeux composés) qui captent la lumière et, parfois, la couleur et le relief. Les yeux les transforment en signaux qui sont transportées au **cerveau** par le **nerf optique**. Le cerveau, à son tour, **interprète ces informations comme une image du monde** qui nous entoure.

**L'œil humain** permet une vision de bonne qualité, assez précise (mais beaucoup moins que chez les aigles, par exemple) et richement colorée. Le fait que nous ayons deux yeux nous permet de voir **en relief** (c'est ce que l'on appelle la

**vision binoculaire**). C'est grâce à cela que l'on peut apprécier correctement les distances entre les objets.

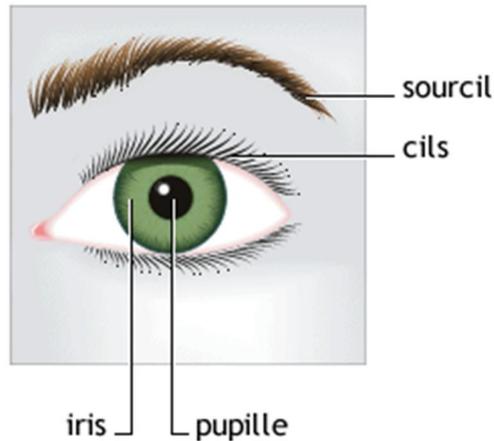
## le champ visuel

L'étendue du champ visuel d'un animal dépend de la position de ses yeux sur la tête. Chez l'homme et les autres primates, les yeux sont placés sur devant de la tête, et le champ visuel est d'environ 200° (un peu plus d'un demi-cercle). Mais chez le lapin, qui a les yeux sur les côtés de la tête et très en arrière, il est de 360° (un cercle complet) : le lapin voit derrière sa tête !

## À QUOI RESSEMBLE L'ŒIL HUMAIN ?

L'œil est un organe à peu près sphérique (il a la forme d'une petite boule). On parle de **globe oculaire**. Il est logé dans une cavité du crâne, l'orbite, qui le protège des chocs et le maintient. Il est relié aux os du crâne par des muscles qui permettent ses mouvements (pour regarder en haut, sur les côtés ou encore loucher !).

L'œil est entouré d'une **paupière inférieure et d'une paupière supérieure mobile**. Grâce à celle-ci, il peut être ouvert ou fermé. La paupière a pour rôle de protéger l'œil de la lumière (quand on est ébloui ou quand on veut dormir) et des chocs (on a le réflexe de fermer les yeux dès que le cerveau perçoit un danger pour eux). De plus, les paupières portent des **cils** qui retiennent la poussière et l'empêchent de tomber dans l'œil. Les **sourcils**, au-dessus des yeux, en surplomb, servent aussi à protéger l'œil de la poussière ou de l'eau.

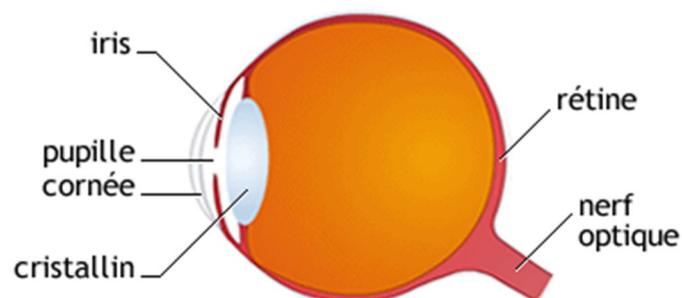


Enfin, la surface de l'œil est humidifiée, nettoyée et lubrifiée en permanence par **les larmes**, un liquide légèrement salé produit par les glandes lacrymales, situées sous la paupière supérieure de chaque œil.

## DE QUOI L'ŒIL EST-IL FAIT ?

L'intérieur de l'œil est transparent (c'est-à-dire qu'il laisse passer la lumière) et contient des substances gélatineuses (le corps vitré et l'humeur aqueuse), qui permettent de maintenir la forme de l'œil et de protéger la rétine.

L'œil comprend plusieurs membranes, transparentes ou non.



## La cornée

La membrane la plus extérieure de l'œil est **la cornée**. C'est une **membrane transparente**. Elle est renflée et d'épaisseur variable (un peu comme un verre de lunette ou un hublot de navire). Elle sert de première lentille à l'œil.

La cornée est très sensible et très fragile. Elle est essentiellement « nourrie » par les larmes, qui lui apportent l'oxygène dont elle a besoin. En se fermant régulièrement, la paupière supérieure renouvelle en permanence le film de larmes sur la cornée, ce qui a aussi pour effet de « nettoyer » l'œil.

La cornée se prolonge tout autour de l'œil par une autre membrane : la **sclérotique**. La sclérotique est blanche (c'est le **blanc de l'œil**). À l'intérieur de l'œil, la sclérotique est recouverte par la **choroïde**, une membrane très riche en vaisseaux sanguins et qui maintient le noir à l'intérieur de l'œil.

## L'iris et la pupille

Derrière la cornée se trouve une membrane placée verticalement, **l'iris**. L'iris fonctionne comme le **diaphragme d'un appareil photo**, laissant plus ou moins passer la lumière à travers **la pupille** :

→ quand il fait **sombre**, la **pupille se dilate** pour laisser passer le maximum de lumière ;

→ quand il y a beaucoup de lumière, elle se rétracte.

L'iris est **coloré** : il peut être de diverses nuances de bleu, de marron, de gris ou encore de vert. C'est lui qui donne sa couleur à l'œil.

## Le cristallin

Le **cristallin** est une grosse **lentille biconvexe** (bombée des deux côtés) située derrière l'iris. Il sert à recueillir les rayons lumineux que la pupille a laissé passer, et à les faire converger au fond de l'œil.

Le cristallin peut augmenter sa puissance en se bombant.

## La rétine

L'intérieur de l'œil est tapissé par une dernière membrane, la rétine. La rétine est une **membrane nerveuse hypersensible**, nourrie par de très nombreux vaisseaux sanguins. Elle est constituée de plusieurs centaines de millions de fibres nerveuses terminées par des **cellules sensibles à la lumière**. Ces cellules sont de deux sortes : **cônes** et **bâtonnets**.

→ **Les cônes**, qui ont besoin de beaucoup de lumière pour fonctionner, sont de trois sortes : certains réagissent à la lumière rouge, d'autre à la lumière verte et d'autres encore à la lumière bleue. Ce sont donc eux qui permettent **la vision des couleurs**.

→ Il n'existe en revanche qu'une seule sorte de **bâtonnets**, mais ils n'ont pas besoin de beaucoup de lumière pour fonctionner. Ce sont donc eux qui permettent **la vision de nuit**, en nuances de gris.

Au fond de l'œil, dans l'axe de la pupille, se trouve une zone très riche en cônes : c'est là que la vision est la plus nette et la plus précise à la lumière du jour. Quand le regard se tourne, c'est en général pour amener l'image de l'objet regardé dans cette zone. Plus on s'éloigne de cette zone centrale, moins il y a de cônes. À la périphérie, il n'y a que plus que des bâtonnets.

## Le nerf optique

Le nerf optique concentre toutes les fibres nerveuses issues de la rétine et rassemble ainsi toutes les informations recueillies par les cônes et les bâtonnets. Il transporte ensuite ces informations jusqu'au **cerveau**. Ces messages nerveux sont alors traités et décodés dans une zone spéciale située à l'arrière du cerveau.

## COMMENT VOIT-ON ?

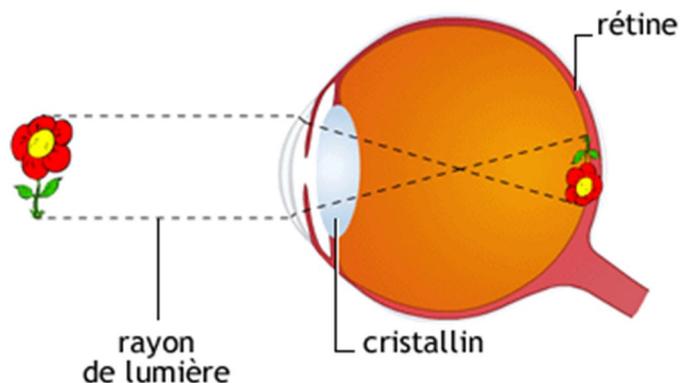
Les rayons lumineux pénètrent dans l'œil à travers la pupille. Ils sont déviés une première fois par la cornée, puis une deuxième fois par le cristallin : la cornée et le cristallin fonctionnent ainsi comme deux lentilles qui envoient les rayons lumineux **sur la rétine** (le cristallin, notamment, est chargé de **focaliser** l'image sur la rétine).

L'image de l'objet regardé se forme **à l'envers** sur la rétine. Là, elle « active » les cônes et les bâtonnets. Ceux-ci transmettent les informations qu'elles reçoivent (l'image) au cerveau par l'intermédiaire du nerf optique. **Le cerveau interprète** les informations reçues et « remet l'image à l'endroit » : nous voyons.

Chez de nombreuses personnes, la vision est **altérée** de façon plus ou moins importante : ce sont des **défauts de la vision**. Les plus courants sont la myopie, l'hypermétropie, l'astigmatisme et la presbytie.

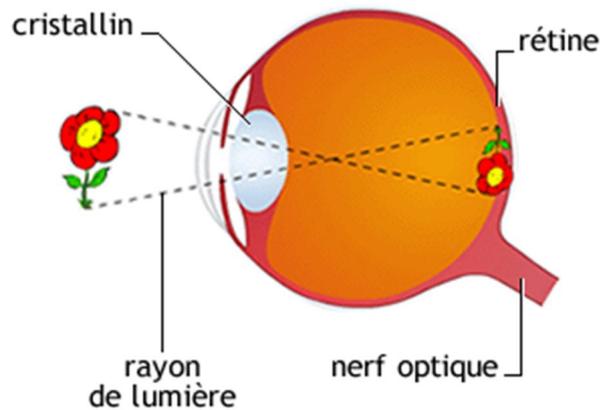
## La vision de loin

Quand on regarde un objet placé relativement loin, les rayons lumineux pénètrent de façon quasi-parallèle à travers la pupille. Pour un œil normal (ni myope, ni hypermétrope, ni astigmatique), la courbure de la cornée et la courbure du cristallin au repos permettent de projeter l'image au bon endroit sur la rétine, et de produire une image nette.



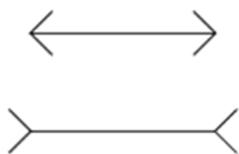
## La vision de près

Quand on regarde un objet placé plus près de nous, les rayons lumineux qu'il renvoie ne sont plus parallèles. La courbure naturelle de la cornée et du cristallin ne suffisent pas à projeter l'image sur la rétine. Sans une modification de la forme du cristallin, l'image d'un objet vu de près se formerait derrière la rétine. Pour compenser ce problème et ramener l'image sur la rétine, le cristallin se bombe : c'est **l'accommodation**.



Si l'œil accommode trop peu, la vision est floue ; s'il accommode trop, l'œil se fatigue inutilement.

## La persistance rétinienne et les illusions d'optique



Dans le dessin ci-dessus, le deuxième segment paraît plus long que le premier. C'est un exemple d'illusion d'optique. Par ailleurs, dans un film, les mouvements nous semblent continus alors qu'ils sont constitués de l'enchaînement d'images fixes. À quoi sont dus ces phénomènes ?

*Réponse* : ces phénomènes sont dus au traitement biaisé de l'information dans le cerveau et à la persistance des images sur la rétine de l'oeil.

## 1. La persistance rétinienne

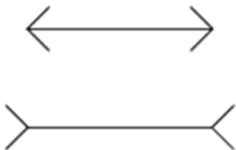
Les cellules photo réceptrices de l'œil, cônes et bâtonnets, ont un fonctionnement qui n'est **pas instantané**. Dans l'obscurité, elles sont au repos. Un rayon lumineux qui vient frapper une cellule l'excite. La cellule se désexcite ensuite en transmettant au cerveau l'information reçue. Une fois désexcitée, elle est à nouveau prête à être utilisée. Il faut donc un certain temps à une cellule pour redevenir opérationnelle.

Globalement, la rétine garde en mémoire une image pendant un dixième de seconde. C'est pour cette raison que, dans l'obscurité, la courbe décrite par un point lumineux qui se déplace rapidement s'imprime dans notre œil. Les images captées par la rétine se superposent. Le cinéma et la télévision sont basés sur ce principe. Au cinéma, pendant une seconde, 24 images sont projetées sur l'écran. L'illusion d'un film continu est parfaite ; le cerveau ne se rend pas compte qu'il s'agit d'une suite d'images fixes en général différentes.

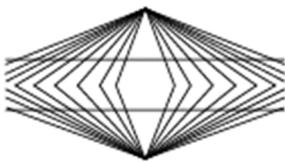
## 2. Les illusions d'optique

Les illusions d'optique ne sont pas dues à une mauvaise performance de l'œil, c'est le traitement des images par le cerveau qui est en cause. Le cerveau traite les informations transmises par le nerf optique. Nous reconnaissons facilement et très rapidement les formes ou les visages alors que les plus puissants ordinateurs en sont encore incapables. Le cerveau **interprète** les images qu'il reçoit en les comparant à des choses qu'il connaît déjà, mais parfois ces comparaisons sont fausses. Voici quelques illusions d'optique classiques.

**L'illusion de Muller-Lyer** : les deux segments horizontaux ont la même longueur, mais leurs longueurs apparentes ne sont pas les mêmes car le cerveau les compare sans pouvoir faire abstraction de leurs extrémités.



**La figure de Wundt** : malgré les apparences, les deux segments horizontaux sont parallèles.



**L'illusion du « T » inversé** : le segment vertical et le segment horizontal ont la même longueur.



# L'eau sur la Terre et dans l'espace

Pourquoi la Terre est-elle appelée « la planète bleue » depuis qu'elle a été prise en photo depuis l'espace ?

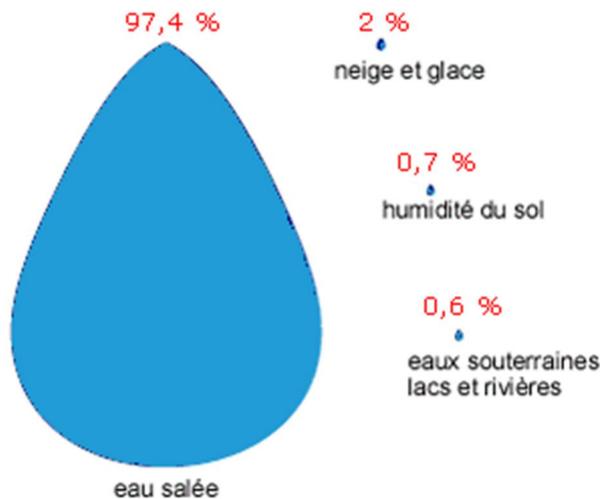
*Réponse* : près des trois quarts de la surface de notre planète sont recouverts par les mers et les océans. Cependant, toute l'eau de notre planète n'est pas visible de l'espace. Sous quelles formes et en quels lieux peut-on trouver de l'eau ?

## 1. L'eau sur la Terre

### 1.1. La répartition de l'eau sur la Terre

La quantité totale d'eau sur la Terre est estimée à 1 380 millions de km<sup>3</sup>, soit 1 380 milliards de milliards de litres d'eau !

Les eaux salées des mers et des océans représentent environ 1 345 millions de km<sup>3</sup> (soit 97,4 %), pour seulement 35 millions de km<sup>3</sup> d'eau douce. Celle-ci est répartie entre les glaces polaires et les glaciers, les eaux souterraines, les lacs, les rivières et l'atmosphère.



**Répartition de l'eau sur la Terre**

Seules les réserves d'**eau douce** liquide sont utilisées par l'homme. Le fait qu'elles soient limitées et surtout que leur répartition soit très inégale à la surface de la Terre pose de graves problèmes à de nombreuses populations. La gestion de l'eau devient un **enjeu stratégique**, de plus en plus important au fur et à mesure de l'accroissement de la population terrestre.

### 1.2. L'eau invisible

L'eau est présente partout sur la Terre mais pas toujours de façon aussi apparente que dans les mers, les lacs et les rivières.

On trouve aussi de l'eau :

- sous une forme liquide, dans le sous-sol (nappes souterraines) ;
- sous une forme solide, dans la glace ou la neige ;
- sous une forme gazeuse, dans l'atmosphère.

Elle est également présente en grande quantité dans les **organismes vivants** : les plantes, les animaux et les hommes. Ainsi, l'eau représente environ 70 % de la masse d'un être humain et nous avons besoin de 2 à 3 litres d'eau par jour pour compenser ce que nous éliminons quotidiennement. Heureusement, nous pouvons trouver cette eau dans les aliments que nous consommons et qui contiennent tous de l'eau (viandes, légumes, fruits, laitages, etc.).

## 2. Le cycle de l'eau

### 2.1. Une boucle qui se répète indéfiniment

Chauffée par le rayonnement solaire, l'eau des mers, des lacs, des rivières, etc., **s'évapore** peu à peu. Elle se disperse alors dans l'atmosphère sous la forme de vapeur d'eau. En rencontrant des zones d'air froid, la vapeur **secondense** dans les nuages en de minuscules gouttelettes d'eau qui peuvent **sesolidifier** sous la forme de cristaux de glace si l'air se refroidit suffisamment.

Poussés par les vents, les nuages se déplacent dans l'atmosphère avant que l'eau qu'ils contiennent ne **retombe** à la surface de la Terre, sous la forme de précipitations de pluie, de neige ou de grêle. La neige et la grêle subissent alors une **fusion**, c'est-à-dire une transformation de l'état solide à l'état liquide.

Quand elle ne tombe pas directement dans les mers et les océans, l'eau liquide due aux précipitations diverses ruisselle à la surface du sol. Elle **s'accumule** peu à peu pour former des rivières ou bien **s'infiltrer** dans le sol et rejoint des nappes d'eau souterraines avant de réapparaître à la surface sous la forme de sources.

Une partie de l'eau liquide tombée sur les terres émergées va rejoindre les mers et les océans sous la forme de torrents, de rivières puis de fleuves. Au cours de son parcours, de l'eau s'évapore... Le **cyclerecommence** ainsi indéfiniment.

### 2.2. Des changements d'état réversibles

Au cours de son cycle, l'eau subit une série de changements d'état inverses l'un de l'autre. Une **évaporation** transforme l'eau liquide de surface en vapeur d'eau qui se disperse dans l'atmosphère. Inversement, une **condensation** transforme cette vapeur d'eau en eau liquide pour former les nuages.

Une **solidification** transforme l'eau liquide des nuages à haute altitude, en glace. Inversement, une **fusion** transforme cette glace, tombée au sol lors de précipitations, en eau liquide.

Il est indispensable qu'à chaque changement d'état corresponde une transformation inverse, car, pour qu'il y ait cycle, il faut pouvoir revenir au point de départ. On dit qu'un changement d'état est **réversible**.

### 2.3. Une quantité d'eau stable

Depuis la formation de la Terre, il y a environ 4,5 milliards d'années, la quantité d'eau n'a pratiquement **pas varié**. Toute l'eau qui s'évapore vers l'atmosphère retombera un peu plus tard sur le sol sous forme liquide ou solide et inversement : le cycle se poursuit donc indéfiniment.

La **durée du cycle** peut être très variable d'une région à l'autre : de quelques heures dans les régions chaudes des tropiques à plusieurs milliers d'années pour les régions froides proches des pôles.

## 3. L'eau dans l'espace

Sur la Terre, l'eau occupe une place privilégiée. C'est très probablement dans les océans que la vie est apparue il y a environ 3,8 milliards d'années. Notre planète est également — semble-t-il — le seul endroit du Système solaire où l'on peut trouver de l'eau sous ses trois états physiques : solide, liquide et gazeux.

On peut pourtant aussi trouver de l'eau en dehors de la Terre, mais alors plutôt sous une forme solide ou gazeuse. Ainsi, la planète **Mars** possède deux calottes glaciaires et on a décelé de grandes quantités de glace dans son sous-sol.

Certains **satellites de Jupiter et de Saturne** ainsi que les **comètes** sont constitués en partie de glace d'eau.

L'analyse du **milieu interstellaire** par les **radiotélescopes** y a également révélé la présence de grandes quantités de vapeur d'eau.

## Détecter la présence de l'eau

Pour que notre organisme fonctionne normalement, nous devons consommer en moyenne 2 litres et demi d'eau par jour. Faut-il pour autant boire pratiquement deux bouteilles d'eau minérale d'1 litre et demi ?

*Réponse* : non, car de nombreux aliments contiennent de l'eau. Comment détecter cette eau dans la nourriture ?

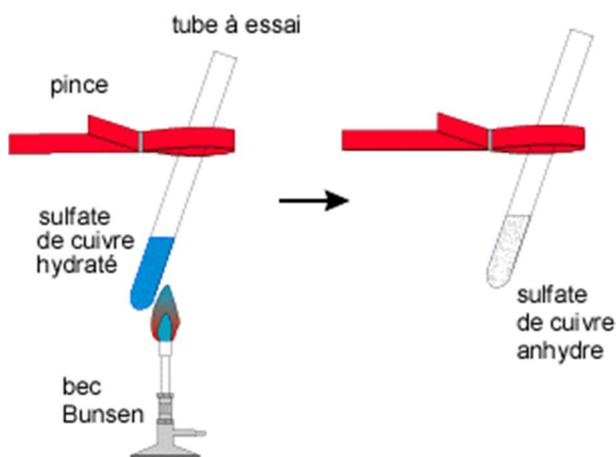
### 1. Test de reconnaissance de l'eau

Afin de reconnaître les produits contenant de l'eau, nous devons utiliser un test de reconnaissance qui donne un résultat fiable et qui puisse être reproduit. Le **sulfate de cuivre** permet d'effectuer ce test. On l'utilise en général plutôt en jardinage et en agriculture pour éliminer les champignons sur les cultures : c'est un fongicide. Lors de sa manipulation, quelques précautions sont nécessaires car il est irritant pour la peau et les yeux et toxique par ingestion : on se protège donc les mains avec des gants et on utilise des ustensiles qui ne serviront pas à l'alimentation par la suite.

Le sulfate de cuivre vendu dans le commerce est bleu. Il est dit **hydraté**, ce qui signifie qu'il contient de l'eau. Avant de pouvoir l'utiliser, il faut donc éliminer l'eau qu'il contient par évaporation.

#### 1.1. Première étape du test

*Protocole* : on place du sulfate de cuivre hydraté dans un tube à essai, que l'on chauffe assez longtemps pour qu'il perde sa teinte et devienne blanc.



La déshydratation du sulfate de cuivre

Ce sulfate de cuivre blanc est anhydre : il ne contient plus d'eau. Nous pouvons donc l'utiliser pour le test de reconnaissance de l'eau.

### 1.2. Deuxième étape du test

*Protocole* : nous disposons un peu de notre poudre de sulfate de cuivre anhydre dans deux coupelles. Nous versons quelques gouttes d'eau dans la première coupelle et quelques gouttes d'huile dans la seconde coupelle.

*Observation* : dans la coupelle où nous avons mis de l'eau, le sulfate de cuivre anhydre est devenu bleu. Dans l'autre coupelle, il est resté blanc car l'huile ne contient pas d'eau.

*Interprétation* : le sulfate de cuivre anhydre **bleuit en présence d'eau**. Cette réaction sert à caractériser la présence d'eau. Lors de la réaction, le sulfate de cuivre blanc anhydre absorbe l'eau : il s'hydrate et devient du sulfate de cuivre hydraté de couleur bleue.

## 2. Application du test à différents produits courants

Le test de reconnaissance précédent peut être appliqué à divers produits d'alimentation et d'entretien courants.

*Protocole* : on effectue le test de reconnaissance de l'eau sur les liquides suivants : eau du robinet, eau minérale, vin, lait, vinaigre, jus d'orange, acétone (un produit d'entretien).

*Observation* : on remarque que dans tous les cas, sauf l'acétone, le sulfate de cuivre devient bleu.

*Interprétation* : l'acétone est le seul liquide testé qui ne contient pas d'eau.

La même expérience peut être effectuée avec des produits d'alimentation solide comme le pain, la viande ou les légumes. Il faut dans ce cas chauffer légèrement le mélange de ces aliments avec le sulfate de cuivre anhydre afin que l'eau qu'ils pourraient contenir s'en échappe. On remarque alors que tous ces aliments contiennent de l'eau.

Il n'est donc pas nécessaire de boire 2,5 L d'eau minérale par jour car nous absorbons environ 1 L d'eau dans les aliments solides que nous consommons au cours de la journée.

## 3. La carte d'identité de l'eau

Nous pouvons à présent résumer les propriétés importantes de l'eau :

- Nom : eau.
- État physique à la température ambiante (20°C) : liquide.
- Masse d'un litre d'eau (à 4°C) : 1 kg.
- Test de reconnaissance : bleuit le sulfate de cuivre anhydre.
- Signes particuliers : incolore, insipide et transparente.

# Séparer des constituants d'une boisson

Une grande partie de l'eau que nous consommons provient des fleuves et des rivières.

Comment enlève-t-on le sable et la vase qui souillent ces eaux ?

*Réponse* : avant d'arriver à notre robinet, les eaux des fleuves et des rivières sont filtrées puis décantées. Comment se passent ces deux opérations ? Existe-t-il d'autres méthodes pour séparer les constituants d'un liquide ?

## 1. Décantation et filtration

Lors de la préparation d'un jus d'orange, nous obtenons un mélange hétérogène constitué de jus et de pulpe d'orange. Si nous souhaitons enlever la pulpe présente dans le mélange, deux méthodes sont complémentaires : la décantation et la filtration.

### 1.1. La décantation

La décantation consiste à **laisser reposer** le jus d'orange suffisamment longtemps pour que la pulpe tombe **au fond** du verre. On peut ensuite verser dans un autre verre le jus d'orange (sans pulpe) qui **surname**. Si l'opération s'est faite sans que le mélange ait été secoué, on arrive à récupérer la plus grande partie du jus sans pulpe : on obtient un mélange quasiment homogène (constitué d'eau, d'arômes et de colorants venant de l'orange, et de fines particules de pulpe encore en suspension dans le liquide).

La décantation fonctionne particulièrement bien pour séparer des constituants qui tombent facilement au fond du liquide, comme le sable ou la boue. Elle est d'ailleurs utilisée lors du traitement des eaux usées.

La décantation est souvent très lente. Pour accélérer celle-ci, on peut utiliser une **centrifugeuse** ; en faisant tourner très rapidement le mélange hétérogène dans des tubes, les particules sont plaquées au fond de ceux-ci et séparées du liquide.

### 1.2. La filtration

Pour séparer la pulpe et le jus d'orange on peut aussi effectuer une filtration. Pour cela, on peut utiliser une **passoire** assez fine pour retenir la pulpe d'orange ou encore du **papier filtre** (comme un filtre à café). Le jus avec la pulpe est versé dans la passoire (ou sur le papier filtre) qui arrête la pulpe et seul le jus est récupéré de l'autre côté.

Le choix du filtre (passoire, papier filtre) doit être adapté à la taille des particules que l'on doit séparer.

On utilise aussi la filtration pour le traitement des eaux usées.

### 1.3. Conclusion

La décantation et la filtration permettent donc de passer d'un mélange hétérogène à un mélange homogène en séparant du reste du liquide les constituants visibles à l'œil nu.

## 2. L'évaporation et la distillation

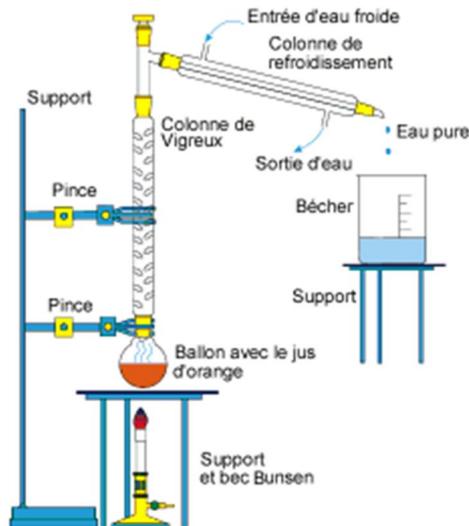
Le jus d'orange homogène que nous avons obtenu par décantation et filtration contient encore plusieurs constituants : sucre, arôme d'orange, eau, etc. Pour en extraire l'eau, nous pouvons procéder de deux façons : par évaporation ou par distillation.

### 2.1. L'évaporation

Si nous faisons chauffer à feu doux le jus d'orange, l'eau qu'il contient va progressivement s'échapper du récipient sous forme de **vapeur d'eau**. Lorsque toute l'eau se sera échappée, il restera le sucre et les constituants qui donnent la couleur et le goût au jus d'orange : les extraits d'orange. L'eau qui s'est évaporée dans l'atmosphère n'est pas récupérable.

### 2.2. La distillation

La distillation nécessite un montage un peu plus compliqué.



**Distillation du jus d'orange**

Dans ce montage, on distingue deux parties : la colonne dans laquelle on fait **évaporer** l'eau et le refroidisseur qui servira à **condenser** l'eau sous forme liquide à la sortie du dispositif. Le plus important est de bien contrôler la température de chauffage pour ne faire évaporer que l'eau.

La distillation permet de récupérer l'eau présente dans le mélange, donc de séparer les constituants d'un mélange homogène.

Elle repose sur deux changements d'état inverses : l'évaporation et la condensation.

L'évaporation de l'eau permet de séparer l'eau, sous forme de vapeur, du reste du mélange.

L'eau est ensuite récupérée sous la forme liquide par condensation au contact d'une surface froide.

Cette technique est également utilisée (dans un alambic, par exemple) pour séparer l'eau de l'alcool lors de la fabrication d'eau de vie. Mais, dans ce cas, c'est l'alcool qui est récupéré à la sortie du dispositif car sa température d'ébullition est plus basse que celle de l'eau.

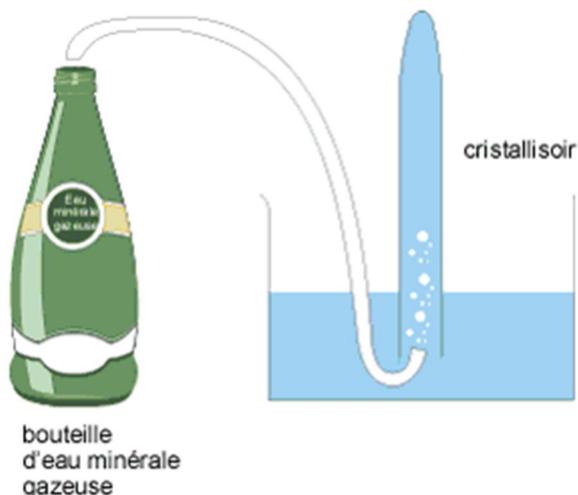
## L'eau minérale gazeuse

Certaines eaux minérales sont pétillantes ; leur étiquette indique qu'elles sont gazéifiées. D'où vient le gaz qu'elles contiennent ?

*Réponse* : le gaz est parfois présent naturellement dans l'eau, mais le plus souvent il est injecté dans la bouteille après remplissage. De quel gaz s'agit-il ? Quelles sont ses propriétés ?

### 1. L'extraction du gaz

Afin de pouvoir étudier le gaz présent dans une eau gazeuse, il faut pouvoir l'en extraire. Pour cela il faut procéder par **déplacement d'eau**.



**Le gaz présent dans la bouteille d'eau  
s'échappe pour aller dans l'éprouvette**

Pour accélérer la séparation du gaz et de l'eau, nous pouvons agiter la bouteille ou la chauffer. Dans ce dernier cas, nous utilisons le fait que la solubilité de ce gaz dans l'eau diminue quand la température s'élève.

## 2. L'identification du gaz

En cours de science de la vie et de la Terre, nous avons vu que l'un des gaz que nous expirons, le dioxyde de carbone, **trouble l'eau de chaux**. Nous pouvons vérifier ce qu'il en est du gaz présent dans les eaux minérales gazeuses.

*Protocole* : de l'eau de chaux limpide (obtenue en filtrant un mélange d'eau et de chaux) est versée dans un tube à essai. Un tuyau raccordé à la sortie d'une bouteille d'eau minérale gazeuse plonge dans l'eau de chaux.

*Observation* : l'eau de chaux se trouble lorsqu'elle est traversée par les bulles de gaz provenant de la bouteille d'eau minérale gazeuse.

*Interprétation* : le gaz contenu dans l'eau minérale gazeuse est donc du **dioxyde de carbone**, également appelé gaz carbonique.

## 3. Les propriétés du dioxyde de carbone

Le dioxyde de carbone est un gaz incolore et inodore. Étudions quelques unes de ses propriétés en réalisant deux expériences.

### 3.1. Première expérience :

*Protocole* : une bouteille d'eau minérale gazeuse est pesée sur une balance précise. On ouvre ensuite la bouteille et on la secoue légèrement pour qu'un peu de dioxyde de carbone s'en échappe. La bouteille est à nouveau pesée.

*Observation* : la bouteille est plus légère après avoir libéré un peu de dioxyde de carbone.

*Interprétation* : **un gaz possède donc une masse.**

### 3.2. Seconde expérience :

*Protocole* : une bougie est placée au fond d'une large éprouvette de verre. On fait arriver sur la bougie le dioxyde de carbone recueilli par le procédé de déplacement d'eau.

*Observation* : très rapidement, la bougie s'éteint.

*Interprétations* :

— Le dioxyde de carbone est **plus lourd que l'air** car il s'est écoulé vers le bas de l'éprouvette de verre.

— Le dioxyde de carbone **n'entretient pas la flamme d'une bougie**. Elle s'éteint lorsqu'il y a trop de dioxyde de carbone autour d'elle.

On utilise d'ailleurs cette dernière propriété dans les extincteurs qui contiennent de la neige carbonique, c'est-à-dire du dioxyde de carbone à l'état solide. Au contact de l'air, celui-ci **se sublime** en gaz carbonique qui peut éteindre les flammes en les étouffant.

#### 4. La carte d'identité du dioxyde de carbone

Nous pouvons maintenant résumer les principales propriétés du dioxyde de carbone :

— Nom : dioxyde de carbone.

— État physique à la température ambiante : gazeux.

— Solubilité : soluble dans l'eau.

— Test de reconnaissance : trouble l'eau de chaux.

— Signes particuliers : gaz incolore, inodore, présent dans les boissons gazeuses naturelles ou artificielles.

## L'acidité d'une boisson

La publicité nous vante régulièrement des gels douches et des savons ayant un « pH neutre ».

Que signifie cette appellation ?

*Réponse* : cette appellation indique que les produits préservent la peau d'une agression « chimique ». Mais que signifie exactement le terme de pH ? Ces savons sont-ils réellement neutres ?

### 1. L'acidité mesurée par le pH

Lorsque nous consommons des boissons et des aliments, notre langue est sensible à certains goûts de base : le sucré, le salé, l'amer et l'acide. Le goût acide se retrouve souvent lors de la consommation de certains fruits comme le citron ou l'orange. Il correspond à une propriété chimique détectée par la langue et qui peut être mesurée par une grandeur appelée pH (toujours écrit avec un p minuscule et un H majuscule).

Le pH est une grandeur sans unité qui exprime le caractère **acide** d'une solution contenant de l'eau.

Il y a donc trois domaines de valeur du pH :

— si le pH est **inférieur à 7**, la solution est acide ;

— si le pH est égal à **7**, la solution est neutre ;

— si le pH est **supérieur à 7**, la solution est basique.

La valeur du pH est parfois indiquée sur les bouteilles d'eau minérale et sur certains produits d'hygiène. On y voit pourtant souvent des abus de langage : les produits qui sont dits « neutres pour la peau » ont souvent un pH compris entre 5 et 6, ce qui correspond à un pH acide. Mais comme la peau a également un pH acide compris entre 5 et 6, ces produits ne provoqueront pas de réaction au contact de l'épiderme.

### 2. La mesure du pH

## 2.1. Le papier pH

Il change de couleur en fonction de l'acidité de la solution et chaque couleur correspond à une valeur référencée du pH. Pour mesurer le pH, on place donc une petite goutte de la solution sur un petit morceau de papier pH et on compare la couleur avec les couleurs de référence (inscrites sur l'emballage du papier pH).

## 2.2. Le pH-mètre

Cet appareil de mesure est constitué d'une **électrode** que l'on plonge dans la solution dont on veut connaître l'acidité. Son pH s'affiche alors sur l'écran du pH-mètre. L'électrode doit être bien rincée à l'eau distillée avant chaque mesure et l'appareil doit être régulièrement **étalonné** pour que ses mesures soient justes.

## 2.3. Les indicateurs colorés

Ce sont des liquides qui changent de couleur en fonction de l'acidité d'une solution. Pour les utiliser, il faut d'abord déterminer le pH correspondant à chaque couleur à l'aide d'un pH-mètre. Le jus de chou rouge constitue un très bon indicateur coloré car il possède au moins six couleurs caractéristiques en fonction du pH.

## 2.4. Exemple de mesures

Utilisons un pH-mètre pour mesurer le pH de quelques liquides courants.

*Protocole* : plusieurs liquides sont versés dans des béchers. L'électrode du pH-mètre est rincée à l'eau distillée entre chaque mesure. On place les résultats dans un tableau.

Liquide	soda	vinaigre	eau minérale	lait	gel douche	lessive liquide
pH	2,5	2	7	6,5	5,7	10

*Observation* : on remarque que le pH des boissons est toujours acide ou neutre. Au contraire, les produits ménagers et les lessives ont eux un pH basique.

*Interprétation* : la valeur du pH des boissons correspond au fait que les sucs gastriques qui permettent la digestion dans notre estomac sont acides. Nous devons donc consommer des produits qui sont également acides ou neutres, sous peine d'avoir des brûlures d'estomacs si la différence de pH entre les aliments et le suc gastrique est trop importante.

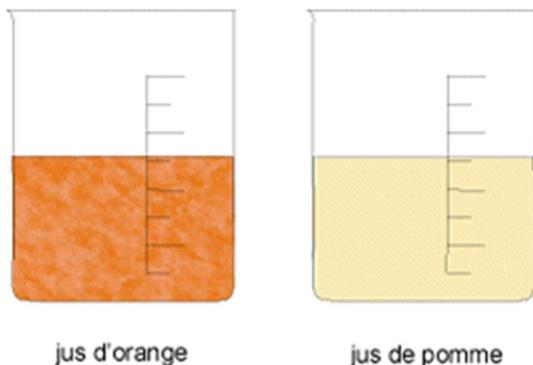
# Mélange et corps pur

Lors d'une marée noire, comme celle provoquée par le naufrage du pétrolier *Erika* en 1999, pourquoi le pétrole échappé en mer ne se mélange-t-il pas avec l'eau de mer ?

*Réponse* : l'eau et le pétrole ne peuvent se mélanger car ils ne sont pas miscibles. Qu'est-ce que la miscibilité ? À quoi sert un émulsifiant ?

## 1. Différents types de mélanges

En pressant une orange avec un presse-agrumes, les pépins et les gros morceaux de pulpe sont arrêtés par l'appareil. Cependant, le jus d'orange obtenu contient encore de la pulpe en suspension.



### Observation de deux jus de fruit

Nous pouvons mettre en évidence le fait que le **jus d'orange** contient plusieurs substances en faisant un test de reconnaissance de l'eau.

*Protocole* : on verse un peu de jus d'orange sur du sulfate de cuivre anhydre.

*Observation* : le sulfate de cuivre devient bleu. Le jus d'orange contient donc de l'eau. Comme il contient également de la pulpe et des produits qui lui donnent son goût et sa couleur, on peut dire que le jus d'orange est un mélange. De plus, comme on peut voir à l'œil nu ses constituants, la pulpe et le jus, on dit que c'est un mélange **hétérogène**.

Si nous renouvelons maintenant cette expérience avec un **jus de pomme** en brique du commerce, nous remarquons que c'est également un mélange qui contient de l'eau et des produits qui donnent le goût de pomme. Pourtant, c'est un liquide transparent dans lequel on ne voit pas de constituants : on dit que c'est un mélange **homogène**.

## 2. La miscibilité de deux liquides

Lorsqu'on tente de mélanger de l'huile et de l'eau, les deux liquides finissent toujours par se séparer. L'huile et l'eau ne peuvent pas se mélanger : on dit qu'ils ne sont pas **miscibles**. Nous pouvons par contre mélanger facilement de l'eau avec de l'alcool à brûler : ils sont **miscibles**.

Certains liquides ne sont pas miscibles avec l'eau mais le sont avec d'autres liquides. C'est le cas de l'acétone qui se mélange facilement à l'huile. On peut donc utiliser l'acétone pour nettoyer les taches de graisses sur les métaux.

Il arrive que l'on souhaite tout de même mélanger deux liquides non miscibles, par exemple lorsqu'on souhaite mélanger de l'huile et du vinaigre (qui contient principalement de l'eau) pour faire une vinaigrette. Pour que ces deux produits non miscibles se mélangent, il faut utiliser un produit qui les force à se mélanger : un **émulsifiant**. Dans la vinaigrette, c'est la moutarde qui joue ce rôle.

C'est également en utilisant une sorte d'émulsifiant que l'on arrive parfois à disperser les nappes de pétroles qui ne sont pas miscibles avec l'eau de mer.

## Les colorants alimentaires

Le sirop de menthe vendu dans le commerce est vert. D'où vient cette couleur ?

*Réponse* : on pourrait penser qu'elle vient de la chlorophylle verte présente dans les feuilles de menthe. Il s'agit en fait de colorants synthétiques ajoutés. Pourquoi utilise-t-on ces colorants et comment peut-on les mettre en évidence ?

## 1. Les colorants alimentaires

Pour préparer un thé à la menthe, il faut mettre des feuilles de menthe dans l'eau chaude qui prend alors le goût de la menthe. Pourtant, l'eau ne devient pas verte car la chlorophylle qui colore en vert la feuille de menthe ne se dissout pas facilement dans l'eau. Il en est de même lorsqu'on réalise un sirop à partir d'extraits de feuille de menthe : celui-ci est légèrement jaunâtre.

Or nous associons souvent la couleur de nos aliments avec leur goût, les industriels ont donc très rapidement vu l'intérêt de rajouter des colorants aux aliments pour attirer les consommateurs.

Les colorants naturels ne se conservent pas toujours très bien dans le temps et leur coût est souvent élevé. En 1856, en découvrant le premier **colorant synthétique**, l'Anglais William Perkins ouvre la voie vers leur utilisation massive dans notre alimentation et dans bien d'autres produits de notre vie quotidienne.

Sur les étiquettes de nos aliments, les colorants sont indiqués par des **codes** allant de E100 à E180.

À chaque code, correspond un colorant précis :

- E102 : jaune tartrazine,
- E131 : bleu patenté,
- E150 : caramel (brun noir).

L'étiquette d'un sirop de menthe indique l'utilisation des colorants E131 et E102 : du jaune et du bleu mélangés pour donner du vert.

Les colorants synthétiques ne sont pas toujours inoffensifs pour la santé. Certains possèdent d'ailleurs une dose journalière admissible (DJA) : c'est la dose de colorant à ne pas dépasser, calculée pour une personne adulte d'environ 70 kg. Le risque de dépassement de ces doses est encore mal connu sur l'homme, mais on a mis en évidence l'apparition de cancers, de malformations et d'irritations en cas de doses trop fortes sur des animaux. Comme ces colorants sont très utilisés dans les bonbons, voilà une bonne raison pour ne pas en abuser !

## 2. L'extraction des colorants

### 2.1. Première étape

Extraire un colorant d'un sirop, c'est le séparer des autres constituants de ce sirop. Le morceau de laine naturelle que nous allons utiliser va nous permettre de **fixer le colorant en milieu acide**.

*Protocole* : nous utilisons du sirop de menthe. C'est une solution qui contient du sucre, des extraits naturels de menthe et des colorants. Dans un bécher, introduisons environ 1 mL de laine, 20 mL de sirop de menthe et 5 mL d'acide acétique (vinaigre blanc). Portons le mélange à ébullition pendant environ 10 minutes. Retirons ensuite la laine et rinçons-la abondamment à l'eau pour enlever le sucre.

*Observation* : la laine est devenue verte. Les colorants du sirop de menthe se sont fixés dessus. La présence du milieu acide a permis au colorant de bien se fixer sur la laine.

### 2.2. Seconde étape

Il faut maintenant récupérer le colorant **fixé** sur la laine. Pour cela, il faut la placer en milieu basique comme si on voulait laver une tache sur un pull en laine.

*Protocole* : introduisons maintenant dans un autre bécher 15 mL d'une solution d'hydroxyde de sodium (soude) et le morceau de laine puis portons à ébullition douce.

*Observation* : le colorant quitte progressivement la laine et se dissout dans la soude. Nous pouvons obtenir une solution plus concentrée en colorant en faisant évaporer un peu d'eau de cette solution.

### 3. La séparation des colorants

Pour séparer les constituants d'un mélange de colorants, nous procédons par **chromatographie**.

*Protocole* : dans un petit bécher, nous préparons la solution suivante : 5 mL d'eau salée à 40 g/L et 1 mL d'éthanol (alcool à brûler). Nous découpons un morceau de papier filtre à une dimension légèrement inférieure au bécher. À 2 cm du bas du papier filtre, nous plaçons une petite goutte d'une solution concentrée de colorant. Le bas du papier filtre est ensuite placé dans le bécher.

*Observation* : le liquide du bécher monte dans le papier filtre et entraîne avec lui la goutte de colorant. Rapidement, les deux colorants qui composent la couleur verte (le jaune et le bleu) vont se séparer car le bleu monte plus haut que le vert.

Cette technique peut être utilisée également avec des encres et des peintures. La simplicité de sa mise en œuvre en fait une méthode d'analyse très utilisée en laboratoire de chimie.

## Les états physiques de l'eau

On emploie généralement le terme *eau* pour désigner l'eau sous sa forme liquide. Sous quelles autres formes existe-t-elle pourtant dans notre environnement ?

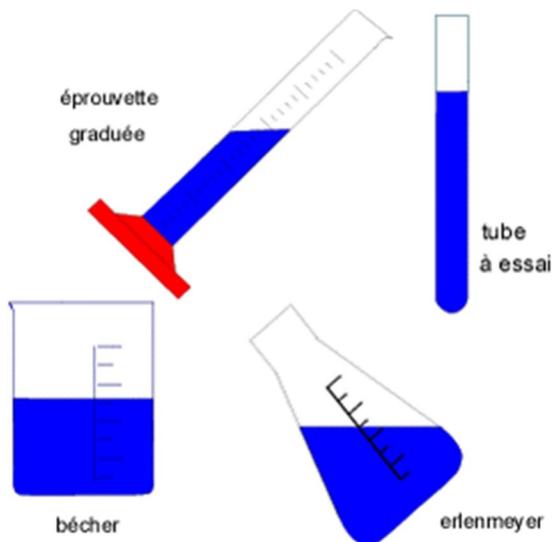
*Réponse* : comme beaucoup d'autres substances, l'eau existe également sous forme solide (la glace) et sous forme gazeuse (la vapeur d'eau). Quelles propriétés a-t-elle dans chacun de ces cas ?

### 1. Les propriétés de l'eau liquide

Lorsqu'elle est à l'état liquide, on ne peut pas facilement transporter l'eau dans ses mains : il faut la placer dans un récipient.

Essayons différents récipients.

*Protocole* : nous prenons des récipients de différentes formes dans lesquelles nous versons la même quantité d'eau liquide.



### Une multitude de formes pour l'eau liquide

*Observation* : l'eau se place au fond des récipients dont elle prend la forme. Calculons le volume de liquide contenu dans chaque récipient. Bien que les dimensions aient varié, nous constatons que le volume reste toujours le même. Lorsque les récipients sont posés à plat sur une table, on observe également que la surface supérieure de l'eau, appelée **surface libre**, est plane et semble horizontale. Si on prend un de ces récipients et qu'on le penche légèrement de côté, la surface libre de l'eau reste parallèle au sol.

*Généralisation* :

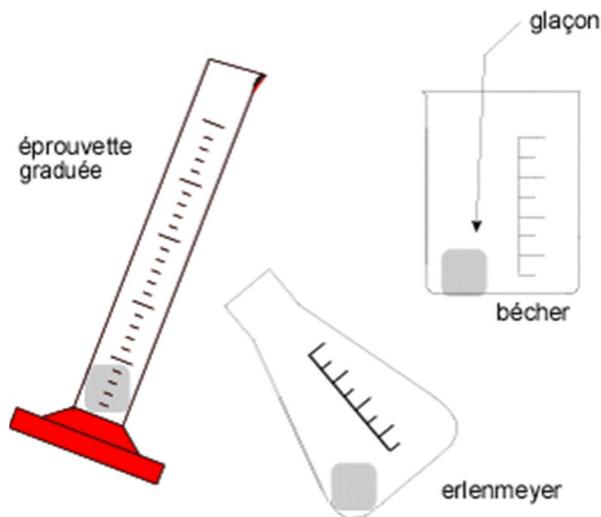
- Un liquide prend **la forme du récipient qui le contient**. Il ne possède pas de forme propre.
- Le volume d'un liquide ne dépend pas du récipient qui le contient.
- La surface libre d'un liquide est toujours **horizontale**.

Cette dernière propriété est utilisée dans de nombreux domaines : en navigation, on place le compas flottant dans un compartiment rempli d'eau afin qu'il reste toujours bien horizontal et qu'il indique toujours la bonne direction.

## 2. Les propriétés de l'eau solide

L'eau, à l'état solide, se présente sous la forme de glace et ses propriétés sont bien différentes de l'eau liquide. Par exemple, contrairement à l'eau liquide, nous pouvons transporter de la glace dans nos mains. Reprenons nos différents récipients pour étudier le comportement d'un glaçon.

*Protocole* : nous plaçons le glaçon sortant du congélateur dans des récipients de différentes formes.



### Une forme invariable pour la glace

*Observation* : quel que soit le récipient, le glaçon conserve sa forme. Ses dimensions n'ont pas varié.

*Généralisation* : cette propriété est partagée par tous les corps solides. Un solide garde toujours sa **forme propre**. Ses dimensions ne varient pas. **Son volume est toujours le même** ; il ne dépend pas du récipient dans lequel il est placé.

### 3. Des propriétés intermédiaires pour les sables

Lorsqu'on tente de prendre du sable fin entre les doigts, il s'écoule comme de l'eau. Il possède donc certaines propriétés d'un liquide. Mais si on verse du sable dans un récipient, sa surface libre n'est pas horizontale et forme un tas : ce n'est donc pas un liquide !

Au même titre que la farine ou le sucre, le sable fait partie des **matières granulaires** dont toutes les propriétés ne sont pas encore bien comprises.

### 4. Les propriétés de la vapeur d'eau

La vapeur d'eau est un **gaz**. Elle est invisible et occupe tout l'espace qui lui est offert. Comme les autres gaz, elle n'a donc ni forme propre ni volume propre.

L'air est également un gaz. Plaçons un verre retourné et vide dans de l'eau liquide. On emprisonne alors de l'air entre le verre et l'eau. Si on retourne le verre, l'air s'échappe immédiatement pour occuper le nouveau volume qui lui est offert. Des bulles d'air apparaissent et le verre se remplit d'eau.

## Les changements d'états de l'eau

Lorsqu'elles sont proches du Soleil, les comètes laissent derrière elles une longue traînée, appelée communément chevelure. De quelle nature est cette chevelure ?

*Réponse* : la chevelure principale est constituée de poussières qui se détachent quand la glace composant la comète se transforme en vapeur d'eau. Une seconde chevelure se forme parfois lorsque cette vapeur d'eau se condense en petites gouttelettes derrière la comète. Pourquoi l'eau change-t-elle ainsi d'état ?

### 1. Les trois états physiques de l'eau

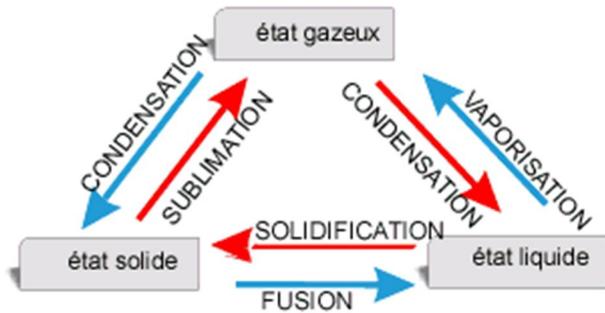
L'eau peut se présenter sous trois états physiques :

- l'état **liquide** (dans les rivières, l'eau de pluie, l'eau du robinet, etc.) ;
- l'état **solide** (dans la glace de la banquise, dans la neige, etc.) ;
- l'état **gazeux** (dans la vapeur d'eau de l'atmosphère).

Le passage d'un état physique à un autre s'appelle un **changement d'état**.

## 2. Les différents changements d'état physique

Comme il existe trois états physiques, il existe donc **six changements d'états associés**.



Quand un glaçon fond dans un verre, il y a **fusion**. Quand de l'eau est placée dans un congélateur, l'eau se solidifie en glace : il y a **solidification**. Il arrive que la neige disparaisse sans fondre ; elle se transforme directement en vapeur sans passer par l'état liquide : c'est la **sublimation**. Inversement, de la vapeur d'eau peut se **condenser** directement en givre ou en glace lorsqu'il fait très froid. Enfin, l'eau qui bout dans une casserole se transforme en vapeur d'eau par **vaporisation**.

## 3. Des changements réversibles

À chaque changement d'état correspond une transformation **inverse** : la solidification est l'inverse de la fusion, la condensation est l'inverse de la vaporisation ou de la sublimation, etc. Les changements d'état sont dits réversibles.

Le facteur principal d'un changement d'état est la **température**. En l'élevant ou en l'abaissant, on fait passer un corps d'un état physique à un autre. Nous verrons que le changement d'état dépend également de la pression.

## 4. Le volume et la masse lors d'un changement d'état

### 4.1. Le volume

Dans notre vie quotidienne, nous pouvons constater que le volume d'un corps peut changer au cours d'un changement d'état. Une bouteille remplie d'eau mise au congélateur éclate sous la pression due à l'augmentation du volume de la glace. L'eau à l'état solide occupe donc un volume plus grand que l'eau à l'état liquide.

Pour la paraffine qui compose les bougies, c'est l'inverse : la surface bombée vers le haut de la paraffine liquide va s'incurver vers le bas et occuper moins de volume, lorsque la température diminue. La paraffine occupe donc moins de volume à l'état solide qu'à l'état liquide.

### 4.2. La masse

Qu'en est-il de la masse lors d'un changement d'état ? Nous pouvons réaliser une petite expérience pour voir si un changement d'état la fait varier.

*Protocole* : plaçons un glaçon dans un récipient fermé sur une balance. La masse est relevée et notée au début de l'expérience puis lorsque le glaçon a complètement fondu.

*Observation* : la masse n'a pas changé.

*Interprétation* : la masse reste la même au cours du changement d'état. Donc, même si, **au cours d'un changement d'état**, le volume peut changer, **la masse, elle, ne change jamais.**

## Mesurer un volume, une masse et une température

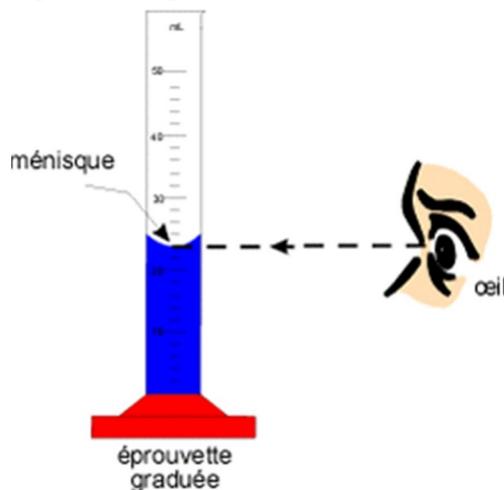
En cuisine, les recettes indiquent souvent les quantités nécessaires en masse. Mais pour les liquides ou les matières granulaires, on parle parfois de cuillère à soupe d'huile ou de verre à vin. À quelle grandeur physique correspondent ces mesures ?

*Réponse* : la grandeur mesurée est le volume. Comment le mesure-t-on ? Utilise-t-on un appareil spécifique comme pour la masse ou la température ?

### 1. La mesure d'un volume

Le volume correspond à la place prise par une substance qu'elle soit liquide, solide ou gazeuse. En mathématiques, nous apprenons à calculer le volume de différents solides (cube, cylindre, etc.). Mais comment mesurer le volume d'un liquide ?

Il faut utiliser un appareil de mesure. Il en existe plusieurs, mais le plus courant est l'**éprouvette graduée**. Réalisons une mesure avec cet appareil. Versons un peu d'eau dans l'éprouvette graduée.



#### La mesure d'un volume avec une éprouvette graduée

La surface libre du liquide est courbée. Cette surface en courbe est appelée **ménisque**. Pour mesurer le volume du liquide, il faut lire la graduation indiquée par le bas du ménisque.

Il existe bien d'autres récipients qui permettent de mesurer un volume : les béchers, les erlenmeyers, etc. Pour mesurer un volume donné, on utilise également des récipients **jaugés** qui ont un repère indiquant un volume bien déterminé.

Les **unités** en physique et en chimie sont les mêmes pour les scientifiques de tous les pays et sont unifiées par des règles dans le Système international d'unités (SI). Les unités de base de ce système sont appelées les **unités légales**.

L'unité légale de volume est le **mètre cube ( $m^3$ )**, mais pour les liquides, on utilise couramment une autre unité : le **litre (L ou l)**.

Les correspondances entre unités sont les suivantes :

$$1 m^3 = 1\,000 L$$

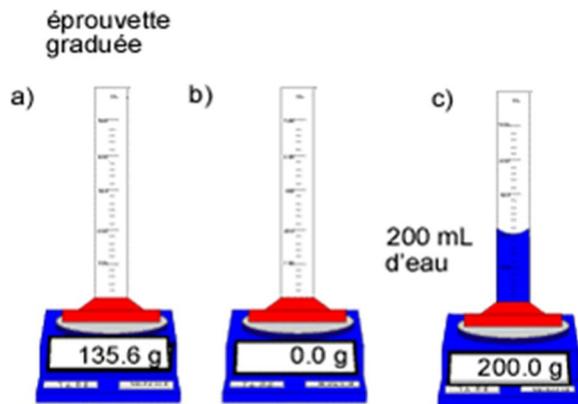
$$1 dm^3 (\text{décimètre cube}) = 1 L$$

$$1 cm^3 (\text{centimètre cube}) = 1 mL (\text{millilitre})$$

## 2. La mesure d'une masse

L'unité légale de **masse** est le **kilogramme (kg)** ; toutefois, pour les mesures de masses inférieures au kilogramme, on utilise souvent le gramme (g) qui vaut 0,001 kg. Pour mesurer une masse, il faut utiliser une **balance**. Réalisons une mesure avec cet appareil.

*Protocole* : dans un premier temps, le récipient vide est placé sur la balance. Puis on remet la balance à zéro : c'est la **tare**. On verse ensuite dans le récipient 200 mL d'eau. La masse de ce volume d'eau se lit alors directement sur la balance.



### La mesure de la masse d'un liquide

*Résultat* : on obtient une masse de 200 g, ce qui signifie qu'1 L d'eau a une masse de 1 000 g, soit 1 kg ou encore qu'1 mL ( $1 cm^3$ ) a une masse de 1 g.

On dit que la **masse volumique de l'eau est de  $1 g/cm^3$**  (ou  $1 kg/dm^3$ ).

*Remarque* : il ne faut pas confondre les notions de masse et de poids : la masse ne dépend que de la quantité de matière alors que le **poids dépend de l'attraction terrestre**.

## 3. La mesure d'une température

Pour mesurer une température, on utilise un **thermomètre** dans lequel un liquide coloré se dilate plus ou moins. La température se lit sur la graduation gravée sur le verre.

L'unité courante de température est le degré centigrade, également nommé **degré**

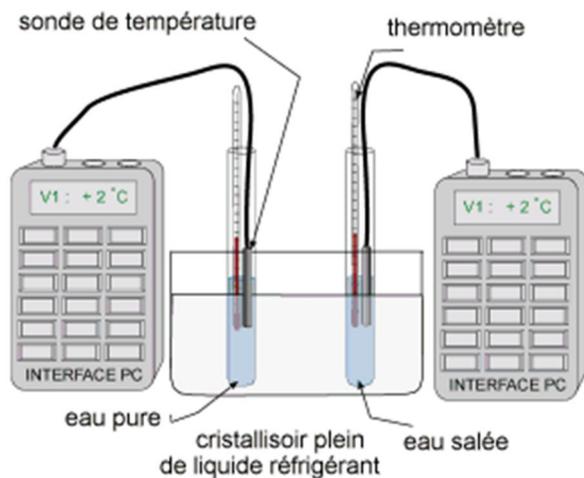
**Celsius ( $^{\circ}C$ )**. Ce n'est toutefois pas l'unité légale, qui est le **kelvin (K)**. Ce dernier n'est utilisé que par les scientifiques et jamais dans la vie courante.

# La température de solidification de l'eau

En hiver, on verse du sel sur les routes pour éviter la formation de la glace. Comment le sel empêche-t-il la glace de se former ?

*Réponse* : en se mélangeant à l'eau, le sel modifie les propriétés de celle-ci et abaisse sa température de solidification. Voyons comment évoluent les températures de l'eau pure et des mélanges lors de la solidification.

## 1. Mesurer une température de solidification



### Mesures lors de la solidification

Pour mesurer la température au cours de la solidification de l'eau pure et de l'eau salée, il faut placer ces deux liquides dans un milieu qui va les refroidir (à environ  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

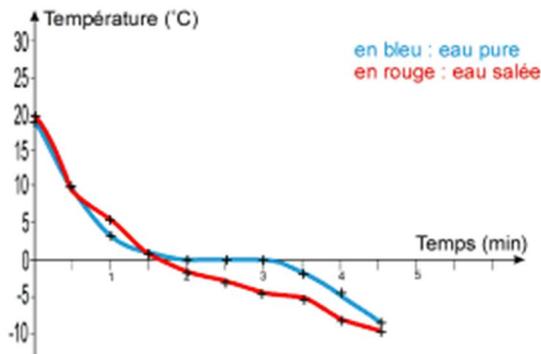
*Protocole* : on utilise deux tubes à essai dont l'un est rempli d'eau pure (eau déminéralisée) et l'autre d'eau salée. Ils sont refroidis dans un mélange réfrigérant. La température est mesurée toutes les 30 secondes à la main et une interface de mesure couplée à un ordinateur effectue la même mesure toutes les secondes.

Le mélange réfrigérant est obtenu en mélangeant de l'eau avec beaucoup de sel (solution saturée) et en plaçant cette solution dans le bac à glaçons d'un réfrigérateur durant quelques heures. L'interface de mesure par ordinateur est constituée d'une sonde métallique qui plonge dans le liquide dont on veut mesurer la température. Cette sonde convertit la température en un signal électrique transmis par un fil à l'ordinateur qui se charge de convertir ce signal électrique en valeur de température, avant d'enregistrer cette valeur. La rapidité de la mesure permet à l'interface d'effectuer plusieurs mesures par seconde, mais pour cette expérience, une seule mesure par seconde est suffisante.

*Observation* : au cours de l'expérience, on observe que la température de l'eau pure semble se **stabiliser** un moment autour de  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . À cette température, on peut observer la formation de cristaux de glace dans l'eau : on a donc à la fois de l'eau liquide et de l'eau solide. En dessous de  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , il n'y a plus que de la glace dans le tube à essai qui contenait l'eau pure. Pour l'eau salée, la température **ne se stabilise pas** et le mélange est toujours liquide en fin d'expérience.

## 2. Tracer un graphique

temps (min)	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5
T(°C) eau pure	18	10	3	1	0	0	0	-1	-5	-8
T(°C) eau salée	19	13	6	1	-1	-3	-5	-6	-8	-10



**Tableau de mesures et graphique**

Pour exploiter les mesures que nous avons faites, nous allons les utiliser pour tracer un graphique sur une feuille de papier millimétrée. Commençons par tracer deux axes : l'axe des abscisses, horizontal, représente l'axe du temps ; l'axe des ordonnées, vertical, est placé à l'extrême gauche de la feuille et représente l'axe des températures. Chaque centimètre sur l'axe du temps représente 30 secondes et sur l'axe des températures, 1 °C. Nous plaçons le zéro de cette échelle de façon à pouvoir placer des températures négatives.

Chaque mesure du tableau est alors placée en suivant d'abord l'axe des temps en abscisses puis en remontant (température positive) ou en descendant (température négative) verticalement pour placer une croix horizontale en regard de la température à cet instant de mesure. Une fois tous les points placés, on les relie à main levée de manière à former une courbe.

### 3. La solidification d'un corps pur et d'un mélange

On remarque que la courbe de solidification de l'eau pure forme **un palier à 0 °C**. C'est à cette température que s'effectue le changement d'état de l'eau liquide en eau solide. Pour tous les **corps purs**, il existe de la même façon un palier lors du changement d'état et la température à laquelle se produit ce palier est caractéristique d'un corps pur donné.

Pour un mélange d'eau et de sel, par contre, il n'y a pas de palier car c'est un mélange. Les mélanges n'ont **pas de paliers** de changement d'état. C'est d'ailleurs un bon moyen de mettre en évidence un **mélange**.

## Réaliser une dissolution

Pour savoir si un thé est déjà sucré, il est souvent nécessaire de le goûter ; le sucre semble avoir disparu. Où est le sucre et que s'est-il passé ?

*Réponse* : le morceau de sucre se dissout dans l'eau, mais le sucre ne disparaît pas : il forme un mélange homogène avec l'eau. Qu'est ce qu'une dissolution ?

### 1. La transformation lors de la dissolution

Il est très facile de former des mélanges homogènes avec l'eau et certains solides comme le sel, le sucre, le chocolat en poudre, le café. On dit que ces solides se dissolvent dans l'eau : ils

se réduisent en fines particules invisibles dans l'eau. La solution obtenue est une **solution aqueuse**. L'eau est le **solvant** et le solide dissout est le **soluté**.

Les solides qui se dissolvent dans l'eau **ne changent pas d'état** : ils ne deviennent pas liquides. En effet, pour qu'il y ait changement d'état, il faut qu'il y ait une modification de la température. Or ce n'est pas le cas lors de la dissolution. À titre indicatif, le sel, qui se dissout très facilement dans l'eau, ne devient liquide qu'à la température d'environ 800 °C !

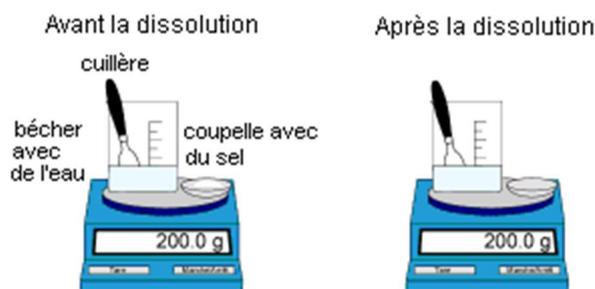
En mettant une grosse quantité de sel dans de l'eau, on peut se rendre compte qu'il existe une limite à la quantité de solide qu'on peut dissoudre dans un volume d'eau. Lorsque cette limite est atteinte, on dit que la solution est **saturée**. Ainsi, à 20 °C, on peut dissoudre jusqu'à 300 g de sel dans un litre d'eau.

En revanche, si on augmente la température de l'eau en la chauffant, il est possible d'y dissoudre une plus grande masse de sel : la capacité de dissolution de l'eau **augmente** avec la température. Ainsi, s'il est possible de dissoudre 2 kg de sucre par litre d'eau à 20 °C, cette masse peut passer à 4 kg de sucre par litre d'eau à 90 °C. C'est pour cette raison qu'il est toujours plus facile de dissoudre la poudre de chocolat dans de l'eau chaude que dans de l'eau froide.

## 2. La conservation de la masse

Voyons comment se comportent les masses du solvant et du soluté lors d'une dissolution.

*Protocole* : sur une balance électronique, nous plaçons un bécher contenant de l'eau, une cuillère et une soucoupe contenant quelques pincées de sel. Nous mesurons la masse. Le sel est ensuite ajouté à l'eau et dissout à l'aide de la cuillère. Nous replaçons enfin le tout sur la balance et mesurons à nouveau la masse.



### Mesure de la masse lors d'une dissolution

*Observation* : la masse est la même avant et après la dissolution.

*Interprétation* : nous en déduisons que la masse **se conserve** au cours de la dissolution : aucune matière n'est apparue ou n'a disparu.

## 3. La récupération du solide dissous

Comme le solvant et le soluté forment un mélange homogène, il faut effectuer une **évaporation** ou une **distillation** de l'eau pour récupérer le solide dissous.

*Protocole* : un tube à essai rempli d'eau salée est placé à la flamme d'un bec Bunsen.

*Observation* : l'eau s'évapore rapidement et les parois du tube se couvrent d'une croûte de sel.

*Remarque* : l'évaporation du solvant pour récupérer le soluté est une méthode couramment employée dans les marais salants. Ainsi, on extrait le sel de mer en laissant l'eau de mer s'évaporer sous l'effet de la chaleur du Soleil.

# La concentration d'une solution

Les bouteilles d'eaux minérales portent obligatoirement l'indication de leur minéralisation. À quoi correspond cette valeur et comment est-elle calculée ?

*Réponse* : la minéralisation correspond à la masse de sels minéraux dissous par litre d'eau.

## 1. Estimer la concentration, la faire varier

La **concentration** en **soluté** d'une solution peut être estimée de différentes manières. En voici une.

*Protocole* : dans trois verres, nous versons 50 mL d'eau et nous ajoutons un demi-sucre dans le premier verre, un sucre dans le deuxième et deux sucres dans le dernier. Nous mélangeons jusqu'à dissolution complète du sucre dans l'eau. Les verres sont ensuite déplacés de façon à ne plus pouvoir les distinguer les uns des autres. Nous faisons alors goûter les verres par plusieurs personnes.

*Observation* : en général, tous les goûteurs replacent très facilement les verres par ordre de concentration croissante.

*Interprétation* : notre **goût** nous permet très facilement de mettre en évidence des différences de quantité de soluté par volume de solvant, c'est-à-dire des différences de **concentration**.

Notre goût est particulièrement sensible aux quatre saveurs primaires : le sucré, le salé, l'amer et l'acide.

De même, il nous est très facile de distinguer des différences importantes de concentration pour des solutés qui **colorent** la solution. Essayons de la faire varier selon plusieurs procédés.

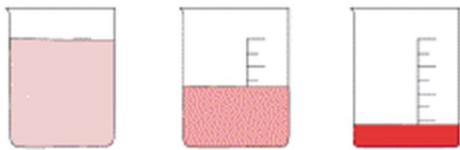
*Protocole* : refaisons l'expérience précédente en remplaçant le sucre par des cuillères de sirop de grenadine.

*Observation* : la différence de coloration dépend de la concentration en sirop de grenadine et nous permet facilement de classer les verres.

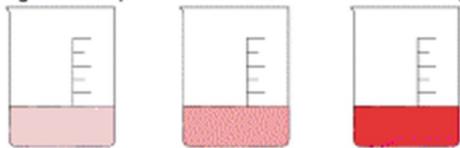
Si nous prenons ensuite le verre contenant le plus de grenadine et que nous y ajoutons de l'eau, nous verrons sa couleur devenir plus claire, signe que la concentration en sirop de grenadine diminue.

*Interprétation* : la concentration **varie** avec la quantité de soluté et avec la quantité de solvant.

On diminue la quantité de solvant : la concentration augmente



On augmente la quantité de soluté : la concentration augmente



### Deux manières de faire varier la concentration

## 2. Calculer la concentration massique

La concentration massique d'une solution est égale au rapport de la **masse de soluté dissout** sur le **volume de solvant**.

$$\text{concentration massique} = \frac{\text{masse de soluté dissout}}{\text{volume de solvant}}$$

L'unité légale de concentration massique est le **gramme par litre (g/L)**.

Dans la première expérience, si nous considérons qu'un morceau de sucre a une masse d'environ 6 g, le premier verre a une concentration massique de :

$$\text{concentration massique} = \frac{3 \text{ g}}{50 \text{ mL}} = \frac{3 \text{ g}}{0,005 \text{ L}} = 60 \text{ g/L}.$$

### 3. Savoir si une eau est potable

Les étiquettes d'**eau minérale** portent l'indication obligatoire de la concentration massique en **sels minéraux** dissous dans l'eau.

Cette indication permet de connaître les propriétés d'une eau minérale et de savoir si elle est indiquée pour certaines catégories de consommateurs : personnes âgées, nourrissons, etc.

L'**eau du robinet** contient également des sels minéraux et, pour qu'elle soit considérée comme potable, les concentrations massiques ne doivent pas dépasser certaines valeurs :

— pour les chlorures : concentration massique maximale de 250 mg/L ;

— pour le sodium : concentration massique maximale de 150 mg/L.

La mairie doit obligatoirement faire des analyses de l'eau du robinet au moins une fois par mois et ces résultats doivent être affichés. À vous de vérifier à la mairie si votre eau est potable !

## La molécule : un modèle pour la matière

Pour faire un bon café, il faut bien choisir son filtre. Mais comment l'eau peut-elle traverser le papier d'un filtre à café ?

*Réponse* : l'eau passe à travers les trous minuscules d'un papier filtre car elle est constituée de particules microscopiques appelées molécules. Comment sont organisées ces molécules ?

### 1. Petite histoire des particules

**Démocrite** (460-370 av. J.-C.), philosophe de l'Antiquité grecque, imagine que la matière est composée de **minuscules particules indivisibles**. Pour lui, les différents états de la matière sont dus aux transformations de la surface de ces particules qui peuvent être lisses ou crochues.

**Aristote** (384-322 av. J.-C.) lui, défend l'idée que la matière comprend **quatre éléments** : l'eau, l'air, le feu et la terre auxquels sera ajouté plus tard l'**éther** qui constitue l'espace autour de la Terre. Pour Aristote, le **vide** n'existe pas et la matière est divisible à l'infini : il n'y a donc pas de particules indivisibles.

Ce n'est qu'au cours du XVII<sup>e</sup> siècle que l'astronome et philosophe français Pierre **Gassendi** (1592-1655) reprend la théorie de Démocrite. Cette dernière sera ensuite sans cesse améliorée jusqu'à aujourd'hui. On découvrira en particulier que les différents états de la matière ne sont pas dus aux transformations de la surface des particules mais aux variations de leur comportement selon la température.

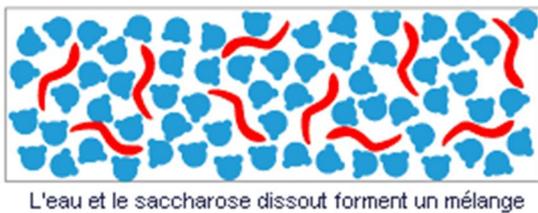
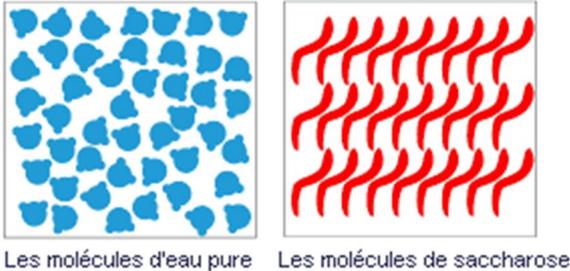
### 2. Molécules et mélanges

Pour comprendre la dissolution d'un corps dans l'eau, il faut imaginer que l'eau et le corps dissout sont formés d'un très grand nombre de particules appelées **molécules**. Ces dernières sont **très petites** de l'ordre du nanomètre (nm).

$$1 \text{ nm} = \frac{1}{1\,000\,000\,000} \text{ m} = 0,000\,000\,001 = 10^{-9} \text{ m}$$

Lors de la dissolution, les deux types de molécules se mélangent : les molécules de **soluté** se dispersent parmi les molécules de **solvant**.

Prenons l'exemple d'un mélange de sucre et d'eau (voir le schéma ci-dessous), nous pouvons constater que les molécules de sucre (saccharose) sont **dispersées** au sein des molécules d'eau. Comme les molécules de sucre sont en faible quantité par rapport aux molécules d'eau, on a l'impression que le sucre a disparu.

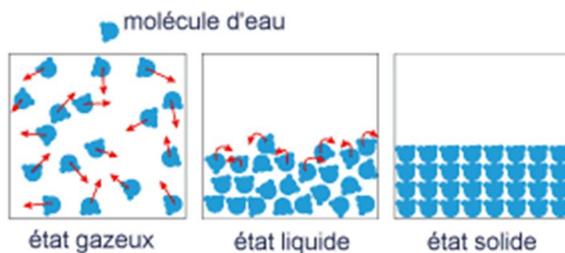


#### Les molécules dans un mélange

À noter : dans le cas d'un solide insoluble, les molécules du soluté et celles du solvant ne se mélangent pas.

### 3. Molécules et états de la matière

#### 3.1. Cas de la molécule d'eau



#### Les états physiques de l'eau

Plus la température augmente et plus les molécules d'eau s'agitent.

À basse température, elles sont pratiquement immobiles : c'est l'**état solide** (glace).

À partir de 0 °C, les molécules glissent les unes contre les autres mais restent groupées : c'est l'**état liquide** (eau liquide).

Au-delà de 100 °C, les molécules se déplacent librement dans toutes les directions : c'est l'**état gazeux** (vapeur d'eau).

### 3.2. Cas général

Le modèle moléculaire permet de bien comprendre les changements d'état de la matière. Chaque état physique correspond à un **comportement particulier** de la matière, **en fonction de la température et de la pression**.

État gazeux : les molécules se **déplacent librement** dans tout l'espace qui leur est alloué. Elles sont dispersées et désordonnées. Elles s'entrechoquent et percutent les parois en permanence. L'ensemble de tous ces chocs constitue la **pression**. Si on diminue le volume dans lequel elles se déplacent, elles percutent plus souvent les parois et la pression augmente. Plus la température est élevée, plus les molécules se déplacent rapidement. Leur vitesse étant plus grande, elles percutent plus souvent les parois et la pression augmente.

État liquide : les molécules se **déplacent les unes par rapport aux autres**. Elles sont toujours désordonnées mais se disposent de manière compacte ; cela explique que les liquides coulent et qu'ils occupent le fond du récipient qui les contient.

État solide : les molécules **ne bougent pratiquement plus**, elles se disposent de manière compacte et ordonnée (lorsque le solide est formé de cristaux).

Copyright © 2006 rue des écoles / Magnard-Vuibert. Tous droits réservés.

Microsoft ® Encarta ® 2008. © 1993-2007 Microsoft Corporation. Tous droits réservés.

## l'eau sur la Terre

La Terre est souvent appelée la « **planète bleue** » parce que l'eau recouvre la majorité de la surface de la Terre (environ 71 % de la surface).

Le volume d'eau sur Terre est estimé à environ 1,4 milliard de km<sup>3</sup>.

## LES ÉTATS DE L'EAU

Sur la Terre, où le climat et le relief sont très variés, l'eau existe sous ses trois différents états : **solide, liquide, gaz**. C'est d'ailleurs le seul composé chimique qui se trouve dans la nature sous ses trois états.

Ainsi, selon son état, l'eau prend différentes formes :

– la forme de **glace** ou de **neige** (état solide) dans les glaciers et les régions polaires ;

– la forme d'**eau liquide** (état liquide) dans les océans, les rivières, les fleuves et les lacs ;

– la forme de **vapeur d'eau** (état gazeux) dans l'atmosphère.

Plus de **97 % de l'eau de la Terre se trouve sous forme liquide** dans les mers et les océans.

## LA RÉPARTITION DE L'EAU SUR TERRE

Les quantités d'eau ne sont pas réparties de la même façon à la surface des continents.

Il y a par exemple très peu d'eau au niveau des tropiques (tropique du Cancer au Nord, tropique du Capricorne au Sud) où se retrouvent tous les **grands déserts** de la planète (comme le désert du Sahara en Afrique).

Au contraire, il y a beaucoup d'eau dans les régions proches de l'équateur où se situent les **grandes forêts** de la planète (la forêt amazonienne en Amérique du Sud, par exemple).

La majorité des habitants de la planète habitent dans la **région tempérée** de l'hémisphère Nord. Les précipitations y sont suffisantes pour vivre, sans être extrêmes (peu de sécheresses et peu d'inondations).

## LE CYCLE DE L'EAU

La quantité d'eau sur Terre est **toujours la même** depuis la formation de la Terre (il y a environ 4,5 milliards d'années). L'eau est donc en théorie une **source inépuisable**. Ce même volume d'eau se transforme tout le temps en passant par ses trois différents états (vapeur d'eau, eau liquide, glace) : c'est le **cycle de l'eau**.

La circulation de l'eau se déroule en différentes étapes :

– **l'eau s'évapore** de la surface des continents, des mers et des océans ; cette évaporation forme les **nuages** ;

– l'eau des nuages se condense (passage de l'état gazeux à l'état liquide ou solide) puis retombe sur la surface sous forme de **précipitations** (pluie, neige, grêle) ;

– l'eau **ruisselle** enfin sur la surface terrestre (une partie **s'infiltré** dans le sous-sol et s'accumule dans les nappes d'eau souterraines), avant de **s'évaporer de nouveau**.

Le cycle de l'eau se déroule **en permanence**.

## EAU DISPONIBLE ET EAU STOCKÉE

Pendant ce cycle continu, l'eau peut être **momentanément stockée** dans des réservoirs sous forme liquide (mers, océans) et de glace (régions polaires, glaciers), ou être seulement de passage dans les rivières et l'atmosphère.

L'eau reste seulement quelques semaines dans l'atmosphère et les cours d'eau, mais plusieurs décennies ou siècles dans les réservoirs (20 ans dans les lacs d'eau douce, environ 3 siècles dans les mers et les océans, et entre 2 et 10 siècles dans les glaciers et les calottes polaires).

## L'EAU DOUCE ET L'EAU SALÉE

L'eau de la Terre est principalement de l'**eau salée** (97,2 % de l'eau totale du globe). Cette eau se trouve dans les mers et les océans.

L'autre faible quantité d'eau (seulement 2,8 % de l'eau totale du globe) est de l'**eau douce**. L'eau douce se situe majoritairement dans les régions polaires (2,15 %), dans le sous-sol avec les eaux souterraines (0,63 %), dans les lacs, les fleuves et les rivières (0,019 %). Le plus faible pourcentage d'eau douce se retrouve dans l'atmosphère (seulement 0,001 %).

La quantité d'eau douce que les hommes peuvent facilement récupérer est donc extrêmement faible (seulement les eaux du sous-sol). Il est aussi très long et surtout très cher de fabriquer de l'eau douce à partir de l'eau de la mer (**dessalage de l'eau de mer**).

## L'EAU INDISPENSABLE À LA VIE

L'eau est le **principal constituant de tous les êtres vivants** (bactéries, champignons, plantes, arbres, animaux, hommes). Les êtres humains sont constitués en moyenne de 70 % d'eau, tandis que les méduses en contiennent plus de 90 %.

## LA POLLUTION DE L'EAU

L'eau est principalement polluée par les **produits chimiques** et les **déchets industriels** issus des activités humaines (les **marées noires** dues aux naufrages de pétroliers sont considérées comme une **pollution accidentelle**).

Cette pollution existe dans les eaux de surface (rivières, lacs) et les eaux souterraines (nappes phréatiques). Cette pollution entraîne une **dégradation de la qualité de l'eau**, ce qui rend son utilisation dangereuse (pour l'eau que l'on boit par exemple) et perturbe beaucoup le milieu aquatique (principalement la vie des poissons).

Le **traitement de l'eau** peut être réalisé par des **centrales d'assainissement** et des **stations d'épuration**.

## L'EAU DANS LES CROYANCES

Source de toute forme de vie, l'eau joue un rôle très important dans les religions et les mythologies du monde entier. Les récits de la création du monde, par exemple, mettent souvent en jeu l'océan.

Il existe aussi de très nombreux **mythes du déluge**, où de grandes quantités d'eau anéantissent le monde. De façon universelle, l'eau est considérée comme **un élément de purification**. C'est le cas en particulier dans les trois grandes religions monothéistes (judaïsme, christianisme, islam), mais aussi dans l'hindouisme.



Robert Hernandez/Photo Researchers, Inc.

## **L'Antarctique, un gigantesque réservoir d'eau douce**

L'Antarctique est recouvert d'une calotte glaciaire, qui constitue un énorme réservoir d'eau douce. Cette eau y est momentanément stockée avant de poursuivre son cycle naturel. Lorsque les glaciers arrivent jusqu'à la mer, ils se détachent en icebergs des gigantesques blocs de glace d'eau douce qui dérivent au gré des courants.

Robert Hernandez/Photo Researchers, Inc.

Microsoft ® Encarta ® 2008. © 1993-2007 Microsoft Corporation. Tous droits réservés.



NASA/Science Source/Photo Researchers, Inc.

## **l'eau sur la Terre**

La Terre est souvent surnommée la « planète bleue » car les océans occupent environ 71 % de sa superficie. Les océans jouent un rôle clé dans le cycle de l'eau : en effet, la majeure partie de l'eau qui circule sur Terre (soit 97 %) est momentanément stockée dans les océans.

Cette photo, prise par la sonde Apollo 17 en 1972, montre l'Arabie, le continent africain et l'Antarctique (la zone blanche sur l'extrémité inférieure).

NASA/Science Source/Photo Researchers, Inc.

Microsoft ® Encarta ® 2008. © 1993-2007 Microsoft Corporation. Tous droits réservés.



## **les nuages, état gazeux de l'eau**

La vapeur d'eau (eau à l'état gazeux), qui forme les nuages, ne représente que 0,001 % de l'eau totale sur la Terre. Selon la température des courants d'air froid rencontrés par les nuages, la vapeur d'eau se condense (passage de l'état gazeux à l'état liquide ou solide) en gouttes d'eau (pluie), en neige (flocons) ou en glace (grêlons).

La photo représente un cumulo-nimbus, reconnaissable à sa partie supérieure blanche et sa partie inférieure sombre. Les cumulo-nimbus sont des nuages instables qui produisent des pluies courtes et violentes.

Gary D. McMichael/Photo Researchers, Inc.

Microsoft ® Encarta ® 2008. © 1993-2007 Microsoft Corporation. Tous droits réservés.



## la grêle, l'une des formes de précipitation

Les précipitations (pluie, neige, grêle) constituent l'une des étapes les plus importantes du cycle de l'eau, car leur distribution inégale à la surface de la Terre engendre souvent des catastrophes naturelles (inondations, sécheresse...).

D'une manière générale, la pluie et la neige se forment lorsque les nuages rencontrent des courants d'air froid (la vapeur d'eau se condense) ; les grêlons, eux, se forment lorsque des gouttes de pluie ou des flocons de neige entrent en contact avec de l'eau en surfusion (état particulier où l'eau est sous forme liquide alors que la température est inférieure à 0 °C) dans les nuages. Après une succession de collisions, les grêlons grossissent et tombent sur le sol dès que leur masse est trop élevée pour être portée par les courants aériens.

Il arrive que des grêlons de plus de 5 cm de diamètre s'abattent sur le parc national des Badlands, dans le Dakota du Sud, aux États-Unis (la photographie).

Layne Kennedy/Corbis

Microsoft ® Encarta ® 2008. © 1993-2007 Microsoft Corporation. Tous droits réservés.



## la pollution des rivières

La pollution des cours d'eau est devenue l'un des problèmes majeurs de l'environnement. Cette pollution provient essentiellement des produits chimiques rejetés par les usines, des engrais et des pesticides utilisés en agriculture, des déjections animales (vaches, porcs, etc.), ainsi que des fuites de conduites (égouts et fosses septiques).

## la pollution de l'eau

La pollution de l'eau correspond à la présence dans l'eau de minuscules **organismes** extérieurs, de **produits chimiques** ou de **déchets industriels**.

Cette pollution (ou **contamination**) touche les **eaux de surface** (océans, rivières, lacs) et les **eaux souterraines** qui circulent dans le sol.

Elle entraîne une dégradation de la qualité de l'eau, ce qui rend son utilisation dangereuse (pour l'eau que l'on boit par exemple) et perturbe beaucoup le milieu aquatique (en particulier la vie des poissons).

## QUELS SONT LES DIFFÉRENTS TYPES DE POLLUTION DE L'EAU ?

La pollution de l'eau est presque toujours due aux activités humaines, même si cette pollution est parfois accidentelle. Les quatre principaux types de pollution sont :

- la **pollution agricole** avec les déjections animales (vaches, porcs, etc.), les nitrates et les phosphates contenus dans les engrais, ainsi que les pesticides (insecticides et désherbants) ;
- la **pollution industrielle** avec les produits chimiques que rejettent les industries et les eaux chaudes évacuées à la sortie des usines ;
- la **pollution domestique** (c'est-à-dire de la maison) avec les eaux usées rejetées des toilettes, les poudres à laver (lave-linge, lave-vaisselle) et les détergents, le chlore qui sert pour la désinfection de l'eau et le plomb qui compose les tuyaux ;
- la **pollution par les hydrocarbures** (ou **pollution pétrolière**). Elle est généralement **accidentelle** à l'image des naufrages de pétroliers (**marées noires**) comme ceux de l'*Amoco Cadiz* (océan Atlantique, 1978), de l'*Exxon Valdez* (Alaska, 1989), de l'*Erika* (océan Atlantique, 1999) et du *Prestige* (océan Atlantique, 2002). Cependant, une large part de la pollution pétrolière est **volontaire** (et illégale) : elle est due aux opérations de **vidange** (ou **dégazage**) des pétroliers en haute mer.

## COMBIEN DE TEMPS L'EAU RESTE-T-ELLE POLLUÉE ?

L'eau des rivières et de la mer peut éliminer naturellement la pollution lorsque les polluants sont **dégradables**. Mais cette dégradation peut prendre beaucoup de temps suivant le type de pollution. Par exemple, les pesticides, le pétrole, le plastique et certains métaux (plomb, mercure, cadmium) peuvent rester plusieurs milliers d'années dans l'eau.

Les hommes essaient aussi de réduire ou d'enlever la pollution de l'eau. Les eaux usées, les engrais et certains déchets industriels sont ainsi détruits par des réactions chimiques ou des bactéries dans des centrales d'assainissement ou des stations d'épuration qui permettent le **traitement de l'eau**.

## QUELS SONT LES EFFETS DE LA POLLUTION DE L'EAU SUR LES ÊTRES VIVANTS ?

La pollution de l'eau peut avoir de graves conséquences sur la santé des hommes.

Les **nitrates**, qui existent dans l'eau potable, peuvent entraîner des **maladies mortelles** chez les jeunes enfants.

Les **métaux lourds** (comme le mercure et le plomb) sont des produits très **toxiques** pour l'homme.

Le **cadmium**, présent dans les engrais, peut être stocké par les plantes cultivées que l'on mange, provoquant ainsi des **problèmes de digestion, des dysfonctionnements du foie et des reins** chez les hommes.

Lors des **marées noires**, la pollution peut détruire l'ensemble de la **faune** (les poissons) et de la **flore** (la végétation aquatique) sur de grandes surfaces (plusieurs milliers de km<sup>2</sup>).

## QUELS SONT LES CONSÉQUENCES DE LA POLLUTION DE L'EAU SUR L'ENSEMBLE DU GLOBE TERRESTRE ?

À l'échelle de la planète, la principale conséquence de la pollution de l'eau est une **diminution de la quantité et de la qualité de l'eau potable** que les hommes utilisent. Cette diminution mondiale en eau potable peut entraîner des conflits entre des pays qui possèdent des réserves d'eau en commun. C'est le cas des eaux de l'Euphrate entre la Turquie, la Syrie et l'Irak.

Le problème des **pluies acides** est également devenu très préoccupant ces dernières années. Ces dépôts acides présents dans l'eau de pluie ont anéanti toute forme de vie dans de nombreux lacs en Europe et en Amérique.



### **le naufrage de l'*Amoco Cadiz***

Le 16 mars 1978, le navire pétrolier *Amoco Cadiz* fait naufrage au large des côtes de la Bretagne (en France). Ses cuves éventrées libèrent dans la mer 220 000 tonnes de mazout. Une gigantesque marée noire se répand sur les côtes de la Bretagne.

Jean-Pierre Prevel/AFP

Microsoft ® Encarta ® 2008. © 1993-2007 Microsoft Corporation. Tous droits réservés.



Ginies/Sipa Press/Woodfin Camp and Associates, Inc.

## les marées noires

Les marées noires sont des nappes de pétrole qui sont transportées par les vagues et les courants et qui finissent par s'échouer sur les côtes.

Ginies/Sipa Press/Woodfin Camp and Associates, Inc.

Microsoft ® Encarta ® 2008. © 1993-2007 Microsoft Corporation. Tous droits réservés.



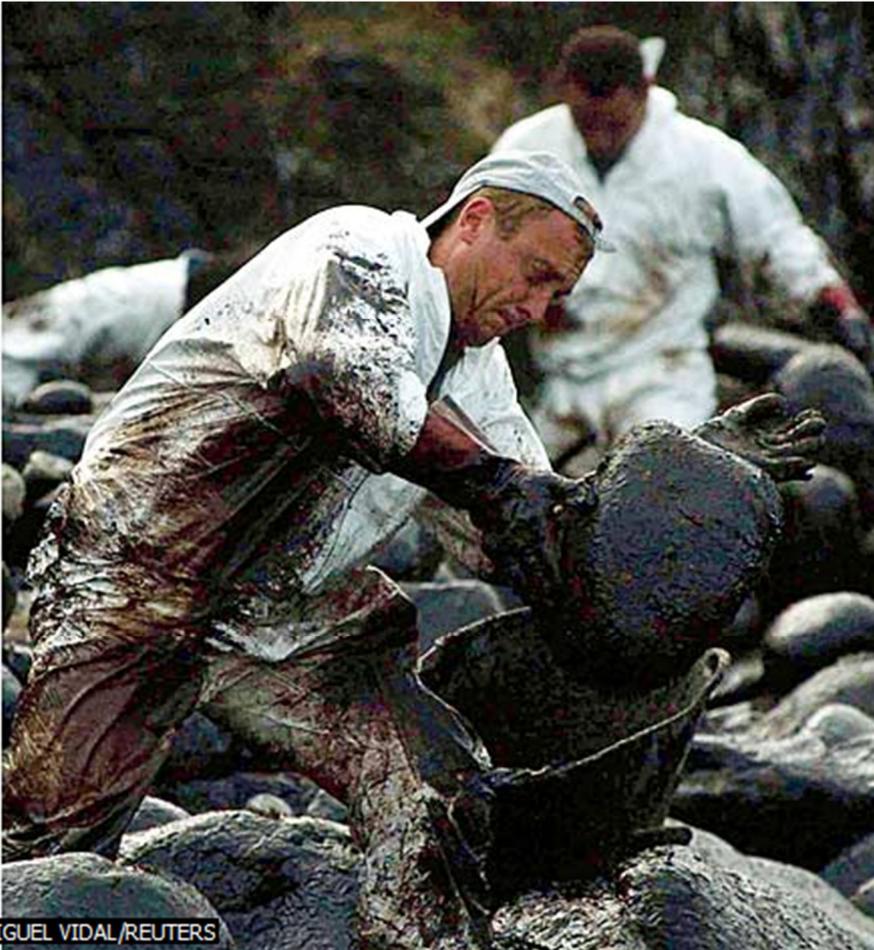
Kyodo/REUTERS

## le nettoyage d'une plage salie par une marée noire

Pour nettoyer les dégâts causés par une marée noire, il faut porter un équipement de protection, car les produits

pétroliers sont très dangereux pour la santé.

Sur cette photographie, un volontaire ramasse le mazout qui a atteint par milliers de tonnes la côte ouest du Japon, après le naufrage du pétrolier russe *Nakhodka* en janvier 1997.



MIGUEL VIDAL/REUTERS

### **le nettoyage des plages mazoutées**

En novembre 2002, le pétrolier *Prestige* a fait naufrage au large de l'Espagne. Ses cuves fissurées ont libéré plus de 60 000 tonnes de pétrole, souillant principalement les côtes de la Galice (au nord du pays).



DESMOND BOYLAN/REUTERS

## une mouette mazoutée

Cette mouette s'est trouvée engluée dans le pétrole échappé des cuves du pétrolier *Prestige*, naufragé le 19 novembre 2002.

## la molécule d'eau

Une molécule d'eau est composée de **deux atomes d'hydrogène** (de symbole chimique H) et **d'un atome d'oxygène** (de symbole chimique O). Sa formule chimique est **H<sub>2</sub>O**.

## À QUOI RESSEMBLE UNE MOLÉCULE D'EAU ?

Sous sa forme la plus proche de la réalité (modèle compact), la molécule d'eau ressemble à une tête de Mickey, où l'atome d'oxygène représenterait la tête et les atomes d'hydrogène représenteraient les oreilles.

La taille d'une molécule d'eau est de l'ordre de 0,000 000 4 mm (soit 4 millièmes de millimètre). C'est

tellement petit qu'il y a plusieurs milliards de molécules d'eau dans une seule goutte d'eau.

## COMMENT SE FORME UNE MOLÉCULE D'EAU ?

Lorsqu'ils sont seuls (isolés), les atomes d'oxygène et d'hydrogène ne sont pas dans leur état le plus stable ; pour être vraiment stables, ils cherchent à s'assembler, c'est-à-dire à former une molécule.

Pour cela, ils se rapprochent suffisamment et chaque atome d'hydrogène met en commun deux électrons avec l'atome d'oxygène ; chaque paire d'électrons mise en commun constitue une liaison chimique forte, appelée liaison de covalence.

La molécule d'eau ainsi formée est très stable, c'est-à-dire que ses atomes d'oxygène et d'hydrogène ne peuvent être séparés que si on les y force, en les chauffant par exemple.

## D'OÙ VIENNENT LES PROPRIÉTÉS ÉLECTRIQUES DE L'EAU ?

Comme toute molécule, la molécule d'eau est électriquement neutre.

Toutefois, l'atome d'oxygène de la molécule d'eau est très électronégatif, c'est-à-dire qu'il tend à attirer vers lui les électrons : il se forme ainsi un pôle électrique négatif autour de l'atome d'oxygène.

Parallèlement, les atomes d'hydrogène sont fortement électropositifs, c'est-à-dire qu'ils donnent facilement leurs électrons : il se forme alors un pôle électrique positif autour de chaque atome d'hydrogène.

Au final, une molécule d'eau ressemble à un petit aimant avec un pôle négatif (l'atome d'oxygène) et un pôle positif (les atomes d'hydrogène, qui sont orientés dans la même

direction) : on dit que la molécule d'eau est une molécule dipolaire.

Cette structure dipolaire permet d'expliquer pourquoi l'eau conduit le courant électrique.

## POURQUOI LES MOLÉCULES D'EAU SONT-ELLES ATTIRÉES LES UNES VERS LES AUTRES ?

La polarisation de la molécule d'eau (un pôle négatif et un pôle positif) fait qu'elle se comporte comme un petit aimant. Ainsi, en présence d'autres molécules d'eau, chaque atome d'hydrogène (pôle positif) va chercher à se rapprocher d'un atome d'oxygène (pôle négatif) et *vice versa* : ces liaisons entre les molécules d'eau sont appelées **liaisons hydrogène**.

Les liaisons hydrogène sont largement plus faibles que les liaisons covalentes qui lient les atomes d'une molécule ; ainsi, à température ambiante (20 °C), les molécules d'eau se lient et se délient entre elles en permanence.

Ce sont ces liaisons hydrogène qui sont à l'origine des propriétés exceptionnelles de l'eau, comme le fait que l'eau soit le seul corps qui existe naturellement sous ses trois états : solide (glace, neige), liquide (océans, rivières) et gaz (vapeur d'eau de l'atmosphère).

## QUE SE PASSE-T-IL AU NIVEAU DES MOLÉCULES LORS DES CHANGEMENTS D'ÉTAT DE L'EAU ?

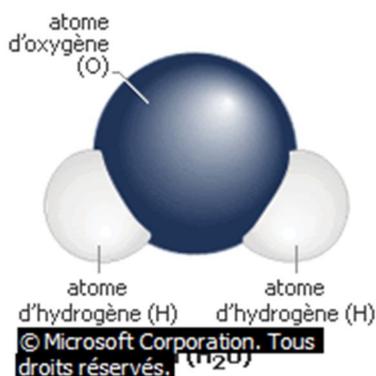
Les molécules d'eau, comme toutes les particules de matière, ne sont jamais immobiles mais **en agitation perpétuelle**. Les molécules bougent **de plus en plus quand la température augmente** : on appelle ce phénomène l'agitation thermique. Trois états de l'eau sont alors possibles, de la plus faible à la plus grande agitation des molécules : la glace (état solide), l'eau (état liquide) et la vapeur d'eau (état gazeux).

Les propriétés physiques et chimiques d'une molécule d'eau dépendent de l'état de l'eau. Pour la glace, les liaisons

hydrogène entre chaque molécule sont rigides, ce qui provoque une augmentation du volume de 10 % ; par exemple, si on laisse suffisamment longtemps une bouteille remplie d'eau au congélateur, elle se casse car l'eau transformée en glace (solidification) occupe plus de place (plus de volume) que l'eau liquide.

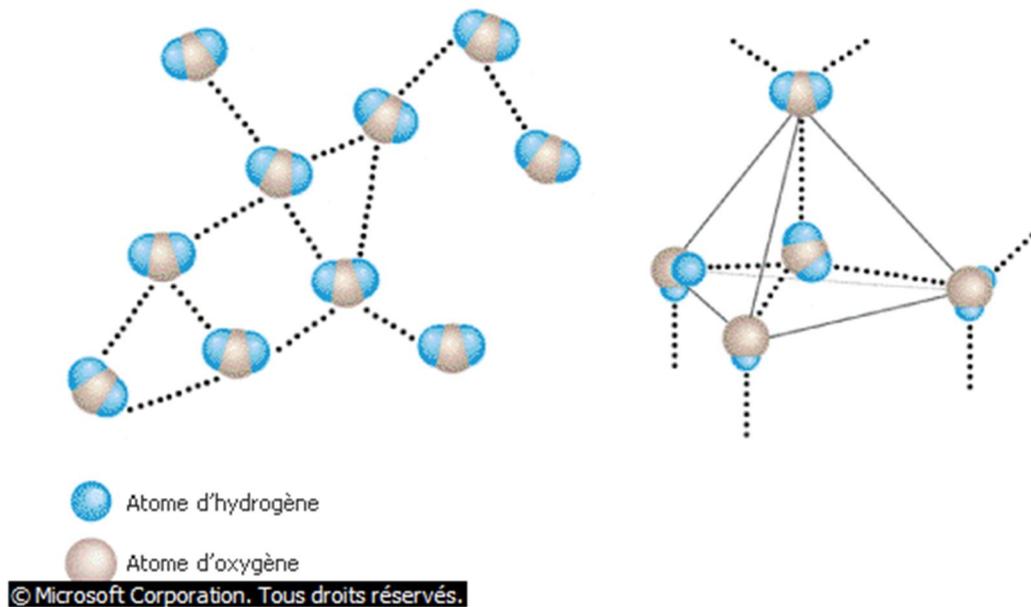
La fusion (passage de l'état solide à l'état liquide) de la glace entraîne au contraire un tassement des molécules d'eau ; elles « roulent » les unes sur les autres car les liaisons hydrogène n'arrêtent pas de se faire et de se défaire : c'est l'eau liquide.

Lorsque l'eau bout (passage de l'état liquide à l'état gazeux) — à 100 °C sous une pression normale —, les molécules subissent une forte agitation thermique et s'étendent sur tout le volume disponible ; les molécules d'eau sont alors trop éloignées les unes des autres pour former des liaisons hydrogène.



## la molécule d'eau

Une molécule d'eau est constituée d'un atome d'oxygène (O) et de deux atomes d'hydrogène (H) : sa formule chimique est donc  $H_2O$ . Sous sa forme la plus proche de la réalité (modèle compact), la molécule d'eau ressemble à une tête de Mickey, où l'atome d'oxygène représenterait la tête et les atomes d'hydrogène les oreilles.



## les liaisons hydrogène dans l'eau

De nombreuses propriétés de l'eau sont dues aux liaisons hydrogène qui se forment entre chaque molécule d'eau. En effet, une molécule d'eau se comporte comme un petit aimant où l'atome d'oxygène joue le rôle de pôle négatif et les deux atomes d'hydrogène jouent le rôle de pôle positif. Dans l'eau, chaque atome d'hydrogène (pôle positif) cherche à se rapprocher d'un atome d'oxygène (pôle négatif) et *vice versa* ; ainsi, chaque atome d'oxygène forme deux liaisons hydrogène avec deux autres molécules d'eau ; il se forme un réseau de molécules d'eau, selon une structure tétraédrique (en forme de tétraèdre).

Toutefois, les liaisons hydrogène sont des liaisons chimiques très faibles (largement plus faibles que les liaisons covalentes qui lient les atomes d'une molécule). Mais elles sont suffisamment fortes pour maintenir entre elles les molécules d'eau à température ambiante (20 °C). De plus, ce sont également les liaisons hydrogène qui permettent d'expliquer la forme en double hélice de la molécule d'ADN (molécule qui supporte toutes les informations génétiques).

## la météo et le climat

La météorologie est **l'étude du temps** qu'il fait ; elle cherche à **prévoir le temps** qu'il va faire. La climatologie est l'étude des **climats** ; elle s'intéresse au temps qu'il fait dans une région pendant une **longue période**.

## LA MÉTÉOROLOGIE : PRÉVOIR LE TEMPS À COURT TERME

### Étudier l'atmosphère et les précipitations

La météorologie (familièrement appelée météo) est **l'étude de l'atmosphère**, c'est-à-dire de ses mouvements (direction et vitesse des vents) et de ses propriétés (température, pression), ainsi que des **précipitations** qu'elle produit (pluie, neige). La météorologie permet donc de comprendre le temps qu'il fait, mais aussi de connaître le temps qu'il fera quelques jours plus tard.

Les phénomènes météorologiques (formation des nuages, mouvements des masses d'air, etc.) ne se produisent que dans la première couche de l'atmosphère (la **troposphère**).

### Anticyclones et dépressions

Cette première couche de l'atmosphère a une épaisseur d'environ 13 kilomètres. Les mouvements de l'air sont étudiés en mesurant les variations de **pression atmosphérique**, c'est-à-dire la force exercée sur une surface par le poids de l'atmosphère.

La pression de référence (mesurée au niveau de la mer) est égale à 1 015 hPa (hectopascals).

Une valeur plus forte (jusqu'à 1 040 hPa) signifie l'apparition d'une **zone de haute pression** appelée **anticyclone**. Cette situation correspond à un temps beau et stable.

Dans le cas contraire, une plus faible valeur (pouvant descendre jusqu'à 970 hPa) signifie l'apparition d'une **zone de basse pression** appelée **dépression**. Cette situation signifie le

passage d'une **perturbation** et correspond donc à du mauvais temps.

## LE CLIMAT : LE TEMPS MOYEN D'UNE RÉGION

Le climat est la météorologie moyenne sur une période d'environ 30 ans. C'est donc le « temps moyen » qu'il fait à un endroit donné du globe.

Les différences de climat sur le globe terrestre sont dues aux **variations de la quantité d'énergie solaire** que reçoit la Terre. Cela est directement lié à l'**inclinaison des rayons solaires** qui arrivent à la surface terrestre.

### Quatre grandes zones climatiques

Quatre grandes zones climatiques existent de l'équateur (climat plus chaud) aux pôles (climat plus froid) :

**1. Le climat équatorial** chaud et humide au niveau de l'équateur : la température reste inférieure à 35 °C (perte de chaleur par évaporation) mais toujours supérieure à 18 °C (les nuages retiennent la chaleur) ; la température varie peu dans la journée et durant l'année ; la pluie tombe au cours des deux saisons des pluies (mars et septembre).

Les **grandes forêts de la planète** se situent sous ce climat (forêt amazonienne en Amérique du Sud, forêt indonésienne en Asie).

**2. Le climat tropical** entre l'équateur et les tropiques (tropique du Cancer au nord, tropique du Capricorne au sud) : il existe une seule saison des pluies (en été dans l'hémisphère Nord, en hiver dans l'hémisphère Sud) ; les précipitations sont extrêmement basses (inférieures à 250 mm) ; les températures sont toujours élevées la journée (maximales de 40 à 50 °C), mais les nuits sont toujours très froides ; au niveau des tropiques, des anticyclones entraînent des climats très chauds et sans pluie.

Les **grands déserts chauds de la planète** se situent sous ce climat (le désert du Sahara en Afrique, le désert Victoria en Australie).

**3. Le climat tempéré** au niveau des latitudes moyennes : les saisons sont bien marquées avec des étés relativement chauds et des hivers humides ; ce climat est globalement doux, avec des températures et des précipitations modérées.

La **majorité des habitants de la planète** habitent sous ce climat (c'est celui que connaît la France).

**4. Le climat polaire** entre les cercles polaires et les pôles : il est caractérisé par peu de précipitations et des températures très basses — rarement supérieures à 0 °C (les rayons solaires sont très inclinés) ; deux grandes régions polaires sont toujours recouvertes de neige et de glace : l'**Arctique** (Groenland, Sibérie) dans l'hémisphère Nord, et l'**Antarctique** (plus de 3 km d'épaisseur) dans l'hémisphère Sud ; les **plus basses températures du globe** sont observées sous ce climat (- 88 °C en Antarctique).

## Variations et nuances de climats

Ces quatre grands climats connaissent des variations en fonction du **relief** (il y a plus de pluie près des montagnes car elles arrêtent les nuages), de la **proximité des océans** (le climat maritime est caractérisé par des étés frais, des hivers doux, et de faibles pluies toute l'année), de la **force et de la direction des vents**.

Ainsi, chaque grande zone climatique présente des nuances qui donnent naissance à de nombreux sous-climats. Par exemple, le climat tropical est divisé en climat semi-aride, aride, tropical sec et tropical humide. En France, on rencontre aussi le **climat méditerranéen**, qui est caractérisé par des étés chauds (avec des sécheresses), des hivers doux et des pluies importantes en automne.

## L'ÉVOLUTION NATURELLE DU CLIMAT DANS LE PASSÉ

Les variations des mouvements de la Terre expliquent les changements naturels que le climat terrestre a connus dans le passé (appelé **paléoclimat**).

### Le climat change en fonction des variations des mouvements de la Terre

Les trois types de variations qui modifient le climat de la Terre sont :

- la **trajectoire (ou orbite) de la Terre autour du Soleil** : la forme de cette trajectoire circulaire est plus ou moins allongée (**excentricité orbitale**) ; la Terre se retrouve dans la même position par rapport au Soleil tous les 100 000 ans environ ;
- l'**angle d'inclinaison de la Terre (obliquité de la Terre) par rapport au plan de son orbite** : cet angle est actuellement proche de  $23,3^\circ$ , mais il varie entre  $22^\circ$  et  $24,5^\circ$  ; cet angle redevient le même tous les 41 000 ans en moyenne ;
- l'**oscillation de l'axe de rotation de la Terre (précession des équinoxes)** : l'axe de rotation de la Terre décrit une forme de cône et retrouve la même position tous les 21 000 ans en moyenne.

### Périodes glaciaires et périodes interglaciaires

Dans le passé, il y a eu des **périodes glaciaires** (ou **glaciations**) avec des températures basses sur de longues durées (de 80 000 à 100 000 ans). Ces périodes glaciaires ont été suivies par des **périodes interglaciaires** plus chaudes et plus courtes (durée d'environ 10 000 ans).

La dernière période interglaciaire remonte à environ 120 000 ans. La dernière glaciation a eu lieu il y a 18 000 ans ; le nord de l'Europe et celui de l'Amérique

étaient alors recouverts de glace, avec une température moyenne plus basse d'environ 5 °C. Du xv<sup>e</sup> au xix<sup>e</sup> siècle, la température a baissé de 1 °C environ dans l'Europe du Nord : cette période est généralement appelée le « petit âge de glace ».

## L'ÉVOLUTION DU CLIMAT ACTUEL ET L'INFLUENCE DES ACTIVITÉS HUMAINES

### Le réchauffement de la planète

Au cours du xx<sup>e</sup> siècle, les activités humaines ont entraîné une **hausse des températures** de 0,6 °C.

Cette hausse est due à l'augmentation des concentrations de certains gaz dans l'atmosphère (les **gaz à effet de serre** comme le dioxyde de carbone). De manière générale, ces gaz polluants sont rejetés par les industries et les moyens de transports.

Ce **changement climatique** devrait continuer avec une augmentation de la température de 1,4 à 5,8 °C d'ici la fin du xxi<sup>e</sup> siècle, entraînant une montée du niveau des océans estimée entre 9 et 88 cm d'ici à 2100.

Les **phénomènes météorologiques extrêmes** (sécheresses, inondations, tornades, etc.) risquent également d'être plus nombreux et plus forts au cours de ce siècle.

### Combattre le changement climatique

Les hommes politiques de toute la planète organisent des conférences internationales et votent des lois pour réduire les activités humaines responsables de ce réchauffement global.

Deux **Sommets de la Terre** (Rio de Janeiro en 1992, Johannesburg en 2002) ont été organisés dans ce but. Le **protocole de Kyoto** (mis en place en 1997 et entré en vigueur en 2005) a finalement imposé aux pays industrialisés une réduction de leurs rejets de gaz à effet de serre (- 5,2 % d'ici

2008-2012, par rapport au taux de 1990). Toutefois, les États-Unis, premiers pollueurs de la planète, ne l'ont toujours pas signé.

L'objectif final est d'atteindre un **développement durable** qui permette à la population actuelle de vivre et de se développer, sans compromettre le développement des générations futures.



## les images satellites de la météo

La météorologie utilise les images satellites pour établir leurs prévisions. Les images révèlent, par exemple, les formations de cyclones et fournissent des informations sur leur évolution, comme ici celle du cyclone Elena. Les phénomènes atmosphériques sont en permanence enregistrés par les satellites qui tournent autour de la Terre. Il n'en demeure pas moins que la prévision du temps est difficile en raison de la multiplicité des variables qui entrent en jeu.

NASA/Science Source/Photo

## La composition de l'air

Nous respirons l'air qui nous entoure sans même en avoir conscience. Mais de quoi celui-ci est-il constitué ?

*Réponse* : l'air est essentiellement constitué de dioxygène et de diazote essentiels à la vie, mais il contient également d'autres gaz. La composition de l'air est-elle constante ?

1. Un mélange de gaz

L'air sec (sans vapeur d'eau) est un mélange de gaz. Il contient 78,08 % de diazote, 20,95 % de dioxygène, 0,93 % d'argon, 0,03 % de dioxyde de carbone et d'autres gaz à l'état de traces. Nous retiendrons la proportion de **20 % de dioxygène** et **80 % de diazote**.

Le dioxygène de l'air est consommé lors de la respiration des êtres vivants, mais les plantes produisent (en moyenne) plus de dioxygène qu'elles n'en consomment, ce qui permet de stabiliser la quantité de dioxygène dans l'air. Le dioxyde de carbone, bien que présent en très petite quantité, joue un rôle primordial sur le climat de la Terre car il participe à l'effet de serre.

## 2. La composition de l'atmosphère varie en fonction de l'altitude

L'atmosphère est l'ensemble des couches d'air qui entoure la Terre. Elle a une épaisseur d'environ 10 000 km. Dans chaque couche de l'atmosphère, la température ne varie pas de la même façon.

La couche la plus basse, dans laquelle nous vivons, est appelée la **troposphère** (épaisseur moyenne de 13 km). L'air y a une composition constante, mais la pression et la température diminuent avec l'altitude. À 5 000 m d'altitude, il y a moins d'air et donc moins de dioxygène (deux fois moins environ) qu'au niveau de la mer. Les alpinistes savent qu'à cette altitude, il faut fournir des efforts considérables pour avancer. C'est pourquoi, ils s'équipent souvent de bouteilles de dioxygène.

## 3. La composition de l'atmosphère a varié au cours du temps

À l'origine, l'atmosphère terrestre était surtout constituée de gaz produits par les éruptions volcaniques alors très fréquentes. Il n'y avait pas de dioxygène, mais du diazote, de grandes quantités de dioxyde de carbone et de la vapeur d'eau.

La Terre s'est ensuite refroidie et la vapeur d'eau s'est condensée pour former les océans. Le dioxyde de carbone s'est fixé dans les sédiments (roches calcaires) et s'est dissous dans l'eau. L'apparition de formes de vie dans l'eau puis à la surface de la Terre (vie végétale) a permis la production de dioxygène, pour aboutir à la composition actuelle de l'air.

## 4. Le rôle de l'atmosphère

L'atmosphère joue le rôle de **bouclier** : elle nous protège des bombardements d'objets venant de l'espace. En effet, lors de leur passage dans l'atmosphère, les météorites (formées de roches ou de glaces) ou les débris de satellites s'échauffent par frottement sur l'air suffisamment pour brûler ou exploser en minuscules morceaux ne présentant aucun danger pour l'homme.

L'air est un **régulateur thermique**. Il ne se refroidit pas et ne se réchauffe pas très vite. De plus, les mouvements de l'air rendent plus homogène sa température. Il atténue donc les différences de température entre le jour et la nuit. Sans atmosphère, les écarts de température entre le jour et la nuit seraient de plus de 200 °C.

L'atmosphère joue également le rôle de **filtre**. La couche d'ozone nous protège des rayons ultraviolets (UV) invisibles, émis par le Soleil, en arrêtant les plus énergétiques. Ceux qui réussissent à passer sont malgré tout suffisamment puissants pour brûler la peau (bronzage et coups de soleil). Si la couche d'ozone venait à disparaître, la vie ne serait plus possible qu'à l'abri du rayonnement solaire.

# Les propriétés de l'air

Nous parlons souvent de bouteille vide, lorsque celle-ci est remplie d'air. Pourtant, l'air est fait de matière. Qu'en est-il donc de sa masse ?

*Réponse* : l'air est pesant même si sa masse est très faible. Nous ne le sentons pas, mais il pèse sur toutes les parties de notre corps. Quelles sont ses autres propriétés ?

### 1. L'air est un mélange de gaz

L'air est un mélange de gaz. Il contient environ 20 % de dioxygène et 80 % de diazote. Ainsi, 1 litre d'air est composé de 0,2 litre de dioxygène et de 0,8 litre de diazote mélangés. On retrouve la même proportion pour le nombre de particules : dans un volume donné d'air, il y a quatre fois plus de particules de diazote que de particules de dioxygène.

On peut considérer que les propriétés d'un mélange homogène de gaz sont très voisines de celles d'un gaz seul ; par conséquent nous dirons que l'air est composé de **particules** d'air, en mouvement et éloignées les unes des autres.

### 2. L'air est compressible

Lorsqu'on gonfle un ballon de football, son volume reste sensiblement le même alors que la quantité d'air dans le ballon augmente. Étudions plus en détail le phénomène en réalisant l'expérience suivante.

*Protocole* : bouchons avec le doigt une seringue à moitié remplie d'air, et poussons sur le piston en maintenant la seringue bouchée.

*Observation* : au début, le piston s'enfonce assez facilement. À partir du moment où le volume de l'air à l'intérieur de la seringue est divisé par deux, la poussée devient difficile. De même, si nous tirons le piston, nous arrivons difficilement à doubler le volume d'air

*Interprétation* : dans les deux cas, la seringue étant bouchée, la quantité d'air ne varie pas. En revanche, le volume de l'air emprisonné peut augmenter ou diminuer.

L'air et les gaz sont **compressibles** ; ils n'ont **pas de volume propre**. Une même quantité d'air peut occuper des volumes différents. Dans un gaz, les particules sont éloignées les unes des autres et il est possible de les rapprocher ou de les éloigner davantage en modifiant l'espace qu'elles occupent.

### 3. La pression de l'air

Dans l'expérience précédente, nous avons pu voir que l'air est compressible, mais qu'il y a une **limite** à la compression. Cette limite est atteinte lorsque la pression que nous exerçons sur le piston est aussi forte que la pression de l'air à l'intérieur de la seringue. La pression est due aux particules d'air situées dans la seringue. Agitées, elles rebondissent sur les parois de la seringue et poussent le piston. En diminuant le volume d'air, on augmente la pression dans la seringue : les particules toujours aussi nombreuses et en mouvement se retrouvent avec moins de place. Il est donc plus difficile d'appuyer sur le piston.

Lors de la compression de l'air dans la seringue, la pression à l'intérieur est supérieure à la **pression atmosphérique**. Si on lâche le piston, seules ces deux pressions s'appliquent sur celui-ci et c'est la plus forte qui provoque le mouvement du piston revenant alors à sa position initiale.

*Remarque* : la pression atmosphérique est due aux particules d'air de l'atmosphère. Elle s'exerce sur tous les corps à l'air libre. Sa valeur est de 1 atmosphère (atm) ou 1 013 hPa (hectopascals) au niveau de la mer.

### 4. La masse de l'air

Effectuons l'expérience suivante pour montrer que l'air a bien une masse.

*Protocole* : mesurons avec une balance de précision la masse  $m_1$  d'un ballon de football suffisamment gonflé pour qu'il garde le même volume une fois plus gonflé. Gonflons ensuite le ballon et mesurons sa masse  $m_2$ .

*Résultats* : on trouve  $m_1 = 326,2$  g et  $m_2 = 327,1$  g.

*Interprétation* : la différence des deux masses est égale à la masse de l'air ajouté dans le ballon. **L'air est pesant, il a une masse.** En réalisant des expériences plus précises, nous trouverions que la masse de 1 l d'air est de 1,293 g.

Copyright © 2006 rue des écoles / Magnard-Vuibert. Tous droits réservés.

Microsoft ® Encarta ® 2008. © 1993-2007 Microsoft Corporation. Tous droits réservés.

## La pollution de l'air et l'effet de serre

Les médias parlent régulièrement de pollution atmosphérique et d'effet de serre. Quels sont les principaux polluants de l'atmosphère ? Et qu'est ce que l'effet de serre ?

*Réponse* : les principales sources de pollution sont les combustions (moteur de voiture, chaudière de chauffage central, haut-fourneau, centrale thermique, etc.). Le dioxyde de carbone abondamment rejeté induit un effet de serre. Quelles en sont les conséquences ?

### 1. Les polluants

#### 1.1. Polluants primaires et polluants secondaires

On classe habituellement les polluants en deux catégories :

— les polluants primaires sont émis **directement** dans l'atmosphère. Ce sont des gaz ou de petites particules solides ;

— les polluants secondaires ne sont pas relâchés tels quels dans l'atmosphère. Ils sont produits par des **réactions chimiques ou photochimiques** (réactions produites ou initiées par la lumière du Soleil). C'est le cas de l'ozone, par exemple. Ces réactions se produisent entre polluants primaires ou entre certains polluants primaires et certains composants naturels de l'atmosphère.

Les polluants sont toujours présents dans l'atmosphère. Leur origine peut être naturelle, domestique ou industrielle.

#### 1.2. Les effets des principaux polluants

Les principaux polluants sont le dioxyde de soufre, les oxydes d'azote, le monoxyde de carbone, les COV (composés organiques volatils), l'ozone et les poussières (fines particules en suspension). En France, pour caractériser la qualité de l'air, on utilise un **indice** (appelé indice ATMO) **variant de 1 à 10**, l'indice 1 indiquant une qualité optimale. Cet indice ne prend en compte que quatre polluants : le dioxyde de soufre, le dioxyde d'azote, l'ozone et les poussières.

Le **dioxyde de soufre** ( $\text{SO}_2$ ) est en partie à l'origine des pluies acides (contenant de l'acide sulfurique), qui provoquent une dégradation des monuments construits en calcaire et la mort prématurée de végétaux. Il peut également provoquer des troubles respiratoires chez les enfants ou les personnes âgées.

Les **oxydes d'azote** ( $\text{NO}$  et  $\text{NO}_2$ ) contribuent également au phénomène des pluies acides (contenant de l'acide nitrique), et favorisent la formation d'ozone. Le dioxyde d'azote peut provoquer de l'asthme et une sensibilisation accrue aux infections.

Le **monoxyde de carbone** (CO) est un gaz toxique qui se fixe à la place du dioxygène dans le sang. Il est mortel dans le cas d'une exposition importante ou assez longue.

L'**ozone** (O<sub>3</sub>) est un polluant secondaire qui provoque des irritations oculaires et pulmonaires.

Les **COV** sont constitués d'hydrocarbures (évanoués lors du remplissage d'un réservoir par exemple), de composés organiques ou de solvants. Leurs effets sont très divers, allant de la gêne respiratoire à l'augmentation des risques de cancers dans le cas du benzène.

Les plus petites **poussières** pénètrent dans les voies respiratoires et peuvent entraîner avec elles des composés toxiques. Les plus grosses retombent sur le sol en provoquant des salissures. Les poussières de taille intermédiaire sont arrêtées avant d'arriver dans les poumons mais peuvent malgré tout occasionner des gênes importantes.

## 2. L'effet de serre

### 2.1. Le rayonnement d'un corps chaud

Tout corps chaud émet un rayonnement. S'il n'est pas très chaud (25 °C), celui-ci n'est pas visible ; il est infrarouge (IR). À partir de 500 °C, le rayonnement devient visible, de couleur rouge, on parle alors de corps **incandescent**.

Bien qu'il ne soit pas visible, un rayonnement infrarouge n'en transporte pas moins de l'énergie susceptible de réchauffer un corps. Quand on regarde un feu de près, alors que la température de l'air est pratiquement la même, on a le visage et le côté exposé au feu qui chauffent rapidement.

Quand un corps émet des rayonnements, il perd de l'énergie et se refroidit.

### 2.2. Effet de serre et réchauffement

Les légumes sont cultivés en serre pour arriver à maturité plus tôt dans l'année. Les vitres des serres sont en verre ou en matière plastique transparente. Les serres protègent des intempéries, mais surtout, il y fait plus chaud qu'à l'extérieur bien que généralement elles ne soient pas chauffées.

C'est l'effet de serre qui explique cette température plus élevée. Voici ce qui se passe : réchauffé par le rayonnement solaire, le sol de la serre émet un rayonnement infrarouge dont une partie est réfléchi sur les parois de la serre et donc renvoyée vers l'intérieur de celle-ci. Globalement, le sol et l'air de la serre se refroidissent beaucoup moins vite que l'environnement extérieur.

Pour la Terre, c'est l'**atmosphère** qui joue le rôle des vitres de la serre. Elle laisse pénétrer une partie du rayonnement solaire qui réchauffe la surface de la Terre. Celle-ci émet alors un rayonnement infrarouge réfléchi par les couches de l'atmosphère. La Terre perd ainsi beaucoup moins d'énergie que si elle n'avait pas d'atmosphère, c'est l'effet de serre. Sur la Lune, qui n'a pas d'atmosphère, la température ne dépend que de son éclairage. Elle varie ainsi beaucoup entre le jour et la nuit.

L'effet de serre est donc un phénomène naturel. Il **réchauffe** la Terre et y rend possible la vie. Cependant, **les activités humaines accentuent cet effet de serre naturel** et conduisent à une augmentation de la température moyenne à la surface de la Terre. Cela pourrait avoir des conséquences catastrophiques pour une grande partie de ses habitants.

### 2.3. Les gaz à effet de serre

Les principaux gaz responsables de l'effet de serre contenus dans l'atmosphère sont la **vapeur d'eau** et le **dioxyde de carbone**. Ce dernier est produit naturellement par les feux de forêts et la respiration des êtres vivants.

Mais depuis le début du XX<sup>e</sup> siècle, les activités humaines produisent en abondance du dioxyde de carbone lors des combustions réalisées dans les moyens de transport, les installations de chauffage ou industrielles. Cette augmentation de la proportion de dioxyde de carbone dans l'atmosphère a déjà entraîné une hausse de la température mondiale de 0,6 °C au cours du XX<sup>e</sup> siècle.

## 2.4. Les principales conséquences d'un réchauffement de la planète

Les scientifiques ne peuvent pas prévoir avec certitude et précision les effets de l'augmentation de la quantité de dioxyde de carbone dans l'atmosphère. Toutefois, toutes les études aboutissent à des résultats convergents qui indiquent que la température moyenne de la Terre pourrait encore augmenter de 1,4 à 5,8 °C avant la fin du XXI<sup>e</sup> siècle : c'est ce qu'on appelle le **réchauffement climatique**.

Un effet immédiat serait alors la fonte des calottes glacières aux pôles et, surtout, la dilatation de l'eau des océans qui entraînerait une **élévation du niveau de la mer** (entre 9 cm et 88 cm). Certaines villes côtières seraient alors inondées tout comme seraient submergées certaines régions du monde comme les îles Maldives ou les plaines agraires du Bangladesh. La majorité des écosystèmes fragiles seraient en danger. On pourrait également observer une **modification de la répartition de nombreuses espèces animales et végétales**. Les migrations de populations dues aux sécheresses et inondations prendraient une proportion alarmante.

## 3. La situation actuelle et les solutions

### 3.1. Un constat inquiétant

Depuis qu'il est apparu sur Terre, l'homme modifie son environnement. Mais il le fait à une échelle et à une cadence qui **s'accroissent depuis le début du XX<sup>e</sup> siècle**.

En outre, la modification de l'environnement n'est plus seulement locale mais devient **régionale et même planétaire** : le nuage radioactif de Tchernobyl s'est déplacé sur plusieurs milliers de kilomètres. De même, les pluies acides ne s'arrêtent pas aux frontières.

L'augmentation de la production de dioxyde de carbone par les pays industrialisés risque également de modifier le climat de la Terre entière.

### 3.2. Des progrès notables

La recherche scientifique travaille à rendre les activités humaines moins polluantes. Une meilleure **qualité des combustibles**, qui contiennent moins de soufre, a permis de diminuer les émissions de dioxyde de soufre.

Les véhicules équipés de **pots catalytiques** produisent moins d'oxydes d'azote.

### 3.3. La nécessité d'une politique globale

Les pistes pour rendre plus propres les activités humaines existent, mais elles ont un **coût**. Ainsi, le prix de revient de l'énergie électrique produit par une éolienne ou un panneau solaire est plus élevé que celui de l'énergie électrique produit par une centrale thermique.

Les conférences successives sur la réduction des émissions de dioxyde de carbone et autres gaz à effet de serre se sont soldées par des demi-échecs. Les pays européens se sont

majoritairement engagés pour diminuer (modestement) leurs émissions alors que l'Amérique du Nord s'y est refusée en proposant des solutions fondées sur un autre modèle économique (troc de « droits de polluer » entre pays développés et pays en développement).

La planète telle que nous la connaissons est en danger. En continuant à ce rythme, sans se soucier de l'avenir, l'homme risque de laisser aux générations suivantes une Terre différente où de graves problèmes seront à régler. De plus, ces problèmes écologiques aggraveront les inégalités entre pays riches et pauvres, et entraîneront de graves problèmes géopolitiques. Pour y remédier, les gouvernements doivent réagir rapidement, la survie de la Terre mais surtout de la civilisation humaine en dépend.

## La combustion du carbone

Dans un barbecue, le charbon de bois brûle et produit la chaleur nécessaire à la cuisson des brochettes. Pour raviver le foyer, il suffit souvent de souffler sur les braises. Pourquoi le charbon brûle-t-il alors plus fort ?

*Réponse* : brasser l'air ou souffler permet au carbone de réagir avec plus d'air ; la combustion est alors plus efficace.

### 1. La combustion du carbone dans l'air

Le carbone est un **élément chimique abondant** sur la Terre. Il entre dans la composition de tous les êtres vivants. Le charbon de bois et le fusain (utilisé en dessin) sont essentiellement constitués de carbone.

Nous savons déjà que lorsque l'on fait brûler du carbone dans l'air, de la **chaleur** est dégagée (c'est ce qui permet, par exemple, de faire cuire des aliments). Pour aller plus loin dans cette étude, réalisons la combustion d'un fusain.

*Protocole* : nous plaçons un fusain incandescent dans un flacon fermé.

*Observation* : au bout d'un certain temps, le fusain ne brûle plus.

*Interprétation* : le carbone a donc besoin d'un ou de plusieurs corps chimiques **présents dans l'air** pour brûler. L'air est un mélange de gaz, composé essentiellement de dioxygène et de diazote. Lequel de ces deux gaz est nécessaire à la combustion du carbone ?

### 2. La combustion du carbone dans le dioxygène

Pour répondre à la question précédente, réalisons la combustion du carbone dans un flacon rempli de dioxygène.

*Protocole* : nous plaçons un fusain incandescent (rouge) dans un flacon rempli de dioxygène qui est ensuite fermé.

*Observation* : la combustion est alors très vive, le fusain se consume plus rapidement que dans l'air. Au bout d'un certain temps, la combustion s'arrête alors qu'il y a encore du fusain. Si nous remplissons à nouveau le flacon de dioxygène, la combustion redémarre.

*Interprétation* : c'est le dioxygène de l'air qui permet la combustion du carbone.

### 3. La combustion du carbone : une réaction chimique

La combustion du carbone est une réaction chimique dans laquelle le carbone réagit avec le dioxygène. Ces deux corps sont appelés les **réactifs**. Ils sont consommés par la combustion qui s'arrête quand il manque l'un des deux réactifs.

Mais que deviennent le carbone et le dioxygène ? Après la combustion, il reste un peu de cendres mais la masse des cendres obtenues est nettement inférieure à la masse du fusain

avant la combustion. Ces cendres sont composées de particules du fusain autres que le carbone.

Lors d'une réaction chimique, les réactifs réagissent entre eux pour donner un ou plusieurs autres corps chimiques que l'on appelle les **produits** (ils sont produits par la réaction). La réaction entre le dioxygène et le carbone ne donne qu'un seul produit, un **gaz** puisqu'on ne le voit pas. Nous allons chercher à le mettre en évidence.

**Le test du dioxyde de carbone** : une fois la combustion effectuée, versons de l'eau de chaux dans le flacon. L'eau de chaux se trouble. Le gaz produit par la réaction est donc du dioxyde de carbone.

#### 4. Le bilan de la réaction

Le bilan de la réaction de combustion du carbone est :

carbone + dioxygène → dioxyde de carbone

Il se lit : du carbone et du dioxygène réagissent entre eux pour produire du dioxyde de carbone.

**Généralisation** : le bilan indique les réactifs et les produits de la réaction.

Les réactifs et les produits y sont écrits en toutes lettres. Les réactifs sont placés à gauche de la flèche ; s'il y en a plusieurs, on les relie à l'aide d'un signe « + ». Une flèche symbolise la transformation des réactifs (à gauche de la flèche) en produits (à droite de la flèche).

Un bilan ne décrit pas une réaction mais il précise quels sont les corps chimiques initialement présents et en quels corps ils sont transformés.

Copyright © 2006 rue des écoles / Magnard-Vuibert.

## La combustion du butane

On repère souvent les avions, dans le ciel, par les longues traînées blanches qu'ils laissent derrière eux. D'où proviennent ces traînées ?

*Réponse* : la combustion de nombreux combustibles (essence, gaz) produit de la vapeur d'eau ; c'est elle qui forme les traînées blanches laissées par les avions.

### 1. Les hydrocarbures

Le butane, le propane et le méthane sont des hydrocarbures : ils ne sont constitués que de **carbone** et d'**hydrogène**. À température ambiante et pression atmosphérique, ils se présentent sous forme gazeuse.

On les utilise comme combustibles pour **chauffer** et parfois pour **éclairer**. Le méthane est le principal constituant du gaz de ville ; il est distribué par des canalisations dans les grandes agglomérations. Le propane et le butane sont liquéfiés et conditionnés dans des bonbonnes.

### 2. Les réactifs de la combustion du butane

Le gaz contenu dans les briquets est du butane. Quand il brûle, la flamme produite est bleue à sa base et jaune à son sommet. Réalisons une expérience pour déterminer quelle substance réagit avec le butane lors de sa combustion.

*Protocole* : plaçons un flacon au-dessus d'un briquet allumé.

*Observation* : le briquet s'éteint tout seul. Si nous introduisons une allumette enflammée dans le flacon, elle s'éteint immédiatement.

*Interprétation* : la réaction de combustion du butane a consommé le dioxygène contenu dans le flacon. Les réactifs de la combustion du butane sont le **butane** et le **dioxygène**.

### 3. Les produits de la combustion du butane

Cherchons maintenant quelles substances ont été produites lors de la combustion du butane.

#### 3.1. Le test de l'eau

*Protocole* : plaçons un bécher au-dessus de la flamme d'un briquet.

*Observation* : des gouttelettes de liquide apparaissent à la surface du verre. À leur contact, le sulfate de cuivre anhydre (en poudre) bleuit.

*Interprétation* : la combustion du butane produit de l'eau.

#### 3.2. Le test du dioxyde de carbone

*Protocole* : laissons un briquet allumé dans un flacon fermé. Une fois le briquet éteint, mettons de l'eau de chaux dans le flacon.

*Observation* : l'eau de chaux se trouble mettant ainsi en évidence la présence de dioxyde de carbone.

*Interprétation* : la combustion du butane produit du dioxyde de carbone.

### 4. Bilan de la réaction et applications

Le bilan de la réaction de combustion du butane s'écrit :

butane + dioxygène → eau + dioxyde de carbone

Le butane est le combustible ; le dioxygène est le comburant.

L'essence, le fuel et le gasoil sont constitués d'hydrocarbures. La réaction de combustion de ces hydrocarbures produit également de l'eau et du dioxyde de carbone. La partie visible des gaz d'échappement d'une voiture est constituée de vapeur d'eau. Elle est d'autant plus visible que la température est basse (en hiver notamment).

Copyright © 2006 rue des écoles /

## La combustion du fer

Un clou en fer ne brûle pas dans l'air. Alors pourquoi un morceau de paille de fer peut-il s'enflammer si nous approchons une allumette ?

*Réponse* : un objet en fer brûle dans l'air s'il est très finement divisé. Qu'en est-il dans le dioxygène ?

#### 1. La combustion du fer dans l'air

La paille de fer est utilisée pour décaper les fonds de casseroles ou pour poncer le bois. Il en existe de plusieurs épaisseurs. Nous allons en faire brûler pour commencer notre étude.

*Protocole* : allumons un morceau de paille de fer la plus fine qui soit.

*Observation* : la paille de fer brûle en dégageant de la lumière et de la chaleur. Elle s'arrête de brûler assez vite. La paille brûlée n'a pas la même couleur, elle n'a plus de reflets métalliques. Si nous approchons un aimant de celle-ci, elle s'en rapproche et y reste collée.

*Interprétation* : la paille de fer a été transformée en oxyde de fer, également appelé oxyde magnétique car il est attiré par un aimant. Si nous utilisons de la laine de fer, plus épaisse que la paille, elle ne brûle pas. Il faut donc que le fer soit suffisamment divisé pour brûler dans l'air.

## 2. La combustion du fer dans le dioxygène

L'air est un mélange de gaz, composé essentiellement de dioxygène et de diazote. Lequel de ces deux gaz est nécessaire à la combustion du fer ?

*Protocole* : reproduisons l'expérience précédente avec de la paille de fer incandescente dans un flacon rempli de dioxygène.

*Observation* : la réaction est alors très vive et très lumineuse. La chaleur dégagée est importante, suffisante pour faire fondre les oxydes de fer obtenus. Pour éviter que le flacon ne se brise à cause des gouttes d'oxydes en fusion qui tombent au fond, il est nécessaire d'y mettre du sable. Une fois la réaction terminée (toute la laine de fer n'a pas brûlé), si nous introduisons un morceau de fusain incandescent dans le flacon, il ne brûle pas. Il n'y a donc plus de dioxygène dans le flacon, il a été consommé par la réaction.

*Interprétation* : le fer brûle plus facilement et plus vivement dans le dioxygène pur que dans l'air. De même que pour le carbone, c'est le dioxygène de l'air qui permet la combustion du fer.

## 3. Le bilan de la réaction

La combustion du fer peut produire des oxydes de fer de natures différentes.

*Protocole* : prenons de la paille de fer qui a déjà brûlé dans l'air. Après l'avoir chauffée, nous l'introduisons dans un flacon de dioxygène.

*Observation* : la paille de fer brûle une deuxième fois.

*Interprétation* : la paille de fer a réagi deux fois avec le dioxygène pour donner deux oxydes différents. Ces deux oxydes sont magnétiques, ils sont attirés par un aimant et peuvent être aimantés.

Le bilan de la réaction de combustion du fer s'écrit : **fer + dioxygène → oxydes de fer**

Copyright © 2006 rue des écoles / Magnard-Vuibert. Tous droits réservés.

# Les dangers des combustions

Tous les ans, en hiver, des dizaines de personnes s'intoxiquent en utilisant un appareil de chauffage. Quel est le gaz responsable de cette intoxication ? Comment est-il produit ?

*Réponse* : le gaz responsable est le monoxyde de carbone, très toxique. Dans quelles conditions ce gaz est-il produit ? Quels sont les autres dangers des combustions domestiques ?

## 1. L'apparition de monoxyde de carbone

La combustion des hydrocarbures produit du dioxyde de carbone. Quand le dioxygène est en quantité suffisante, la combustion est complète et ne produit uniquement du dioxyde de carbone ; mais s'il n'y a **pas assez de dioxygène**, la combustion est incomplète et du monoxyde de carbone est produit.

C'est un gaz **incolore, inodore et toxique**. Il empêche le dioxygène de circuler dans le sang et peut entraîner la mort par asphyxie. Les symptômes d'une intoxication peuvent être un endormissement et des nausées.

## 2. Les intoxications au monoxyde de carbone

Ces intoxications ont souvent lieu l'hiver. Elles sont dues, à un mauvais fonctionnement des appareils de chauffage ou à une mauvaise aération. En effet, si un **local est fermé hermétiquement** ou mal ventilé, le dioxygène consommé par les combustions se raréfie. On s'expose alors à **deux risques** :

la quantité de dioxygène dans l'air étant trop faible, les poumons ne peuvent oxygéner suffisamment le sang et donc le cerveau. Ceci peut entraîner une perte de connaissance, voire la mort ;

la quantité de monoxyde de carbone dans l'air augmente, entraînant une intoxication rapide.

Pour supprimer ces deux risques, il faut donc aérer les lieux où sont réalisées des combustions et faire vérifier régulièrement les appareils fonctionnant au gaz.

### 3. Les explosions

Dans un brûleur de cuisinière fonctionnant au gaz, la réaction de combustion est contrôlée car le butane et le dioxygène de l'air réagissent au fur et à mesure qu'ils se mélangent. La combustion consomme de petites quantités de réactifs.

Les explosions surviennent lorsque de **grandes quantités de réactifs** sont mélangées, à la suite d'une fuite de gaz par exemple. Au contact d'une **source de chaleur** comme une étincelle, la réaction de combustion démarre instantanément en dégageant beaucoup de chaleur. Les gaz libérés lors de la combustion (dioxyde de carbone et vapeur d'eau) se dilatent en une fraction de seconde en produisant le bruit et le souffle de l'explosion.

Copyright © 2006 rue des écoles /

## La structure de la matière

Pendant des siècles, on considérait que la matière était constituée de quatre éléments : l'eau, la terre, l'air et le feu. Les chimistes savent aujourd'hui qu'elle est composée de toutes petites particules. Quelles sont ces particules ? Peut-on les voir ?

*Réponse* : les particules qui composent la matière sont les atomes. Ils sont si petits que l'on ne peut les voir à l'œil nu. Décrivons les atomes et voyons comment ils s'assemblent pour former la matière.

### 1. Les atomes

Toute la matière est constituée d'atomes (du grec *atomos*, qui veut dire « insécable »). Il existe **un peu plus d'une centaine** d'atomes différents d'origine naturelle.

Leur taille est d'environ  **$10^{-10}$  mètres** (0,000 000 000 1 m). Traçons un trait avec une mine de crayon (constituée de carbone) de 0,5 mm d'épaisseur. Le nombre d'atomes de carbone contenus dans la largeur du trait est alors d'environ 3 millions.

La masse d'un atome de carbone est de  $2 \cdot 10^{-23}$  g.

2 mg de carbone contiennent donc  $10^{20}$  atomes de carbone.

Lorsqu'on décrit une réaction chimique, on représente les atomes par un **symbole**. Tous les atomes identiques portent le même nom et sont représentés par le même symbole. Il s'agit en général de la première lettre du nom de l'atome (en français ou dans une autre langue) écrite en majuscule, parfois suivie d'une autre lettre écrite en minuscule.

*Exemples* : le fer : Fe ; le carbone : C ; l'oxygène : O ; l'hydrogène : H ; l'azote (*nitrogen* en anglais) : N.

## 2. Les molécules

Un corps pur est un corps formé d'un seul constituant. Il peut être constitué d'atomes isolés ou de molécules. Une molécule est un ensemble de plusieurs atomes liés entre eux.

*Exemples :*

Un morceau de fer est un corps pur constitué d'atomes de fer (Fe).

L'eau pure, qu'elle soit sous une forme liquide, solide ou gazeuse est constituée de molécules d'eau. Une molécule d'eau est formée de deux atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène.

Dans une molécule, le nombre d'atomes peut varier de deux à quelques milliers et il existe des milliers de molécules différentes. Les industries pharmaceutiques en créent de nouvelles chaque jour.

Les liaisons entre les atomes d'une molécule ne se brisent que s'il y a une **réaction chimique**.

## 3. La formule d'une molécule

La formule d'une molécule indique le nombre de chaque type d'atomes qui la compose.

*Exemples :*

Une molécule de diazote de formule  $N_2$  est composée de deux atomes d'azote.

Une molécule de dioxyde de carbone de formule  $CO_2$  est composée d'un atome de carbone et de deux atomes d'oxygène.

Une molécule de monoxyde de carbone de formule  $CO$  est composée d'un atome de carbone et d'un atome d'oxygène.

Une molécule d'oxyde de fer de formule  $Fe_2O_3$  est composée de deux atomes de fer et de trois atomes d'oxygène.

Le chiffre en indice en bas à droite du symbole d'un atome correspond au nombre d'atomes de ce type qui composent la molécule. S'il n'y a pas d'indice, il n'y a qu'un seul atome de ce type dans la molécule.

# Représenter le bilan d'une réaction avec des maquettes moléculaires

Lorsque l'on détartre une cafetière ou un robinet, on peut observer une effervescence ; le calcaire, constituant principal du tartre, disparaît. Que devient-il ? Les atomes qui composent le calcaire disparaissent-ils ?

*Réponse :* les atomes constituant le calcaire et l'acide contenu dans le détartrant ne disparaissent pas. La réaction chimique entre ces deux réactifs produit d'autres corps, composés de ces mêmes atomes. Voyons comment les modèles moléculaires permettent de suivre ces atomes.

## 1. Réaction entre le calcaire et l'acide chlorhydrique

Réalisons une expérience pour interpréter cette réaction chimique.

*Protocole :* mettons un peu de poudre de craie (essentiellement constituée de calcaire de formule  $CaCO_3$ ) dans une bouteille en plastique, placée sur une balance.

Ajoutons 50 ml d'acide chlorhydrique (HCl) dilué (pH voisin de 2) et fermons la bouteille rapidement.

La balance indique alors une masse de 55,3 g.

*Observation :* de petites bulles de gaz apparaissent à la surface du morceau de craie, il y a un **dégagement de gaz**. La taille du morceau de craie diminue, du calcaire **disparaît**.

En fin de réaction, la craie a disparu. Le pH de la solution dans la bouteille est proche de 4 ; de « l'acide » a donc disparu. Toutefois, la balance indique toujours une masse de 55,3 g.

*Interprétation* : la réaction entre l'acide chlorhydrique et le calcaire consomme les deux réactifs qui disparaissent.

Elle produit du dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) et du chlorure de calcium ( $\text{CaCl}_2$ ).

## 2. La conservation de la matière

Pendant toute la réaction, la masse de la bouteille n'a pas varié. La masse des réactifs avant la réaction est donc égale à la masse des produits après la réaction. On dit que la masse a été **conservée**. Ce résultat est valable pour toute réaction chimique.

Si nous comparons la composition des réactifs à celle des produits, nous retrouvons les mêmes atomes ; ils n'ont pas disparu. Nous dirons que la matière a été conservée : le nombre total de chaque type d'atomes est constant. Seules les molécules ne sont plus les mêmes.

D'une manière plus générale, toute réaction chimique conserve la matière (les atomes). Les atomes sont recombinaés de manière différente mais ne disparaissent pas. Seules les réactions nucléaires ne conservent pas la matière.

## 3. La représentation avec des modèles moléculaires

Pour étudier la constitution et la forme des molécules, on utilise des modèles (ou maquettes) moléculaires. Chaque atome est représenté par une boule de couleur (voir le schéma ci-dessous).

Un atome d'hydrogène H est représenté par une boule blanche.



Un atome de carbone C est représenté par une boule noire.



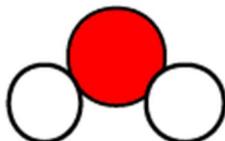
Un atome d'oxygène O est représenté par une boule rouge.



Les boules sont fixées entre elles par des tiges qui symbolisent les liaisons entre les atomes d'une molécule.

*Exemples* :

Dans une molécule d'eau,  $\text{H}_2\text{O}$ , les deux atomes d'hydrogène sont liés à l'atome d'oxygène.

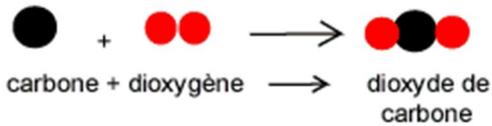


Dans une molécule de méthane,  $\text{CH}_4$ , les quatre atomes d'hydrogène sont liés à l'atome de carbone.



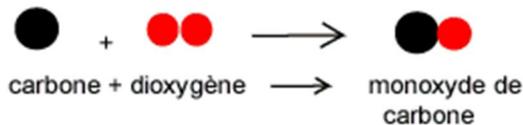
#### 4. Exemple de représentation : la combustion du carbone

Représentons le bilan de la réaction de **combustion complète** du carbone avec des modèles moléculaires.

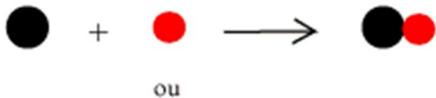


On retrouve bien le même nombre d'atomes de chaque élément (C et O) dans les réactifs et dans les produits.

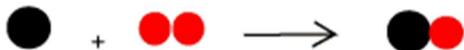
Représentons maintenant le bilan de la combustion incomplète du carbone. Le monoxyde de carbone a pour formule CO.



Ici, les modèles moléculaires correspondent bien aux réactifs et au produit, mais il n'y a pas le même nombre d'atomes d'oxygène des deux côtés de la flèche, la matière n'est pas conservée. Quel bilan écrire ?



Dans les deux cas, la matière est conservée mais le bilan de la réaction a changé. Il est devenu : carbone + oxygène  $\rightarrow$  monoxyde de carbone ou carbone + dioxygène  $\rightarrow$  dioxyde de carbone. Ce n'est donc plus la même réaction et nous n'avons donc pas répondu à la question. Pour faire un bilan et conserver la matière dans une réaction chimique, on ne peut que modifier les proportions des corps déjà présents (réactifs ou produits). Reprenons le bilan de la combustion incomplète.



Rajoutons une molécule de monoxyde de carbone dans les produits, pour équilibrer les atomes d'oxygène.



Il manque alors un atome de carbone dans les réactifs. Rajoutons-le. Nous obtenons alors le résultat suivant.



La matière est **conservée**. Le bilan correspond bien à la combustion incomplète du carbone. Comparons maintenant les représentations des deux combustions du carbone avec les modèles moléculaires. La combustion incomplète du carbone nécessite **deux fois moins** de dioxygène que la combustion complète. C'est pourquoi du monoxyde de carbone est produit quand le dioxygène est en quantité insuffisante.

## Écrire l'équation d'une réaction

Les modèles moléculaires offrent une représentation visuelle des réactifs et des produits d'une réaction. Mais pour faire le bilan d'une réaction chimique, il est plus pratique et plus rapide d'utiliser l'équation-bilan. Comment écrit-on cette équation ?

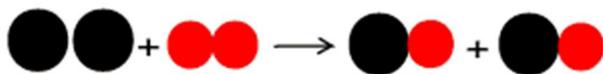
*Réponse* : pour écrire l'équation-bilan, il suffit de remplacer les modèles moléculaires des corps présents par leur formule. Étudions trois exemples de réactions chimiques.

### 1. L'équation-bilan de la combustion du carbone

Commençons par étudier l'exemple de la combustion incomplète du carbone.

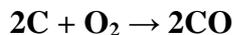
Écrivons sous les modèles moléculaires les formules des atomes ou des molécules.

Bilan : carbone + dioxygène → monoxyde de carbone.



Plutôt que d'écrire  $C + C$ , écrivons  $2C$ , de même pour  $CO$ .

Nous obtenons finalement l'équation-bilan de la combustion incomplète du carbone :



Il faut bien faire la différence entre les chiffres écrits en indice qui correspondent à la composition de la molécule et les chiffres devant la formule d'une molécule ou d'un atome, qui correspondent au nombre d'atomes ou de molécules.

*Exemples* :

$3H_2O$  désigne 3 molécules d'eau contenant chacune 1 atome d'oxygène (O) et deux atomes d'hydrogène (H), soit au total 6 atomes d'hydrogène et 3 atomes d'oxygène.

$4Fe_2O_3$  désigne 4 molécules d'oxyde de fer contenant chacune 2 atomes de fer (Fe) et 3 atomes d'oxygène (O), soit au total 8 atomes de fer et 12 atomes d'oxygène.

Pour écrire l'équation-bilan de la combustion incomplète du carbone, nous n'avons pas gagné de temps puisque nous l'avons écrite à partir des modèles moléculaires. Nous allons voir que nous pouvons nous en passer.

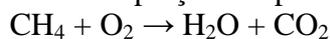
### 2. L'équation-bilan de la combustion du méthane

La combustion du méthane dans le dioxygène de l'air produit de l'eau et du dioxyde de carbone.

Le bilan de la réaction s'écrit :

méthane + dioxygène → eau + dioxyde de carbone

Si on remplaçait simplement chacun des corps par sa formule, l'équation-bilan s'écrirait :



Les réactifs comportent 1 atome de carbone (C), 4 atomes d'hydrogène (H) et 2 atomes d'oxygène (O) alors que les produits contiennent 1 atome de carbone (C), seulement 2 atomes d'hydrogène (H) et trois atomes d'oxygène (O).

La matière n'est donc pas conservée. Nous dirons que **l'équation n'est pas équilibrée**.

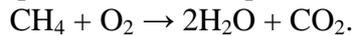
*Règle* : une équation-bilan est équilibrée si le nombre d'atomes de chaque élément est le même dans les réactifs et dans les produits. Pour réaliser cet équilibre, on ne peut **ni faire apparaître** de nouveaux corps chimiques **ni en faire disparaître**.

Dans le cas de la combustion du méthane, il y a trois types d'atome (carbone, hydrogène et oxygène). Commençons par équilibrer le nombre d'atomes d'hydrogène. Il en manque deux dans les produits. Or, le seul produit qui contient des atomes d'hydrogène est l'eau. Une molécule d'eau contenant 2 atomes d'hydrogène, il suffit d'en ajouter une pour que les atomes d'hydrogène soient équilibrés.

Nous obtenons alors l'équation :

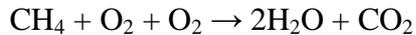


que nous écrirons plutôt :

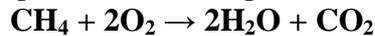


Il y a maintenant 4 atomes d'oxygène dans les produits (1 atome par molécule d'eau, soit 2 atomes pour 2 molécules d'eau et 2 atomes dans la molécule de dioxyde de carbone). Il en manque 2 dans les réactifs. Ajoutons donc 1 molécule de dioxygène.

Nous obtenons l'équation :



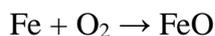
que nous écrirons plutôt :



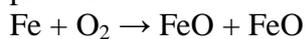
Le nombre d'atomes de carbone (C) étant le même (1 atome) à gauche et à droite de la flèche, cette équation est bien équilibrée.

### 3. Les équations-bilan de la combustion du fer

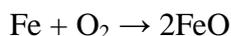
La combustion du fer dans le dioxygène est vive, elle peut produire des oxydes de fer différents. Ces derniers ont pour formule FeO (oxyde ferreux), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (oxyde ferrique) et Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (oxyde magnétique). Si nous brûlons de la paille de fer dans l'air, nous obtenons de l'oxyde ferreux. Écrivons sans les coefficients l'équation-bilan correspondant à cette réaction de combustion :



Pour équilibrer les atomes d'oxygène (O), il faut ajouter une molécule de FeO dans les produits :



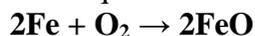
soit:



Les atomes de fer (Fe) ne sont plus équilibrés, ajoutons-en un dans les réactifs :



soit l'équation bilan équilibrée :



Si nous brûlons alors la paille d'oxyde ferreux dans le dioxygène, nous obtenons un mélange d'oxyde ferrique et d'oxyde magnétique. Étudions plus en détail ces deux réactions. Les deux équations-bilan correspondantes étant difficiles à équilibrer, nous vérifierons seulement qu'elles le sont.

Première réaction : **4FeO + O<sub>2</sub> → 2Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**. Il y a bien 4 atomes de fer (Fe) et 6 atomes d'oxygène (O) dans les réactifs et dans les produits.

Deuxième équation : **6FeO + O<sub>2</sub> → 2Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>**. Il y a bien 6 atomes de fer et 8 atomes d'oxygène dans les réactifs et dans les produits

## l'oxygène

L'oxygène est un **élément chimique**. C'est l'élément **le plus abondant du globe terrestre** : on le trouve dans l'air que l'on respire, dans la croûte terrestre, dans les océans et dans les êtres vivants. L'oxygène est **indispensable à la vie** : sans lui, la vie n'aurait pas pu apparaître et se développer sur la Terre.

### carte d'identité de l'oxygène

Nom	Oxygène
Symbole	O
Découverte	Carl Scheele et Joseph Priestley (indépendamment)
Date de la découverte	1774
Numéro atomique	8
Masse atomique	15,9994
Point de fusion	- 218,4°C
Point d'ébullition	- 182,9°C
État physique à 20 °C	Gaz
Origine du nom	du grec <i>oxys</i> (« acide ») et <i>genes</i> (« générer »), en référence à sa présence dans la composition de tous les acides connus à l'époque (nom proposé par Antoine de Lavoisier).

## carte d'identité de l'oxygène

Particularité	élément chimique le plus abondant sur Terre et indispensable à la vie.
---------------	--

## QUI A DÉCOUVERT L'OXYGÈNE ?

Le chimiste suédois **Carl Scheele** est le premier à découvrir l'oxygène en 1773, mais il ne publie sa découverte qu'en 1777. Entre temps, en 1774 et de façon entièrement indépendante, le chimiste anglais **Joseph Priestley** parvient au même résultat que Scheele. En publiant ses résultats dans la foulée de sa découverte, Priestley devient le découvreur officiel de l'oxygène. Mais l'histoire des sciences retient généralement les noms des deux chimistes et la date de la première publication (**1774**). Toutefois, ni Scheele ni Priestley ne se rendent compte de l'importance de leur découverte, en particulier pour expliquer les réactions de combustion qui impliquent la présence d'oxygène.

## le rôle de l'oxygène dans la combustion, selon Lavoisier

C'est le chimiste français Antoine de Lavoisier qui découvre en 1777 le rôle essentiel de l'oxygène dans les réactions de combustion : en faisant brûler différentes substances dans l'air, il démontre que la combustion est un processus dans lequel une substance se combine avec l'oxygène. Ces travaux envoient aux oubliettes la théorie du phlogistique (substance inventée près d'un siècle plus tôt par les chimistes allemands Johann Becher et Georg Stahl pour expliquer le phénomène de combustion). La remise en question de cette théorie contribue à l'avènement de la chimie moderne.

Par ailleurs, pour définir ce constituant de l'air qui s'associe aux substances brûlées, Lavoisier propose le nom « oxygène », du grec *oxys* (acide) et *genes* (générer), parce que l'oxygène apparaît dans tous les acides connus à cette époque. Il montre également que l'oxygène de l'air se présente sous la forme

## le rôle de l'oxygène dans la combustion, selon Lavoisier

d'un gaz diatomique (composé de 2 atomes d'oxygène, d'où sa formule chimique  $O_2$ ), que c'est un élément chimique (corps pur simple) et qu'il joue un rôle essentiel dans la respiration des êtres vivants.

## COMMENT SE PRÉSENTE L'OXYGÈNE DANS LA NATURE ?

L'oxygène est **l'élément chimique le plus abondant sur Terre**. En effet, la teneur en oxygène de l'atmosphère s'élève à environ 23 % (en masse), celle des océans à 86 %, celle de la croûte terrestre à 47 % et celle du corps humain à 60 %.

Mais l'oxygène n'apparaît pas sous la même forme (ou état) dans ces différents milieux. Globalement, à température ambiante (20 °C), on distingue deux formes principales d'oxygène :

– **l'oxygène sous forme élémentaire**, c'est-à-dire sous forme de **molécules** constituées uniquement d'oxygène : par exemple, le **dioxygène ( $O_2$ )** de l'air que l'on respire, ou l'**ozone ( $O_3$ )** qui forme une couche fragile et vitale pour les êtres vivants car elle stoppe les rayonnements ultraviolets (UV) nocifs du Soleil ;

– **l'oxygène sous forme de composés minéraux et organiques, appelés oxydes** : la majorité des composés formés par l'oxygène sont des oxydes entrant dans la composition chimique des **roches** et des **minéraux**, comme le quartz (dioxyde de silicium, de formule  $SiO_2$ ), l'hématite ( $Fe_2O_3$ ), etc. Par ailleurs, l'oxygène apparaît dans la composition chimique d'une large gamme de composés organiques, tels que le dioxyde de carbone ( $CO_2$ ), l'éthanol ( $C_2H_5OH$ ) — l'alcool des boissons —, l'aspirine ( $C_9H_8O_4$ ), le glucose ( $C_6H_{12}O_6$ ), etc.

## QUELLES SONT LES PROPRIÉTÉS CHIMIQUES ET PHYSIQUES DE L'OXYGÈNE ?

La forme la plus connue de l'oxygène est le dioxygène, de formule  $O_2$  : c'est l'oxygène que l'on respire. C'est un gaz incolore, inodore, sans saveur. Quand il est liquéfié (mis sous forme liquide), il est de couleur bleu pâle et devient légèrement magnétique (les molécules de dioxygène sont attirées par un aimant). Dans les conditions normales de température et de pression (pression atmosphérique,  $20\text{ °C}$ ), l'oxygène bout à  $-182,9\text{ °C}$  et fond à  $-218,4\text{ °C}$ .

L'oxygène est **très réactif** : il se combine avec presque tous les autres éléments chimiques et forme des composés appelés oxydes, tels que le dioxyde de carbone ( $CO_2$ ) ou l'oxyde de fer hydraté, plus connu sous le nom de **rouille**.

## À QUOI SERT L'OXYGÈNE ?

L'oxygène est **essentiel au cycle de la vie**, car il permet les processus biologiques : les plantes dégagent de l'oxygène par le mécanisme de la **photosynthèse** ; et cet oxygène sert à la **respiration** de tous les êtres vivants (plantes, champignons, animaux et hommes).

L'oxygène est aussi **l'un des constituants de l'ADN** (la molécule qui porte les informations génétiques dans les cellules des êtres vivants). Un grand nombre de fonctions de notre organisme et de notre cerveau peut être perturbé par une diminution du taux d'oxygène dans le sang, entraînant un sentiment de fatigue et de distraction ; ces dangers sont bien connus des personnes qui font de la plongée sous-marine. L'oxygène fait aussi partie du matériel indispensable dans les hôpitaux, où il est utilisé dans les traitements d'**insuffisances respiratoires** et en **réanimation**.

L'oxygène intervient encore dans la plupart des **réactions de combustion**, comme la combustion dans les moteurs automobiles ou celle du gaz des brûleurs de cuisinière.

Finalement, l'oxygène intervient sous différentes formes dans un très grand nombre de réactions chimiques, concernant presque tous les secteurs d'activités, de la recherche scientifique à l'industrie lourde.

## l'azote

L'azote est un **élément chimique**. C'est l'élément **le plus abondant de l'atmosphère terrestre** : il constitue environ 80 % de l'air que l'on respire.

carte d'identité de l'azote	
Nom	azote
Symbole	N
Découvert par	Daniel Rutherford
Date de la découverte	1772
Numéro atomique	7
Masse atomique	14,0067
Point de fusion	- 210,1 °C
Point d'ébullition	- 195,8 °C
État physique à 20 °C	gaz
Origine du nom	du grec <i>a</i> privatif, et <i>zôê</i> (vie), « gaz sans vie », incapable d'entretenir la vie

## carte d'identité de l'azote

Particularité	élément chimique le plus abondant de l'atmosphère terrestre
---------------	---

## QUI A DÉCOUVERT L'AZOTE ?

En 1772, le médecin écossais **Daniel Rutherford** isole l'azote et prouve qu'il s'agit d'un composant de l'air. Son nom latin *nitrogenium* (dont dérive son symbole chimique N) provient du grec *nitron* (« nitre », ou « nitrate de potassium ») et *gennan* (« engendrer »), ce qui signifie « qui forme du nitre ». Ce nom lui a été attribué à cause de sa présence dans le salpêtre (minerai blanc, translucide et brillant, constitué de nitrate de potassium  $\text{KNO}_3$ , utilisé dans la poudre à canon).

En 1772, le chimiste français **Antoine de Lavoisier** étudie l'azote, encore nommé nitrogène. Il constate que ce dernier ne brûle pas, qu'il n'entretient pas la combustion et qu'une souris à laquelle on fait respirer exclusivement ce gaz meurt aussitôt. Lavoisier décide alors d'appeler ce gaz « azote », qui signifie en grec « incapable d'entretenir la vie ».

## COMMENT L'AZOTE SE PRÉSENTE-T-IL DANS LA NATURE ?

L'azote est un élément **très abondant à la surface de la Terre**. On le trouve principalement dans l'**atmosphère**, dont il représente 80 %.

Par ailleurs, il est **l'un des principaux éléments constitutifs de la matière vivante**. C'est un composant important des molécules biologiques comme les protéines.

On le trouve également dans la croûte terrestre en quantité limitée, sous forme de nitrates ( $\text{NO}_3$ ) et sous forme minérale comme dans l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) et le salpêtre ( $\text{KNO}_3$ ).

## QUELLES SONT LES PROPRIÉTÉS CHIMIQUES ET PHYSIQUES DE L'AZOTE ?

L'azote est un gaz **incolore**, **inodore**, **diatomique** (constitué de deux atomes d'azote), appelé **diazote**, de formule chimique  $\text{N}_2$ . C'est un gaz inerte dont la réactivité est minimale à température ambiante. Il ne se combine avec d'autres éléments qu'à des températures ou à des pressions très élevées pour former des composés tels que l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ), l'hydrazine ( $\text{N}_2\text{H}_4$ ) ou l'acide nitrique ( $\text{HNO}_3$ ).

Il peut être condensé en un liquide incolore (azote liquide) qui peut lui-même être transformé en solide cristallin incolore. L'azote liquide a un point d'ébullition très bas (-196 °C), ce qui lui confère un **important pouvoir réfrigérant**.

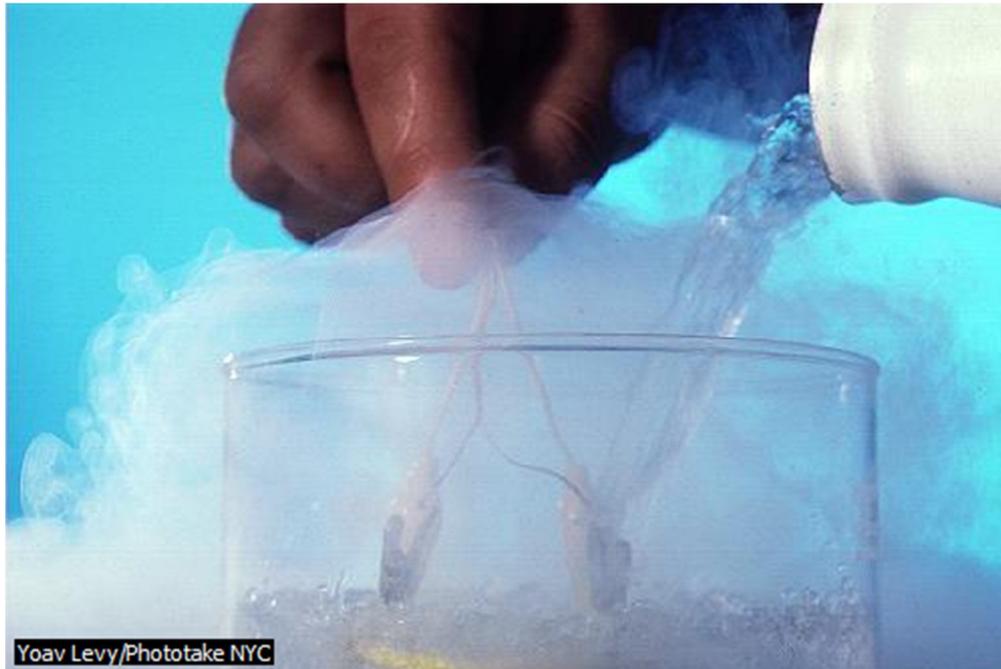
## À QUOI SERT L'AZOTE ?

L'azote est **un élément nutritif important pour les plantes**, qui l'assimilent sous forme de **nitrates** (sels très solubles de formule  $\text{NO}_3^-$ ). Cette transformation de l'azote en nitrate est appelée **fixation de l'azote**. Elle est réalisée par certaines bactéries présentes dans le sol.

L'usage le plus important de l'azote est la **production d'engrais** (des engrais chimiques fournissent l'azote aux plantes), d'**ammoniac** ( $\text{NH}_3$ ) et de **produits de nettoyage**.

Il est également utilisé dans la **fabrication d'acide nitrique** ( $\text{HNO}_3$ ), dont on se sert pour produire des **explosifs**, comme le fameux TNT (trinitrotoluène, explosif principalement utilisé à des fins militaires — bombes, grenades, mines, etc.) ou encore la nitroglycérine.

Par ailleurs, l'azote est largement utilisé pour ses **propriétés cryogéniques** (production du froid) et permet donc d'obtenir de **très basses températures**. Ainsi, il est employé dans le domaine médical, notamment pour le **traitement des verrues**. Il permet aussi de conserver le sang ou le sperme. Dans le domaine alimentaire, il rend possible une congélation rapide pour conserver les aliments.



## **l'azote liquide**

L'azote liquide, dont le point d'ébullition normal est de 77,3 K, soit environ  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ , a de nombreuses applications en tant que liquide cryogénique. Il sert notamment à congeler rapidement les denrées alimentaires.

Yoav Levy/Phototake NYC

Microsoft ® Encarta ® 2008. © 1993-2007 Microsoft Corporation. Tous droits réservés.

## **le dioxyde de carbone**

Le dioxyde de carbone est un **gaz** composé d'un atome de carbone et de deux atomes d'oxygène : sa formule chimique est **CO<sub>2</sub>**. Couramment appelé **gaz carbonique**, c'est le principal **gaz à effet de serre** avec la vapeur d'eau (gaz qui intercepte les rayons infrarouges émis par la surface terrestre).

## carte d'identité du dioxyde de carbone

Nom	dioxyde de carbone
Formule chimique	CO <sub>2</sub>
Découvert par	Jan Baptist Van Helmont
Date de la découverte	vers 1600
Point de fusion (passage de l'état solide à l'état liquide)	- 56,6 °C (sous pression)
Point de sublimation (passage de l'état solide à l'état gazeux)	- 78,5 °C
État physique à 20 °C	Gaz
Solubilité	soluble dans l'eau
Test de reconnaissance	trouble l'eau de chaux
Synonymes	gaz carbonique, « gaz sylvestre », « air fixe »
Particularité	un des principaux gaz à effet de serre

## QUI A DÉCOUVERT LE DIOXYDE DE CARBONE ?

Au début du XVII<sup>e</sup> siècle, le médecin et chimiste belge **Jan Baptist Van Helmont** identifie un gaz qui se dégage lorsqu'on brûle du charbon (**réaction de combustion**) ou

lorsqu'on laisse fermenter du jus de raisin (**réaction de fermentation**). Il l'appelle « **gaz sylvestre** ».

En 1754, le chimiste et physicien écossais **Joseph Black** démontre qu'il est possible d'obtenir ce gaz qu'il appelle « **air fixe** » par chauffage d'une substance minérale, la **chaux**, ou par combustion d'une substance vivante, le **bois**.

Puis, le chimiste français **Antoine de Lavoisier** montre que l'« air fixe » est un composé du carbone. Son nom définitif de dioxyde de carbone lui a été attribué par la suite, selon les règles de la nomenclature chimique.

## COMMENT LE DIOXYDE DE CARBONE SE PRÉSENTE-T-IL DANS LA NATURE ?

On trouve du dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) **dans l'atmosphère** et **dans le sol**, où il existe des **gisements naturels**. Les sources naturelles de dioxyde de carbone sont très nombreuses : éruptions volcaniques, incendies de forêt, respiration des animaux et des hommes, décomposition de la matière organique de plantes et d'animaux, fermentation dans les micro-organismes.

Du  $\text{CO}_2$  est également produit dans l'atmosphère lorsque l'on brûle des composés contenant du carbone en présence d'oxygène. C'est ce qui se passe notamment dans les **moteurs de voiture** (combustion du carburant). Les automobiles, ainsi que les industries, en émettent beaucoup, ce qui représente un **problème écologique majeur**. En effet, l'augmentation de la concentration de  $\text{CO}_2$  dans l'atmosphère est responsable d'une augmentation, néfaste à l'environnement, de l'effet de serre, car elle provoque un **réchauffement de la planète**.

## QUELLES SONT LES PROPRIÉTÉS CHIMIQUES ET PHYSIQUES DU DIOXYDE DE CARBONE ?

Dans les conditions normales de température et de pression (20 °C, pression atmosphérique), le dioxyde de carbone est un **gaz incolore et inodore**.

Le dioxyde de carbone est l'un des principaux gaz à effet de serre. Or, l'effet de serre est un phénomène naturel qui permet à la vie de subsister sur Terre. Sans l'effet de serre, la température moyenne à la surface du globe serait de – 18 °C (alors qu'elle est d'environ 15 °C).

Le dioxyde de carbone gèle à – 78 °C pour former de la **neige carbonique**. Soluble dans l'eau, il peut entraîner un abaissement du pH (c'est-à-dire une augmentation de l'acidité) et former ainsi de l'acide carbonique (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>).

Le dioxyde de carbone est **toxique pour l'homme**. L'air normal n'en contient que des valeurs négligeables (0,03 % en moyenne). Des concentrations plus élevées peuvent provoquer des maux de tête et une augmentation du rythme respiratoire.

## À QUOI SERT LE DIOXYDE DE CARBONE ?

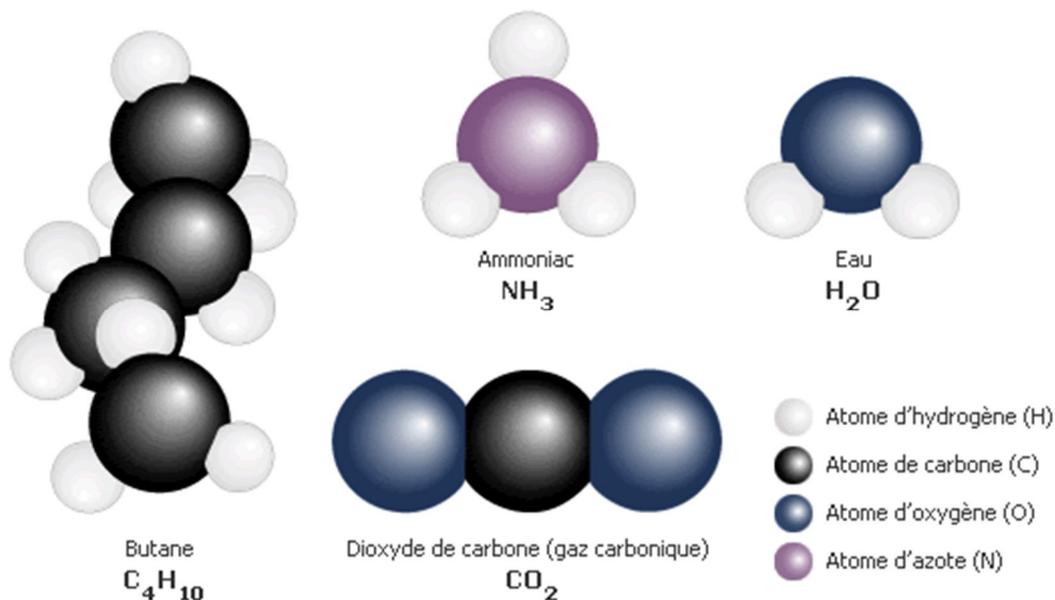
Les plantes absorbent le dioxyde de carbone atmosphérique et, sous l'effet de la lumière, le transforment en composés contenant du carbone (sucres, cellulose, etc.) qui forment la matière organique végétale : c'est la **photosynthèse**. À l'inverse, la nuit, par manque de lumière, les plantes (comme les autres êtres vivants) émettent du dioxyde de carbone.

Lorsque les plantes meurent, les micro-organismes du sol décomposent la matière organique végétale et libèrent une partie du carbone dans l'atmosphère sous forme de dioxyde de carbone. L'autre partie du carbone est stockée dans le sol. Une très large proportion du dioxyde de carbone est aussi **dissoute dans les océans**.

Le **dioxyde de carbone sous sa forme solide** est très utilisé comme **réfrigérant**. Par exemple, dans l'**industrie alimentaire**, le dioxyde de carbone est employé comme **glace carbonique**

pour la régulation des températures pendant la distribution des denrées. Il est également utilisé dans les **extincteurs**, sous forme liquide. Lorsque ce dernier est pulvérisé, il se répand rapidement et provoque un important abaissement de la température qui le solidifie en « neige carbonique ». Cette neige se vaporise (transformation en gaz) au contact des produits en feu en formant une couverture de gaz qui refroidit et étouffe les flammes.

Par ailleurs, l'industrie alimentaire utilise aussi du dioxyde de carbone **pour provoquer l'effervescence des boissons** (sodas, eaux minérales, bières, etc.).



© Microsoft Corporation. Tous droits réservés.

## la représentation des atomes et des molécules

La représentation des molécules de butane, d'ammoniac, d'eau et de dioxyde de carbone sous leur forme « compacte » donne une image de la forme réelle de ces molécules et de l'encombrement des atomes (modélisés par des sphères) qui les constituent. Ces modèles moléculaires tridimensionnels sont très utilisés en stéréochimie (branche de la chimie qui étudie la structure des molécules).

© Microsoft Corporation. Tous droits réservés.

## les éléments chimiques

Un élément chimique est une substance qui ne contient qu'**un seul type d'atome** : on dit que c'est un **corps pur simple**.

Les éléments chimiques peuvent s'associer pour former des **composés chimiques**. Ainsi l'or est un élément chimique car il ne contient que des atomes d'or, tandis que l'eau est un composé chimique qui contient deux types d'atomes : de l'oxygène et de l'hydrogène (l'eau a pour formule chimique  $H_2O$ ).

## PETITE HISTOIRE DES ÉLÉMENTS CHIMIQUES

Les philosophes de la Grèce antique pensaient que la **terre**, le **feu**, l'**air** et l'**eau** étaient les **quatre éléments fondamentaux** entrant dans la composition de toute chose.

Au XVIII<sup>e</sup> siècle, **Antoine de Lavoisier** définit l'élément chimique comme une substance qui ne peut être divisée en d'autres substances plus simples. Il établit une liste d'éléments dont beaucoup sont encore dans la nomenclature actuelle.

Au début du XIX<sup>e</sup> siècle, un savant anglais, **John Dalton**, introduit l'idée qu'à chaque élément chimique correspond un atome auquel il assigne un « **poids atomique** » (aujourd'hui, on parle de « masse atomique »). Il choisit arbitrairement le poids atomique de l'hydrogène égal à 1, comme unité de référence. Au fur et à mesure de la découverte de nouveaux éléments, les chimistes calculent ainsi leurs poids atomiques.

Parallèlement, d'autres chimistes étudient les propriétés physico-chimiques des éléments découverts (température de fusion, densité, acidité, etc.). Ils s'aperçoivent que des éléments de poids atomiques différents présentent des propriétés chimiques similaires. En 1869, le chimiste russe **Dmitri Mendeleïev**, pour qui « il ne peut y avoir ni chaos, ni désordre dans la nature », parvient à classer tous les éléments chimiques connus à l'époque dans un tableau,

appelé **tableau périodique** ou **classification périodique des éléments**.

Le tableau périodique de Mendeleïev classe les éléments chimiques **dans l'ordre croissant de leurs numéros atomiques** (le numéro atomique correspond au nombre de protons contenus dans le noyau de l'atome) de telle sorte que les éléments qui présentent des similitudes se trouvent dans **une même colonne** (ils forment ainsi des **familles chimiques**). Les **rangées** (ou **lignes**) du tableau sont appelées **périodes**. Le génie de Mendeleïev a été de laisser des cases vides, remplies par la suite, au fur et à mesure de la découverte des éléments correspondants.

La classification périodique des éléments chimiques est une référence fondamentale pour les chimistes.

## LA FICHE D'IDENTITÉ D'UN ÉLÉMENT CHIMIQUE

Chaque élément chimique peut se définir par quatre paramètres principaux :

- son **nom**, qui est attribué par l'Union internationale de chimie pure et appliquée (IUPAC) ;
- son **symbole chimique**, utilisé notamment dans l'écriture des réactions chimiques ;
- sa **masse atomique**, qui correspond à la masse des nucléons (protons et neutrons) composant le noyau de l'atome ;
- son **numéro atomique**, noté  $Z$ , qui correspond au nombre de protons contenus dans le noyau de l'atome (comme un atome est électriquement neutre, le numéro atomique correspond aussi au nombre d'électrons gravitant autour du noyau).

Ainsi, le premier élément du tableau périodique est l'hydrogène (l'élément le plus léger), de symbole H, de masse atomique 1 et de numéro atomique 1 ; le deuxième

élément du tableau périodique est l'hélium, de symbole He, de masse atomique 4 et de numéro atomique 2 ; etc.

## COMMENT SE RÉPARTISSENT LES ÉLÉMENTS CHIMIQUES DANS L'UNIVERS ?

En 2004, 116 éléments chimiques ont été découverts et rangés dans le tableau périodique de Mendeleïev. Les **éléments les plus abondants dans l'Univers** sont l'**hydrogène** (H) et l'**hélium** (He) qui forment les **étoiles**.

Dans la **croûte terrestre**, les **éléments les plus abondants** sont l'**oxygène** (O), le **silicium** (Si), l'**aluminium** (Al) et le **fer** (Fe).

Enfin, l'**atmosphère terrestre** est principalement composée d'**azote (78 %)** et d'**oxygène (21 %)**, éléments présents sous forme de molécules de gaz (N<sub>2</sub> et O<sub>2</sub>).

Les **êtres vivants**, quant à eux, sont principalement composés de **carbone** (C), d'**oxygène** (O), d'**azote** (N), d'**hydrogène** (H), de **calcium** (Ca) et de **phosphore** (P).

L'**élément le plus lourd existant à l'état naturel** est l'**uranium** (de symbole U, de masse atomique 238 et de numéro atomique 92). Les éléments plus lourds que l'uranium sont appelés les **transuraniens**. Ils n'existent pas dans la nature et sont créés de manière artificielle au cours de réactions nucléaires dans de gigantesques **accélérateurs de particules**.

Le tableau périodique des éléments comporte encore des « trous » que les chimistes tentent de remplir.

### POUR ALLER PLUS LOIN

- [l'histoire de la chimie](#)
- [les atomes et les molécules](#)
- [les réactions chimiques](#)

- [les étoiles](#)
- [Antoine de Lavoisier](#)
- [Dmitri Mendeleïev](#)

Quelques éléments chimiques :

- [l'hydrogène](#)
- [l'hélium](#)
- [le lithium](#)
- [le carbone](#)
- [l'azote](#)
- [l'oxygène](#)
- [le fluor](#)
- [l'aluminium](#)
- [le chlore](#)
- [le calcium](#)
- [le fer](#)
- [le cuivre](#)
- [l'argent](#)
- [l'iode](#)
- [l'or](#)
- [le mercure](#)
- [l'uranium](#)
- [le plutonium](#)

## les atomes et les molécules

L'atome est le constituant de base de toute chose, le « **grain** » de matière élémentaire. Une molécule, quant à elle, est un **assemblage ordonné**, naturel ou artificiel, de différents atomes. Alors qu'il n'existe qu'un peu plus d'une centaine d'atomes différents, le nombre de molécules qui peuvent être assemblées semble infini.

Les molécules sont partout, de l'air que nous respirons aux objets que nous fabriquons, en passant bien sûr par les êtres vivants dont elles sont les « **briques élémentaires** ».

## LES ATOMES ET LEURS STRUCTURES ÉLECTRONIQUES

Il est possible de comparer la structure d'un atome à celle du Système solaire : le **noyau de l'atome** se trouve au centre (comme le Soleil), tandis qu'à sa périphérie gravitent les **électrons** (comme les planètes). Chaque type d'atome (ou **élément chimique**) possède un nombre fixe d'électrons (et de protons) : c'est le **nombre de charge** ou **numéro atomique** (noté **Z**). L'atome d'hydrogène ne possède par exemple qu'un seul électron, tandis que l'atome d'oxygène en possède huit. En 2003, l'élément chimique le plus lourd est l'ununhexium (c'est un élément radioactif créé artificiellement dans des accélérateurs de particules), de numéro atomique 116 (soit 116 protons).

Les électrons d'un atome s'organisent par **couches électroniques** successives autour du noyau. Chaque couche électronique se situe à une certaine distance du noyau et ne peut contenir qu'un nombre limité d'électrons : 2 pour la première couche, 8 pour la deuxième, 18 pour la troisième... Les électrons se répartissent des couches les plus proches vers les plus éloignées du noyau.

Le **tableau périodique des éléments** (ou **classification périodique des éléments**) illustre cet agencement particulier des électrons de chaque élément : dans chaque case du tableau se trouve un élément chimique, dont on peut connaître le nombre de couches électroniques ainsi que le nombre d'électrons se trouvant sur la couche électronique la plus éloignée du noyau. Cette couche externe est appelée **couche de valence**.

## LES MOLÉCULES ET LES LIAISONS CHIMIQUES

Les atomes ont une tendance naturelle à **remplir leurs couches électroniques externes** pour augmenter leur stabilité. Ainsi, ils sont souvent amenés à mettre en commun, avec d'autres atomes, certains des électrons (dits **électrons de valence**) de leurs couches externes. La **mise en commun de**

**deux électrons de valence** entre deux atomes constitue une liaison forte appelée **liaison de covalence** : les deux atomes liés forment alors une **molécule**, c'est-à-dire un **assemblage électriquement neutre d'atomes**.

Selon sa structure électronique, un atome peut réaliser une ou plusieurs liaisons covalentes avec un ou plusieurs atomes. Ainsi la molécule d'eau, de formule chimique  $H_2O$ , est-elle constituée d'un atome d'oxygène (O) lié à deux atomes d'hydrogène (H) par deux liaisons covalentes simples.  $H_2O$  est une molécule triatomique, c'est-à-dire qu'elle est constituée de trois atomes.

Il existe également de très grosses molécules (naturelles ou artificielles) pouvant comporter des millions d'atomes : ce sont les **macromolécules**. La plupart d'entre elles sont **synthétisées** (fabriquées artificiellement) par l'**industrie chimique**, comme les plastiques (plexiglas, polyester, etc.) ou les textiles (Nylon, Tergal, etc.). En revanche, la molécule d'ADN est une macromolécule biologique, dont la longueur est proche du millimètre (pour l'ADN humain). C'est la molécule clé de toute forme de vie sur Terre : elle permet notamment de stocker et de transmettre l'information génétique au cœur des cellules de chaque être vivant.

## Les réactions chimiques

Une réaction chimique est une **transformation de matière**, c'est-à-dire une réorganisation des molécules, atomes ou ions qui participent à la réaction.

### LE PROCESSUS D'UNE RÉACTION CHIMIQUE

Au cours d'une réaction chimique, **des liaisons chimiques sont rompues et d'autres sont créées** : une réaction chimique permet donc de fabriquer de nouveaux composés à partir d'éléments simples ou de scinder des composés en éléments simples.

Les produits de départ sont appelés les **réactifs** et les produits obtenus après réaction sont appelés les **produits de réaction**.

## LES ÉQUATIONS-BILANS

On décrit les réactions chimiques par des équations (dites **équations-bilans**) dans lesquelles apparaissent les **formules des espèces chimiques initiales et finales**.

### Les réactions complètes

Lorsqu'une réaction est **complète**, elle s'exprime dans l'équation-bilan par une flèche orientée de gauche à droite, située entre les formules des réactifs de départ et celles des substances formées. Dans ce cas, la réaction est **irréversible**, ce qui signifie qu'une fois que les produits sont formés, on ne peut pas revenir en arrière.

Par exemple, quand on fait brûler du charbon de bois, le carbone (de symbole chimique C) qui constitue le charbon réagit avec l'oxygène de l'air (O<sub>2</sub>) pour donner du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>). Cette réaction chimique est représentée par l'équation-bilan suivante :  $C + O_2 \rightarrow CO_2$

C et O<sub>2</sub> sont les réactifs et le CO<sub>2</sub> est le produit de la réaction ; la flèche indique le sens de la réaction.

### Les réactions limitées

Au contraire, lorsqu'une réaction est **limitée**, elle conduit à un **équilibre chimique**, et cela s'exprime par deux flèches de sens opposés. La réaction est alors **réversible** et les produits de départ peuvent se reformer. Par exemple, l'équilibre ionique de l'eau s'écrit :  $H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$

## LES DIFFÉRENTS TYPES DE RÉACTIONS CHIMIQUES

Les réactions chimiques ne se produisent pas seulement en laboratoire ; elles se déroulent aussi sans l'intervention des chimistes (photosynthèse des plantes), dans la vie quotidienne (rouille du fer, cuisson des aliments) ou dans notre organisme (digestion, respiration).

Parmi les réactions chimiques les plus courantes, on peut citer les réactions d'oxydoréduction, la combustion ou la corrosion. On peut aussi citer les réactions qui font intervenir des **acides et des bases**, ou les réactions de **précipitation** dans lesquelles se forme un **précipité**, c'est-à-dire un composé insoluble en solution.

## Les réactions d'oxydoréduction

Les **réactions d'oxydoréduction** représentent environ les trois quarts des réactions chimiques dans la nature.

Au cours d'une réaction d'oxydoréduction, deux réactions se produisent simultanément : l'**oxydation d'un réducteur** (espèce chimique qui cède des électrons) et la **réduction d'un oxydant** (espèce chimique qui capte des électrons). Un oxydant et son réducteur associé forment un couple oxydant/réducteur, appelé **couple rédox**.

Une réaction d'oxydoréduction met en jeu deux couples rédox qui échangent des électrons. Une telle réaction se produit par exemple dans les **piles** et les **batteries**.

## La combustion

Une **combustion** est une réaction chimique dans laquelle une substance (le **combustible**) réagit avec l'oxygène de l'air (le **comburant**), en dégageant de la chaleur. La combustion intervient entre autres dans les **moteurs à explosion** et les **chaudières**.

Pour qu'une combustion ait lieu, il faut de la chaleur (par exemple la flamme d'une allumette ou d'un bec Bunsen, le Soleil, etc.), un comburant (l'oxygène) et un combustible

(bois, essence, gaz, métaux, etc.). Lors d'une combustion, des électrons sont échangés : l'oxygène joue le rôle d'un oxydant (accepteur d'électrons) et le combustible joue le rôle d'un réducteur (donneur d'électrons) ; ainsi, **une combustion peut être considérée comme une réaction d'oxydoréduction.**

Un exemple spectaculaire de combustion est le **feu d'artifice**. Le mélange explosif (ou pyrotechnique) contient un composé oxydant (nitrates, chlorates, perchlorates) très inflammable qui libère de l'oxygène, et un composé réducteur (habituellement du soufre et du carbone ou des métaux comme le silicium, le bore, le magnésium et le titane) qui capte l'oxygène et sert de combustible. La réaction commence par le transfert d'électrons du combustible (réducteur) vers l'oxydant. La réaction chimique s'accompagne d'une **détonation** (ou **déflagration**), d'un **dégagement de chaleur** et de l'**émission de lumière**. Les couleurs vives sont apportées par les métaux (en poudre) qui brûlent en émettant une flamme colorée : par exemple, la combustion du magnésium donne une lumière blanche très vive, le baryum une lumière verte, le strontium une lumière rouge, etc.

## La corrosion

La **corrosion** est une réaction chimique qui se produit principalement **entre un métal (ou un alliage) et un fluide (liquide ou gaz)**. En effet, presque tous les métaux ont un point commun : ils absorbent l'oxygène de l'air et forment des oxydes. Dans le cas du fer, l'apparition de taches de **rouille** (oxyde de fer) — de couleur typique rouge foncée — correspond à une réaction chimique : l'oxydation du fer par l'oxygène de l'air.

## LA CINÉTIQUE CHIMIQUE

La cinétique chimique étudie les **vitesse de réaction** et permet de mesurer le temps nécessaire à la réalisation d'une réaction chimique.

Plusieurs paramètres, comme la **température** et la **pression**, entrent en compte dans la vitesse d'une réaction. En effet, la chaleur permet de rompre les liaisons chimiques entre les atomes et accélère la réaction. Par exemple, la cuisson des aliments est accélérée si la température augmente.

On peut aussi utiliser des **catalyseurs** pour modifier la vitesse d'une réaction chimique, comme ceux incorporés dans le **pot catalytique** des automobiles pour augmenter la transformation des gaz polluants en composés non nocifs.



## une réaction de précipitation

Au cours d'une réaction de précipitation, il se forme un précipité, c'est-à-dire un composé insoluble en solution. Par exemple, lorsque l'on mélange les solutions incolores d'iodure de potassium (KI) et de nitrate de plomb ( $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ), il se forme un précipité jaune d'iodure de plomb ( $\text{PbI}_2$ ).

Lawrence Migdale/Science Source/Photo Researchers, Inc.

Microsoft ® Encarta ® 2008. © 1993-2007 Microsoft Corporation. Tous droits réservés.

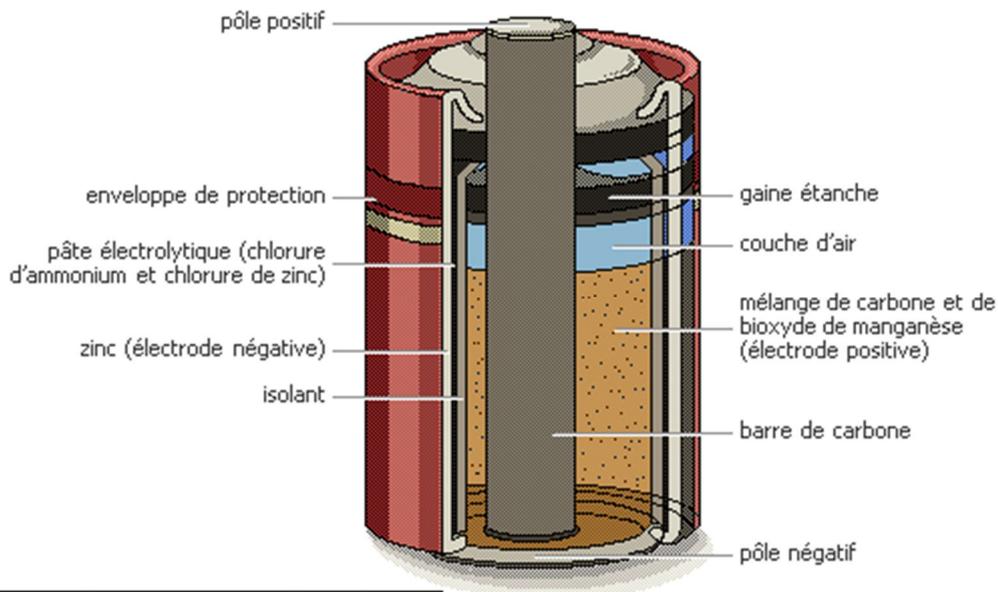


## la combustion du soufre

Le soufre est un solide jaune inodore. Cependant, dans l'air, il brûle avec une flamme bleue, en libérant de l'oxyde de soufre ( $\text{SO}_2$ ), d'odeur suffocante.

Yoav Levy/Phototake NYC

Microsoft ® Encarta ® 2008. © 1993-2007 Microsoft Corporation. Tous droits réservés.



© Microsoft Corporation. Tous droits réservés.

## les réactions chimiques dans une pile sèche

Les éléments fonctionnels d'une pile sèche sont le pôle négatif (une enceinte de zinc qui entoure les matériaux de la pile), le pôle positif (la barre de carbone et le mélange carbone / bioxyde de manganèse qui l'entoure) et la pâte

électrolytique située entre les deux pôles. La pâte électrolytique favorise une réaction chimique (réaction d'oxydoréduction) mettant en œuvre les composants des deux pôles ; cette réaction provoque la circulation d'un courant à travers un conducteur (la barre de carbone) connectant le pôle positif au pôle négatif.

## la pollution de l'air

La pollution de l'air est due à la présence de **polluants** dans les plus **basses couches de l'atmosphère**. Ces polluants sont des **gaz** ou des **particules**.

Les polluants de l'air (ou polluants atmosphériques) peuvent être d'**origine naturelle** ou provenir des **activités humaines** (industries, transports). Ils sont présents en **quantité extrêmement faible**.

Cette pollution est néfaste pour l'environnement et pour tous les êtres vivants. À grande échelle, la pollution de l'air contribue au **réchauffement de la planète par effet de serre**, au **trou de la couche d'ozone** et à la formation de **pluies acides**. Par ailleurs, la pollution atmosphérique a des conséquences directes sur la **santé des hommes** (difficultés respiratoires, etc.), sur le **bétail** et sur les **récoltes**.

## QUELS SONT LES POLLUANTS NATURELS ?

Les polluants d'origine naturelle sont principalement le **dioxyde de soufre** (SO<sub>2</sub>) et le **dioxyde d'azote** (NO<sub>2</sub>). Ils sont dus aux **éruptions volcaniques**, aux **décompositions de matières organiques** (animaux et végétaux morts) et aux **feux de forêt**.

Des **particules en suspension dans l'air** (appelés **aérosols**) peuvent également provenir des éruptions des volcans ou des déserts et être transportées sur de très grandes distances. C'est par exemple le cas des poussières de sable du désert

du Sahara (en Afrique), qui sont transportées par les vents jusqu'en France. Ces polluants naturels sont peu dangereux car ils ne restent pas très longtemps dans l'atmosphère.

## QUELS SONT LES POLLUANTS DUS AUX ACTIVITÉS HUMAINES ?

Les principaux polluants que les hommes rejettent dans l'atmosphère sont : le **dioxyde de carbone** (CO<sub>2</sub>), le **dioxyde de soufre** (SO<sub>2</sub>), le **dioxyde d'azote** (NO<sub>2</sub>), l'**ozone** (O<sub>3</sub>) et des **particules en suspension**. Ces polluants proviennent de la **combustion des énergies fossiles** (charbon, pétrole, gaz naturel), des **industries** (usines métallurgiques et sidérurgiques, incinérateurs de déchets, raffineries de pétrole, etc.) et des **transports routiers**.

Cette pollution a commencé avec l'ère industrielle, au XIX<sup>e</sup> siècle. Cette pollution est présente surtout en ville et entraîne de graves problèmes de santé chez les hommes. La pollution est plus forte les jours où la température est élevée (forte chaleur) et lorsqu'il n'y a pas de vent.

## QUEL EST L'EFFET DE LA POLLUTION DE L'AIR SUR LA SANTÉ DES HOMMES ?

La pollution de l'air provoque principalement des **irritations des yeux**, des **problèmes de vision** et des **difficultés pour respirer**. Cette pollution peut aussi entraîner des **douleurs de poitrine** et des **toux**. Les personnes les plus fragiles sont les jeunes enfants, les personnes âgées et les personnes sensibles (fumeurs, asthmatiques, malades du cœur ou des poumons). Dans les cas extrêmes, des **risques de cancer** sont possibles. En 1952, une forte pollution de l'air a entraîné la mort de 4 000 personnes à Londres (Angleterre).

## COMMENT EST SURVEILLÉE LA QUALITÉ DE L'AIR ?

La qualité de l'air est contrôlée plusieurs fois par jour dans les villes de plus de 100 000 habitants. Les concentrations de quatre polluants sont surveillées : le **dioxyde de soufre**, le **dioxyde d'azote**, l'**ozone** et les **particules en suspension**. La qualité de l'air est définie par un indice appelé **indice ATMO**. Cet indice varie de 1 (très bonne qualité de l'air) à 10 (très mauvaise qualité de l'air).

Il existe deux niveaux d'urgence. Au premier niveau, dit « d'information et de recommandation », il faut prévenir la population. Au second niveau, dit « d'alerte », il faut réduire les activités humaines responsables de la pollution (réductions des limitations de vitesse et de la circulation routière, ralentissement ou arrêt des industries polluantes).

## QUEL EST L'EFFET DE LA POLLUTION DE L'AIR SUR LA TERRE ?

La pollution de l'air ne touche pas seulement la plus basse couche de l'atmosphère (la troposphère). Certains polluants sont rejetés encore plus haut dans l'atmosphère.

L'augmentation des **émissions de gaz à effet de serre** (comme le dioxyde de carbone) au cours du xx<sup>e</sup> siècle a accentué le phénomène naturel d'effet de serre. Ceci est à l'origine du **réchauffement global de la planète**, qui devrait se poursuivre tout au long du XXI<sup>e</sup> siècle.

Par ailleurs, l'utilisation de **chlorofluorocarbures (CFC)** dans les bombes aérosols et les réfrigérateurs a diminué la concentration d'ozone dans l'atmosphère, ce qui a causé le fameux **trou de la couche d'ozone**. L'utilisation des CFC est interdite dans la majorité des pays industrialisés depuis 1995 — les pays en voie de développement ont un délai supplémentaire jusqu'en 2010.

## COMMENT RÉDUIRE LA POLLUTION DE L'AIR ?

Les solutions envisagées pour réduire la pollution de l'air sont :

- la **réduction des transports** et surtout des déplacements en voiture ;
- l'utilisation de systèmes complexes qui limitent la pollution atmosphérique, comme les **pots catalytiques** pour les voitures qui sont obligatoires en Europe depuis 1993, les **filtres atmosphériques** pour les cheminées d'usines, etc.
- le **développement des énergies renouvelables** dites « propres », comme l'énergie du Soleil (**énergie solaire**), du vent (**énergie éolienne**), des marées (**énergie marémotrice**), etc.
- le développement de l'**énergie nucléaire**, mais cette source d'énergie pose d'autres problèmes d'environnement (gestion des déchets nucléaires), ainsi que des problèmes géopolitiques (armes nucléaires) ;
- la poursuite des recherches sur l'**énergie thermonucléaire**, qui consiste à reproduire sur Terre les réactions qui se produisent au cœur des étoiles.



## la pollution de l'air

Mexico, la capitale du Mexique, est l'une des agglomérations les plus peuplées du monde. La concentration industrielle et l'intense circulation automobile y génèrent une importante

pollution atmosphérique.

De nombreuses villes touchées par la pollution atmosphérique ont mis en place des procédures visant à réduire la circulation automobile. Cependant, ce type de mesure n'est pas applicable dans les grandes villes surpeuplées des pays en voie de développement, comme ici à Mexico, où les transports en commun ne sont pas assez développés.

Wesley Bocxe/Photo Researchers, Inc.

Microsoft ® Encarta ® 2008. © 1993-2007 Microsoft Corporation. Tous droits réservés.

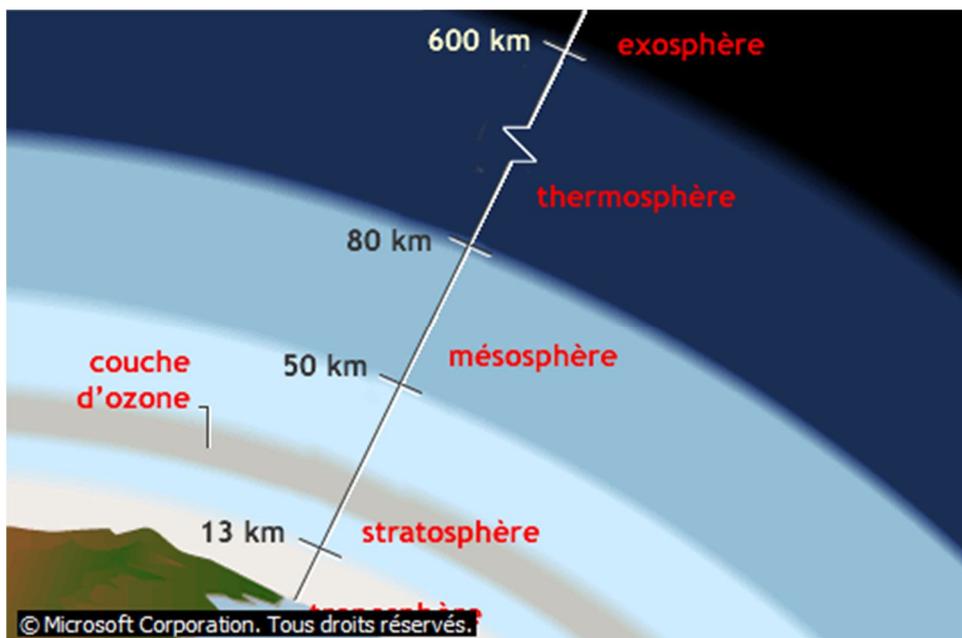


## la pollution automobile

La combustion de l'essence et du gazole par les automobiles et les camions est en grande partie responsable de la mauvaise qualité de l'air dans les grandes villes.

Harold Taylor/Oxford Scientific Films

Microsoft ® Encarta ® 2008. © 1993-2007 Microsoft Corporation. Tous droits réservés.

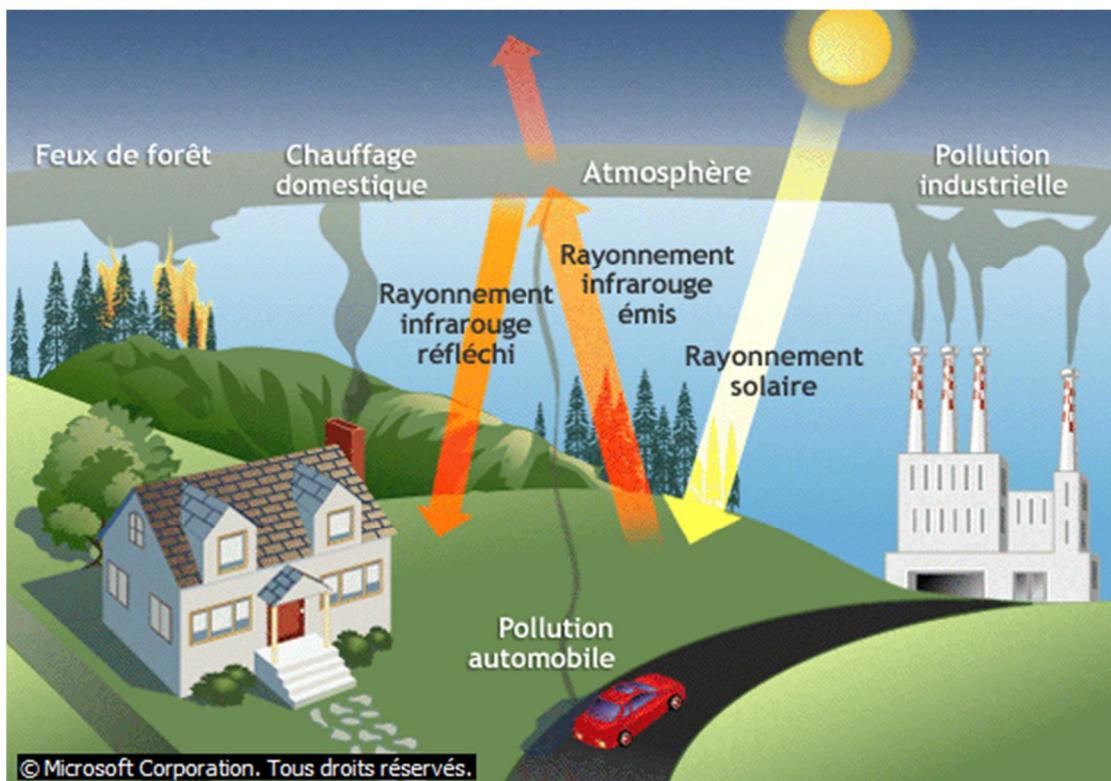


## les couches de l'atmosphère terrestre

L'atmosphère de la Terre est épaisse d'environ 10 000 km. Mais 99 % de sa masse se trouve dans les trente premiers kilomètres. L'atmosphère est divisée en cinq couches superposées ; de la surface terrestre jusqu'à la cime de l'atmosphère, ces couches sont : la troposphère, la stratosphère, la mésosphère, la thermosphère et l'exosphère. Chacune de ces couches a des propriétés bien différentes (épaisseur, composition, température, pression). Ce sont les couches les plus basses de l'atmosphère qui sont les plus touchées par la pollution due aux activités humaines (transports, industries). La couche d'ozone, indispensable à la vie sur Terre, se situe dans la stratosphère (principalement entre 20 et 30 km d'altitude).

© Microsoft Corporation. Tous droits réservés.

Microsoft ® Encarta ® 2008. © 1993-2007 Microsoft Corporation. Tous droits réservés.



## le principe de l'effet de serre

L'effet de serre est un phénomène naturel, mais il est aujourd'hui perturbé par les activités humaines qui rejettent de nombreux gaz dans l'atmosphère. Cette pollution atmosphérique renforce l'effet de serre et entraîne un réchauffement climatique préjudiciable à l'environnement.

Le Soleil émet en permanence un rayonnement (mélange de lumière visible, d'infrarouges et d'ultraviolets) qui se propage dans l'espace. Une partie de ce rayonnement solaire qui traverse l'atmosphère terrestre est absorbée par la surface de la Terre. Celle-ci émet en retour un rayonnement infrarouge (de la chaleur) en direction de l'espace. Cependant, une partie de ce rayonnement infrarouge est renvoyée en direction de la surface terrestre par certains gaz de l'atmosphère appelés « gaz à effet de serre ». Pour schématiser, l'atmosphère et les gaz à effet de serre se comportent comme la vitre qui maintient la chaleur à l'intérieur de la serre d'un jardinier.

© Microsoft Corporation. Tous droits réservés.

Microsoft ® Encarta ® 2008. © 1993-2007 Microsoft Corporation. Tous droits réservés.



Steffen Hauser/Oxford Scientific Films

## la dégradation des forêts par les pluies acides

La pollution par les pluies acides touche principalement les forêts, les lacs, les étangs, mais aussi les habitations et les monuments situés près des zones industrielles. En effet, les pluies acides sont dues aux rejets dans l'atmosphère, par les industries, de gaz polluants contenant des acides nitrique et sulfurique. Ces acides brûlent les feuilles et empoisonnent les poissons. Normalement, les eaux de pluie sont très légèrement acides. Mais l'addition de gaz polluants (contenant du soufre et de l'azote) provenant des activités humaines (industries, transports) rend les eaux de pluie aussi acides que du vinaigre.

Steffen Hauser/Oxford Scientific Films

Microsoft ® Encarta ® 2008. © 1993-2007 Microsoft Corporation. Tous droits réservés.



E.R. Degginger/Bruce Coleman, Inc.

## le pot d'échappement catalytique

En Europe, depuis 1993, les pots d'échappement des voitures doivent être équipés d'un système catalytique destiné à

réduire la pollution automobile. Les pots catalytiques permettent de convertir chimiquement les gaz brûlés nocifs, tel le monoxyde de carbone (CO), en eau (H<sub>2</sub>O) et en dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>). Ces gaz sont moins toxiques mais ils contribuent à l'effet de serre qui réchauffe la planète.

E.R. Degginger/Bruce Coleman, Inc.

Microsoft ® Encarta ® 2008. © 1993-2007 Microsoft Corporation. Tous droits réservés.



Charles Guppton/Stock, Boston/PNI

## les filtres atmosphériques

Les fumées toxiques des usines sont retenues par des filtres atmosphériques, imposés par des lois limitant les taux de rejet de polluants dans l'atmosphère. Malheureusement, dans bien des pays, ces rejets de gaz toxiques sont encore trop importants, entraînant de graves pollutions, en particulier les pluies acides responsables de la destruction de forêts.

## Différentes classes de matériaux

Quels types de matériaux utilise-t-on pour fabriquer les voitures ?

*Réponse :* on utilise des métaux pour la carrosserie, du verre pour les vitres et des matières plastiques pour le reste. Étudions les propriétés et les principales utilisations de ces trois types de matériaux.

### 1. Les métaux

Pour certains d'entre eux, ils sont connus depuis la préhistoire. Les plus utilisés aujourd'hui sont le **fer**, le **zinc**, le **cuivre** et l'**aluminium**. Associés à d'autres constituants, ils forment

alors des **alliages**. Ainsi, le bronze est un alliage de cuivre et d'étain, le laiton est un alliage de cuivre et de zinc, l'acier, un alliage de fer et de carbone, etc.

Une fois polis, tous les métaux présentent un éclat métallique caractéristique : ils peuvent servir de miroir.

Les métaux sont d'**excellents conducteurs d'électricité et de chaleur** ; on les utilise donc pour le transport de l'électricité (cuivre, aluminium) et dans la fabrication d'appareils servant à chauffer les aliments (cuivre, aluminium, acier).

Ils sont **résistants mais déformables** et ne cassent pas lors d'un choc ; l'industrie automobile en fait un grand usage. La plupart des métaux sont attaqués par le dioxygène de l'air et les solutions (corrosion).

Ils sont **facilement recyclables**.

## 2. Le verre

Connu depuis l'Antiquité, le verre fait partie des matériaux céramiques comme la porcelaine, la terre cuite, etc. Il est **transparent et peut être coloré** ; c'est le matériau idéal pour la fabrication de vitres.

À froid, le verre ordinaire est indéformable et se casse lors des chocs.

C'est un **très bon isolant électrique** : les fils électriques sont séparés des pylônes par des isolateurs en verre. C'est également un mauvais conducteur de la chaleur.

Il est très **peu attaqué par les produits chimiques** ce qui permet de l'utiliser pour contenir presque tous les types de solutions acides ou basiques.

Le verre est **recyclable à l'infini**.

## 3. Les matières plastiques

Fabriquées seulement depuis la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, les matières plastiques font partie des matériaux organiques. La plupart d'entre elles sont produites à partir du **pétrole**.

Elles prennent une grande place dans notre vie car elles sont de nature très diverses et leurs utilisations sont multiples :

— le polyéthylène haute densité (PEHD) pour les canalisations, les bouteilles de produits ménagers, etc. ;

— le polyéthylène basse densité (PEBD) pour les sachets, les films plastiques, etc. ;

— le polychlorure de vinyle (PVC) pour les tuyaux d'arrosage, les bouteilles, les cartes de crédit, etc. ;

— le polystyrène (PS) pour les boîtiers de Compact Disc, le mobilier de jardin, etc. ;

— le polyéthylène téréphtalate (PET) pour une large gamme de fibres textiles, les bouteilles, les pellicules, etc.

Toutes ces matières plastiques sont **légères, déformables, résistantes**. Elles peuvent être rigides ou souples et prendre des formes très variées.

Elles **ne conduisent pas le courant et mal la chaleur** : on utilise donc certaines d'entre elles pour l'isolation électrique (gaines des fils électriques) et thermique (manches des casseroles).

Les matières plastiques ne réagissent à froid ni avec l'air ni avec les solutions. Ce sont donc **des matériaux de choix pour le conditionnement des liquides**.

Elles brûlent facilement en dégageant énormément d'énergie et leur combustion peut dégager des **gaz toxiques**. Elles sont pour le moment peu recyclées.

# Les emballages

Un grand nombre de boissons ne sont plus vendues aujourd'hui en bouteille. Quels autres types d'emballages utilisent-on alors ?

*Réponse* : une boisson peut être conditionnée en bouteilles de verre ou de plastique, en boîtes d'aluminium ou de fer blanc (fer recouvert d'étain) et en briques. Quelles sont les propriétés qui justifient le choix de tel ou tel conditionnement ?

## 1. La bouteille en verre

### 1.1. Les avantages du verre

Le verre est transparent, ce qui permet aisément de voir le contenu de la bouteille.  
Les formes des bouteilles peuvent être très diverses car le verre est facile à mouler à chaud.  
Le verre ne réagit pas avec des boissons acides comme certains sodas.  
Il est totalement imperméable et inoxydable, ce qui permet de l'entreposer à l'extérieur.  
Il est recyclable à l'infini sans perdre ses qualités et son coût de recyclage est peu élevé.

### 1.2. Les inconvénients du verre

Il est lourd : une bouteille de verre est environ 10 fois plus lourde qu'une bouteille en plastique. Sa manutention est donc peu aisée.  
Il se casse facilement.  
Il n'est pas dégradable car il ne réagit pas avec le dioxygène de l'air.  
La bouteille se refroidit lentement dans un réfrigérateur car le verre est un isolant thermique.

## 2. La bouteille en plastique

### 2.1. Les avantages du plastique

Le plastique est léger et peu fragile. Sa manutention est donc aisée.  
Le plastique peut être transparent ou non.  
On peut donner aisément aux matières plastiques une forme quelconque.  
Il ne réagit pas avec les boissons acides.  
Son prix est peu élevé.

### 2.2. Les inconvénients du plastique

Il est peu recyclé car son coût de recyclage est élevé.  
Son incinération dégage des gaz toxiques.  
La bouteille se refroidit lentement dans un réfrigérateur car le plastique est un isolant thermique.

## 3. Les boîtes en aluminium ou en fer blanc

### 3.1. Les avantages de ces métaux

Les boîtes sont légères car leur épaisseur est très faible (environ 0,1 mm).  
Elles ne se cassent pas facilement.  
Elles sont magnétiques et sont donc aisées à manipuler à l'aide d'aimants.  
Elles sont facilement recyclables.

Elles se refroidissent rapidement dans un réfrigérateur car les métaux sont de bons conducteurs de chaleur.

### 3.2. Les inconvénients de ces métaux

Le fer et l'aluminium réagissent avec les boissons acides. Pour éviter cela, l'intérieur de la boîte est recouverte d'un vernis.

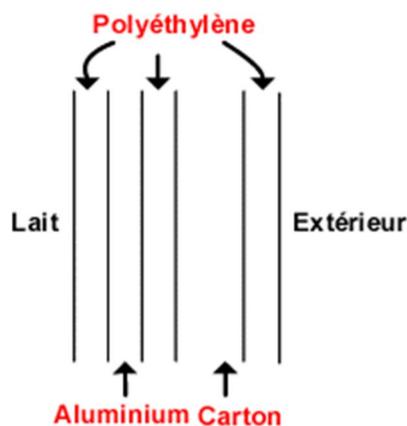
Ils réagissent également avec le dioxygène de l'air. Une couche de peinture est donc appliquée à l'extérieur de la boîte pour la protéger.

Le goût des aliments peut être altéré. Il suffit pour cela qu'il y ait de petits défauts dans les couches de protection.

Leur prix est relativement élevé.

### 4. La brique

Voici une coupe d'une brique de boisson. Elle est composée de cinq couches différentes.



La brique utilise plusieurs matériaux :

- du polyéthylène (matière plastique) pour protéger l'aluminium de l'acidité des boissons et pour rendre imperméable l'emballage (car le carton ne l'est pas) ;
- de l'aluminium pour isoler la boisson de l'air et de la lumière ;
- du carton pour apporter de la rigidité à l'ensemble.

Les avantages de la brique sont ceux de chacun des matériaux qui la constituent. Elle présente l'inconvénient de ne pas être recyclable.

Copyright © 2006 rue des écoles / Magnard-Vuibert. Tous droits réservés.

Microsoft ® Encarta ® 2008. © 1993-2007 Microsoft Corporation. Tous droits réservés.

## Un métal : l'aluminium

L'aluminium est un métal omniprésent dans notre environnement qui tend de plus en plus à remplacer le fer et l'acier dans de nombreuses applications (emballages, bâtiment, matériau de construction navale et aéronautique, etc.).

### 1. L'aluminium dans la nature

L'aluminium est le **troisième élément** le plus abondant dans la croûte terrestre (derrière l'oxygène et le silicium).

Dans la nature, il n'existe cependant pas à l'état pur mais sous forme d'**oxydes**. C'est pourquoi il n'a été isolé qu'au XIX<sup>e</sup> siècle, en 1825, par le chimiste danois Hans Christian Ørsted. Il est présent en grande quantité dans la **bauxite**, un minerai découvert en 1821 aux Baux-de-Provence, en France. La bauxite est constituée d'un mélange d'oxydes (50 % d'oxyde d'aluminium et des oxydes de fer et de silicium). Une teneur élevée en oxyde de fer ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), présent également dans la rouille, donne à la bauxite une couleur rouge caractéristique.

## 2. La production de l'aluminium

### 2.1. Petit historique

En 1854, le chimiste français Henri Sainte-Claire Deville développe un **procédé industriel** pour produire de l'aluminium relativement pur. Jusqu'en 1886, la production onéreuse et peu importante d'aluminium par ce procédé rend ce **métal précieux** au même titre que l'or ou l'argent. Mais cette année-là, Charles Hall aux États-Unis et Paul Héroult en France mettent au point indépendamment un procédé (appelé ultérieurement procédé Hall-Héroult) qui permet de **produire à grande échelle** de l'aluminium pur à partir de bauxite.

### 2.2. La production de l'aluminium à partir de la bauxite

Le procédé Hall-Héroult d'extraction de l'aluminium se fait en deux étapes. À partir de 5 tonnes de bauxite, on extrait une tonne d'aluminium :

— première étape : l'**extraction de l'oxyde d'aluminium** (alumine). Le procédé le plus courant est le procédé Bayer. On mélange la bauxite à de la soude très concentrée. Celle-ci dissout uniquement l'alumine pour donner une solution d'ions sodium et aluminates. Les composés insolubles sont séparés par décantation et filtration. L'alumine est ensuite récupérée à partir de la solution ionique ;

— seconde étape : l'**électrolyse de l'alumine**. En traversant un mélange en fusion d'alumine et de cryolite (fluorure double d'aluminium et de sodium), un courant électrique de très forte intensité (300 000 A) décompose l'alumine en aluminium et dioxygène.

### 2.3. Quelques chiffres sur la production

L'énergie électrique dépensée pour produire une tonne d'aluminium est très grande : environ 14 MWh (la consommation annuelle en électricité de 20 familles).

Depuis le début des années 2000, plus de **20 millions de tonnes** d'aluminium sont produites chaque année dans le monde.

La production mondiale double environ tous les 10 ans.

## 3. Les propriétés et les utilisations de l'aluminium

### 3.1. Les propriétés

C'est un **bon conducteur de chaleur**.

C'est un **bon conducteur électrique**, mais moins bon que le cuivre.

Il est **léger** (3,5 fois plus léger que l'acier).

Il **s'oxyde à l'air** en se recouvrant d'une couche protectrice d'alumine.

Il est attaqué par les acides et les bases.

Il est **facilement recyclable**. Son recyclage permet d'économiser 95 % d'énergie par rapport à sa production.

### 3.2. Les utilisations

Sa bonne conduction électrique et sa légèreté lui permettent d'être utilisé dans le **transport d'électricité**.

Il est utilisé pour **fabriquer des casseroles** car il conduit bien la chaleur.

Sa légèreté et son comportement à l'air lui permettent d'être utilisé dans **l'aviation et l'aéronautique**, ainsi que dans l'industrie **ferroviaire et nautique**.

Il est abondamment utilisé dans les **emballages alimentaires**, mais il ne doit pas être en contact avec des aliments trop acides.

Il remplace l'acier dans les **carrosseries automobiles**, car sa légèreté permet de réaliser des économies d'énergie.

Son utilisation dans le **bâtiment** (fenêtres, vérandas, etc.) est due à son comportement à l'air et son aspect brillant.

## Le recyclage des déchets ménagers

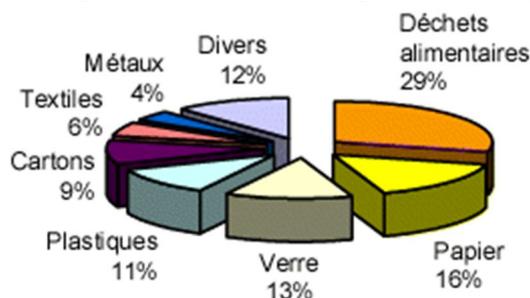
Que deviennent les déchets que nous jetons tous les jours dans nos poubelles ?

*Réponse* : les déchets ménagers sont entreposés dans des décharges ou incinérés, ceux jetés dans des poubelles sélectives ou des conteneurs extérieurs sont destinés à être recyclés.

### 1. La situation actuelle

Au milieu des années 2000, chaque personne produit en France environ 1,5 kg de déchets ménagers par jour, soit environ 10 fois plus qu'il y a cent ans. Cela représente plus de **40 millions de tonnes de déchets ménagers par an** (pris en charge par les communes). Un tiers de ces déchets sont des **emballages**.

Le diagramme ci-dessous représente la répartition en masse des déchets dans nos poubelles.



Environ 50 % de nos déchets s'entassent dans des décharges et seulement 40 % sont incinérés. Moins de 5 % sont recyclés. La **mise en décharge**, si elle a l'avantage de ne pas coûter très cher, pose des **problèmes environnementaux** : les déchets en décomposition produisent des poches de gaz qui peuvent exploser. Les produits de décomposition polluent également les nappes phréatiques.

C'est pourquoi, depuis 2002, ne peuvent être mis en décharge que les déchets ultimes, c'est-à-dire ceux qui ne peuvent être ni recyclés ni incinérés. Entre ces deux solutions, celle qui demande le moins d'investissement est l'incinération.

### 2. L'incinération ou le recyclage ?

#### 2.1. L'incinération

La chaleur produite par la combustion des déchets permet de :

- produire de l'**électricité** que l'usine d'incinération utilise pour son fonctionnement (le surplus est vendu à EDF) ;
- produire de la **vapeur d'eau**, ce qui permet d'alimenter en eau chaude des hôpitaux, des écoles, des immeubles (chauffage urbain), etc.

Les déchets qui n'ont pas été brûlés, comme l'acier (un alliage de fer et de carbone) ou l'aluminium, sont traités et triés pour pouvoir être recyclés.

Cependant, l'incinération de certains matériaux, certaines matières plastiques notamment, produit des **gaz polluants et des substances toxiques** (dioxines). Il faut donc également traiter les produits de combustion pour que des gaz polluants ne soient pas rejetés dans l'atmosphère. Dans tous les cas, l'usine d'incinération rejette de la vapeur d'eau et du dioxyde de carbone qui sont des **gaz à effet de serre**.

## 2.2. Le recyclage

La solution qui a le moins de conséquences néfastes pour l'environnement est le recyclage mais elle impose une **participation active des citoyens** et des **moyens financiers supplémentaires**.

Le recyclage impose le tri des déchets par le consommateur. Des poubelles sélectives, des conteneurs, des déchetteries pour les déchets dangereux ou encombrants sont alors à sa disposition. Étudions le recyclage de quelques matériaux.

## 3. Le traitement du verre

Le verre ne réagit pas avec le dioxygène ; il ne disparaît donc pas au cours du temps. C'est le seul matériau qui soit **recyclable indéfiniment sans perdre aucune de ses qualités**. En France, plus des deux tiers du verre sont maintenant recyclés.

Pour recycler le verre, il faut d'abord qu'il ait été séparé des autres déchets par le consommateur. Arrivé au centre de traitement, il est trié selon sa composition, lavé puis concassé pour donner le calcin. Celui-ci est fondu avant d'être moulé pour produire de nouvelles bouteilles, par exemple.

Le recyclage du verre permet d'**économiser une grande quantité de combustible** nécessaire à la fabrication habituelle du verre. Par la même occasion, il permet de **diminuer les rejets de dioxyde de carbone** (gaz à effet de serre) dans l'atmosphère. Il permet enfin de diminuer la quantité de matières premières à extraire, ce qui préserve l'environnement.

## 4. Le traitement des matières plastiques

Depuis la fin des années 1990, près de 3 millions de tonnes de déchets plastiques sont produits chaque année en France. Or, les matières plastiques ne sont pas très biodégradables car elles ne s'oxydent pas et ne réagissent que très peu avec les solutions. Si on les incinère, elles produisent une grande quantité d'énergie mais certaines d'entre elles dégagent des gaz toxiques. Le recyclage paraît donc être la solution la mieux adaptée.

Pour le moment, seuls trois types de matières plastiques, utilisées notamment pour la confection de bouteilles plastiques, sont recyclés. Il s'agit du **PVC** (polychlorure de vinyle), du **PET** (polyéthylène téréphtalate) et du **PEHD** (polyéthylène haute densité).

Après triage et lavage, ils sont broyés en granules ou en paillettes prêtes à être réutilisées de la manière suivante :

le PVC recyclé permet de fabriquer des tuyaux, des jouets, du mobilier, etc. ;

- le PET recyclé est utilisé pour rembourrer les couettes et les peluches, fabriquer des vêtements en laine polaire, etc. ;
- le PEHD recyclé permet de fabriquer des récipients pour les produits d'entretien, par exemple.

En 2006, **plus 5 milliards de bouteilles en plastique** ont été recyclées en France.

## 5. Le traitement de l'acier et de l'aluminium

Le fer et l'aluminium sont les métaux les plus utilisés dans l'industrie alimentaire : boîtes de conserve, canettes, etc. Ces métaux s'oxydent à l'air mais leur disparition nécessite quand même quelques dizaines d'années.

Pour le moment, ils sont surtout récupérés au niveau des usines d'incinération. On utilise leurs propriétés magnétiques pour les trier : le fer et l'acier (alliage de fer et de carbone) sont attirés par un aimant, tandis que l'aluminium ne l'est pas. Les métaux sont ensuite lavés puis compactés avant d'être insérés dans les cycles de fabrication de l'acier et de l'aluminium.

En 2005, environ 8 millions de tonnes d'acier (soit environ **40 %** de la production annuelle) ont été recyclées. En revanche, seulement **30 % de l'aluminium ménager** a été recyclé. Il est pourtant très intéressant de recycler l'aluminium puisque cette voie utilise 95 % d'énergie en moins par rapport à la voie classique de production à partir de la bauxite.

Copyright © 2006 rue des écoles / Magnard-Vuibert. Tous droits réservés.

Microsoft ® Encarta ® 2008. © 1993-2007 Microsoft Corporation. Tous droits réservés.

# Le courant électrique dans les métaux

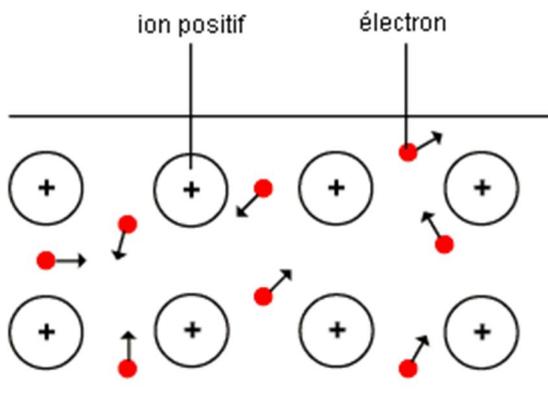
Un courant hydraulique correspond à un déplacement d'eau. Qu'est ce qui se déplace dans le cas du courant électrique dans un métal ?

*Réponse* : comme l'indique son nom, le courant électrique dans un métal est un déplacement d'électrons. Comment s'effectue ce mouvement ?

## 1. Des électrons libres dans les métaux

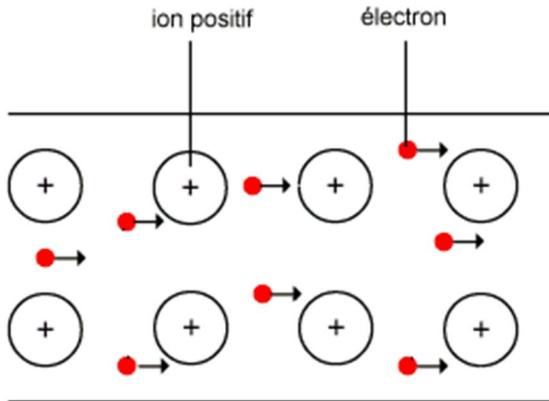
Un atome est composé d'électrons qui tournent autour d'un noyau. Dans un métal, les atomes possèdent chacun un ou plusieurs électrons faiblement liés au noyau. Ces électrons se déplacent facilement d'un noyau à l'autre au sein du métal, ils sont appelés **électrons libres**. Les atomes métalliques qui ont chacun un ou plusieurs électrons en moins sont donc des ions positifs.

Dans un **circuit électrique ouvert**, il n'y a pas de courant. On pourrait donc penser que les électrons libres sont immobiles. Ce n'est pas du tout le cas : les électrons libres se déplacent, mais de façon totalement **désordonnée**.



## 2. Qu'est ce que le courant électrique ?

Quand on ferme le circuit électrique, un courant électrique s'établit si le circuit comporte un générateur. Sous l'action de ce dernier, tous les électrons libres du circuit se déplacent dans le même sens et la même direction.



Dans un circuit électrique, le courant est un **mouvement d'ensemble et ordonné des électrons libres** mis en action par le générateur.

## 3. Le sens du courant

Les électrons chargés négativement sont attirés par la borne positive du générateur ; c'est d'ailleurs pour cette raison qu'ils se déplacent. Ils se déplacent donc de la borne « - » vers la borne « + » du générateur. Nous savons pourtant que le **sens conventionnel** du courant est le sens opposé : **de la borne « + » vers la borne « - »** du générateur. D'où vient cette contradiction ?

Pour trouver l'explication, il faut revenir à **l'histoire de l'électricité**. En effet, après l'invention par Alessandro Volta de la pile en 1800, les scientifiques se rendent compte que quelque chose se déplace dans les circuits électriques. Ils ne savent pas vraiment ce qui se déplace ni dans quel sens puisque l'électron n'a été découvert qu'en 1897. Par analogie avec le courant hydraulique qui se déplace toujours du haut vers le bas, les scientifiques ont décidé, par convention, que le courant se déplaçait de la borne « + » vers la borne « - » du générateur. Avec la découverte de l'électron, ils se sont aperçus que leur choix n'était pas le bon mais, comme l'habitude avait été prise, on travaille toujours de nos jours avec le sens conventionnel du courant et non avec son sens réel qui est celui des électrons.

## 4. La vitesse de déplacement des électrons

Lorsqu'on allume une lampe à incandescence, la lumière jaillit instantanément. On peut donc penser que la vitesse des électrons libres dans le circuit est très grande. Il n'en est rien : la vitesse moyenne d'un électron dans un circuit est de l'ordre de quelques millimètres par minute. Comment expliquer alors que l'allumage soit instantané ?

Pour le comprendre, il faut de nouveau rappeler que le courant est un mouvement d'ensemble des électrons libres du circuit. Cela signifie que, dès que l'on ferme le circuit, tous les électrons libres se mettent en mouvement pratiquement ensemble. **La mise en mouvement est très rapide** (elle s'effectue à une vitesse proche de celle de la lumière, soit environ 300 000 km/s) mais **le mouvement de chaque électron est très lent**.

# Le courant électrique dans les solutions

Utiliser un appareil électrique dans un bain est extrêmement dangereux car l'eau est très conductrice. Mais comment le courant électrique peut-il circuler dans l'eau ?

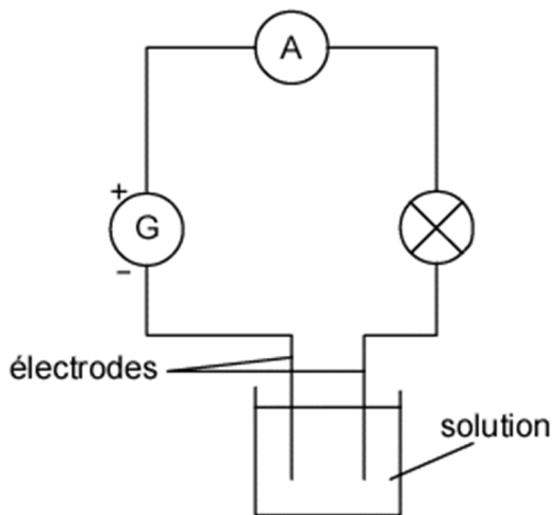
*Réponse* : si l'eau était totalement pure, elle ne conduirait pas le courant électrique. Ce sont donc certaines substances présentes dans l'eau qui permettent la conduction du courant.

Quelles sont les propriétés de ces substances ?

## 1. Quelles solutions sont conductrices ?

Pour le savoir, réalisons l'expérience suivante.

*Protocole* : à l'aide du montage ci-dessous, nous comparons la conduction de trois liquides : l'eau distillée, l'eau du robinet sucrée et l'eau du robinet salée. La lampe ne s'allume que si le courant est suffisamment intense.



*Observation* : nous constatons que la lampe s'allume en utilisant de l'eau salée. L'intensité du courant est alors suffisante pour allumer la lampe (environ 250 mA).

En revanche, dans l'eau distillée, l'intensité du courant est très faible (environ 1 mA) et dans l'eau sucrée, elle est encore trop faible (environ 10 mA) pour permettre à la lampe de briller.

*Interprétation* : nous savons que les molécules de sel se dissocient en ions lorsqu'elles sont dissoutes dans l'eau.

L'autre solution, l'eau sucrée, ne contient que très peu d'ions ; en effet, les molécules de sucre ne se dissocient pas en ions lorsqu'elles sont dissoutes.

Dans une solution ionique comme l'eau salée, ce sont donc les ions qui permettent le passage du courant : **plus la solution contient d'ions, plus la solution ionique est conductrice.**

*Remarque* : des eaux ne contenant pas d'ions ne sont pas forcément des eaux pures ; elles peuvent contenir d'autres molécules (ou atomes) que des molécules d'eau, notamment des gaz dissous (dioxyde de carbone, azote, etc.) et des substances organiques également sous forme dissoute (pesticides, etc.).

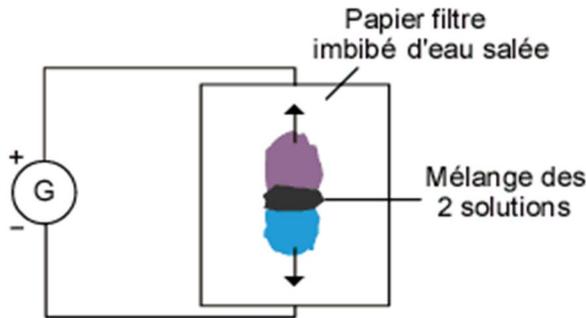
## 2. Dans quel sens se déplacent les ions ?

Certaines solutions ioniques colorées doivent leur couleur à la présence d'ions particuliers. Ainsi, une solution bleue de sulfate de cuivre de formule ( $\text{Cu}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$ ) doit sa couleur à la présence des ions cuivriques  $\text{Cu}^{2+}$ , tandis qu'une solution de permanganate de potassium de formule ( $\text{K}^+ + \text{MnO}_4^-$ ) est violette du fait de la présence des ions permanganates  $\text{MnO}_4^-$ .

Pour connaître le sens de déplacement des ions, réalisons l'expérience suivante en utilisant ces solutions ioniques colorées.

*Protocole* : on dépose sur une feuille de papier filtre imbibée d'eau salée un mélange des deux solutions colorées précédentes et on soumet cette feuille à la tension d'un générateur.

*Observation* : on constate que les couleurs bleue et violette se séparent : le bleu se déplace vers la borne « - » du générateur, tandis que le violet se déplace vers la borne « + » du générateur.



*Interprétation* : la couleur bleue est due aux ions cuivriques  $\text{Cu}^{2+}$ , ions positifs, qui se déplacent **vers la borne « - » du générateur**, c'est-à-dire dans le sens conventionnel du courant. Au contraire, la couleur violette est due à des ions négatifs, les ions permanganates  $\text{MnO}_4^-$ , qui se déplacent **vers la borne « + » du générateur**.

Copyright © 2006 rue des écoles / Magnard-Vuibert. Tous droits réservés.

Microsoft ® Encarta ® 2008. © 1993-2007 Microsoft Corporation. Tous droits réservés.

# L'atome : historique et description du modèle

La plage est constituée de milliards de petits grains de sable. Est-ce ainsi qu'elle nous apparaît, vue du haut d'une falaise ?

*Réponse* : vue d'en haut, la plage paraît faite d'un seul bloc. Pour la matière, c'est un peu la même chose ; on ne voit pas avec nos yeux les grains dont elle est constituée. Comment appelle-t-on ces grains de matière ?

## 1. L'histoire de l'atome

### 1.1. La naissance de l'idée d'atome

Au <sup>v</sup> siècle av. J.-C., le savant grec **Leucippe**, puis son élève **Démocrite** ont l'intuition que toute matière est constituée de petits grains invisibles et insécables qu'ils appellent atomes. Comment leur est venue cette idée ?

Tout comme une plage qu'on observe du haut d'une falaise, l'aspect granulaire de la matière n'est pas perceptible mais il leur est apparu nécessaire. Voici leur raisonnement : imaginons que nous divisions un matériau en des morceaux de plus en plus petits, il arrive forcément un moment où les morceaux obtenus **ne peuvent plus être divisés**. Sinon cela signifierait que la matière est divisible à l'infini et qu'elle est donc composée à partir de rien !

Ces morceaux qu'on ne peut plus diviser sont les composants ultimes de la matière : les atomes (du grec *atomos* : qu'on ne peut diviser). D'autres philosophes grecs contemporains proposent une conception de la matière totalement différente.

## 1.2. La théorie des quatre éléments

Pour **Empédocle** et **Aristote**, la matière est un mélange de quatre éléments primordiaux : **l'eau, l'air, la terre et le feu.**

Apparemment moins philosophique que la théorie atomistique de Leucippe et Démocrite, cette théorie semble se fonder sur des faits plus concrets : un matériau est plus léger qu'un autre car il contient plus d'air ; lorsqu'un objet brûle, c'est le feu qu'il contient qui s'échappe ; etc. Ces idées prévaudront pendant plus de vingt siècles !

## 1.3. La renaissance de la théorie atomique

Ce n'est qu'au début du XVIII<sup>e</sup> siècle que la théorie d'Aristote est battue en brèche par les travaux du chimiste français **Antoine deLavoisier** et les observations du chimiste anglais **JohnDalton**. Ce dernier réintroduit la notion d'atome en s'appuyant sur des faits expérimentaux.

À cette époque, les chimistes se sont aperçus que les matériaux réagissent toujours dans des **proportions bien définies**. Ainsi, 1 g d'hydrogène (ou dihydrogène) réagit toujours avec une masse bien déterminée de 8 g d'oxygène (ou dioxygène) pour former 9 g d'eau. Ces proportions sont toujours les mêmes quelles que soient les masses considérées : 2 g d'hydrogène réagissent donc avec 16 g d'oxygène pour former 18 g d'eau. Pour John Dalton, ce fait n'est possible que si la matière est composée de petits grains indivisibles : ce sont les atomes.

Cependant, la théorie atomique a eu du mal à faire l'unanimité chez les scientifiques et il a fallu plus d'un siècle pour qu'elle soit acceptée par tous.

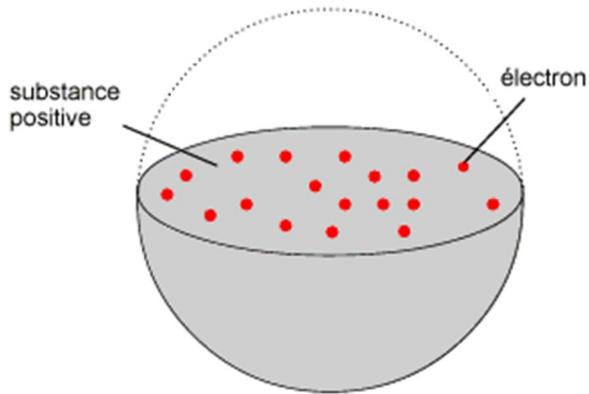
## 1.4. De nouvelles découvertes

En 1897, le physicien britannique **Joseph JohnThomson** découvre des particules chargées électriquement et de masse beaucoup plus petite que l'atome : les **électrons**. L'atome n'est donc pas le composant ultime de la matière.

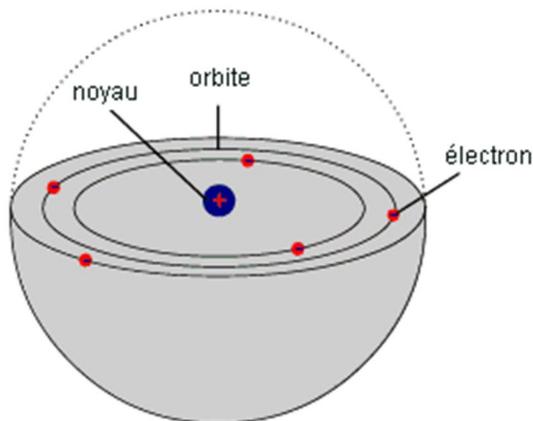
Au même moment, les physiciens français **Henri Becquerel, Pierre et Marie Curie** découvrent la **radioactivité** et le physicien britannique **EnerstRutherford** montre qu'elle provient de la transformation d'un atome en un autre (transmutation). L'atome peut donc se diviser.

## 1.5. Les premiers modèles de l'atome

À la suite de ces découvertes, Joseph John Thomson propose un modèle de l'atome : celui-ci est constitué d'une substance **chargée positivement** dans laquelle baignent des particules **chargées négativement** (les électrons), « comme des raisins dans un cake » (voir le schéma ci-dessous).



Ernest Rutherford découvre en 1911 que l'atome est constitué d'un **noyau central** dans lequel se concentre toute la masse de l'atome. Il en déduit un nouveau modèle de l'atome appelé **modèle planétaire** car les électrons y tournent autour du noyau comme des planètes autour du Soleil.

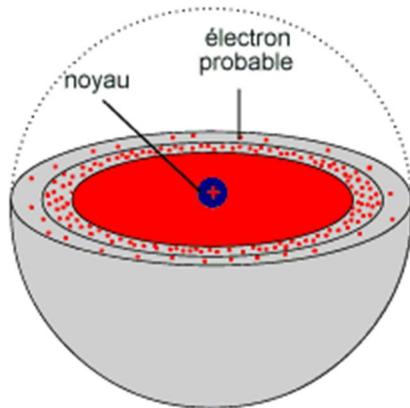


En 1913, le physicien danois **Niels Bohr** complète ce modèle en précisant que les électrons ne peuvent tourner autour du noyau que sur des orbites bien déterminées (quantification). Qu'en est-il aujourd'hui ?

## 2. Le modèle actuel de l'atome

### 2.1. Description du modèle

L'atome est constitué d'un noyau central chargé positivement autour duquel gravitent des électrons chargés négativement. Ces électrons constituent le **cortège électronique**. On a découvert que le noyau contenait d'autres particules appelées **protons** (chargés positivement) et **neutrons** (électriquement neutres), et que l'on ne peut prédire précisément la position d'un électron à un moment donné autour du noyau. L'atome devient flou, de plus en plus difficile à décrire à l'échelle humaine. Toutefois, une fonction mathématique complexe (définie par le physicien autrichien **Erwin Schrödinger**) permet de représenter la région de l'espace autour du noyau où l'électron a la plus grande probabilité de se trouver. Dans le modèle représenté ci-dessous, plus les points sont rapprochés (zone rouge), plus il est probable de trouver un électron dans cette zone.



Le nombre de charges positives portées par les protons du noyau est égal au nombre de charges négatives portées par les électrons : l'atome est **électriquement neutre**.

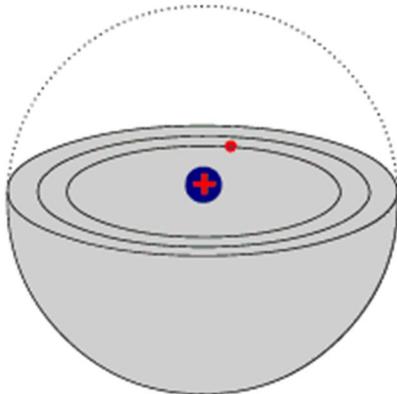
*Remarque* : comme les molécules sont composées d'atomes, elles sont également électriquement neutres.

En théorie, il peut exister dans l'Univers une infinité d'atomes différents. Mais comme les atomes lourds se désintègrent très rapidement, les physiciens n'ont pu mettre à jour qu'un peu plus d'une centaine d'atomes différents. Comment ce modèle, permet-il de les différencier ?

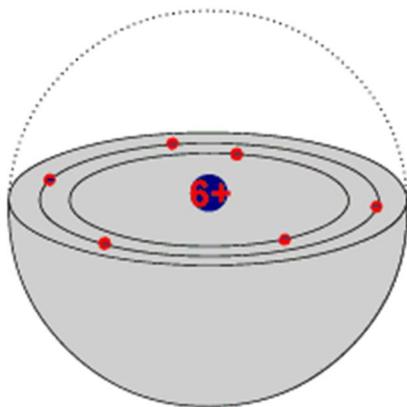
## 2.2. Un peu plus d'une centaine d'atomes différents

Quel que soit le type d'atomes considéré, les électrons sont tous identiques : ils ont tous la **même masse** et sont tous porteurs de la plus petite charge électrique connue, appelée la **charge élémentaire**.

Un atome de carbone diffère d'un atome d'hydrogène par le **nombre d'électrons** qui gravitent autour de son noyau. En effet, l'atome d'hydrogène possède 1 seul électron tandis que l'atome de carbone en possède 6.



L'atome d'hydrogène ne compte qu'un seul électron et son noyau porte une seule charge « + » (un seul proton).



L'atome de carbone compte 6 électrons et son noyau porte 6 charges « + » (6 protons). Les différents types d'atomes se différencient donc par leur nombre d'électrons mais aussi leur nombre de protons puisque l'atome est électriquement neutre.

### 2.3. Quelques ordres de grandeur

Donnons quelques valeurs numériques :

- la masse d'un électron :  $9,1 \times 10^{-31}$  kg ;
- la masse d'un noyau atomique : de  $10^{-27}$  à  $10^{-25}$  kg ;
- le diamètre d'un noyau : de l'ordre de  $10^{-15}$  m ;
- le diamètre d'un atome : de l'ordre de  $10^{-10}$  m.

Quelles conclusions pouvons-nous en tirer ?

Si nous comparons le diamètre d'un noyau à celui d'un atome, nous constatons que **l'atome est environ 100 000 fois plus grand que le noyau** : si le noyau était un petit pois de 1 cm de diamètre, l'atome tiendrait dans une sphère de 1 km de diamètre ! Comme la masse des électrons est très petite devant celle du noyau, cela signifie que **la masse de l'atome est concentrée à 99,97 % dans son noyau**.

Toute la masse de l'atome étant quasiment concentrée dans le noyau et l'atome étant beaucoup plus grand que son noyau, le reste de l'atome n'est donc constitué que de vide. Si on enlevait le vide de tous les atomes de la Terre, celle-ci tiendrait dans une sphère de 150 m de rayon (c'est d'ailleurs, à peu près, l'état dans lequel se trouve la matière dans les étoiles dites étoiles à neutrons).

### 2.4. L'observation des atomes

Avant 1981, il était totalement impossible de visualiser un atome car les microscopes ne permettaient de voir que des détails de l'ordre de  $10^{-6}$  m.

Le **microscope à effet tunnel**, inventé cette année-là, ne permet pas de les voir directement mais il permet de recréer des images à trois dimensions des atomes de la surface d'un échantillon.

Copyright © 2006 rue des écoles / Magnard-Vuibert. Tous droits réservés.

Microsoft ® Encarta ® 2008. © 1993-2007 Microsoft Corporation. Tous droits réservés.

# La combustion des métaux et la réaction chimique

D'où proviennent les gerbes d'étincelles dans un feu d'artifice ?

*Réponse* : certains matériaux en poudre, notamment les métaux, brûlent en créant des gerbes d'étincelles. Dans quelles conditions le fer brûle-t-il ? Qu'en est-il des autres métaux ?

## 1. La combustion du fer

### 1.1. Le fer brûle-t-il dans n'importe quelles conditions ?

Si nous plaçons une lame de fer dans la flamme d'un bec Bunsen, elle rougit mais ne brûle pas. En revanche, le fer sous forme de paille ou de poudre de fer brûle sans aucun problème dans cette même flamme.

Il faut donc que le fer soit sous forme **de poudre ou de fil très fin** (on dit qu'il est dans un état divisé) pour pouvoir brûler. Ce résultat s'applique à tous les autres métaux.

### 1.2. La combustion du fer dans l'air

Qu'observons-nous lorsque nous brûlons de la paille de fer dans l'air ?

*Protocole* : plaçons une coupelle contenant de la paille de fer sur une balance. Enflammons-la à l'aide d'une pile électrique.

*Observation* : la paille de fer de couleur gris clair brûle. Au fur et à mesure de la combustion, la masse indiquée par la balance augmente. À la fin de la combustion, le corps obtenu est bleu nuit.

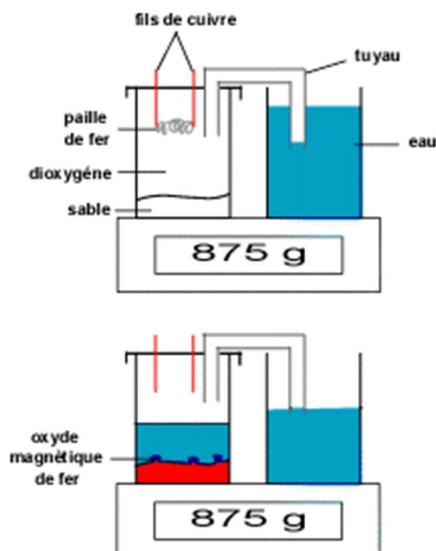
*Interprétation* : vu le changement de couleur, ce corps n'est plus de la paille de fer. En outre, il a une masse supérieure à la paille de fer car il est le produit de la réaction chimique entre le fer et l'un des composants de l'air, probablement du dioxygène.

### 1.3. La combustion du fer dans le dioxygène

Pour vérifier notre hypothèse, réalisons la combustion du fer dans du dioxygène pur.

*Protocole* : brûlons la paille de fer à l'aide du montage qui suit. La paille de fer est enflammée en branchant les bornes d'une pile aux fils de cuivre. Du sable, au fond du bocal, permet d'éviter que celui-ci ne se brise lors de la projection de particules incandescentes.

*Observation* :



Le fer brûle vivement en dégageant de nombreuses étincelles. Au fur et à mesure de la combustion, de l'eau est aspirée dans le bocal où se produit la combustion. Il apparaît au fond

du bocal des petites boules bleu nuit. La masse totale du dispositif expérimental n'a pas varié durant toute l'expérience.

*Interprétation* : le fer a réagi avec le dioxygène. Sa disparition est prouvée par le fait que l'eau prend sa place dans le bocal. À la fin de la combustion, un solide bleu nuit, s'est formé au fond du bocal : c'est de l'**oxyde magnétique de fer**, de formule chimique  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , une substance attirée par les aimants. Comme il s'agit d'une réaction avec du dioxygène, cette combustion est une réaction chimique d'**oxydation**.

Lors de cette réaction, la masse totale des réactifs (fer et dioxygène) est égale à la masse du produit formé (oxyde magnétique de fer). Il y a donc **conservation de la masse**. Au niveau microscopique, cela signifie que les nombres d'atomes de fer et d'oxygène sont les mêmes avant et après la réaction, même si ces atomes ne forment plus les mêmes corps. Lors d'une réaction chimique, il y a donc **conservation des atomes en nature et en nombre**.

Si les alchimistes du Moyen Âge avaient eu connaissance de cette loi, ils se seraient épargnés bien des efforts : leur rêve de transformer le plomb en or à l'aide de réactions chimiques est rigoureusement impossible. Cette loi s'exprime à l'aide de l'**équation-bilan** de la réaction chimique.

#### 1.4. L'équation-bilan de la combustion du fer

Elle s'écrit en respectant un certain nombre d'étapes et doit être équilibrée afin de respecter la loi de conservation des atomes.

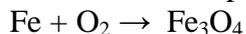
— Première étape : on écrit **les réactifs et produits** de la réaction :

réactifs : fer, dioxygène ; produit : oxyde magnétique de fer.

— Deuxième étape : on écrit le **bilan** de la réaction :

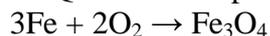
fer + dioxygène  $\rightarrow$  oxyde magnétique de fer

— Troisième étape : on remplace les noms par les **formules chimiques** :



Il y a 1 atome de fer et 2 atomes d'oxygène avant la réaction mais 3 atomes de fer et 4 atomes d'oxygène après la réaction : l'équation-bilan n'est pas équilibrée en nombre d'atomes.

— Quatrième étape : on **équilibre** en nombre d'atomes l'équation-bilan :



Il y a 3 atomes de fer et 4 atomes d'oxygène avant et après la réaction : l'équation-bilan est équilibrée en nombre d'atomes.

*Remarque* : pour que la loi de conservation des atomes soit respectée, il faut donc que 3 atomes de fer réagissent toujours avec 2 molécules de dioxygène pour former 1 molécule d'oxyde magnétique de fer. Dans la réalité, il est évident qu'un nombre bien plus grand de particules sont mises en jeu mais les proportions restent toujours les mêmes : ainsi 3 milliards d'atomes de fer réagiront avec 2 milliards de molécules de dioxygène pour former 1 milliard de molécules d'oxyde magnétique de fer.

## 2. La combustion d'autres métaux dans l'air

### 2.1. La combustion du zinc

Lorsqu'on répand du zinc en poudre dans la flamme d'un bec Bunsen, le zinc brûle dans le dioxygène de l'air en produisant des étincelles et des fumées blanches. Il se forme au fur et à mesure une poudre blanche : c'est de l'oxyde de zinc, de formule  $\text{ZnO}$ .

Le bilan de la réaction est : zinc + dioxygène  $\rightarrow$  oxyde de zinc.

L'équation-bilan équilibrée de la réaction est :  **$2\text{Zn} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{ZnO}$** .

## 2.2. La combustion du cuivre

Lorsqu'on verse du cuivre en poudre dans la flamme d'un bec Bunsen, le cuivre brûle dans le dioxygène de l'air en produisant des étincelles orangées et la flamme devient verte. Il se forme au fur et à mesure une poudre noire : c'est de l'oxyde de cuivre, de formule  $\text{CuO}$ .

Le bilan de la réaction est : cuivre + dioxygène  $\rightarrow$  oxyde de cuivre.

L'équation-bilan équilibrée de la réaction est :  $2\text{Cu} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CuO}$ .

## 2.3. La combustion de l'aluminium

Lorsqu'on répand de l'aluminium en poudre dans la flamme d'un bec Bunsen, l'aluminium brûle avec des gerbes d'étincelles blanches. Il se forme au fur et à mesure une poudre blanche : c'est de l'oxyde d'aluminium appelé alumine, de formule  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Le bilan de la réaction est : aluminium + dioxygène  $\rightarrow$  oxyde d'aluminium.

L'équation-bilan équilibrée est :  $4\text{Al} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Copyright © 2006 rue des écoles / Magnard-Vuibert. Tous droits réservés.

Microsoft ® Encarta ® 2008. © 1993-2007 Microsoft Corporation. Tous droits réservés.

# La combustion des matériaux organiques et ses dangers

Quels sont les gaz d'échappement produits par la combustion explosive de l'essence dans un moteur de voiture ?

*Réponse* : les gaz d'échappement sont nombreux ; ils se composent principalement de vapeur d'eau et de dioxyde de carbone, mais aussi de produits beaucoup plus nocifs comme les particules de carbone, le monoxyde de carbone, les oxydes d'azote, le dioxyde de soufre, etc. Comment se déroule la combustion des matériaux organiques ? Présente-t-elle des dangers ?

## 1. Qu'est ce qu'un matériau organique ?

Les matériaux organiques sont dénommés ainsi parce qu'ils semblaient auparavant n'être produits que par des organismes vivants. Ils peuvent maintenant être obtenus par synthèse chimique.

On distingue donc deux types de matériaux organiques :

— les matériaux organiques **naturels** comme le papier, le bois, le coton, la laine, le pétrole, le charbon, etc. ;

— les matériaux organiques **artificiels** : il s'agit de matières plastiques comme le polystyrène, le PVC, le Nylon, etc., qui sont des produits dérivés de la transformation du pétrole.

Qu'ils soient naturels ou artificiels, ces matériaux sont constitués de molécules contenant **toujours des atomes de carbone et d'hydrogène**, et parfois d'autres atomes tels que l'oxygène, l'azote, le chlore, etc. Les composés organiques qui ne contiennent que des atomes de carbone et d'hydrogène sont des **hydrocarbures**. Ces derniers ont une propriété commune : ils brûlent facilement dans l'air en dégageant beaucoup de chaleur. Certains sont notamment utilisés comme combustibles. Quels sont les produits obtenus lors de la combustion d'un matériau organique ?

## 2. La combustion de matériaux organiques

## 2.1. La combustion de l'alcool

Pour conserver une fondue à bonne température, on place le poêlon sur un réchaud contenant de l'alcool (de formule chimique  $C_2H_5OH$ ) que l'on enflamme. L'alcool brûle avec une flamme bleue.

*Protocole* : reproduisons au laboratoire la combustion de l'alcool dans un réchaud.

*Observation* : plaçons un verre froid au-dessus du réchaud ; de la buée apparaît très vite sur le verre. C'est de la **vapeur d'eau** qui s'est condensée sur les parois froides du verre. Plaçons maintenant au-dessus du réchaud un autre verre que nous avons préalablement rincé à l'eau de chaux ; nous constatons que les gouttes d'eau de chaux qui restent accrochées aux parois se troublent. Il y a donc production de **dioxyde de carbone**. Pour finir, passons une soucoupe dans la flamme bleue ; la soucoupe ne noircit pas, ce qui signifie qu'il n'y a **pas de production de particules de carbone**.

*Interprétation* : la combustion de l'alcool dans l'air est donc une réaction chimique qui produit uniquement de la vapeur d'eau et du dioxyde de carbone. Comme il n'y a que ces deux produits qui apparaissent, la combustion est **complète**.

Nous pouvons donc écrire le bilan de la réaction : **alcool + dioxygène → eau + dioxyde de carbone**.

L'équation-bilan équilibrée s'écrit alors :  $C_2H_5OH + 3O_2 \rightarrow 3H_2O + 2CO_2$ .

## 2.2. La combustion du bois

*Protocole* : mettons de petits morceaux de bois dans une soucoupe et enflammons-les.

*Observation* : ils brûlent avec une **flamme jaune**. Si nous reproduisons les tests déjà réalisés avec l'alcool, nous constatons qu'il y a également un dégagement de **vapeur d'eau et de dioxyde de carbone**. Mais la soucoupe passée dans la flamme se recouvre cette fois-ci d'une pellicule noire constituée de fines **particules de carbone**.

*Interprétation* : la combustion du bois est donc **incomplète**. C'est d'ailleurs pour cette raison qu'il faut ramoner les cheminées tous les ans : les particules de carbone (appelées suie) se déposent sur les parois du conduit de cheminée réduisant ainsi la taille de celui-ci.

L'évacuation des gaz et fumées peut alors être rendue plus difficile et causer dans les cas extrêmes des feux de cheminée ou des intoxications au monoxyde de carbone.

Le bois contient beaucoup de composés et un certain nombre de substances autres que celles mentionnées sont également produites.

Le bilan de la combustion du bois est donc : **bois + dioxygène → eau + dioxyde de carbone + carbone + autres produits**.

## 2.3. La combustion d'une matière plastique : le polystyrène

Le polystyrène expansé (matériau blanc et léger, utilisé principalement comme emballage de protection) brûle dans l'air avec une flamme jaune et des fumées noires importantes se dégagent ; la combustion est donc incomplète. Comme pour les matériaux organiques précédents, il se forme également du dioxyde de carbone et de l'eau.

Le bilan de la combustion du polystyrène peut donc s'écrire :

**polystyrène + dioxygène → eau + dioxyde de carbone + carbone**.

## 2.4. Conclusion

Après avoir fait brûler quelques matériaux organiques, nous constatons que, dans tous les cas, il y a au moins eu **formation de dioxyde de carbone et d'eau**. Les molécules d'eau et de dioxyde de carbone contiennent des atomes de carbone, d'hydrogène et d'oxygène.

D'après la loi de conservation des atomes, il faut donc que les matériaux organiques soient composés de molécules contenant au moins des atomes de carbone et d'hydrogène (les atomes d'oxygène pouvant être apportés par le dioxygène de l'air). Nous retrouvons la définition des matériaux organiques donnée dans la partie 1.

### 3. Les dangers de certaines combustions

Toute combustion de matériau organique peut s'avérer dangereuse quand il n'y a pas assez de dioxygène pour réaliser la combustion complète du matériau. Il peut y avoir alors production d'un **gaz très toxique : le monoxyde de carbone**.

D'autres gaz toxiques peuvent être produits lors de la combustion de certains matériaux organiques :

— du **chlorure d'hydrogène** (de formule HCl) est produit lors de la combustion du polychlorure de vinyle (PVC), utilisé pour certaines bouteilles plastiques ;

— du **cyanure d'hydrogène** (de formule HCN) est produit lors de la combustion du polyuréthane (utilisé pour les mousses de matelas) ou du Nylon (une fibre textile).

Copyright © 2006 rue des écoles / Magnard-Vuibert. Tous droits réservés.

Microsoft ® Encarta ® 2008. © 1993-2007 Microsoft Corporation. Tous droits réservés.

## L'oxydation des métaux à l'air

Pourquoi une voiture qui vient d'être éraflée doit-elle être traitée rapidement ?

*Réponse* : la carrosserie de la voiture est composée d'acier (alliage de fer et de carbone). Une rayure enlève la couche protectrice et laisse le fer à l'air libre ; celui-ci rouille rapidement si rien n'est entrepris. D'où vient la rouille et comment l'éviter ?

### 1. Dans quelles conditions le fer rouille-t-il ?

Certains faits peuvent déjà nous donner quelques indications : un clou en fer laissé à l'air libre rouille plus vite qu'un clou maintenu à l'abri de l'air ; tous les objets en fer situés en bordure de mer rouillent plus vite. Nous sommes donc amenés à suspecter **l'eau, l'air et le sel** comme facteurs de formation de la rouille. Pour vérifier cette hypothèse, réalisons l'expérience suivante.

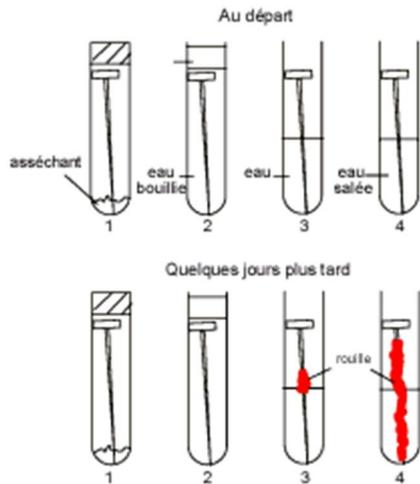
*Protocole* : nous mettons des clous en fer dans quatre tubes à essai et nous les soumettons aux conditions suivantes :

— tube 1 : de l'air rendu sec par la présence d'un asséchant ;

— tube 2 : de l'eau bouillie (elle ne contient plus d'air) ;

— tube 3 : de l'eau ;

— tube 4 : de l'eau salée.



*Observation* : le fer ne rouille pas dans l'air sec ni dans l'eau privée d'air. En revanche, il rouille dans l'air humide, notamment à la surface de séparation de l'eau et de l'air. Le fer rouille abondamment dans l'eau salée.

*Interprétation* : l'apparition de rouille sur le fer nécessite la **présence simultanée d'air et d'eau**. Elle est **plus rapide en présence de sel**.

La rouille est très **friable** et **porreuse** et se détache du fer au fur et à mesure de sa formation. Si rien n'est entrepris pour éviter la corrosion, le fer disparaît totalement.

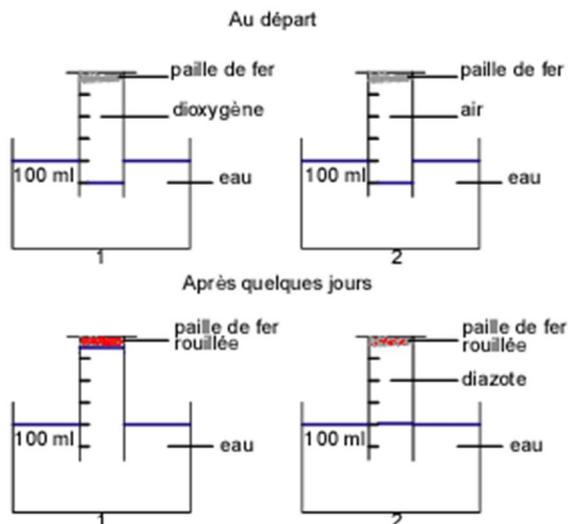
Puisqu'il y a disparition d'une substance (le fer) et apparition d'une nouvelle substance (la rouille), nous sommes en présence d'une **réaction chimique**.

## 2. Quels sont les réactifs présents lors de la formation de la rouille ?

Nous avons vu qu'il s'agissait du fer, de l'air et de l'eau. L'air est un mélange gazeux formé de 80 % de diazote et de 20 % de dioxygène. Est-ce le diazote, le dioxygène ou bien ces deux gaz qui interviennent dans la formation de la rouille ? Pour le savoir, réalisons l'expérience qui suit.

*Protocole* : retournons deux éprouvettes de 100 ml sur une cuve à eau. Dans la première, introduisons de la paille de fer et du dioxygène pur et dans la seconde, de la paille de fer et de l'air.

*Observation* :



expérience 1 : le fer rouille et l'eau remplit quasiment toute l'éprouvette ;

expérience 2 : le fer rouille et l'eau monte de 20 ml.

*Interprétation :*

— dans l'expérience 1, tout le dioxygène a disparu, il a donc réagi entièrement avec le fer pour former de la rouille ;

— dans l'expérience 2, seuls les 20 % de dioxygène présents dans l'air ont disparu. Il reste dans l'éprouvette les 80 % de diazote.

C'est donc **seulement le dioxygène de l'air** qui intervient dans la formation de la rouille. Une réaction chimique dont l'un des réactifs est du dioxygène s'appelle une **oxydation**. Comment éviter cette oxydation dans le cas du fer ?

### 3. Comment protéger le fer ?

Selon le cas, on peut protéger le fer de diverses façons :

— on le recouvre de **peinture, vernis, cire plastique**. Ainsi, la tour Eiffel doit être repeinte tous les 7 ans pour éviter la formation de rouille ;

— on le recouvre d'un **métal** qui s'oxyde moins ou qui ne se désagrège pas à l'air. Les boîtes de conserve sont en fer blanc, du fer recouvert d'étain ;

— on réalise un **alliage**, un mélange entre plusieurs substances qui possèdent des propriétés différentes de celles de chaque substance prise séparément. L'acier inox est un alliage de fer, carbone, nickel et chrome qui, comme son nom l'indique, ne s'oxyde pas à l'air.

### 4. Comment les autres métaux s'oxydent-ils ?

D'autres métaux s'oxydent à l'air libre. On dit qu'ils subissent la **corrosion**. Ainsi, le **cuivre** s'oxyde avec formation d'une substance verdâtre appelée vert-de-gris. La couleur verte caractéristique de la statue de la Liberté est due à cette substance. Le **zinc** et l'**aluminium** s'oxydent également avec formation de substances qui les rendent ternes. Ce sont des **oxydes** : oxyde de zinc et oxyde d'aluminium (également appelé alumine).

Contrairement à la rouille, ces substances sont imperméables et, une fois formées en surface, elles **protègent le reste du métal**.

C'est pourquoi ces métaux sont utilisés abondamment en extérieur :

— le cuivre pour les statues et les toitures de prestige ;

— le zinc pour les gouttières et les toitures ;

— l'aluminium pour les cadres de fenêtre.

D'autres métaux ne s'oxydent pas du tout à l'air : c'est le cas de l'**or**.

Copyright © 2006 rue des écoles / Magnard-Vuibert. Tous droits réservés.

Microsoft ® Encarta ® 2008. © 1993-2007 Microsoft Corporation. Tous droits réservés.

## Les réactions chimiques entre métaux et solutions

Pourquoi les étiquettes des produits ménagers utilisés pour déboucher les éviers portent-elles toujours la mention « ne pas mettre en contact avec l'aluminium » ?

*Réponse :* ces produits contiennent de la soude concentrée qui réagit très fortement avec l'aluminium. Étudions quelques réactions entre des matériaux et des solutions acides ou basiques.

### 1. L'attaque du fer par l'acide chlorhydrique

### 1.1. Expérience

*Protocole* : introduisons dans un tube à essai un peu de limaille de fer, puis ajoutons de l'acide chlorhydrique dont on a préalablement mesuré le pH.

*Observation* : la réaction est vive ; nous observons un dégagement de chaleur et de gaz. À la fin de la réaction, il y a moins de fer dans le tube à essai.

*Interprétation* : une réaction chimique a eu lieu, entraînant la formation de gaz et la disparition de fer. Quel est ce gaz ? D'autres substances ont-elles été produites ?

### 1.2. Mise en évidence des produits formés

Pour mettre en évidence le gaz qui se dégage, on approche une allumette de l'embouchure du tube à essai ; une petite détonation semblable à l'aboïement d'un chien se produit. Elle est caractéristique d'un **dégagement de dihydrogène H<sub>2</sub>**.

À la fin de la réaction, mesurons de nouveau le pH de la solution : il a augmenté. Il y a donc eu disparition d'ions hydrogène H<sup>+</sup>, transformés en dihydrogène.

Prélevons ensuite un peu de la solution obtenue à la fin de la réaction et ajoutons-y quelques gouttes de solution de nitrate d'argent. Un précipité blanc qui noircit à la lumière apparaît et atteste donc la présence d'ions chlorures Cl<sup>-</sup>. Ces ions étaient déjà présents au départ dans l'acide chlorhydrique.

Prélevons encore un peu de la solution obtenue et ajoutons-y quelques gouttes de soude. Un précipité vert apparaît mettant en évidence la présence d'ions fer II, Fe<sup>2+</sup>.

### 1.3. Le bilan de la réaction

En résumé, voici comment se sont comportés les ions pendant la réaction :

- du fer et des ions hydrogène ont disparu ;
- des ions fer II et du dihydrogène sont apparus ;
- les ions chlorures sont présents avant et après la réaction ; ils n'ont donc pas participé à la réaction ; on les appelle des ions spectateurs.

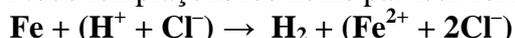
*Remarque* : les ions ferreux (Fe<sup>2+</sup>) et chlorures (Cl<sup>-</sup>) forment une solution ionique de chlorure de fer II. Sa formule chimique est FeCl<sub>2</sub> (Fe<sup>2+</sup> + 2Cl<sup>-</sup>).

Nous pouvons alors écrire le bilan de la réaction chimique :

**fer + acide chlorhydrique → dihydrogène + chlorure de fer II.**

### 1.4. L'équation-bilan de la réaction

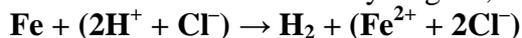
Nous remplaçons les noms par leur formule chimique dans le bilan de la réaction :



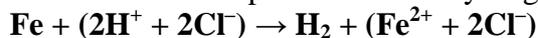
Il faut maintenant équilibrer cette équation bilan, ce qui est difficile à cause des ions.

Procédons par étapes.

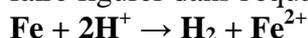
*Première étape* : les ions hydrogène se transforment en molécules de dihydrogène. Pour former une molécule de dihydrogène, il faut qu'il y ait au départ deux ions hydrogène.



*Deuxième étape* : les solutions ioniques étant électriquement neutres, il faut qu'il y ait deux ions chlorures Cl<sup>-</sup> pour deux ions hydrogène H<sup>+</sup>.



*Troisième étape* : les ions chlorures étant des ions spectateurs, il n'est pas nécessaire de les faire figurer dans l'équation bilan.



Cette équation signifie que pour chaque atome de fer qui réagit, il faut deux ions hydrogène. Il se forme alors une molécule de dihydrogène et un ion fer II.

## 2. Autres réactions avec l'acide chlorhydrique

### 2.1. L'attaque d'autres métaux que le fer par l'acide chlorhydrique

L'acide chlorhydrique réagit également avec le zinc et l'aluminium mais ne réagit pas avec le cuivre. Les réactions sont semblables et, comme avec le fer, il y a un dégagement de dihydrogène. Les ions produits ne sont pas les mêmes mais ils sont très faciles à reconnaître avec la soude (formation de précipités blancs) : pour le zinc, des ions zinc  $\text{Zn}^{2+}$  sont produits et pour l'aluminium, ce sont des ions aluminium  $\text{Al}^{3+}$  qui apparaissent.

En respectant les mêmes étapes que précédemment, les équations-bilans équilibrées s'écrivent comme suit.

Réaction entre l'acide chlorhydrique et le zinc :  $\text{Zn} + 2\text{H}^+ + 2\text{Cl}^- \rightarrow \text{H}_2 + (\text{Zn}^{2+} + 2\text{Cl}^-)$  ou plus simplement :  $\text{Zn} + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{H}_2 + \text{Zn}^{2+}$ .

Réaction entre l'acide chlorhydrique et l'aluminium :  $2\text{Al} + (6\text{H}^+ + 6\text{Cl}^-) \rightarrow 3\text{H}_2 + (2\text{Al}^{3+} + 6\text{Cl}^-)$  ou plus simplement :  $2\text{Al} + 6\text{H}^+ \rightarrow 3\text{H}_2 + 2\text{Al}^{3+}$ .

### 2.2. L'attaque d'autres matériaux par l'acide chlorhydrique

L'acide chlorhydrique réagit fortement avec tous les matériaux calcaires (ciment, marbre, etc.). Les géologues l'utilise pour savoir si une roche est calcaire : le dégagement de dioxyde de carbone crée une effervescence à la surface de la roche calcaire.

La plupart des matières **plastiques** ne réagissent pas avec l'acide chlorhydrique (ni avec les autres acides). Certains matériaux textiles comme le Nylon réagissent cependant avec des acides concentrés. Le **verre** ne réagit pas du tout avec les acides. Les matières plastiques et le verre sont donc utilisés pour entreposer les acides.

## 3. Les réactions avec la soude

### 3.1. L'attaque des métaux par la soude

La soude réagit facilement avec l'aluminium. Pour réagir avec le zinc, il faut qu'elle soit suffisamment concentrée.

En revanche, elle ne réagit pas du tout avec le fer ou le cuivre. Cette absence de réaction avec le fer permet d'utiliser la soude pour déboucher les éviers ; certains éviers étant en acier inoxydable ou inox (alliage contenant du fer), il vaut mieux que la soude n'ait aucune action sur le fer !

### 3.2. L'attaque des autres matériaux par la soude

La soude est utilisée pour déboucher les éviers car elle réagit sur certaines matières organiques comme les cheveux, les graisses, les aliments, etc. Elle est, en général, conditionnée dans des flacons en matières plastiques avec lesquelles elle ne réagit pas.

En revanche, la soude très concentrée attaque la surface du verre et la ternit. Les produits pour lave-vaisselle, également très basiques, ternissent aussi les verres à la longue.

Copyright © 2006 rue des écoles / Magnard-Vuibert. Tous droits réservés.

Microsoft ® Encarta ® 2008. © 1993-2007 Microsoft Corporation. Tous droits réservés.

# Les solutions acides et basiques

Que signifie ce pictogramme apposé sur un certain nombre de produits domestiques ?



*Réponse* : il indique que ces produits contiennent des substances corrosives qui attaquent les tissus vivants. Comment savoir si ces substances sont des acides ou des bases ?

## 1. Acide ou basique ?

Pour déterminer l'acidité ou la basicité d'une solution, on utilise soit du **papier indicateur de pH**, soit un **pH-mètre**. La mesure à l'aide d'un papier pH est rapide mais peu précise. L'utilisation d'un pH-mètre donne des résultats beaucoup plus précis mais nécessite le suivi d'une méthode rigoureuse.

Le pH se mesure sur une échelle graduée de 0 à 14 :

- s'il est inférieur à 7, la solution est **acide** ;
- s'il est égal à 7, la solution est **neutre** ;
- s'il est supérieur à 7, la solution est **basique**.

Les milieux biologiques sont en général très sensibles aux variations de pH. Ainsi, chez l'homme, le pH du sang doit être très proche de 7,40 ; si le pH du sang d'une personne s'écarte trop de cette valeur, sa vie est en danger : une valeur trop basse (acidose) plonge la personne dans un coma qui peut être mortel ; une valeur trop haute (alcalose) provoque une tétanie qui peut également entraîner la mort.

Les boissons ou liquides alimentaires ont, en général, un pH acide car elles contiennent des acides : acide citrique dans les sodas, acide acétique dans le vinaigre, acide tartrique dans le vin. Les produits utilisés pour déboucher les éviers ont un pH très basique car ils contiennent une base forte : la soude.

## 2. Comment changer le pH d'une solution ?

Comment rendre un jus de citron moins acide quand on sait que son pH est naturellement de 2 ? Il suffit de le diluer avec de l'eau : plus on ajoute d'eau, moins le jus de citron paraît acide. Plus généralement, **diluer un acide avec de l'eau permet de diminuer son acidité**. En effet, l'eau pure ayant un pH de 7, plus on en ajoute dans une solution acide, plus le pH de cette dernière augmente et se rapproche de 7. Diluer une solution basique avec de l'eau aura le même effet : son pH se rapprochera de 7.

Pour diminuer l'acidité, il existe une autre solution : on peut **ajouter à la solution acide une solution basique**. Ainsi, dans l'estomac, les sucs gastriques permettent de décomposer les aliments : c'est la digestion. Ces sucs ont un pH très acide de l'ordre de 1,5. En général, nous ne ressentons pas cette acidité car les parois de l'estomac produisent une substance, le mucus, qui les protège. Il arrive cependant que l'on ressente des aigreurs d'estomac. Pour les éviter, il suffit de boire une solution de bicarbonate de soude, une solution basique qui diminue l'acidité au niveau de l'estomac.

## 3. Les solutions acides conduisent-elles le courant ?

*Protocole* : mesurons la conduction de solutions d'acide chlorhydrique de plus en plus en diluées.

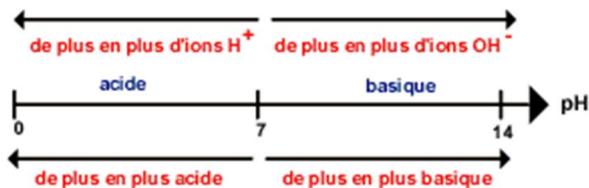
*Observation* : plus la solution est diluée, moins elle conduit le courant.

*Interprétation* : plus une solution conduit le courant, plus elle contient d'ions. On peut en conclure que plus une solution est diluée, plus la concentration en ions de la solution devient faible. Comme l'acidité diminue également avec la dilution, elle dépend donc sûrement de la concentration de certains ions.

#### 4. Quels sont les ions responsables de l'acidité ?

L'acidité d'une solution est due à la présence plus ou moins grande d'**ions hydrogène  $H^+$** . À volume égal, plus une solution contient d'ions hydrogène plus elle est acide et donc plus son pH est faible.

La basicité d'une solution est également due à la présence plus ou moins grande d'un certain type d'ions : les ions **hydroxyles  $OH^-$** . À volume égal, plus une solution contient d'ions hydroxyles, plus elle est basique et plus son pH est élevé.



Copyright © 2006 rue des écoles / Magnard-Vuibert. Tous droits réservés.

Microsoft ® Encarta ® 2008. © 1993-2007 Microsoft Corporation. Tous droits réservés.

## Les ions et les solutions ioniques

Les eaux minérales en bouteille sont toutes différentes. Comment faire pour en choisir une au goût légèrement salé ?

*Réponse* : il faut regarder les indications inscrites sur l'étiquette. Le goût salé est dû à la présence d'ions sodium notés  $Na^+$ . Plus la quantité d'ions sodium est grande, plus l'eau est salée.

#### 1. Les ions dans une eau minérale

L'étiquette d'une eau minérale permet de connaître sa concentration (en mg/l) en minéraux.

Ces derniers sont appelés ions et ils sont souvent désignés par leur formule chimique :

$Na^+$  : sodium,

$Mg^{2+}$  : magnésium,

$Ca^{2+}$  : calcium,

$K^+$  : potassium,

$Cl^-$  : chlorure,

$NO_3^-$  : nitrate,

$SO_4^{2-}$  : sulfate,

$HCO_3^-$  : hydrogénocarbonate.

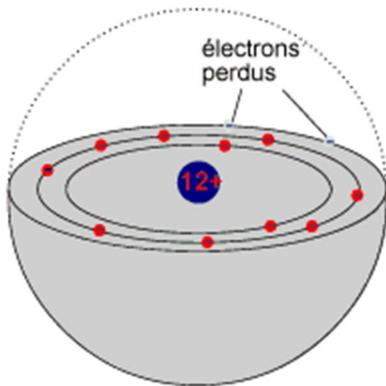
Il existe deux types d'ions : les ions chargés positivement appelés **cations** et les ions chargés négativement appelés **anions**.

#### 2. La charge des ions

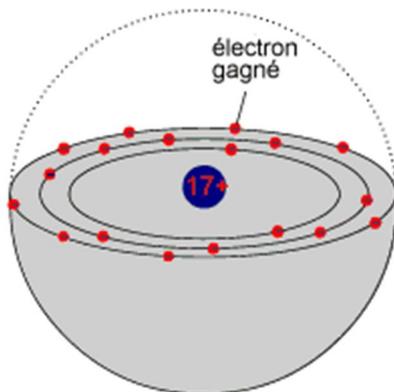
Un atome est électriquement neutre. Par exemple, l'atome de magnésium compte 12 charges positives portées par les protons de son noyau et 12 charges négatives portées par ses 12 électrons.

Un ion, en revanche, est une particule chargée. Par exemple, l'ion magnésium porte 2 charges positives. Il faudrait, en fait, dire que l'ion magnésium compte un excès de 2 charges positives par rapport aux charges négatives. Comment cela est-il possible ?

Dans l'atome de magnésium, 2 électrons tournent autour du noyau sur l'orbite la plus extérieure. Ils sont donc peu liés au noyau et peuvent, sous l'effet de causes diverses, s'échapper de l'atome. Un ion magnésium est un atome de magnésium qui a perdu ses 2 électrons périphériques ; il compte toujours 12 charges positives mais seulement 10 charges négatives. Il possède 2 charges positives en excès, d'où l'écriture  $Mg^{2+}$ . Un ion chargé **positivement** est donc un atome qui a **perdu un ou plusieurs électrons**.



Un ion peut également gagner des électrons, c'est-à-dire des charges négatives. Il possède alors des charges négatives en excès. Ainsi, l'ion chlorure est un atome de chlore qui a gagné 1 électron, d'où l'écriture  $Cl^-$ . Cet ion compte 17 charges positives et 18 charges négatives (voir le schéma ci-dessous). Un ion chargé **négativement** est donc un atome qui a **gagné un ou plusieurs électrons**.



*Remarques :*

Un groupement d'atomes peut également perdre ou gagner des électrons. Par exemple, le groupement composé d'1 atome de soufre et de 4 atomes d'oxygène peut gagner 2 électrons : il compte alors 2 charges négatives en excès et s'écrit :  $SO_4^{2-}$ .

Le nombre de charges positives du noyau reste toujours identique.

### 3. L'origine des ions dans les eaux minérales

Lors de son cheminement sous terre, **l'eau dissout un certain nombre de roches solides** et s'enrichit alors en minéraux. Ces minéraux sont des ions.

Pourquoi ces ions apparaissent-ils ?

Certains solides comme le sel (chlorure de sodium) sont constitués d'ions sodium  $\text{Na}^+$  et d'ions chlorure  $\text{Cl}^-$ ; une fois dans l'eau, ces ions se dissocient aisément et on obtient une solution ionique de formule chimique ( $\text{Na}^+ + \text{Cl}^-$ ). Celle-ci traduit le fait qu'il y a la même quantité d'ions sodium  $\text{Na}^+$  et d'ions chlorure  $\text{Cl}^-$ .

De même, la dissolution du sulfate de sodium dans l'eau fait apparaître, pour chaque molécule de sulfate de sodium dissoute, 1 ion sulfate  $\text{SO}_4^{2-}$  et 2 ions sodium  $\text{Na}^+$ . La formule de la solution chimique est alors ( $2\text{Na}^+ + \text{SO}_4^{2-}$ ).

On constate que ces solutions ioniques contiennent toujours le même nombre de charges positives et négatives : **les solutions ioniques sont électriquement neutres.**

Copyright © 2006 rue des écoles / Magnard-Vuibert. Tous droits réservés.

Microsoft ® Encarta ® 2008. © 1993-2007 Microsoft Corporation. Tous droits réservés.

## La reconnaissance des ions dans une solution

Pour connaître la composition exacte d'une eau minérale, il est nécessaire de l'analyser.

Comment procède-t-on ?

*Réponse* : on utilise d'abord des tests de reconnaissance qui permettent de détecter la présence éventuelle de certains ions, puis on détermine la concentration de ces ions dans la solution.

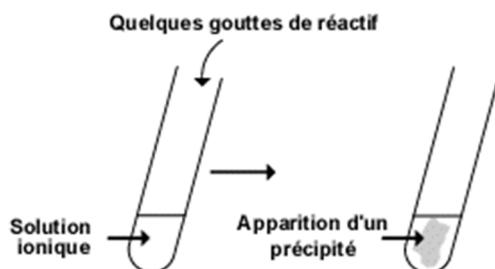
Quels sont les tests permettant de reconnaître les ions ?

### 1. Les tests de reconnaissance

#### 1.1. L'apparition de précipités

Certains ions ne peuvent rester dissous ensemble dans une solution : ils sont **incompatibles en solution**. Lorsqu'on mélange deux solutions contenant deux ions incompatibles, une substance **solide** apparaît : un précipité. Les ions incompatibles s'associent pour former les molécules de ce solide. On peut utiliser cette propriété pour déterminer la présence de certains ions en solution de la façon suivante.

*Protocole* : pour chaque test d'ions, il faut répéter le même protocole. Dans un tube à essai, on verse un peu de solution contenant l'ion à reconnaître. Puis, on y ajoute quelques gouttes du réactif qui contient l'ion incompatible correspondant.



*Observation* : si l'ion à reconnaître est présent, on voit apparaître un précipité. Selon les ions, la couleur du précipité peut être différente.

Ion à reconnaître	Réactif	Couleur du précipité obtenu
fer II : $\text{Fe}^{2+}$	soude	vert
fer III : $\text{Fe}^{3+}$	soude	rouille
cuivre II : $\text{Cu}^{2+}$	soude	bleu turquoise
zinc : $\text{Zn}^{2+}$	soude	blanc
aluminium : $\text{Al}^{3+}$	soude	blanc
chlorure : $\text{Cl}^-$	solution de nitrate d'argent	blanc qui noircit à la lumière

*Remarque* : pour différencier l'ion zinc de l'ion aluminium, il faut réaliser un test complémentaire. On utilise alors comme réactif une solution d'ammoniaque : un précipité blanc apparaît dans les deux cas. Si on ajoute un excès d'ammoniaque, le précipité se dissout dans le cas de la solution contenant l'ion zinc mais pas dans le cas de la solution contenant l'ion aluminium.

## 1.2. Tests à la flamme

Pour déterminer la présence de certains ions, on peut réaliser des tests à la flamme : on trempe un fil de platine dans une solution puis on le passe dans la flamme d'un bec Bunsen. En fonction de la nature de l'ion présent, la flamme prend une **couleur caractéristique**. Ainsi, avec une solution contenant des ions sodium, la flamme est jaune.

## 1.3. Détermination par le pH

En mesurant le pH d'une solution, on peut déterminer la présence de deux ions : les **ions hydrogène  $\text{H}^+$**  et **hydroxyle  $\text{OH}^-$** .

Plus le pH est proche de 0, plus la solution est acide et plus elle contient d'ions hydrogène  $\text{H}^+$ . Plus le pH est proche de 14, plus la solution est basique et plus elle contient d'ions hydroxyles  $\text{OH}^-$ .

## 2. Les ions présents dans la soude et l'acide chlorhydrique

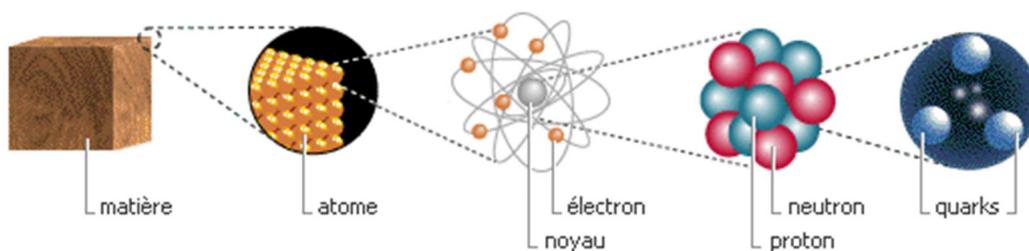
Ces deux solutions sont des solutions ioniques très couramment utilisées. Quels sont les ions qu'elles contiennent ?

Une **solution d'acide chlorhydrique** a un pH très bas : elle contient donc des ions hydrogène  $\text{H}^+$ . Si nous versons dans l'acide un peu de solution de nitrate d'argent, un précipité blanc, qui noircit à la lumière, apparaît, mettant en évidence la présence d'ions chlorures  $\text{Cl}^-$ . L'acide chlorhydrique contient donc des ions hydrogène  $\text{H}^+$  et des ions chlorures  $\text{Cl}^-$ . Sa formule chimique est  $\text{HCl}$  ( $\text{H}^+ + \text{Cl}^-$ ).

Une **solution de soude** a un pH très élevé : elle contient donc des ions hydroxyles  $\text{OH}^-$ . Si nous réalisons un test à la flamme avec cette solution, la flamme émet une lumière jaune : elle contient donc des ions sodium  $\text{Na}^+$ . La soude contient donc des ions hydroxyles  $\text{OH}^-$  et des ions sodium  $\text{Na}^+$ . Sa formule chimique est  $\text{NaOH}$  ( $\text{Na}^+ + \text{OH}^-$ ).

Copyright © 2006 rue des écoles / Magnard-Vuibert. Tous droits réservés.

Microsoft ® Encarta ® 2008. © 1993-2007 Microsoft Corporation. Tous droits réservés.



© Microsoft Corporation. Tous droits réservés.

### la structure de la matière

Depuis l'Antiquité, les hommes cherchent à savoir de quoi est faite la matière. Pour le savant grec Démocrite, « la matière est constituée d'une multitude de petits corps invisibles, indivisibles et éternels : les atomes. » Cette vision de la matière est encore globalement vraie de nos jours. Toutefois, elle est affinée en 1911 par le physicien Ernest Rutherford qui découvre, d'une part, que la quasi-totalité de la masse d'un atome est concentrée dans un tout petit volume chargé positivement : le noyau ; et d'autre part, que les électrons (chargés négativement) gravitent autour du noyau comme les planètes autour du Soleil. Il faut encore attendre une vingtaine d'années pour découvrir la nature des particules qui constituent le noyau : les protons (de charge positive) et les neutrons (électriquement neutres). Enfin, en 1963, les physiciens américains Murray Gell-Mann et George Zweig supposent l'existence de particules élémentaires encore plus petites : les quarks. Leur existence est prouvée en 1969 et définitivement confirmée en 1995, avec la découverte du dernier type de quark prévu par la théorie (il existe 6 familles différentes de quarks). Ainsi, les quarks semblent être les plus petits éléments de matière. Ils permettent de former de nombreuses autres particules, comme les neutrons qui sont constitués de 3 quarks (2 quarks d et 1 quark u).

## l'aluminium

L'aluminium est un **élément chimique**. C'est un **métal** de couleur argentée, omniprésent dans notre environnement.

### carte d'identité de l'aluminium

Nom	aluminium
Symbole	Al
Découvert par	Hans Christian Ørsted
Date de la découverte	1825

## carte d'identité de l'aluminium

Numéro atomique	13
Masse atomique	26,9815
Point de fusion	660 °C
Point d'ébullition	2 519 °C
État physique à 20 °C	solide
Origine du nom	du latin <i>alumen</i> qui signifie « amer », en référence au goût amer de la pierre d'alun
Particularité	naturellement résistant à l'air et à l'eau

## QUI A DÉCOUVERT L'ALUMINIUM ?

Dès l'Antiquité, les Égyptiens, les Grecs et les Romains utilisent de la « pierre d'alun » pour ses nombreuses vertus (déodorant naturel, cicatrisant des plaies, etc.). En 1825, l'aluminium est isolé (obtenu à l'état pur) pour la première fois par le chimiste danois **Hans Christian Ørsted**, qui fait réagir du chlorure d'aluminium ( $\text{AlCl}_3$ ) avec un amalgame de potassium (alliage de mercure et de potassium). Il obtient un amalgame d'aluminium qu'il chauffe pour que le mercure s'évapore. Ainsi il ne reste que l'aluminium sous forme d'un métal. Toutefois, cette méthode ne permet pas d'obtenir un aluminium très pur.

En 1854, le chimiste français **Henri Sainte-Claire-Deville** développe un procédé grâce auquel il obtient un aluminium plus pur.

À cette époque, l'aluminium est un métal rare, donc cher. Il est considéré comme un **métal précieux au même titre que l'or ou l'argent**. L'empereur Louis Napoléon, par exemple, utilisait des couverts en aluminium lors de visites officielles d'hommes d'État.

En 1886, le métallurgiste français **Paul Héroult** et le chimiste américain **Charles Hall** mettent au point indépendamment un procédé de fabrication industriel (appelé **procédé Hall-Héroult**) qui permet d'obtenir de l'aluminium pur en grandes quantités. Au début des années 2000, la production mondiale d'aluminium dépasse les **20 millions de tonnes par an**.

## COMMENT SE PRÉSENTE L'ALUMINIUM DANS LA NATURE ?

L'aluminium est par importance le **3<sup>e</sup> élément chimique constituant l'écorce terrestre**, derrière l'oxygène et le silicium. On ne trouve jamais l'aluminium à l'état libre mais sous forme de silicate d'aluminium, seul ou mélangé avec d'autres métaux, tels que le sodium, le potassium, le fer, le calcium et le magnésium.

Il est obtenu principalement à partir de la **bauxite**, minerai dont le nom provient du lieu-dit « Les Baux » dans le Midi de la France.

## QUELLES SONT LES PROPRIÉTÉS CHIMIQUES ET PHYSIQUES DE L'ALUMINIUM ?

L'aluminium pur est un **métal blanc argenté, très léger** (3 fois plus léger que l'acier) et **extrêmement réactif**. Au contact de l'air, il se couvre rapidement d'une couche résistante et transparente d'oxyde d'aluminium ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) qui le protège de la corrosion. C'est pourquoi **les matériaux en aluminium ne ternissent pas et résistent naturellement à l'air et à l'eau**. De nombreuses pierres précieuses, comme le rubis et le saphir, sont essentiellement constituées d'oxyde d'aluminium.

C'est également un **excellent conducteur d'électricité et de chaleur**.

Par ailleurs, l'aluminium présente deux propriétés remarquables : une **inertie chimique** (une fois recouvert d'une mince couche d'oxyde d'aluminium, formée naturellement au contact de l'air, l'aluminium ne réagit quasiment plus avec les autres éléments chimiques) et une **excellente stabilité métallurgique**, qui font de lui un **matériau idéal pour la conservation et la protection des produits alimentaires**.

Et pour finir, l'aluminium est **100 % recyclable**. C'est pourquoi **c'est l'un des métaux les plus utilisés dans le monde**.

Cependant, **l'aluminium n'est pas sans danger** et peut provoquer des maladies. En particulier, les personnes travaillant dans des usines de production d'aluminium peuvent souffrir de problèmes aux poumons s'ils respirent de la poussière d'aluminium.

## À QUOI SERT L'ALUMINIUM ?

En raison de sa légèreté, de sa malléabilité, de sa compatibilité alimentaire, l'aluminium est principalement utilisé dans le secteur de **l'emballage** : emballage rigide (canettes de boissons, boîtes de conserve, aérosols, etc.) et emballage souple (conditionnement des biscuits, chocolat, café, médicaments, etc.). Le recyclage de ces produits en aluminium permet une intéressante économie de minerais et d'énergie.

L'autre grand débouché de l'aluminium concerne le secteur des **transports**. Dans le domaine aéronautique, on utilise **plus de 70 % d'alliages d'aluminium dans la construction d'un avion**. De plus, grâce à sa résistance à la corrosion par l'eau de mer, l'aluminium est employé dans **la fabrication des bateaux** (coques, mâts, etc.). C'est également un matériau recherché dans **la construction des wagons de chemin de fer**

et des automobiles (bloc moteur, jantes, carrosserie, etc.), car tout allégement est synonyme d'économie de carburant.

L'aluminium est également devenu un matériau très utilisé dans le **bâtiment** (fenêtres, vérandas, etc.).

Parallèlement à ses utilisations industrielles, l'aluminium fait aussi partie des objets de la vie quotidienne. Les **feuilles d'aluminium de 0,018 cm d'épaisseur** sont devenues un produit ménager courant, utilisées pour protéger la nourriture et les autres produits périssables.



## lingots d'aluminium

L'aluminium brut qui sort des fours des alumineries est généralement coulé sous forme d'énormes lingots rectangulaires. Par la suite, ces lingots d'aluminium sont transformés dans différentes industries sous forme de produits usuels tels que les canettes de boissons, les feuilles d'aluminium, etc.

MontyRakusen/Getty Images

Microsoft ® Encarta ® 2008. © 1993-2007 Microsoft Corporation. Tous droits réservés.



## une mine de bauxite au Ghana

L'aluminium est principalement obtenu à partir de la bauxite, minéral d'aluminium dont le nom provient du lieu-dit " Les Baux " dans le Midi de la France. La bauxite est l'une des premières ressources minières du Ghana (Afrique de l'Ouest) ; en 2004, la production ghanéenne de bauxite atteignait près de 498 060 tonnes.

Colin Garratt; Milepost 92 ?/Corbis

Microsoft ® Encarta ® 2008. © 1993-2007 Microsoft Corporation. Tous droits réservés.



## le recyclage des canettes d'aluminium

L'aluminium est principalement utilisé dans le secteur de l'emballage : emballage rigide (canettes de boissons, boîtes de conserve, aérosols, etc.) et emballage souple (conditionnement des biscuits, chocolat, café, médicaments, etc.). Le recyclage de ces produits en aluminium permet une intéressante économie de minerais et d'énergie.

## le fer

Le fer est un **élément chimique**. C'est **le plus abondant** et **le plus utilisé de tous les métaux**.

carte d'identité du fer	
Nom	fer
Symbole	Fe
Découvert par	inconnu
Date de la découverte	Antiquité
Numéro atomique	26
Masse atomique	55,845
Point de fusion	1 538 °C
Point d'ébullition	2 861 °C
État physique à 20 °C	solide
Origine du nom	du latin <i>ferrum</i>
Particularité	le plus utilisé de tous les métaux

## QUI A DÉCOUVERT LE FER ?

Le fer est **connu depuis les temps préhistoriques**. Le terme archéologique « **âge du fer** » correspond à la période où le fer était très employé pour fabriquer des armes, des outils et des objets décoratifs. L'objet en fer le plus ancien existant encore date d'environ 4000 avant J.-C.

## COMMENT LE FER SE PRÉSENTE-T-IL DANS LA NATURE ?

Le fer est relativement **abondant dans l'Univers**, car il constitue le cœur de certaines planètes (comme la Terre, Mars, Mercure ou Vénus). Il n'existe pratiquement pas à l'état libre, sauf dans le Soleil et dans plusieurs types d'étoiles.

En revanche, le fer est présent dans un grand nombre de minéraux répartis dans le monde entier : c'est le **quatrième élément le plus abondant de la croûte terrestre**.

Le principal minéral de fer est l'**hématite** ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), dont il existe deux variétés : l'hématite rouge et l'hématite brune. Les autres minéraux importants sont la **goethite**, la **magnétite** et la **sidérite**.

De petites quantités de fer sont présentes naturellement sous forme combinée dans les **eaux naturelles**, les **plantes** et le **sang** (dans les globules rouges).

Dans les eaux, le fer est sous forme soluble : il se présente sous la forme d'**ions ferreux** ( $\text{Fe}^{2+}$ ) ou d'**ions ferriques** ( $\text{Fe}^{3+}$ ).

Le fer est un **oligoélément** (un élément indispensable à l'organisme, mais en très petites quantités) qui entre dans la composition de l'**hémoglobine des globules rouges**, et de la **myoglobine des muscles**.

## QUELLES SONT LES PROPRIÉTÉS CHIMIQUES ET PHYSIQUES DU FER ?

Le fer est un élément métallique **blanc argenté, magnétique** et **malléable**.

Le fer pur est **très réactif** chimiquement : il s'associe aux halogènes (fluor, chlore, brome, iode), au soufre, au phosphore, au carbone et au silicium. Lorsqu'il est exposé à l'air humide, des oxydes brun-rouge se forment ; il s'agit de la **rouille**.

Le métal existe sous trois formes différentes : le fer ordinaire ou fer  $\alpha$ , le fer  $\gamma$  et le fer  $\delta$ . Ces formes ont des différences de propriétés physiques. La transition du fer  $\alpha$  au fer  $\gamma$  se produit vers 910 °C ; la transition du fer  $\gamma$  au fer  $\delta$  a lieu vers 1 400 °C.

En présence d'acide nitrique (HNO<sub>3</sub>) concentré, le fer forme une couche qui l'empêche de réagir avec des acides ou toute autre substance. Cette couche protectrice peut être facilement enlevée en frottant le métal qui retrouve alors sa réactivité.

## À QUOI SERT LE FER ?

Le fer est **le métal le plus utilisé**. Il constitue plus de 90 % des métaux raffinés dans le monde. Le fer est surtout utilisé après traitement chimique pour la fabrication du **fer forgé**, des **aciers** et d'autres **alliages**. Pour former des aciers, on lui ajoute d'autres métaux tels que l'aluminium, le chrome, le manganèse, le molybdène, le nickel, le titane, le vanadium, le cobalt, le tungstène, le niobium et le tantale. Ses propriétés sont alors considérablement améliorées. **Il existe plus de 1 000 types d'aciers différents**. L'acier est ensuite utilisé dans la construction de ponts, de bateaux, de voitures, etc.

Le fer est le **principal constituant de l'hémoglobine** des globules rouges du sang. C'est grâce à lui que les globules

rouges peuvent transporter l'oxygène dans les vaisseaux sanguins et assurer l'échange oxygène/dioxyde de carbone au niveau des cellules et des poumons. On utilise des composés contenant du fer en médecine pour traiter les **anémies** (lorsque le nombre de globules rouges dans le sang est trop faible). On trouve également du fer dans des fortifiants.



## la formation de rouille

Dans l'air et en présence d'humidité, le fer s'oxyde pour former la rouille, de couleur orangée, sur les carrosseries automobiles.

## le cuivre

Le cuivre est un **élément chimique**. Comme c'est un excellent conducteur électrique et thermique, le cuivre est **l'un des métaux industriels les plus utilisés dans le monde**.

## carte d'identité du cuivre

Nom	Cuivre
Symbole	Cu
Découvert par	inconnu
Date de la découverte	préhistoire
Numéro atomique	29
Masse atomique	63,546
Point de fusion	1 084,62 °C
Point d'ébullition	2 565 °C
État physique à 20 °C	Solide
Origine du nom	du latin <i>cuprum</i> , désignant l'île de Chypre où ont été retrouvés les premiers objets en cuivre
Particularités	excellent conducteur d'électricité et de chaleur

## QUI A DÉCOUVERT LE CUIVRE ?

Le cuivre est **le plus vieux métal connu**, avec l'or. Les plus anciens objets connus sont des perles de cuivre qui datent d'environ 11 000 ans et proviennent du nord de l'Irak. Des objets en cuivre ont aussi été retrouvés parmi les ruines de nombreuses civilisations anciennes (Égypte, Asie Mineure, Chine, sud-est de l'Europe, Chypre et Crète). Puis, **les grandes explorations des xv<sup>e</sup> et xvi<sup>e</sup> siècles**, notamment en Amérique, ont permis de découvrir de nouvelles variétés de minéraux de cuivre.

## COMMENT SE PRÉSENTE LE CUIVRE DANS LA NATURE ?

Le cuivre est **relativement abondant dans la croûte terrestre** (26<sup>e</sup> élément par ordre d'importance). Toutefois, il est **inégalement réparti à la surface du globe**, et la plupart des gisements sont situés dans l'hémisphère Sud. Le cuivre existe à l'état natif (pur) ou combiné à d'autres éléments dans des minéraux (comme dans la chalcopryrite ( $\text{CuFeS}_2$ ), la covelline ( $\text{CuS}$ ), la chalcosite ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ), la cuprite ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ), etc.). Par ailleurs, de très faibles quantités de cuivre entrent dans la composition de certaines **météorites** et du Soleil.

## QUELLES SONT LES PROPRIÉTÉS CHIMIQUES ET PHYSIQUES DU CUIVRE ?

Le cuivre est un métal **très malléable** (facile à façonner) et **ductile** (facile à étirer). Ainsi, le cuivre et les alliages cuivreux s'aplatissent facilement en tôles (laminage), se martèlent en feuilles très minces et s'étirent en fils extrêmement fins. Ils se prêtent particulièrement bien à la déformation à chaud.

Par ailleurs, le cuivre est un **excellent conducteur électrique et thermique**.

Il n'est attaqué que par les acides oxydants, tels que l'acide sulfurique à chaud et l'acide nitrique. Il présente donc une assez **bonne résistance à la corrosion**.

La couleur naturelle du cuivre est **rose saumon**, mais il apparaît souvent **rouge** par suite de son oxydation superficielle (le cuivre réagit avec l'oxygène de l'air et se couvre ainsi naturellement d'oxyde de cuivre de couleur rouge).

Le cuivre s'allie facilement avec de nombreux métaux et il existe une **centaine d'alliages contenant du cuivre**. Ces derniers présentent une résistance à la corrosion supérieure ou égale à celle du cuivre pur et sont très facilement mis en forme.

## À QUOI SERT LE CUIVRE ?

Le cuivre est principalement utilisé pour **fabriquer des câbles**, des  **fils** et des **appareillages électriques**, car il possède la **meilleure conductivité électrique** de tous les métaux industriels.

On l'utilise également pour les **toitures**, les **canalisations d'eau et de gaz** en raison de sa **résistance à la corrosion**.

Par ailleurs, comme c'est un **excellent conducteur de chaleur**, le cuivre sert à fabriquer des **ustensiles de cuisine**, des **chaudières** et des **échangeurs de chaleur**.

Le cuivre entre aussi dans la composition d'**engrais** et de certains **pesticides**, sous la forme de sulfate de cuivre (de formule  $\text{CuSO}_4$ ).

De nombreux alliages à base de cuivre (principalement le **bronze**) sont utilisés pour la fabrication de **pièces de monnaie**, de **médailles**, de **statues** et de **cloches**, en raison de leur dureté et de leur résistance à la corrosion.

Le cuivre a également des propriétés bactéricides reconnues : il **détruit les micro-organismes et les bactéries**.

### POUR ALLER PLUS LOIN

- [les éléments chimiques](#)
- [les réactions chimiques](#)
- [les atomes et les molécules](#)
- [l'histoire de la chimie](#)



Charlie Ott/Photo Researchers, Inc.

## la mine de cuivre de Morenci (États-Unis)

L'État de l'Arizona est le premier producteur national de cuivre. Cette mine à ciel ouvert, située à Morenci, mesure 3,2 km.

Charlie Ott/Photo Researchers, Inc.

Microsoft ® Encarta ® 2008. © 1993-2007 Microsoft Corporation. Tous droits réservés.



Charles O'Rear/Corbis

## la production de cuivre

Le cuivre brut en fusion, recueilli dans des moules spécifiques sous la surveillance d'un ouvrier, est obtenu après une série de manipulations mécaniques et chimiques, à partir de divers minerais contenant d'autres éléments que le cuivre. Les principaux minerais de cuivre sont des minerais sulfurés, tels que la chalcosite et la chalcopryrite. Ces minerais sont d'abord broyés, puis concentrés, avant de subir un grillage oxydant dans un four ; on obtient alors le cuivre métallique brut, d'une pureté d'environ 98 %.

Charles O'Rear/Corbis

Microsoft ® Encarta ® 2008. © 1993-2007 Microsoft Corporation. Tous droits réservés.

## les acides et les bases

Les acides sont présents dans la nature sous diverses formes comme dans le **citron** (acide citrique) et dans le **vinaigre** (acide acétique).

Les bases, quant à elles, sont présentes dans de nombreux produits de la vie quotidienne comme le **savon**, la **soude caustique**, l'**ammoniac**, etc.

Les acides ont un **goût aigre** tandis que les bases ont une **saveur amère**.

## L'ÉTUDE DES ACIDES ET DES BASES

Les chimistes se sont longtemps interrogés sur la nature des acides et des bases. D'ailleurs, le concept d'acidité est l'un des plus vieux de la chimie. Dès le xvi<sup>e</sup> siècle, des théories sont apparues pour tenter d'expliquer les propriétés particulières des solutions acides : piquantes au goût et capables de dissoudre certains minéraux et métaux. Les propriétés des solutions basiques ont été étudiées un peu plus tard.

D'autres études expérimentales, fondées sur l'observation, ont permis de définir qu'une solution est **acide si elle fait virer le papier tournesol au rouge** (papier contenant des colorants

sensibles aux acides et aux bases) et qu'une solution est **basique si elle fait virer le papier tournesol au bleu**.

C'est à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle que les premières véritables théories sur l'**acido-basité** voient le jour. Elles seront affinées et complétées tout au long du XX<sup>e</sup> siècle.

## COMMENT MESURER L'ACIDITÉ OU LA BASICITÉ D'UNE SOLUTION ?

Dans les années 1880, le chimiste suédois **Svante Arrhenius** émet la théorie selon laquelle les composés en solution se dissocient en ions. Une base dans l'eau libère des **ions hydroxyles (OH<sup>-</sup>)**, tandis qu'un acide libère des **ions hydrogènes (H<sup>+</sup>)**. Par conséquent, plus une solution contient des ions H<sup>+</sup>, plus elle est acide.

C'est sur ce principe que le chimiste danois **Søren Sørensen** élabore le concept de **pH** d'une solution. Le pH (sigle de potentiel hydrogène) est une grandeur qui se mesure et se calcule pour **quantifier l'acidité d'une solution**. Il reflète la concentration d'une solution en ions H<sup>+</sup>. Plus une solution est concentrée en ions H<sup>+</sup>, plus elle est acide et plus son pH est bas. L'échelle de pH s'étend de 0 à 14 :

→ si le pH est inférieur à 7, la solution est acide

→ si le pH est égal à 7, la solution est neutre

→ si le pH est supérieur à 7, la solution est basique

De même, la quantité d'ions H<sup>+</sup> peut modifier la couleur de colorants naturels que l'on trouve dans les plantes, comme le tournesol. On les utilise donc comme **indicateurs d'acidité** (on parle généralement d'**indicateurs colorés**). Le papier pH universel est l'un des indicateurs colorés les plus utilisés ; son échelle d'acidité varie de 1 à 14 et est associée à un code couleur.

Par exemple, une solution très acide comme l'acide chlorhydrique (HCl), qui a un pH de 1, colore le papier pH en

rose. Le vinaigre, qui a un pH de 4, le colore en rouge orangé. L'eau pure, au pH de 7, donne une coloration jaune. Le savon avec un pH de 8 donne du vert et les nettoyants ménagers en général plus basiques, du violet.

## QUELS SONT LES DIFFÉRENTS TYPES D'ACIDES ET DE BASES ?

On distingue deux grandes catégories d'acides et de bases en chimie :

- les **acides et bases organiques**, qui contiennent du **carbone**, comme l'acide acétique ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) et l'aniline ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$ ) ;
- les **acides et bases minéraux**, tels que l'acide chlorhydrique ( $\text{HCl}$ ) ou l'acide sulfurique ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) et la soude caustique ( $\text{NaOH}$ ) ou l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ).

## À QUOI SERVENT LES ACIDES ET LES BASES ?

Les acides et les bases ont une importance considérable dans l'industrie chimique. Ils interviennent dans un grand nombre de réactions chimiques, en particulier dans la **synthèse** (fabrication artificielle) de **matières plastiques**, de **médicaments** et de **colorants**.