

1	L'EAU.....	3
1.1	EAU ET ENVIRONNEMENT.....	3
1.1.1	<i>Lien entre océans et climat.....</i>	3
1.1.2	<i>Les traceurs chimiques.....</i>	4
1.1.3	<i>Déterminer la concentration d'un traceur chimique : exemple de la conductimétrie.....</i>	4
1.1.4	<i>L'acidification des océans.....</i>	6
1.1.5	<i>Rôle de l'eau dans la formation des reliefs.....</i>	7
1.1.6	<i>Déterminer la concentration des ions carbonate : dosage ou titrage.....</i>	7
1.1.7	<i>Processus chimique de formation des concrétions.....</i>	8
1.1.8	<i>Les pluies acides.....</i>	9
1.1.9	<i>Notion de pH.....</i>	9
1.1.10	<i>Surveillance de l'acidité de l'eau.....</i>	9
1.1.11	<i>Lutte contre les pluies acides.....</i>	10
1.1.12	<i>Constante d'équilibre.....</i>	10
1.2	EAU ET RESSOURCES.....	11
1.2.1	<i>L'eau potable.....</i>	11
1.2.2	<i>Production d'eau potable.....</i>	11
1.2.3	<i>Ressources minérales et organiques dans les océans.....</i>	11
1.3	EAU ET ÉNERGIE.....	13
1.3.1	<i>Les piles et les accumulateurs.....</i>	13
1.3.2	<i>La pile à combustible à hydrogène.....</i>	14
1.3.3	<i>Production de dihydrogène.....</i>	15
2	SON ET MUSIQUE.....	17
2.1	INSTRUMENTS DE MUSIQUE.....	17
2.1.1	<i>Les instruments à cordes.....</i>	17
2.1.2	<i>Les instruments à vent.....</i>	20
2.1.3	<i>Les instruments électroniques.....</i>	21
2.1.4	<i>Les instruments à percussion.....</i>	23
2.2	EMETTEURS ET RÉCEPTEURS SONORES.....	23
2.2.1	<i>Domaine de fréquences audibles.....</i>	23
2.2.2	<i>Sensibilité de l'oreille.....</i>	23
2.2.3	<i>Microphone et haut-parleur.....</i>	23
2.2.4	<i>Enceintes acoustiques.....</i>	25
2.2.5	<i>Casque audio.....</i>	25
2.2.6	<i>Reconnaissance vocale.....</i>	25
2.3	SON ET ARCHITECTURE.....	26
2.3.1	<i>Phénomènes liés à la nature ondulatoire du son.....</i>	26
2.3.2	<i>Auditorium.....</i>	27
2.3.3	<i>Salle sourde.....</i>	28
2.3.4	<i>Le pendule élastique.....</i>	29
2.3.5	<i>Isolation phonique.....</i>	30
2.3.6	<i>Acoustique active.....</i>	30
3	MATÉRIAUX.....	31
3.1	CYCLE DE VIE.....	31
3.1.1	<i>Exemple d'analyse du cycle de vie d'un produit.....</i>	31
3.1.2	<i>Corrosion, vieillissement et protection.....</i>	31
3.2	STRUCTURE ET PROPRIÉTÉS.....	31
3.2.1	<i>Conducteurs et supraconducteurs.....</i>	31
3.2.2	<i>Cristaux liquides.....</i>	31
3.2.3	<i>Semi-conducteurs.....</i>	33
3.2.4	<i>Cellule photovoltaïque.....</i>	34
3.2.5	<i>Membranes.....</i>	36
3.2.6	<i>Colles et adhésifs.....</i>	36
3.2.7	<i>Tensioactifs, émulsions, mousses.....</i>	37
3.3	NOUVEAUX MATÉRIAUX.....	38
3.3.1	<i>Les nanotubes de carbone.....</i>	38
3.3.2	<i>Les nanoparticules.....</i>	39
3.3.3	<i>Matériaux nanostructurés.....</i>	40
3.3.4	<i>Matériaux composites.....</i>	41
3.3.5	<i>Céramiques.....</i>	41
3.3.6	<i>Verres.....</i>	41
3.3.7	<i>Matériaux biocompatibles.....</i>	43

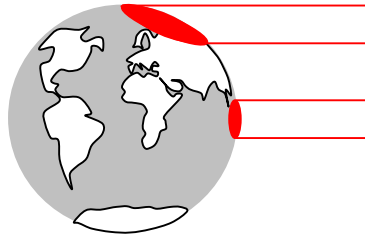
1 L'eau

1.1 Eau et environnement

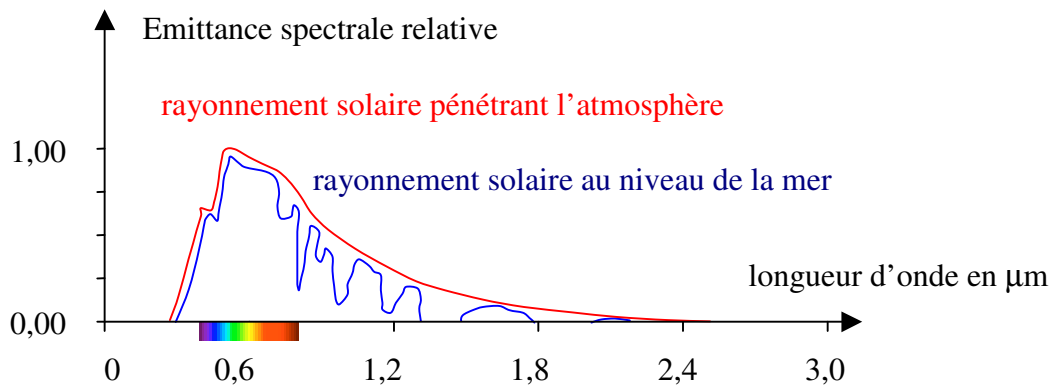
1.1.1 Lien entre océans et climat

Energie solaire

L'énergie solaire reçue par la Terre est inégalement répartie : la zone intertropicale en reçoit autant que le reste de la planète.



L'eau des océans qui absorbe ce rayonnement est donc plus chaude dans la zone intertropicale qu'ailleurs. L'air atmosphérique chauffé principalement par la surface de la Terre (le sol et la surface de la mer) est aussi plus chaud dans cette zone.

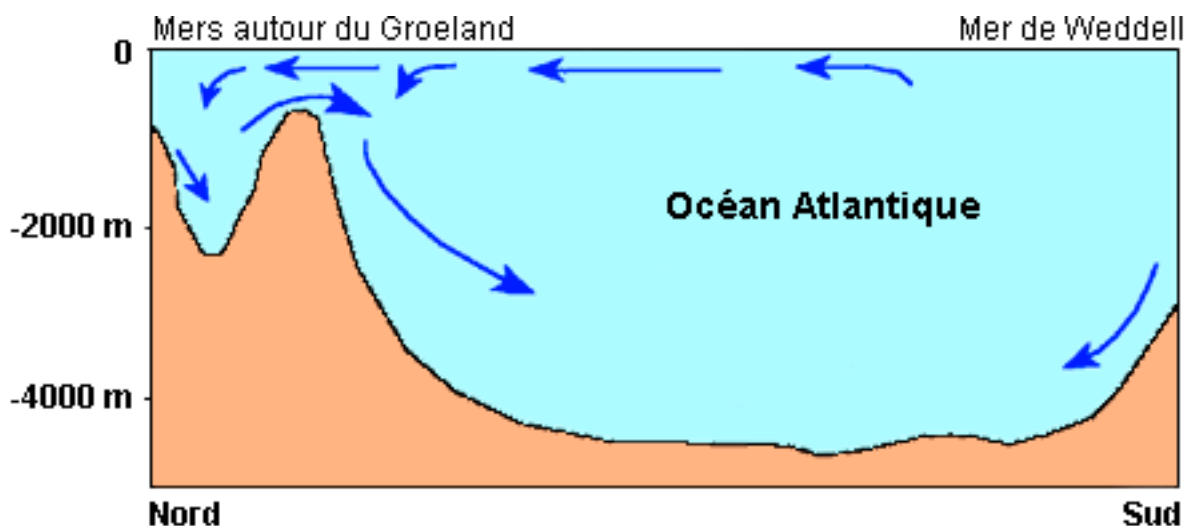


Courants marins de surface

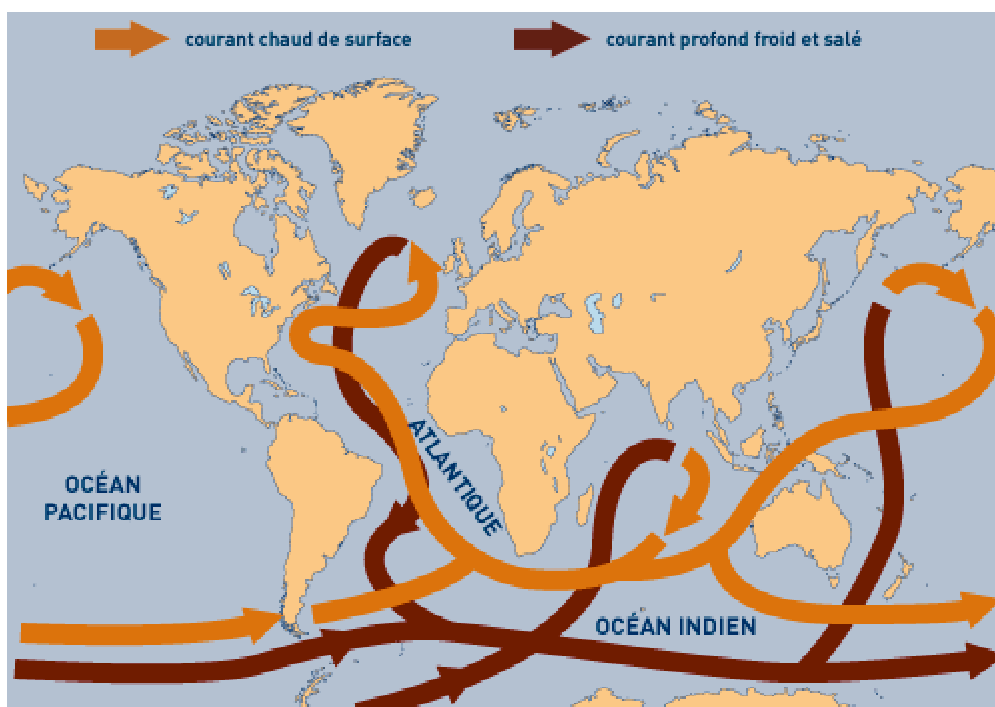
L'air chaud de la zone intertropicale se déplace de manière naturelle vers les zones plus froides, générant des vents qui entraînent la surface de l'eau par friction et créent des courants marins de surface.

Courants marins de profondeur

Les eaux dont la température ou la salinité sont différentes glissent les unes sur les autres. Les plus froides (ou plus salées) sont en bas et les plus chaudes (ou moins salées) sont au-dessus. Les eaux océaniques sont donc globalement stratifiées. Cependant, dans deux régions du globe, il y a formation d'eau profonde :



Les courants de surface et les courants de profondeur sont connectés :



d'après
Broecker
et Ifremer

Les océans ont une masse 300 fois supérieure à celle de l'atmosphère et ils peuvent stocker 1 200 fois plus d'énergie liée à la température. L'atmosphère stocke donc peu l'énergie mais la déplace rapidement à l'inverse des océans.

L'énergie stockée par les océans est rendue à l'atmosphère dans des proportions très variables suivant la date et le lieu. Par exemple en hiver près des côtes, ce qui explique le climat tempéré des zones océaniques.

1.1.2 Les traceurs chimiques

Des espèces chimiques sont transportées naturellement par l'eau (par exemple les ions Na^+ et Cl^-). D'autres espèces sont d'origine humaine.

Si ces espèces sont utilisées pour étudier le mouvement de l'eau, on les appellent des traceurs chimiques. On peut utiliser le fait que les traceurs chimiques soient présents ou non dans l'eau, mais aussi leur concentration.

1.1.3 Déterminer la concentration d'un traceur chimique : exemple de la conductimétrie

Electrolyte

On appelle électrolyte toute substance qui, introduite dans un solvant liquide, va diminuer la résistance électrique de ce liquide. Ce phénomène est dû à la présence d'ions. Le déplacement de ces ions, parmi les molécules d'eau, constitue le courant électrique dans une solution.

Conductimétrie

La conductimétrie consiste à mesurer une grandeur électrique d'une solution d'électrolyte et à en tirer des renseignements sur la composition de la solution.

Conductance d'une solution ionique, G

La tension et l'intensité du courant électrique aux bornes d'une cellule conductimétrique, plongée dans une solution d'électrolyte, sont proportionnelles :

$$I = G \cdot U$$

G est la conductance de la portion de solution dans la cellule. Par analogie avec la loi d'Ohm, on constate que G représente l'inverse d'une résistance électrique

$$G = 1 / R$$

Méthode de mesure de la conductance

La mesure de cette conductance s'effectue en appliquant une différence de potentielle aux bornes de deux électrodes identiques et inattaquables plongeant dans la solution. L'ensemble de ces deux électrodes constitue la cellule conductimétrique. Pour éviter les réactions d'oxydoréductions aux électrodes (comme dans une électrolyse), on utilise une tension de haute fréquence, ce qui empêche les processus chimiques de s'initier.

Grandeurs d'influence

La conductance d'une portion de solution dépend de la température et de l'état de surface des électrodes, de la surface « S » des électrodes, de la distance « L » entre elles, de la nature et de la concentration de la solution.

Conductivité d'une solution ionique, σ

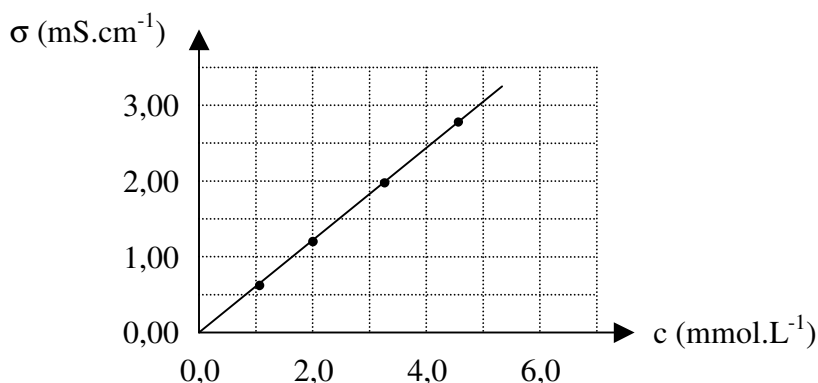
La conductance est liée aux grandeurs d'influence S et L par la relation :

$$G = \sigma \cdot S / L$$

Courbe d'étalonnage $\sigma = f(c)$

L'idée est de mesurer la conductivité d'une solution ionique, de plus en plus concentrée, en prenant soin de fixer toutes les autres grandeurs d'influence.

Exemple



La courbe d'étalonnage ci-dessus suggère que pour des concentrations inférieures à 10 mmol. L⁻¹, la conductivité « σ » d'une portion de solution ionique est proportionnelle à la concentration molaire « c » en soluté :

$$G = k \cdot c$$

« k » est une constante dans les conditions de l'expérience.

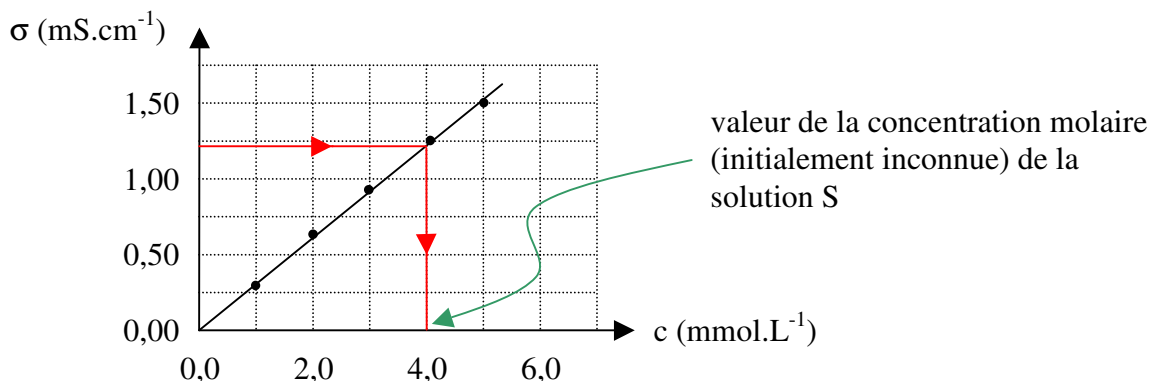
Méthode d'étalonnage

Cette méthode est réalisée en plusieurs étapes :

- à partir d'une solution mère contenant les ions X⁺ et Y⁻ à une concentration molaire en soluté connue, réaliser les dilutions nécessaires pour obtenir des solutions filles de concentrations molaires connues.
- mesurer la conductivité de chaque solution fille (en prenant soin de fixer toutes les grandeurs d'influence autres que la concentration de la solution entre deux mesures).

- tracer la courbe d'étalonnage $\sigma = f(c)$ représentant les variations de la conductivité en fonction de la concentration du soluté.
- mesurer la conductivité d'une solution S contenant les ions X^+ et Y^- à une concentration inconnue.
- déterminer la concentration molaire inconnue de cette solution S par une méthode graphique :

Exemple



Limite de la méthode d'étalonnage

La solution de concentration inconnue doit contenir exactement les mêmes ions que la solution mère préparée.

Contribution d'un ion à la conductivité d'une solution ionique

Notons λ (appelée conductivité molaire ionique) la contribution d'un ion à la conductivité d'une solution ionique, on a :

$$\sigma = \sum_i \lambda_i \cdot [X_i] \quad \text{avec } [X_i] \text{ en mol. m}^{-3}$$

Exemple conductivité d'une solution de chlorure de magnésium
 $\sigma (\text{Mg}^{2+} + 2\text{Cl}^-) = \lambda (\text{Mg}^{2+}) \cdot [\text{Mg}^{2+}] + \lambda (\text{Cl}^-) \cdot [\text{Cl}^-]$

Comparaison des conductivités molaires ioniques

Les ions H_3O^+ et OH^- (aq) ont des conductivités molaires ioniques nettement supérieures à celles d'autres ions.

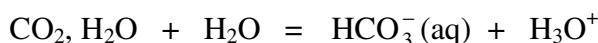
1.1.4 L'acidification des océans

Un gaz peut se dissoudre dans l'eau. C'est vrai pour le dioxyde carbone :

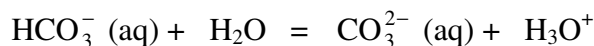


La réaction mise en jeu s'effectue dans les deux sens. Pour cette raison, l'écriture de l'équation a été modifiée en remplaçant la flèche \rightarrow par un symbole symétrique =

Le dioxyde carbone dissous dans l'eau est un acide, c'est à dire une espèce chimique capable de céder un proton H^+ (qui s'associe ensuite à une molécule d'eau pour former l'ion oxonium H_3O^+) :



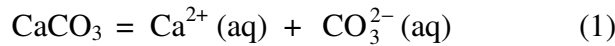
L'ion hydrogénocarbonate HCO_3^- est aussi un acide :



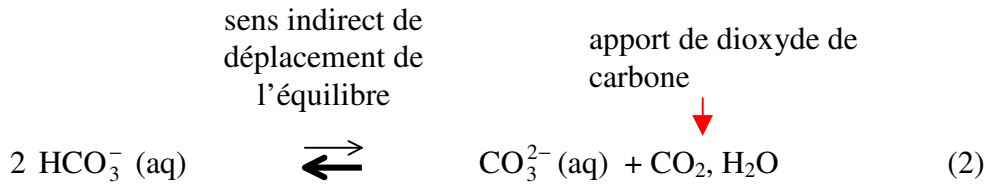
Une partie du dioxyde de carbone issu de la combustion des énergies fossiles est stocké dans les océans sous forme d'ions hydrogénocarbonate HCO_3^- et carbonate CO_3^{2-} . Les ions oxonium H_3O^+ libérés participent à l'acidification des océans.

1.1.5 Rôle de l'eau dans la formation des reliefs

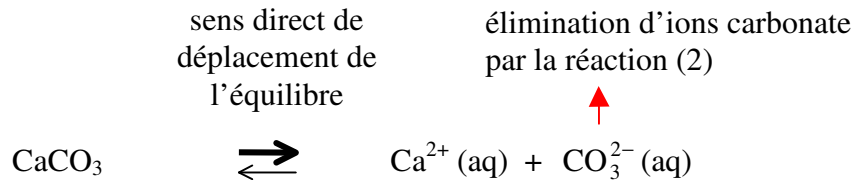
Le calcaire, la craie et le marbre sont formés principalement de carbonate de calcium CaCO_3 qui est un solide ionique. Le carbonate de calcium se dissout dans l'eau suivant l'équation :



La solubilité du carbonate de calcium dans l'eau est très faible. Le dioxyde carbone, dont la concentration dans le sol est plus importante que dans l'atmosphère, va modifier cette solubilité :



L'apport d'un produit déplace l'équilibre du système (2) dans le sens indirect. Des ions carbonate CO_3^{2-} sont consommés. En conséquence, l'équilibre (1) est déplacé dans le sens direct :



Les ions calcium Ca^{2+} et hydrogénocarbonate HCO_3^- formés peuvent être transportés par l'eau qui a pénétré dans la roche par des fissures.

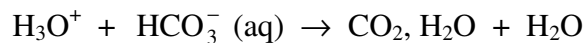
La dissolution du solide ionique constituant la roche conduit à l'élargissement progressif des fissures pouvant créer à la longue des cavernes souterraines, des galeries, des grottes C'est une érosion chimique qui va créer un relief karstique.

1.1.6 Déterminer la concentration des ions carbonate : dosage ou titrage

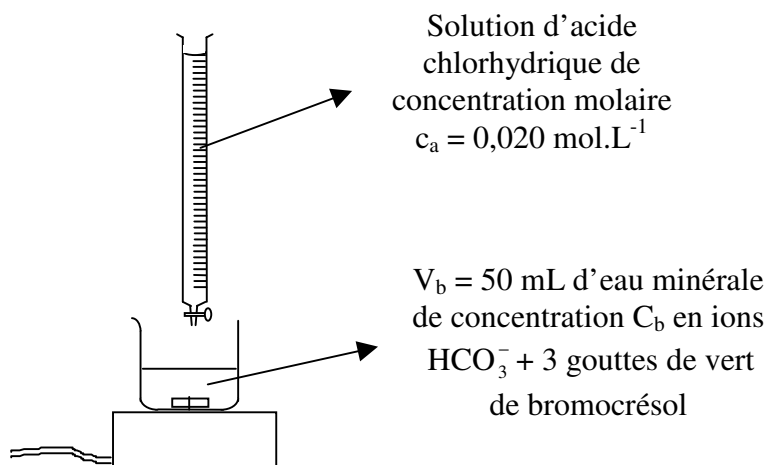
Doser ou titrer une espèce dans une solution consiste à déterminer la concentration de cette espèce dans la solution.

Le dosage est une méthode mettant en oeuvre une réaction chimique entre l'espèce à doser (ou réactif titré) et une autre espèce appelée le réactif titrant.

Equation bilande la réaction d'une solution d'acide chlorhydrique $\text{H}_3\text{O}^+ + \text{Cl}^- (\text{aq})$ avec les ions hydrogénocarbonate HCO_3^- :



Cette réaction est considérée totale (elle s'effectue dans un seul sens).



Verser la solution d'acide jusqu'à ce que le vert de bromocrésol vire du bleu au jaune. Noter le volume $V_{\text{éq}}$ à ce moment.

situation initiale

situation intermédiaire

Changement de couleur. Equivalence. On a versé un volume $V_{\text{éq}}$ de solution d'acide

si on continuait de verser l'acide après le changement de couleur

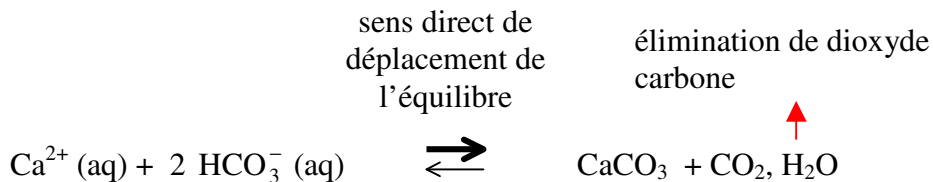
Tableau d'avancement

{ en mol. }	avancement	H_3O^+	+	$\text{HCO}_3^- \text{ (aq)}$	\rightarrow	$\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}$	+	H_2O
état initial	0	$c_a \cdot V_{\text{éq}}$		$c_b \cdot V_b$		0		solvant
état intermédiaire	x	$c_a \cdot V_{\text{éq}} - x$		$c_b \cdot V_b - x$		x		solvant
équivalence	x_{max}	$c_a \cdot V_{\text{éq}} - x_{\text{max}} = 0$		$c_b \cdot V_b - x_{\text{max}} = 0$		x_{max}		solvant

On voit qu'à l'équivalence, on a : $c_a \cdot V_{\text{éq}} = c_b \cdot V_b$ et on en déduit « c_a ».

1.1.7 Processus chimique de formation des concrétions

Lorsque l'eau chargée d'ions calcium et hydrogencarbonate débouche dans une cavité souterraine pauvre en dioxyde de carbone, un phénomène inverse de la dissolution va se produire :



Les ions présents en solution vont précipiter en se transformant en carbonate de calcium. Il se forme une concrétion.

1.1.8 Les pluies acides

Elles ont pour origine des polluants atmosphériques gazeux : SO_2 et NO_2 . Ces polluants réagissent dans l'atmosphère avec le dioxygène et l'eau pour former des acides.

Le dioxyde de soufre SO_2 et le dioxyde d'azote NO_2 ont une origine naturelle (volcan, foudre, feux, océans, décomposition des végétaux, ...) ou une origine humaine :

- le dioxyde de soufre SO_2 a pour origine la combustion des carburants fossiles (charbons et produits pétroliers contenant naturellement du soufre) : $\text{S} + \text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_2$
- le dioxyde d'azote NO_2 a pour origine la réaction chimique entre le dioxygène et le diazote de l'air lors d'une combustion à haute température (moteurs à combustion, centrales thermiques, ...) :
 $\text{N}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{NO}$ puis $2 \text{NO} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{NO}_2$

Les pluies acides lessivent certains cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ et Na^+) du sol. Les arbres privés de réserves nutritives sont affaiblis. Certaines espèces chimiques (comme des ions aluminium) peuvent être libérées dans le sol et empoisonner les arbres. L'acidité excessive des eaux de surface, et notamment des lacs, a un impact négatif sur biodiversité.

1.1.9 Notion de pH

Un acide est une espèce chimique capable de céder un proton H^+ . Une base est une espèce chimique capable de capter un proton H^+ .

L'acidité s'exprime en fonction du pH. A 25°C , une solution est neutre lorsque le pH est égal à 7. Elle est acide lorsque le pH est inférieur à 7. Elle est basique (ou alcaline) à des pH supérieurs à 7.

Le pH est lié à la concentration des ions oxonium dans une solution. Plus ces ions sont nombreux plus le pH est petit :

$$\text{pH} = -\log([\text{H}_3\text{O}^+]) \quad (\text{ou } [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}})$$

Lorsque le pH baisse d'une unité, la concentration des ions oxonium H_3O^+ augmente d'un facteur de 10.

1.1.10 Surveillance de l'acidité de l'eau

On peut mesurer le pH d'une solution à l'aide :

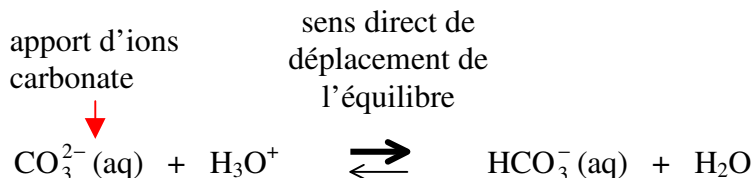
- un indicateur coloré qui est une substance organique dont la couleur dépend du pH
- un papier pH qui est un papier imbibé d'indicateur coloré
- un pH-mètre qui est un voltmètre relié à deux électrodes plongées dans la solution. L'une des électrodes est une référence dont le potentiel électrique est indépendant du pH. L'autre est l'électrode de verre dont le potentiel électrique est une fonction linéaire du pH (ces deux électrodes peuvent être associées au sein d'une sonde unique).

Le pH-mètre est étalonné avant la mesure avec deux solutions tampon de pH différent. Une solution tampon est une solution dont la composition est telle que son pH varie peu lors d'une dilution ou lors de l'addition de petites quantités d'acide ou de base.

1.1.11 Lutte contre les pluies acides

La réduction des émissions polluantes à la source représente la meilleure solution pour éliminer le problème des pluies acides. On peut citer la désulfuration des carburants, la désulfuration des fumées industrielles, l'usage de pots catalytiques pour les moteurs à combustion, ...

Pour certains lacs, déjà très acidifiés ($\text{pH} < 4,5$) et vidés de leur faune, on peut recourir à des apports en carbonate de calcium CaCO_3 pour neutraliser l'acidité excessive :



1.1.12 Constante d'équilibre

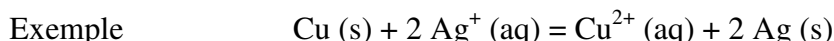
On définit rigoureusement le quotient de réaction par :

$$Q_r = \frac{\prod a(\text{produit})^{\text{coef stoechio}}}{\prod a(\text{réactifs})^{\text{coef stoechio}}}$$

A chaque espèce chimique est associée une grandeur sans dimension (« a », l'activité) dont la valeur vaut 1 lorsque l'espèce est à l'état standard à une température donnée :

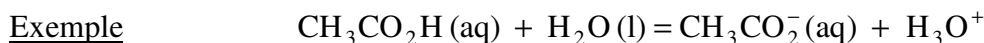
nature du constituant	description de l'état standard	expression de l'activité
liquide	liquide pur	$a = 1$
solide	solide pur	$a = 1$
solution diluée	l'ion à la concentration $[\text{ion}]_i = 1 \text{ mol.L}^{-1}$	$a = \frac{[\text{ion}]}{[\text{ion}]_i}$

Ainsi, l'expression du quotient d'une réaction hétérogène ne fait pas intervenir les solides dont l'activité est égale à 1.



$$Q_r = \frac{[\text{Cu}^{2+}]}{[\text{Ag}^+]^2}$$

De même, l'expression du quotient d'une réaction ne fait pas intervenir le solvant. En effet aux concentrations usuelles (très faibles : $10^{-4} \text{ mol.L}^{-1} \leq c \leq 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$) l'eau est pratiquement pure et son activité est très proche de 1.



$$Q_r = \frac{[\text{CH}_3\text{CO}_2^-] \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}]}$$

L'équilibre est un état unique et stable et on peut lui associer un nombre réel appelé constante d'équilibre K qui est la valeur que prend le coefficient de réaction dans l'état d'équilibre du système.

$$K = Q_r \text{ éq}$$

La constante d'équilibre ne dépend pas de la composition initiale. Elle ne dépend que de la température.

1.2 Eau et ressources

1.2.1 L'eau potable

L'eau brute recueillie dans un cours d'eau ou dans une nappe souterraine peut contenir des polluants qui la rendent non potable.

Différents textes législatifs (qui évoluent dans le temps en relation avec l'amélioration des connaissances scientifiques) établissent de nombreux critères et notamment des valeurs limites de certaines espèces chimiques à ne pas dépasser (ions nitrates, plomb, ...).

1.2.2 Production d'eau potable

Pour éliminer les polluants, l'eau va subir un certain nombre de traitements (notamment des filtrations et une chloration finale).

Filière biologique

L'eau passe au travers de grilles pour être filtrée. Les graisses sont éliminées par raclage de surface car elles flottent

L'eau est additionnée d'un coagulant et d'un floculant. Ceux-ci provoquent l'agrégation des particules en suspension : c'est la floculation. Les flocons issus de cette étape se déposent dans le fond du bassin par gravité. Ils sont raclés puis évacués.

L'eau est mise en contact avec des micro-organismes (bactéries et protozoaires). Une succession de phases aérobies (avec du dioxygène) et anaérobies (sans dioxygène) vont permettre aux micro-organismes de dégrader les matières organiques, les ions phosphate PO_4^{3-} et nitrate NO_3^- .

L'étape de désinfection a pour but d'éliminer les micro-organismes résiduels. Pour cela, on utilise du chlore ou d'autres composés chlorés (chloration), de l'ozone fabriqué sur place (ozonation) ou des rayonnements ultraviolets.

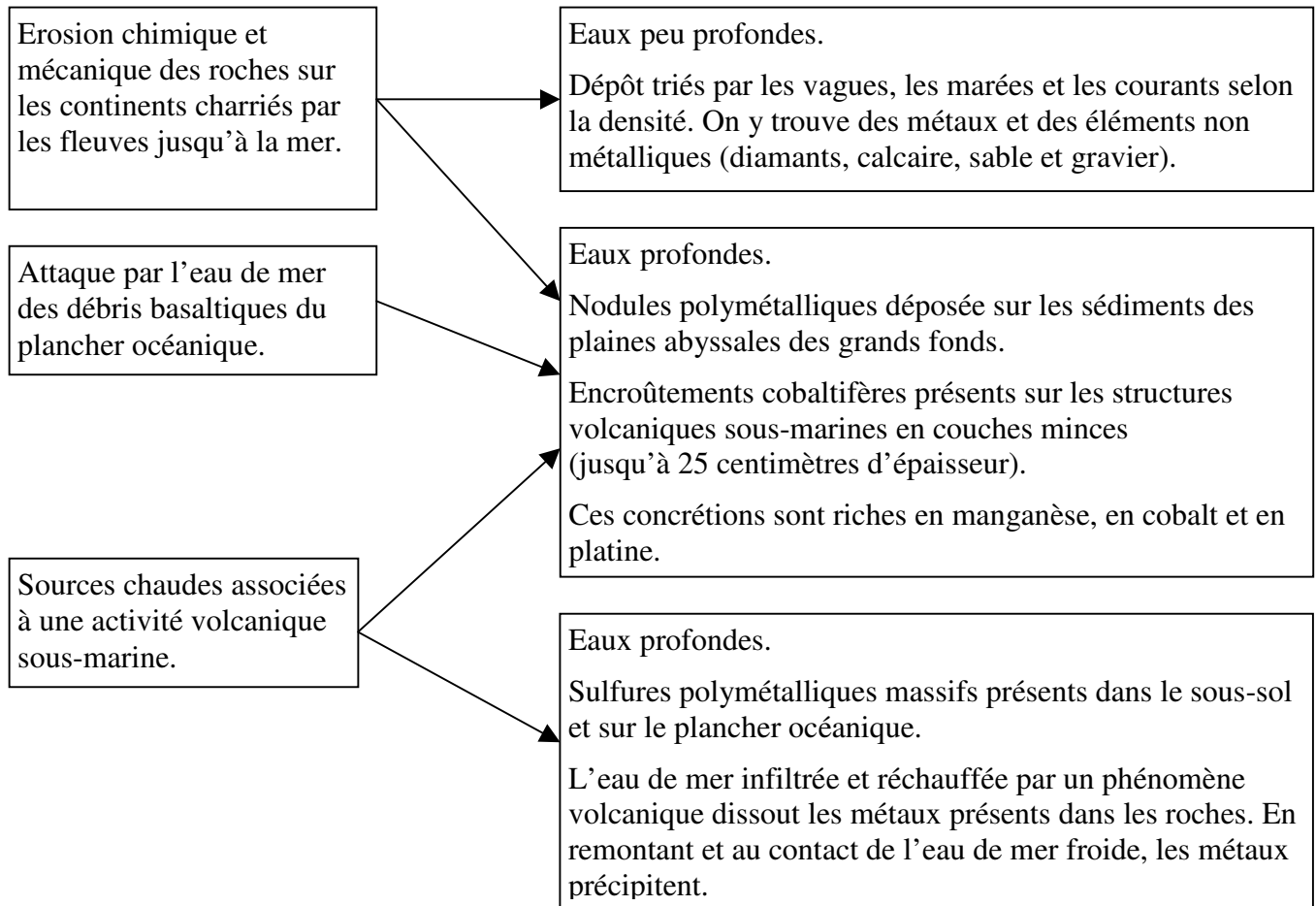
Souvent, malgré tous ces traitements, l'eau contient encore des polluants. Le passage sur charbon actif permet l'absorption de la plus grande partie de ces composés.

Filière physico-chimique

L'ultra filtration utilise une membrane poreuse (pores d'une taille de 1 à 100 nm) qui laisse passer l'eau, tandis qu'elle retient pollens, bactéries, virus et molécules organiques. Ainsi la clarification et la désinfection de l'eau sont faites en une seule étape. En fonctionnement, l'eau polluée est mise sous pression.

1.2.3 Ressources minérales et organiques dans les océans

Ressources minérales



Ressources organiques

Environ 1/3 de la production mondiale de pétrole et 1/4 de la production mondiale de gaz proviennent de la mer. Le pétrole et le gaz sont issus d'un processus naturel (dépôt, subsidence, diagénèse) de formation à partir de matière organique (animaux et végétaux morts) long de plusieurs millions d'années.

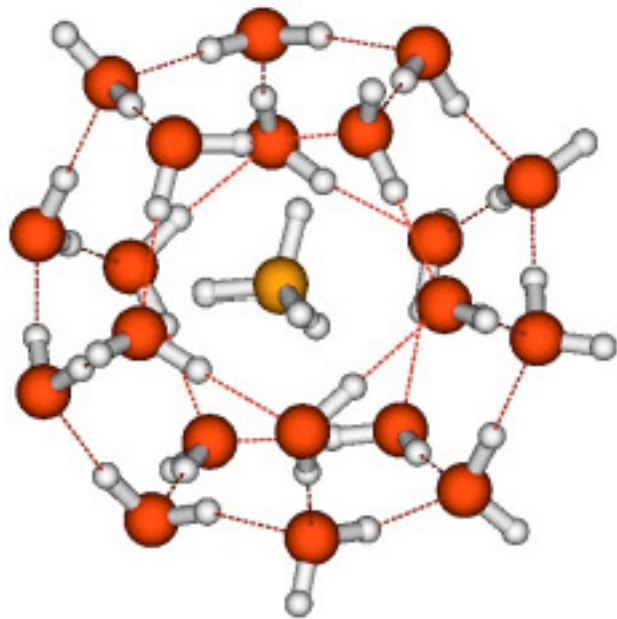
Présents au fond des mers et dans le pergélisol des régions circumpolaires, les hydrates de gaz sont des solides cristallins possédant des propriétés proches de la glace. Ils emprisonnent des gaz dans des structures en forme de cage formées par des molécules d'eau. Les molécules d'eau sont liées entre elles par des liaisons hydrogène.

La forme d'hydrate de gaz la plus courante est l'hydrate de méthane. Cet édifice n'est stable qu'à haute pression ou basse température (par exemples 3 MPa / 0°C ou 10 MPa / 15°C). A température et pression normales 1 m³ d'hydrate de méthane peut libérer 164 m³ de gaz.

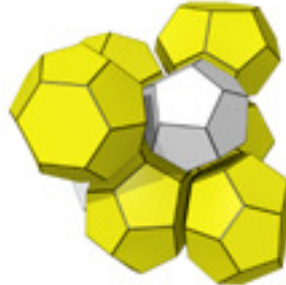
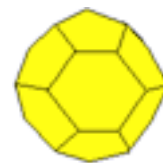
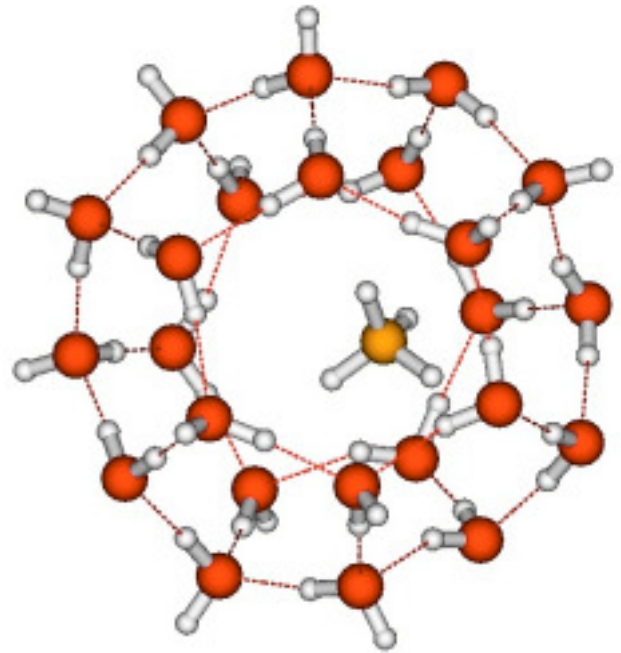
L'hydrate de méthane est probablement issu de la décomposition de matière organique. La quantité d'hydrate de méthane présente, surtout au fond des mers, est inconnue mais elle est probablement considérable. Son exploitation semble techniquement difficile et coûteuse.

Dans la structure la plus courante (nommée structure I), la maille élémentaire est composée de 2 cages 5¹² et 6 cages 5¹²6². La maille est donc formée de 46 molécules d'eau et peut contenir jusqu'à huit molécules de méthane.

Cage 5^{12} formée de 12 faces pentagonales



Cage $5^{12}6^2$ formée de 12 faces pentagonales et 2 faces hexagonales



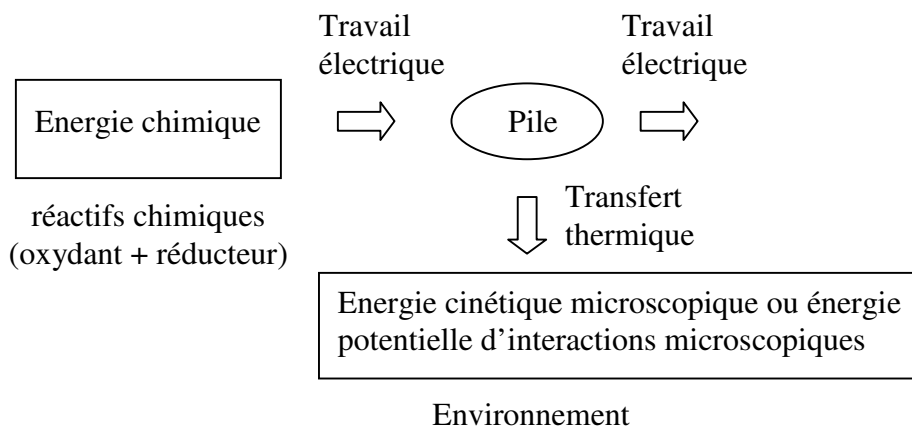
1.3 Eau et énergie

1.3.1 Les piles et les accumulateurs

Les combustibles fossiles sont la principale source d'énergie dans le monde et en même temps la forme de stockage la plus commode avec les techniques actuelles. Mais ces énergies perturbent le climat et les réserves sont finies.

Les piles et les accumulateurs auront probablement un rôle important pour résoudre le défi énergétique (produire de manière renouvelable, stocker, réduire la consommation, ...).

Les piles sont des convertisseurs d'énergie. Elles mettent en jeu des transformations d'oxydoréduction spontanées.

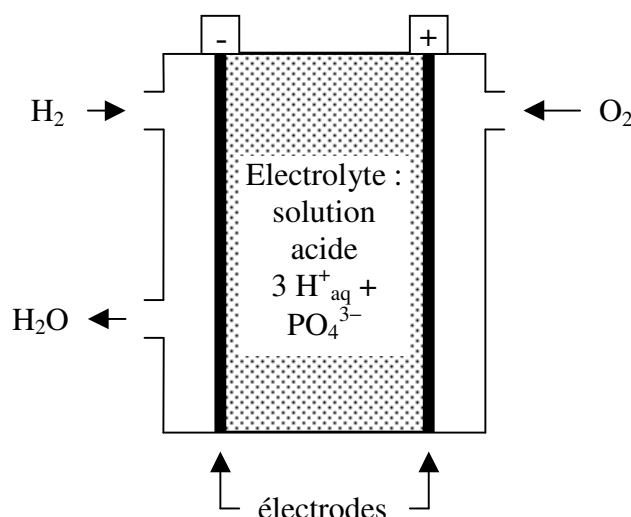


Les meilleures batteries actuelles (batterie lithium-ion) ont certaines caractéristiques techniques contraignantes (capacité limitée, durée de vie, temps de recharge) qui laissent penser que ces batteries seront supplantées par les piles à combustible.

1.3.2 La pile à combustible à hydrogène

Le principe de fonctionnement est simple : la cellule de réaction est composée de deux électrodes séparées par un électrolyte (exemple : l'acide phosphorique H_3PO_4). Elle est alimentée en dihydrogène et en dioxygène en continu et libère de l'eau.

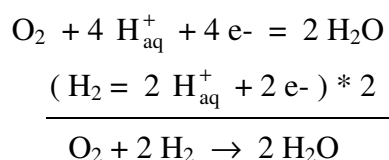
Schéma de la pile à combustible



Le courant circule du pôle (+) vers le pôle (-) à l'extérieur de la pile. Par convention le courant électrique a le sens de déplacement des charges positives, donc les électrons chargés négativement circulent en sens inverse.

Le fonctionnement de la pile repose sur une réaction d'oxydoréduction au niveau des électrodes. Les réactifs sont le dioxygène et le dihydrogène et le produit de l'eau. Ces espèces sont impliquées dans les couples $\text{H}^+_{\text{aq}} / \text{H}_2(\text{g})$ et $\text{O}_2(\text{g}) / \text{H}_2\text{O}(\text{l})$.

La réaction est menée en milieu acide (présence d'ions oxonium notés ici H^+_{aq} au lieu de H_3O^+ et libérés par l'acide phosphorique). Le dihydrogène qui est oxydé est appelé le « combustible » de la pile.



Dans un véhicule motorisé fonctionnant grâce à une pile à combustible, on estime à 1,5 kg la masse de dihydrogène nécessaire pour parcourir 250 km.

1.3.3 Production de dihydrogène

Le fonctionnement de la pile à combustible consomme du dihydrogène (le dioxygène est prélevé dans l'air). Actuellement, le dihydrogène s'obtient essentiellement par un procédé d'extraction chimique d'hydrocarbures fossiles.

Les réserves d'hydrocarbures fossiles étant limitées, d'autres modes de production sont envisageables : voie biologique, électrolyse, réduction chimique.

Electrolyse de l'eau

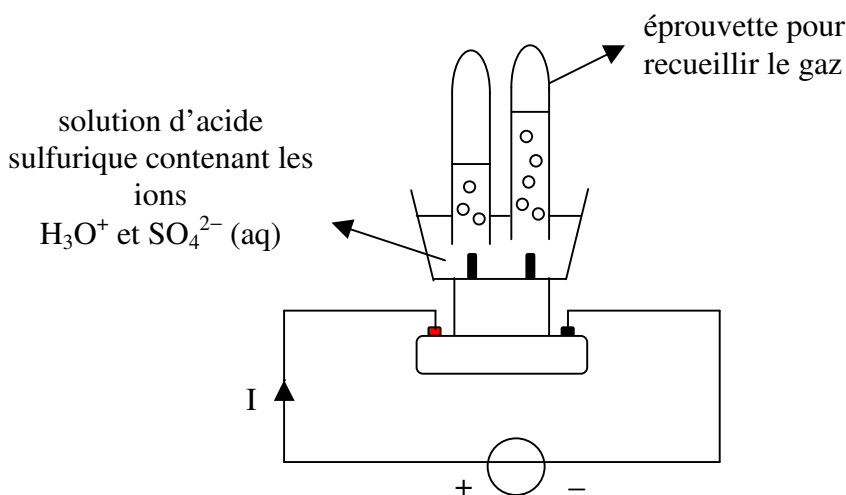
Une solution aqueuse acidifiée par de l'acide sulfurique contient des molécules d'eau H_2O , des ions oxonium H_3O^+ et sulfate SO_4^{2-} (aq). Aucune réaction naturelle entre ces espèces n'est possible.

On place un générateur électrique continu dont chacun des 2 pôles est relié à un conducteur immergé (nommé une électrode) dans la solution.

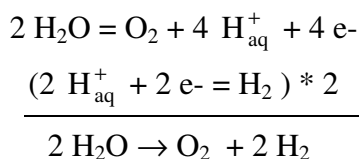
Une réaction chimique nommée électrolyse commence dès que la différence de potentiel électrique (ddp ou tension électrique) entre les 2 électrodes est suffisante pour que se produise simultanément :

- une oxydation à l'électrode nommée « anode » reliée au pôle « + » du générateur
- une réduction à l'électrode nommée « cathode » reliée au pôle « - » du générateur

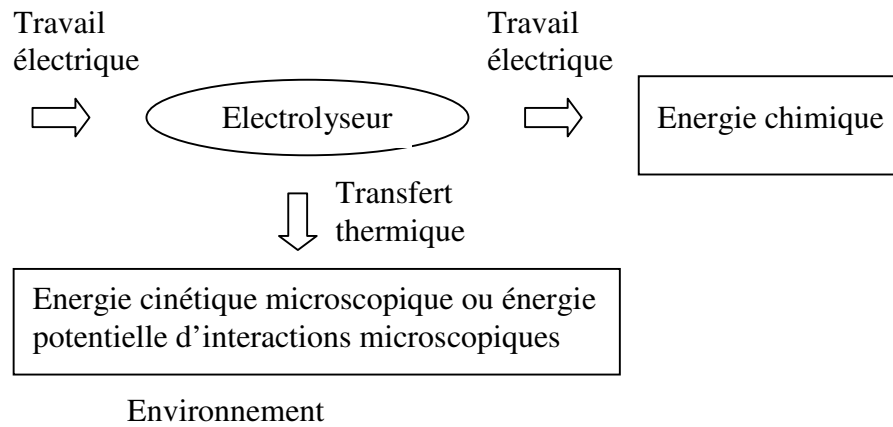
Exemple



Equation bilan de la réaction d'électrolyse :



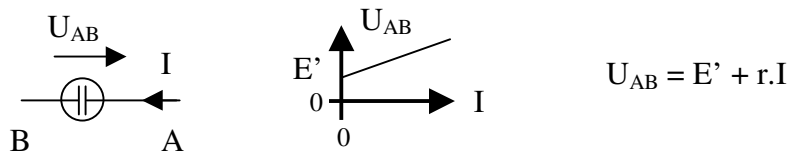
L'électrolyse est une transformation non naturelle qui cesse dès que le générateur est hors circuit.



Le passage du courant dans le circuit est assuré par le déplacement des ions dans la solution et par celui des électrons dans les électrodes et les conducteurs électriques. L'interface entre l'électrode et la solution est le siège d'un échange d'électrons.

Remarque si on augmente la tension imposée à l'électrolyseur d'autres réactions peuvent se superposer à la réaction la plus facile ci-dessus.

La caractéristique tension - intensité d'un dipôle électrique est une courbe représentant les variations de la tension aux bornes du dipôle en fonction de l'intensité du courant qui le traverse. Pour l'électrolyseur, on a :



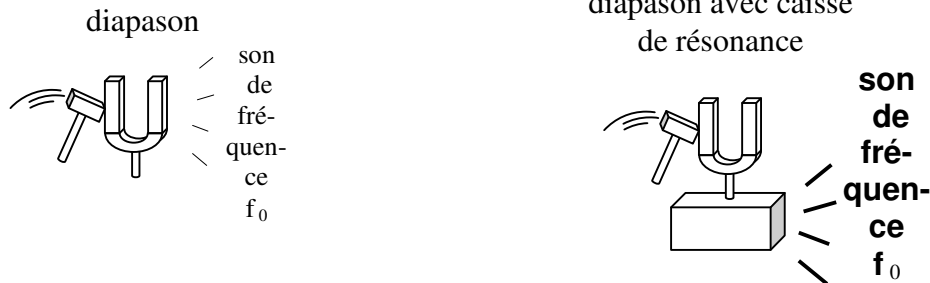
r est la résistance interne de l'électrolyseur et E' est la force électromotrice (fcém) de l'électrolyseur.

2 Son et musique

2.1 Instruments de musique

Les instruments de musique possèdent tous une surface qui vibre associée à un système assurant le couplage avec l'air.

Illustration par un système simple



Pour qu'un instrument de musique produise un son il doit remplir deux fonctions : vibrer et émettre. Dans de nombreux cas d'instruments réels ces fonctions sont indissociables.

2.1.1 Les instruments à cordes

Vibration d'une corde tendue entre deux points fixes

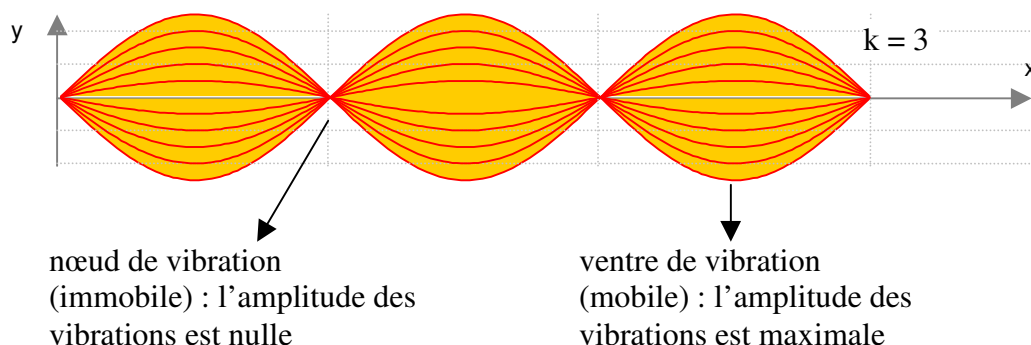
Une fois mis en oscillation, la corde vibre librement à une fréquence caractéristique qui lui est propre f_0 .

Oscillations forcées d'une corde pincée ou frappée

Sous l'action d'un oscillateur sinusoïdal extérieur (l'excitateur), on impose à la corde (le résonateur) de vibrer à une fréquence f qui peut-être différente de sa fréquence propre f_0 .

Observations

- après quelques instants (régime transitoire), la corde possède la même fréquence que celle de l'excitateur (régime établi)
- pour des fréquences d'excitation quelconques, la corde a un mouvement d'amplitude très faible
- pour certaines valeurs de la fréquence d'excitation telles que $f_k = k \cdot f_0$ ($k = 1, 2, 3, \dots$) la corde vibre avec une grande amplitude en formant un ($k = 1$) ou plusieurs fuseaux ($k = 2, 3, \dots$)

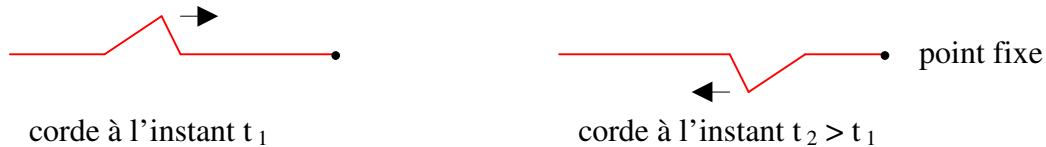


Cette manière de vibrer à une fréquence f_k est appelée mode propre de vibration. Ces observations mettent en évidence que les modes propres ne sont possibles que pour un nombre limité de fréquences : il y a quantification des fréquences des modes de vibration.

Le mode pour lequel la fréquence est égale à f_0 est nommé le fondamental. Les modes pour lesquels la fréquence est un multiple de f_0 ($f_k = k \cdot f_0$) sont nommés les harmoniques.

Interprétation ondulatoire des modes propres de vibration

Réflexion d'une onde progressive sur un obstacle fixe :



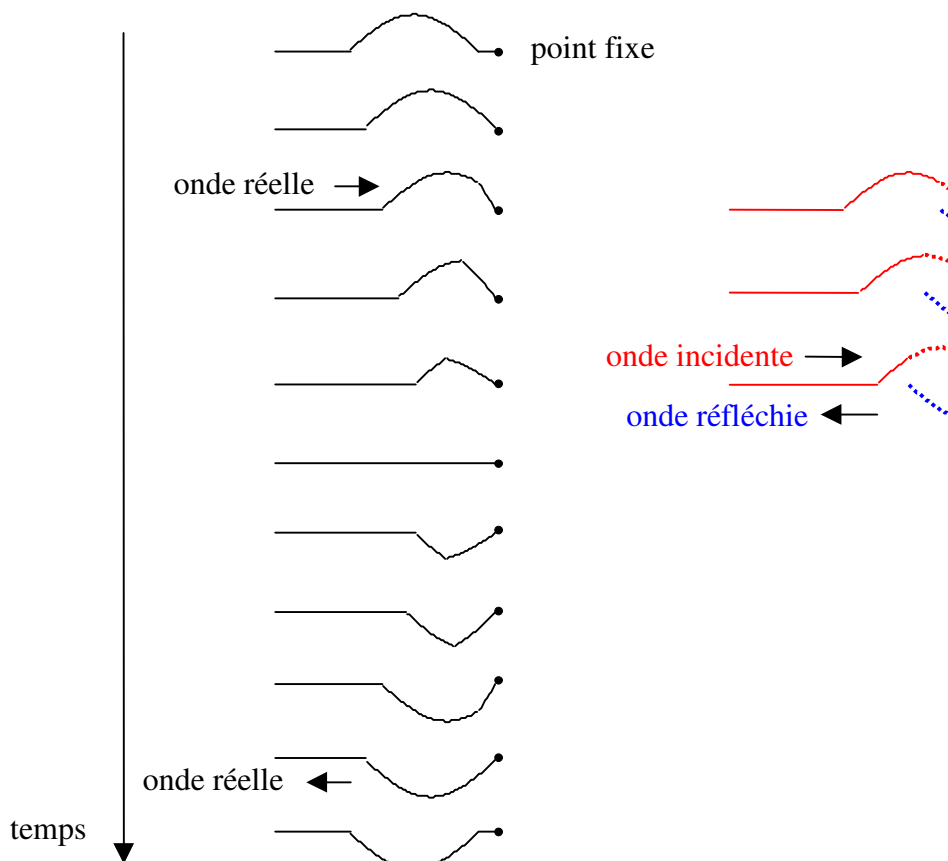
Observations

- l'onde est réfléchi sur l'obstacle
- la vitesse de l'onde est constante
- après réflexion l'onde se propage dans le sens inverse
- la forme de l'onde réfléchi est la même mais inversée

Cas d'une onde progressive sinusoïdale incidente

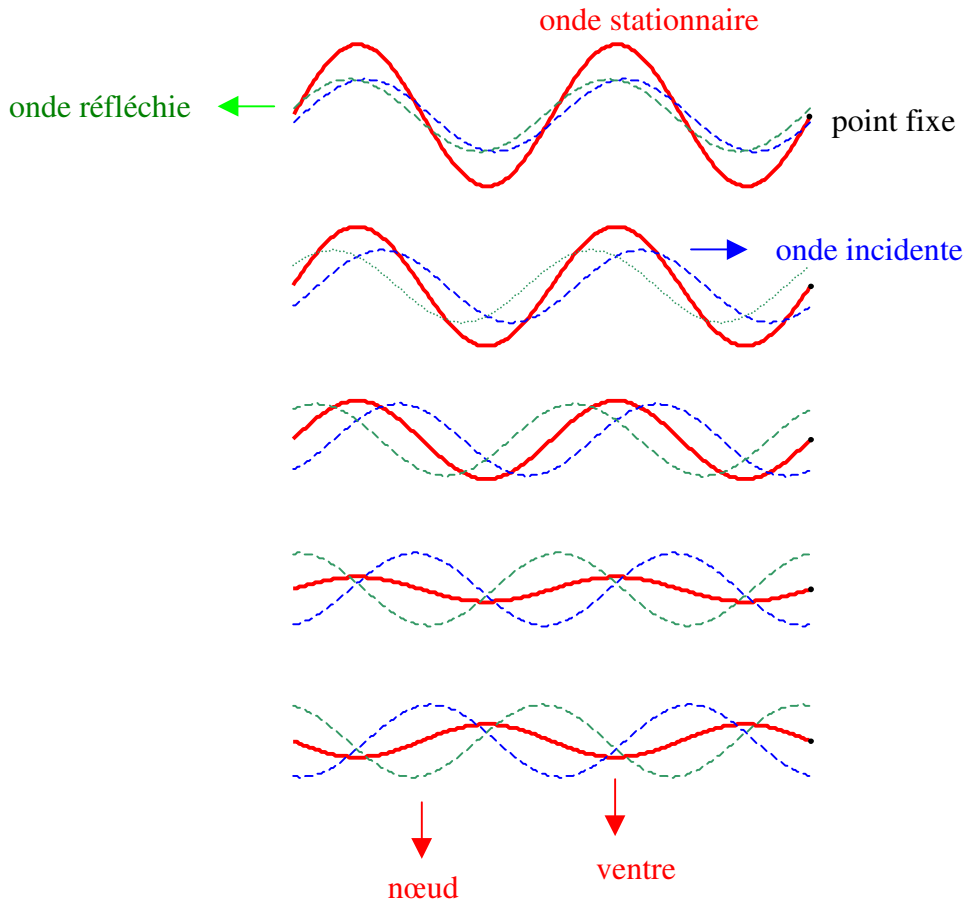
Pendant la réflexion sur l'obstacle fixe, on constate que l'onde réelle (schémas de gauche) est la somme algébrique de l'onde incidente et de l'onde réfléchi (schémas de droite).

Au point de réflexion, l'onde réfléchi est à chaque instant juste l'opposée de l'onde incidente et donc l'amplitude de l'onde réelle est toujours nulle en ce point.



Onde stationnaire

L'onde progressive sinusoïdale est maintenant entretenue. Un train d'onde se propage vers l'obstacle fixe. La réflexion sur l'obstacle génère un train d'onde réfléchi qui se superpose à l'onde incidente. La superposition en tout point de ces deux ondes produit une onde stationnaire.



Réflexions sur deux obstacles fixes

Une corde de longueur L a ses deux extrémités fixées. La traction exercée sur la corde est réglable. Un vibreur mécanique produit une onde sinusoïdale progressive entretenue.

Observations

- la plupart du temps, la corde a un aspect brouillé et instable
- pour certaines fréquences du vibreur, la corde vibre sur un mode particulier qui fait apparaître un ou plusieurs fuseaux stables : l'onde est stationnaire
- chaque extrémité fixée de la corde est un nœud de vibration
- si on augmente la fréquence du vibreur, la longueur des fuseaux de l'onde stationnaire diminue
- si on augmente la traction exercée sur la corde, la longueur des fuseaux de l'onde stationnaire s'accroît

Interprétation

La corde étant fixée, l'onde progressive se propage et subit une réflexion à chaque extrémité.

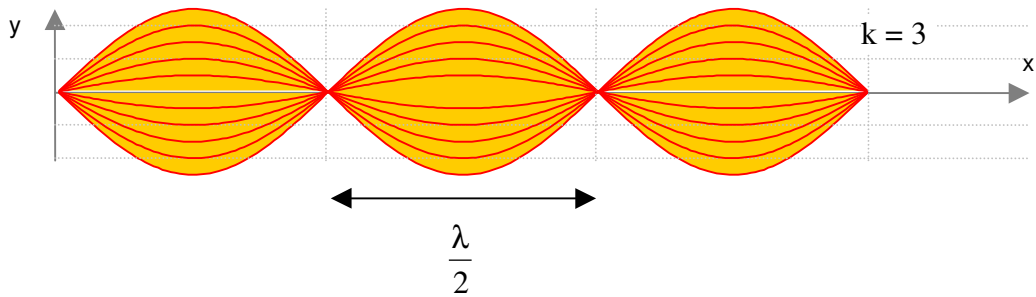
Dans le cas général, la superposition de l'onde incidente entretenue et des ondes provenant des réflexions successives n'est pas constructive.

Un cas particulier est celui de l'onde qui se propage à la célérité v et qui se retrouve, après un aller-retour, identique à elle-même (elle est donc périodique). La superposition est alors constructive (c'est l'onde stationnaire observée). Si l'onde est sinusoïdale, cela impose que $2L$ soit un multiple entier k de la longueur d'onde λ :

$$2L = k \lambda$$

ce qui correspond aux fréquences propres d'expression :

$$f_k = \frac{k v}{2L}$$



Rappels

$$f = \frac{1}{T}$$

$$\lambda = v T$$

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

Remarque

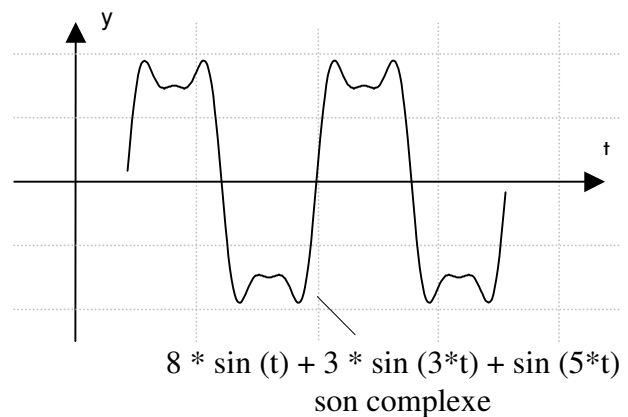
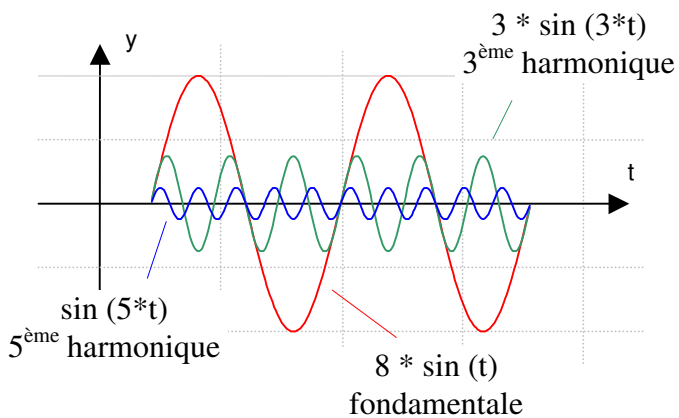
La célérité de propagation de l'onde dépend de la traction F (N) et de la masse linéique μ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$) de la corde selon la relation :

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

Oscillations libres d'une corde pincée ou frappée

Une corde pincée oscille librement. Elle émet un son complexe qui est composé du mode fondamental et des harmoniques.

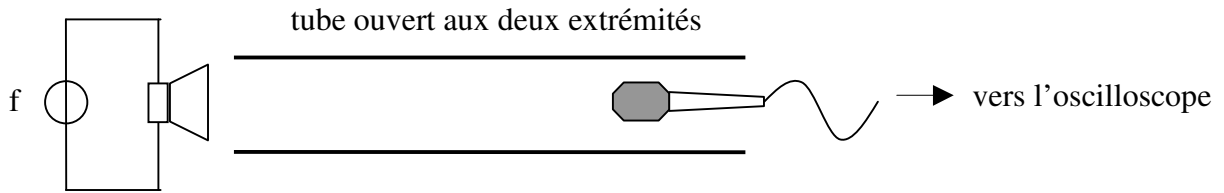
Exemple



2.1.2 Les instruments à vent

Vibration d'une colonne d'air

Un haut-parleur alimenté par une tension sinusoïdale de fréquence réglable est placé à proximité d'un tube ouvert aux deux extrémités. Un micro amplifié branché à un oscilloscope est capable de se déplacer dans la colonne d'air.



Observations

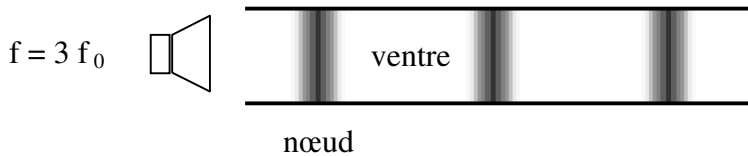
Le micro est fixe au milieu de la colonne d'air

- l'émission sonore de la colonne d'air est en général très faible
- pour certaines fréquences du GBF, multiples entiers de la fréquence fondamentale f_0 , la colonne d'air émet un son nettement plus intense (résonance)

Le micro se déplace le long de la colonne d'air à la résonance

- une répartition stable des amplitudes de vibration s'est établie dans la colonne avec des nœuds et des ventres
- les extrémités ouvertes du tuyau correspondent à des ventres de vibration

Interprétation



Dans la colonne, les tranches d'air vibrent longitudinalement. Comme pour la corde, on met en évidence des modes propres de vibration. Les fréquences de ces modes de vibration sont liées à la longueur du tuyau.

Remarque les nœuds de vibration correspondent à des ventres de pression (et réciproquement). Un microphone est sensible à la pression de l'air.

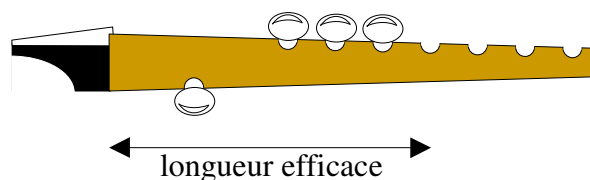
L'expérience montre qu'un système d'onde stationnaire s'établit si la relation $2L = k \lambda$ est vérifiée.

Modèle simplifié d'excitation d'une colonne d'air par un biseau (ou une anche)

Une flûte à bec peut être modélisée par un tuyau cylindrique ouvert à ses deux extrémités, l'extrémité du bec comportant un biseau.

Dans ce cas, le tuyau étant ouvert aux deux extrémités, le son émis contient la fréquence du fondamental et celles de certains harmoniques.

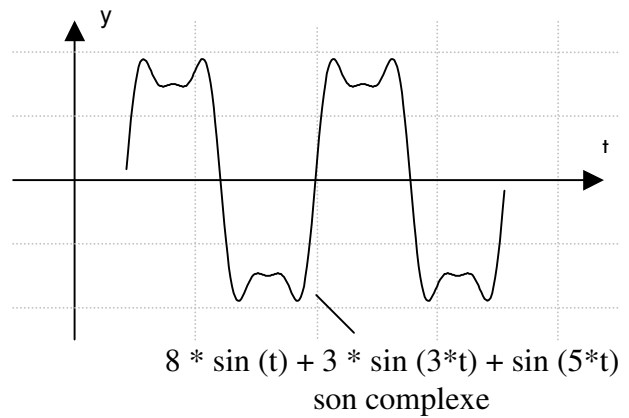
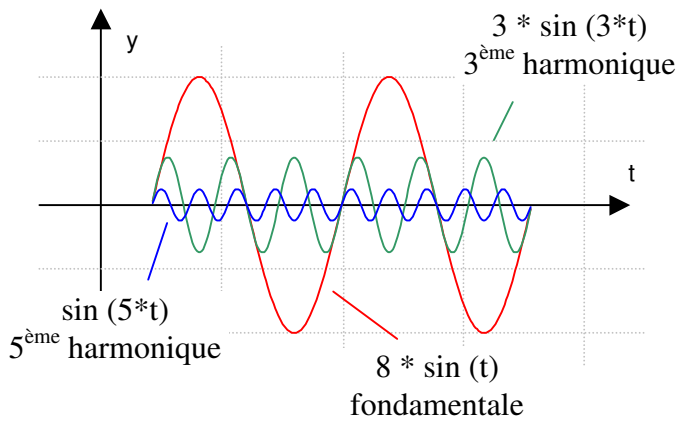
La fréquence du fondamental dépend de la longueur efficace de la flûte. C'est le premier trou non bouché qui détermine cette longueur efficace.



2.1.3 Les instruments électroniques

Hauteur d'un son

On a vu précédemment que la vibration d'une corde ou d'une colonne d'air est la superposition de son mode fondamental et de ses harmoniques.



Cette superposition des modes de vibration produit une vibration périodique complexe dont la fréquence est égale à celle du mode fondamental.

Le mathématicien Joseph Fourier a montré que la réciproque est également vrai : toute fonction périodique de fréquence f peut-être décomposée en une somme de fonctions sinusoïdales de fréquences $f, 2f, 3f, \dots$ (son spectre).

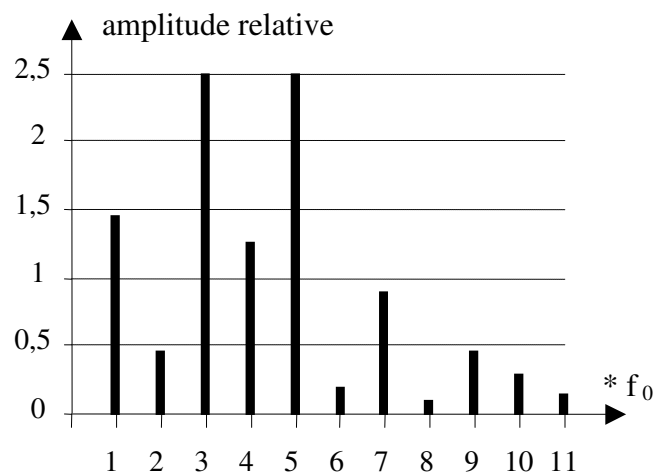
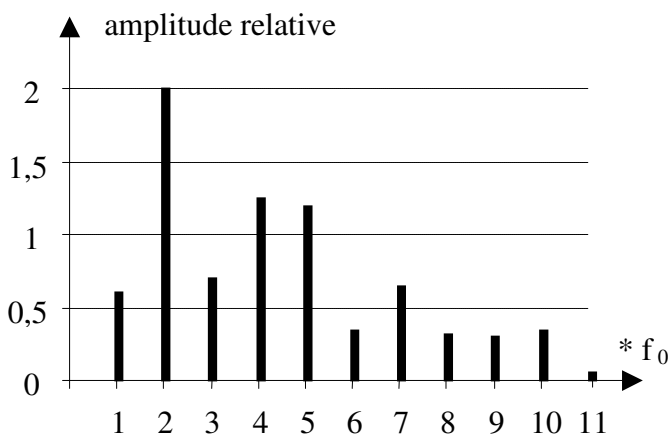
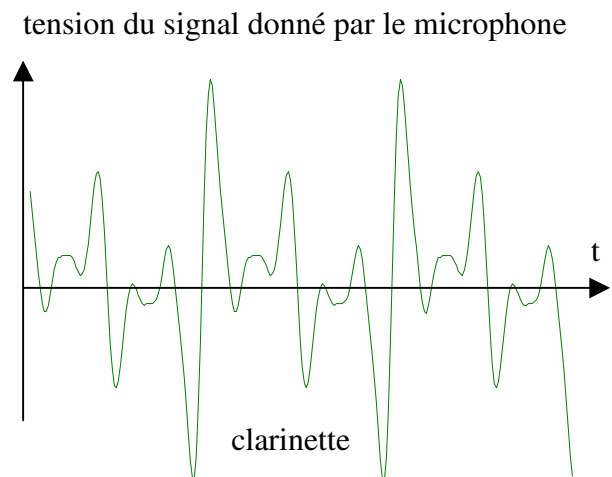
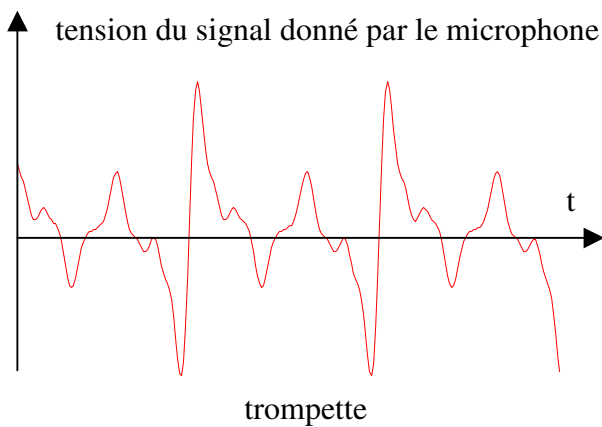
Par conséquent, la hauteur d'un son musical dépend de sa fréquence fondamentale. Elle est la qualité qui distingue un son aigu d'un son grave.

Lorsqu'une note a une fréquence double d'une autre, on dit qu'elle est à l'octave.

Timbre d'un instrument de musique

Deux sons de même hauteur émis par deux instruments différents sont perçus différemment par l'oreille. Ils se différencient par leur timbre.

Exemples



La fréquence et l'amplitude de chaque harmonique contribue au timbre d'un son musical.

Gamme tempérée

Une gamme est une suite de notes de musique dans une octave. La gamme utilisée en occident et de nos jours est la gamme tempérée. Elle est divisée en 12 intervalles (appelés demi-tons).

On passe d'une note à une autre, un demi-ton plus haut, en multipliant la fréquence par $\sqrt[12]{2}$. Pour un ton, on multiplie par $\sqrt[6]{2}$.

		* $\sqrt[6]{2}$		* $\sqrt[12]{2}$					
Note	do	ré	mi	fa	sol	la	si	do	
Intervalle	1 ton	1 ton	½ ton	1 ton	1 ton	1 ton	½ ton		

2.1.4 Les instruments à percussion

En frappant un objet, on provoque un « bruit » dont la hauteur ne peut généralement pas être rapportée à une note précise de la gamme.

Le bruit est un mélange complexe de fréquences dans lequel aucune fréquence fondamentale n'est identifiable. C'est le cas du tambour ou des cymbales.

Parfois, une fréquence domine et l'on entend un son de hauteur identifiable. C'est le cas du xylophone ou d'une cloche.

2.2 Emetteurs et récepteurs sonores

2.2.1 Domaine de fréquences audibles

L'oreille humaine est sensible aux sons dont la fréquence est comprise entre 20 Hz et 20 000 Hz. En dehors de cet intervalle de fréquence, le son est inaudible.

2.2.2 Sensibilité de l'oreille

Pour que l'oreille perçoive un son dans le domaine audible, l'intensité sonore I doit être telle que :

$$10^{-12} \text{ W / m}^2 < I < (1 \text{ à } 100) \text{ W / m}^2$$

où $I_0 = 10^{-12} \text{ W / m}^2$ (l'intensité de référence) est considéré comme la limite de sensibilité de l'oreille. La borne supérieure de l'intensité sonore correspond à une destruction de l'oreille.

Le niveau sonore L est lié à l'intensité sonore I par une échelle logarithmique :

$$L = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right) \quad [L] = \text{décibel acoustique dB}_A$$

Cette notion physiologique quantifie la sensation sonore : lorsque l'intensité sonore est multipliée par 2, le niveau sonore est augmenté de 3 dB_A.

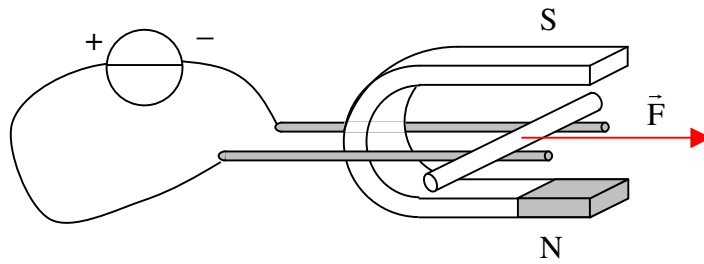
La valeur de 90 dB_A est considérée comme le seuil de danger. Une exposition prolongée à des niveaux sonores supérieurs entraîne des dégradations irréversibles de l'audition.

2.2.3 Microphone et haut-parleur

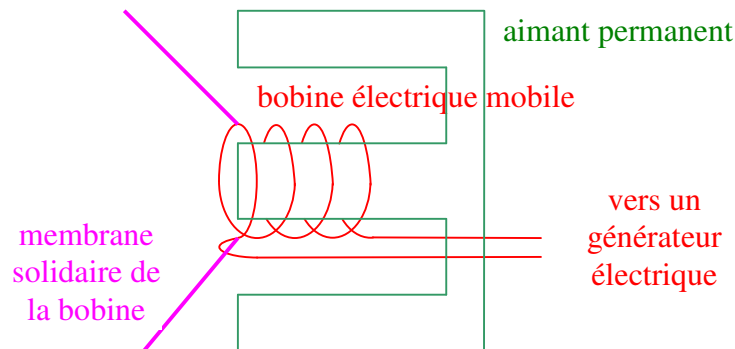
Force de Laplace

Un conducteur parcouru par un courant et placé dans un champ magnétique est soumis à une force électromagnétique (appelée force de Laplace).

Expérience des rails de Laplace

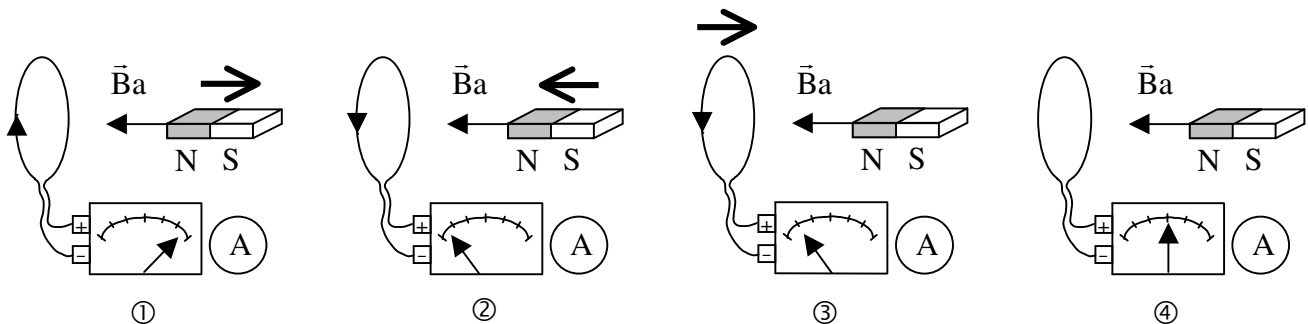


Principe de fonctionnement d'un haut parleur



La bobine électrique parcourue par un courant est plongée dans le champ magnétique de l'aimant permanent. La force de Laplace fait bouger la bobine et la membrane. La membrane fait vibrer l'air, ce qui produit le son.

Phénomène d'induction



Observations

- 1 et 3 un courant apparaît quand on déplace un aimant devant un circuit fermé ou quand on déplace un circuit fermé devant un aimant
- 1 et 2 le sens du courant dépend du sens de déplacement de l'aimant
- 4 le courant s'annule quand le déplacement relatif du circuit et de l'aimant cesse.

Le microphone

Le microphone et le haut-parleur sont exactement le même dispositif, mais ils fonctionnent en sens inverse.

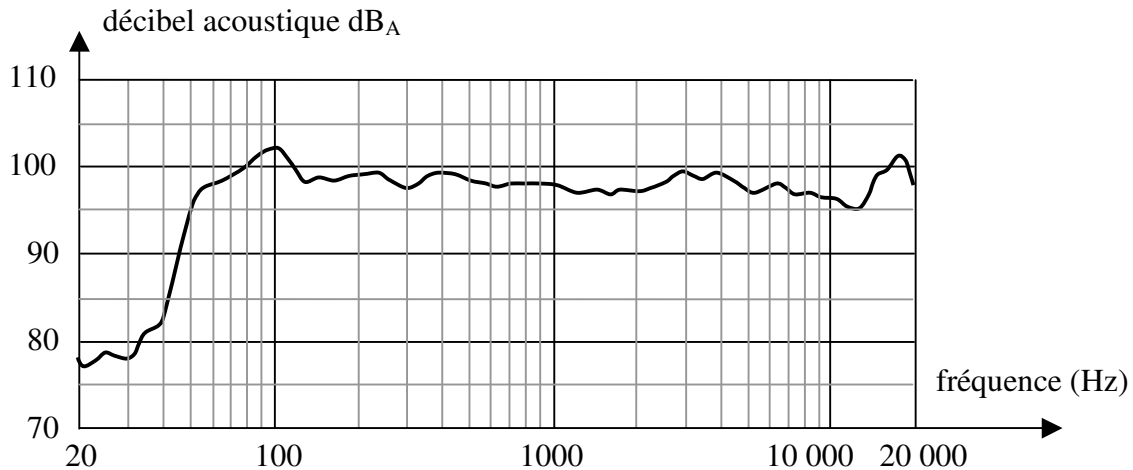
La membrane et la bobine du microphone sont mises en mouvement par les vibrations de l'air, c'est à dire le son. Plongée dans un champ magnétique, la bobine électrique génère un courant.

La bande passante

Pour des raisons complexes (déformation de la membrane, résistance électrique et masse de la bobine, frottements, ...), les variations des vibrations de l'air et les variations de l'intensité du courant électrique ne sont pas rigoureusement semblables.

Exemple

Un générateur délivre au haut-parleur une puissance constante de 1 W. Il en résulte, pour chaque fréquence, un niveau sonore mesuré à 1 mètre.



A chaque fréquence le haut-parleur se comporte différemment. On voit qu'aux basses fréquences (< 50 Hz) le niveau sonore est trop peu audible. La bande passante exprime la plage de fréquences pour lesquelles le niveau sonore est suffisamment fort (ici 50 - 20 000 Hz).

2.2.4 Enceintes acoustiques

Pour des applications de haute fidélité, les haut-parleurs sont groupés par deux ou trois dans une enceinte, de manière à couvrir la plus large bande passante possible.

Exemple

Une enceinte à trois haut-parleurs (3 voies) comprend un woofer (basses fréquences), un médium (fréquences moyennes) et un tweeter (hautes fréquences).

L'enceinte joue aussi un rôle acoustique. Sa principale fonction est de séparer l'onde qui se propage vers l'avant de la membrane et l'onde qui se propage vers l'arrière. Ces deux ondes peuvent interférer l'une avec l'autre.

Pour minimiser ce phénomène, le haut-parleur est encastré dans une paroi plane pour séparer les deux ondes. De nombreuses solutions techniques sont utilisées pour supprimer ou utiliser l'onde arrière.

Exemples

- l'enceinte est close et capitonnée d'un matériau absorbant pour atténuer l'onde arrière
- l'enceinte bass reflex est close avec un évent placé à l'avant pour canaliser l'onde arrière. Le trajet supplémentaire effectué par l'onde arrière permet d'éviter les interférences

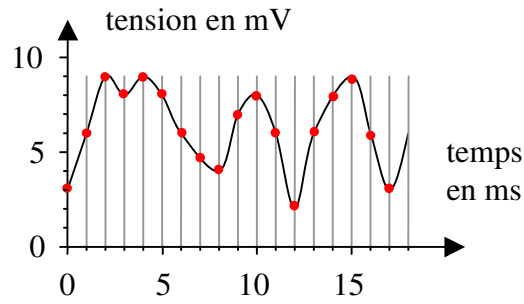
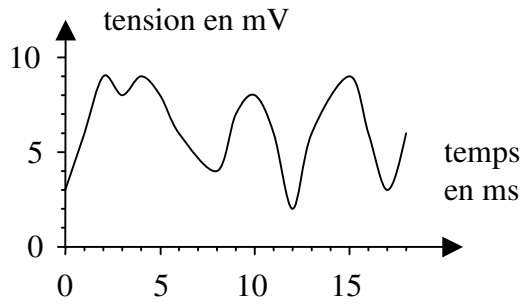
2.2.5 Casque audio

Le casque audio possède un écouteur pour chaque oreille. Chaque écouteur est constitué d'un mini haut-parleur.

2.2.6 Reconnaissance vocale

La voix du locuteur est captée par un microphone. Le signal électrique résultant est numérisé.

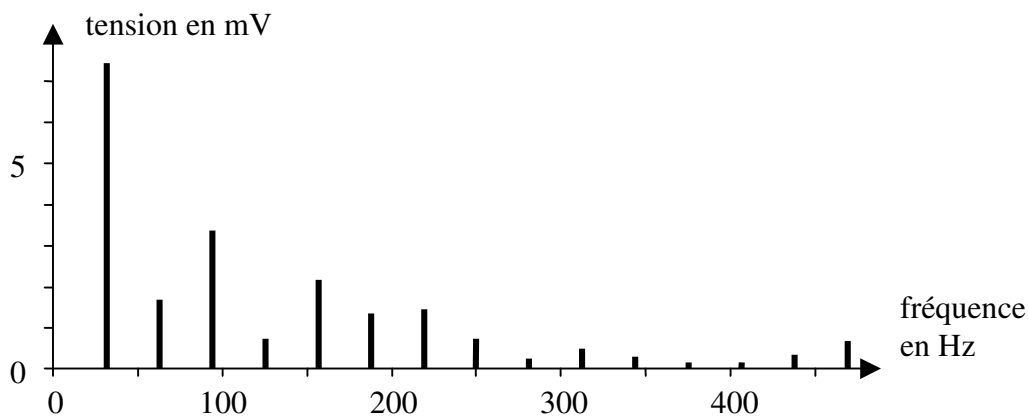
Exemple



temps en ms	tension en mV
0	3,31
1	6,22
2	9,16
3	8,29
4	9,16
5	8,29
6	6,22

Un logiciel effectue la transformée de Fourier de petits morceaux du signal numérisé (d'une durée de quelques dizaines de millisecondes). La figure des valeurs obtenues est appelé un spectre en fréquences.

Exemple spectre en fréquences du signal précédent



Les maxima du spectre en fréquences sont appelés des formants. Les 3 premiers formants (F_1 , F_2 , F_3) sont associés à l'ouverture de la bouche, la position de la langue et la configuration des lèvres.

Exemple formants des voyelles non accentuées

	a	e	i	o	u
F_1 (Hz)	680	380	360	420	350
F_2 (Hz)	1300	1420	2680	850	1750
F_3 (Hz)	2600	2230	3000	2240	2120

Les formants (dépendant du son prononcé) sont comparés au cours du temps aux valeurs d'une table de formants. On en déduit les plus petites unités distinctives (les phonèmes) qui sont des lettres ou des associations de lettres (« a » de **mat** ; « Ø » de **peu** ; ...).

La reconnaissance vocale trouvent des applications dans de nombreux domaines :

- parole continue : dictée pour traitement de texte, commande de machines, enseignement des langues
- mots isolés : serveur vocal téléphonique

2.3 Son et architecture

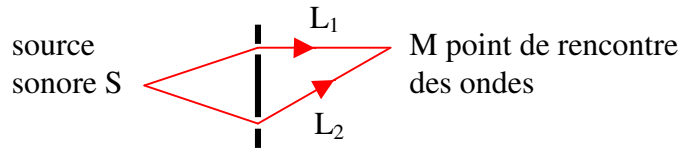
2.3.1 Phénomènes liés à la nature ondulatoire du son

Interférence

Il y a interférence là où deux ondes « se rencontrent » et si les sources ont même fréquences. Aucun phénomène remarquable ne peut être obtenu avec des sources incohérentes (fréquences différentes).

Exemple

deux faisceaux issus d'une même source ponctuelle



paroi percée de deux trous

Après avoir passé la paroi, les ondes ont des trajets différents (L_1 et L_2). L'onde « a » en M est la somme des ondes cohérentes « a_1 » et « a_2 » en M :

$$a(M, t) = a_1(M, t) + a_2(M, t) = A \cdot \cos(\omega \cdot t - \varphi_1) + A \cdot \cos(\omega \cdot t - \varphi_2)$$

On effectue un changement de variable $t = t_1 + (\varphi_1 / \omega)$

$$a(M, t) = A \cdot \cos(\omega \cdot t_1) + A \cdot \cos(\omega \cdot t_1 + (\varphi_1 - \varphi_2))$$

On pose $\delta = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{\omega}{v}(L_1 - L_2)$ que l'on nomme différence de phase

1^{er} cas remarquable $\delta = 2 \cdot n \cdot \pi$ ($n \in \mathbb{Z}$) $\Rightarrow a(M, t) = 2 \cdot A \cdot \cos(\omega \cdot t_1)$

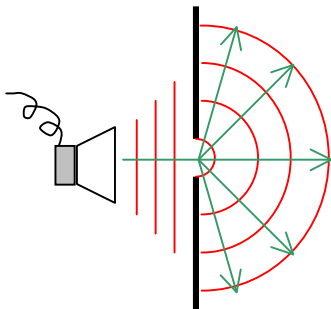
Il y a superposition constructive des deux ondes correspondant à un point très sonore.

2^{ème} cas remarquable $\delta = (2 \cdot n + 1) \cdot \pi$ ($n \in \mathbb{Z}$) $\Rightarrow a(M, t) = 0$

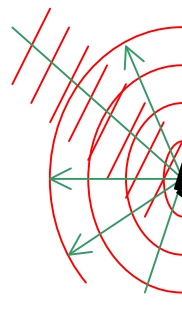
Il y a superposition destructive des deux ondes correspondant à un point de silence.

Réflexion, absorption, diffusion et diffraction

Le son est une onde qui peut également être réfléchi, absorbée, diffusée ou diffractée.



diffraction d'une onde sonore



diffusion d'une onde sonore par un obstacle sur une paroi

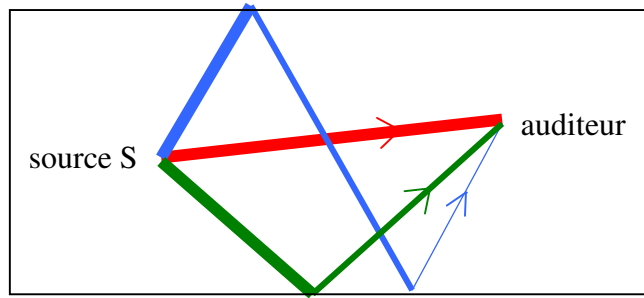
2.3.2 Auditorium

Un auditorium est une salle pour l'audition d'une œuvre musicale ou théâtrale. Il est construit de manière à optimiser sa qualité sonore.

Réverbération.

Un auditeur placé dans la salle reçoit le son rayonné directement par la source et le son réfléchi ou diffusé par les parois.

Exemple



Les sons reçus indirectement par l'auditeur ont un retard proportionnel à la distance supplémentaire parcourue. Par ailleurs, chaque réflexion étant accompagnée d'une absorption, leur amplitude décroît dans le temps.

Ce phénomène est nommé réverbération. Un son décroissant persiste alors que la source n'émet plus.

Temps de réverbération

Une des caractéristiques essentielles des auditoriums est le temps de réverbération Tr . C'est le temps qui s'écoule entre le moment où la source cesse d'émettre et le moment où l'intensité sonore du son a décré jusqu'au millionième de sa valeur initiale (ce qui représente un affaiblissement de 60 dB).

Dans un local de forme régulière, une approximation du temps de réverbération peut se calculer avec la formule de Sabine :

$$Tr = 0,16 \cdot \frac{V}{\sum_i \alpha_i S_i}$$

V : volume du local (m^3)

S_i : surface de la paroi réalisée dans le matériau « i » (m^2)

α_i : coefficient d'absorption du matériau « i » (sans unité, $\alpha \in [0, 1]$)

Exemples

Les dimensions d'une salle de séjour sont : 6,0 m de long, 4,0 m de large et 2,5 m de haut.

Les parois sont en béton ($\alpha_b = 0,020$) :

$$Tr = 0,16 \cdot \frac{V}{\alpha_b \cdot S_b} = 0,16 \cdot \frac{6,0 \cdot 4,0 \cdot 2,5}{0,020 \cdot 2 \cdot (6,0 \cdot 4,0 + 6,0 \cdot 2,5 + 4,0 \cdot 2,5)} = 4,9 \text{ s}$$

Les murs sont maintenant recouverts de papier peint ($\alpha_p = 0,10$) :

$$Tr = 0,16 \cdot \frac{V}{\alpha_b \cdot S_b + \alpha_p \cdot S_p} = 0,16 \cdot \frac{6,0 \cdot 4,0 \cdot 2,5}{0,020 \cdot 2 \cdot (6,0 \cdot 4,0) + 0,10 \cdot 2 \cdot (6,0 \cdot 2,5 + 4,0 \cdot 2,5)} = 1,6 \text{ s}$$

Le temps de réverbération doit être adapté à l'utilisation de l'auditorium. Les salles de concert ont un temps de réverbération long ($\cong 2,5$ s) qui augmente l'intensité sonore et contribue à l'impression d'être dans une grande pièce. Les salles de théâtre ont un temps de réverbération court ($\cong 1$ s) qui améliore l'intelligibilité du texte.

Pour ajuster le temps de réverbération, on peut modifier la géométrie de la salle ou la matière des parois. Des surfaces lisses et dures absorbent peu le son et le temps de réverbération est plus long. A l'inverse, les matières souples et rugueuses absorbent beaucoup le son et le temps de réverbération est moins long.

2.3.3 Salle sourde

Les parois de la salle sourde sont recouvertes de mousse flexible en forme de pyramides absorbant les sons. Dans cette salle, le son se propage sans réflexion (le temps de réverbération est nul).

2.3.4 Le pendule élastique

Deux masses « m_1 » et « m_2 » sont reliées par un ressort de raideur « k » et astreintes à se déplacer selon un axe.

Si on néglige tous les frottements, le mouvement des masses suivant l'axe s'effectue sous l'action de la force de rappel du ressort.

La fréquence propre « f_0 » de ce mouvement d'oscillation dépend uniquement des masses et de « k » :

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad \text{avec la masse réduite } m = \frac{m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2}$$

Analyse dimensionnelle

On peut vérifier la validité de cette expression par analyse dimensionnelle. Définitions et loi utiles :

- définition de la force de rappel d'un ressort $F = k \cdot (l - l_0)$ (« l » longueur du ressort)
- deuxième loi de Newton $\sum \vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$
- définition de la quantité de mouvement $\vec{p} = m \cdot \vec{v}$
- définition de la vitesse $\vec{v} = \frac{d\vec{l}}{dt}$

$$[F] = \left[\frac{p}{t} \right] = \left[\frac{m \cdot v}{t} \right] = \frac{M \cdot \frac{L}{T}}{T} = \frac{M \cdot L}{T^2}$$

$$[k] = \left[\frac{F}{l - l_0} \right] = \frac{[F]}{[l - l_0]} = \frac{\frac{M \cdot L}{T^2}}{L} = \frac{M}{T^2}$$

$$\left[\frac{k}{m} \right] = \frac{\frac{M}{T^2}}{M} = \frac{1}{T^2}$$

$$\left[\frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \right] = \left[\frac{1}{2\pi} \right] \cdot \left[\sqrt{\frac{k}{m}} \right] = \sqrt{\left[\frac{k}{m} \right]} = \sqrt{\frac{1}{T^2}} = \frac{1}{T}$$

La fréquence propre « f_0 » des oscillations des masses reliées à un ressort a bien pour dimension l'inverse d'un temps.

Amortissement

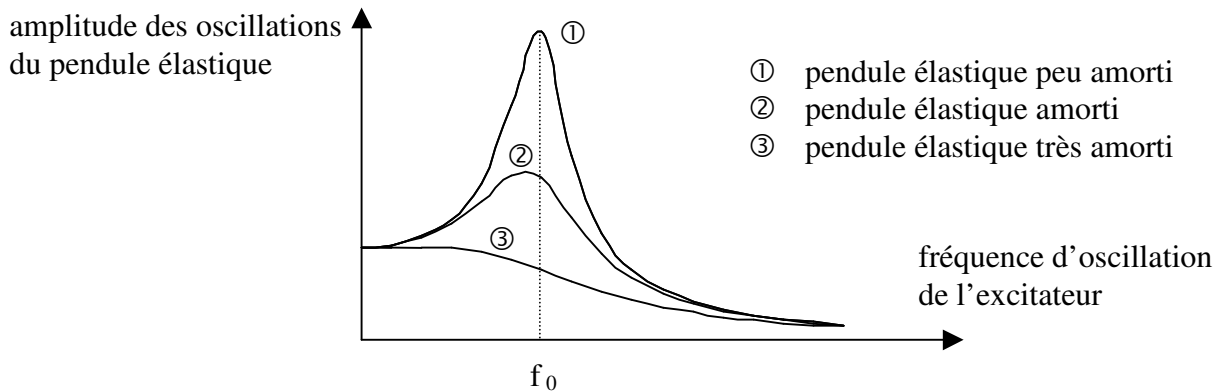
Les oscillations du pendule élastique finissent toujours par s'amortir à cause des frottements. Selon l'importance des frottements, on distingue :

- le régime pseudo-périodique qui correspond un amortissement faible.
- le régime apériodique qui correspond à un amortissement important. Le système revient à sa position d'équilibre sans osciller.

Résonance

Le pendule élastique oscille maintenant sous l'action d'un oscillateur extérieur (nommé exciteur).

- le pendule élastique oscille avec une fréquence « f » imposée par l'exciteur
- l'amplitude des oscillations pendule élastique dépend de la fréquence « f » de l'exciteur



Les courbes 1 et 2 ci-dessus présentent un pic caractéristique de la résonance. L'amplitude maximale des oscillations du pendule élastique est atteinte pour une fréquence « f » de l'excitateur voisine de « f₀ » la fréquence propre du pendule élastique.

2.3.5 Isolation phonique

Le son résulte d'une vibration de l'air. Il va donc se propager à travers tout ce qui peut entrer en vibration comme une paroi.

Pour réduire la transmission du son par une paroi, il existe deux possibilités :

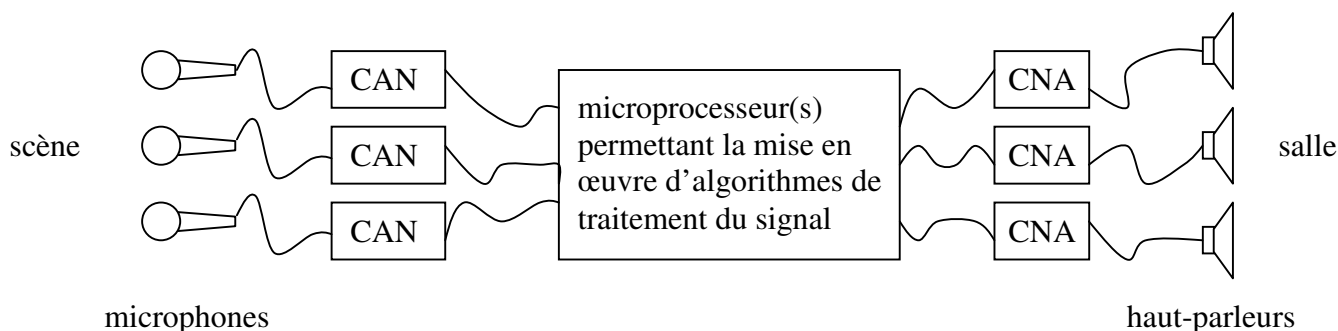
- augmenter la masse de la paroi. L'énergie transportée par l'onde sonore ne sera plus suffisante pour la faire vibrer.
- désolidariser deux parois entre elles par un matériau élastique qui joue le rôle d'un ressort. Le système paroi - ressort - paroi est un pendule élastique. Plus la raideur « k » du ressort est faible, plus la fréquence de résonance est déplacée vers les fréquences basses (idéalement < 100 Hz).

2.3.6 Acoustique active

Il s'agit de contrôler l'acoustique d'un auditorium : corriger certains défauts ou lui conférer une variabilité (modifier le temps de réverbération, renforcer le son direct, ...).

La variabilité acoustique d'un auditorium peut être obtenue par des systèmes mobiles passifs : cadre de scène mobile, plafond à hauteur variable, parois dotées de revêtements pouvant être réfléchissants ou absorbants.

Cette variabilité peut aussi être obtenue de manière active. Par exemple, des hauts parleurs sont fixés aux parois et simulent des réflexions du son pour modifier le temps de réverbération.



CAN : convertisseur analogique → numérique ; CNA : convertisseur numérique → analogique

3 Matériaux

3.1 Cycle de vie

L'analyse du cycle de vie d'un produit est une méthode pour évaluer les impacts environnementaux d'un produit depuis l'extraction des matières premières jusqu'à son traitement en fin de vie.

3.1.1 Exemple d'analyse du cycle de vie d'un produit

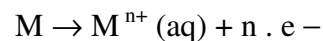
{ voir le diaporama }

3.1.2 Corrosion, vieillissement et protection

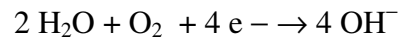
La corrosion touche toutes sortes de matériaux (métal, béton, plastique, papier, ...). Elle a pour cause :

- l'action d'un oxydant (souvent le dioxygène de l'air) combinée à des contraintes mécanique, thermique ou radiative
- l'action d'un courant électrique.

La corrosion électrochimique du métal correspond à la formation, à partir de l'état métallique, d'ions passant en solution :



Cette oxydation est nécessairement associée à une réduction, par exemple :



Passivation

La réaction entre le métal et la solution conduit à la formation d'une couche oxydée à la surface du métal. Cette couche peut freiner voire stopper le processus de corrosion, c'est le phénomène de passivation.

Protection cathodique

Le métal à protéger est mis au contact d'un autre métal qui va se corroder à sa place (par exemple une couche de zinc à la surface d'un acier, c'est la galvanisation).

Le métal à protéger est branché au pôle négatif d'un générateur électrique. L'autre pôle est relié à une électrode inerte.

3.2 Structure et propriétés

3.2.1 Conducteurs et supraconducteurs

Un conducteur d'électricité est un matériau capable de laisser passer un courant électrique (c'est à dire de permettre la circulation des ions ou des électrons).

Tout conducteur d'électricité possède une résistance électrique « R ». Cette résistance induit un transfert de tout le travail électrique reçu sous forme thermique (c'est l'effet Joule).

Un supraconducteur est un conducteur particulier dont la résistance électrique devient nulle en dessous d'une température critique.

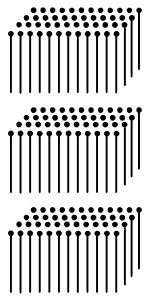
3.2.2 Cristaux liquides

Etat liquide cristallin

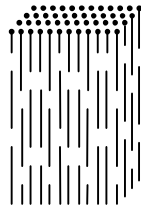
Selon la température, les cristaux liquides existent dans trois états distincts : solide, liquide cristallin et liquide.

Dans l'état liquide cristallin, les cristaux liquides possèdent une propriété qui caractérise l'état liquide : ils prennent la forme de leur contenant. Cependant, leurs molécules sont orientées les unes par rapport aux autres, les rapprochant un peu des solides ordonnés.

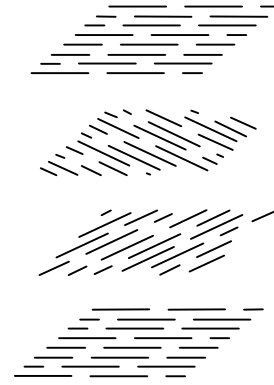
Dans l'état liquide cristallin, un même cristal liquide peut posséder plusieurs phases :



phase smectique



phase nématique

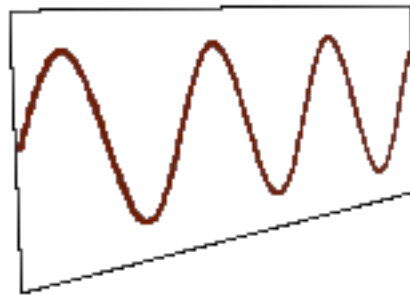


phase cholestérique ou nématique hélicoïdale

Le passage d'une phase à l'autre se fait de manière discontinue en fonction de la température.

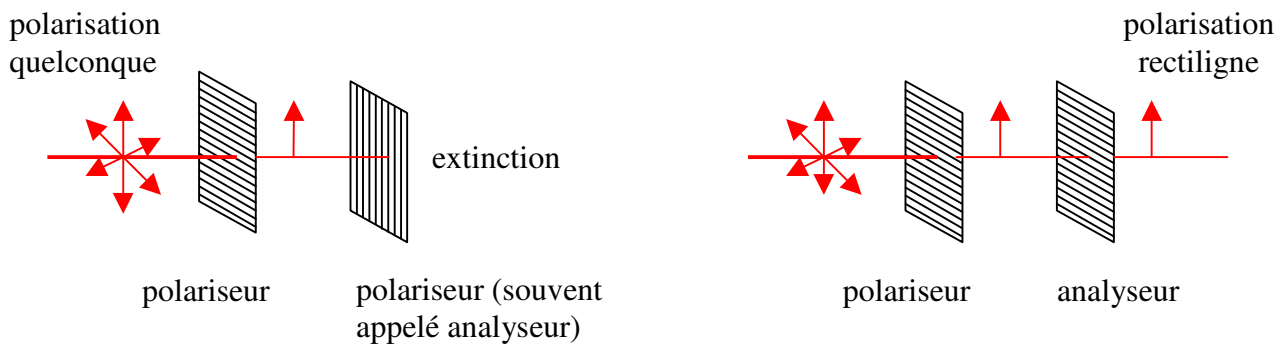
Polarisation de la lumière

Si une lame vibrante agit l'extrémité d'une corde tendue, une onde se propage le long de la corde. Le plan qui contient la corde s'appelle le plan de polarisation. Cette onde est polarisée rectilignement.



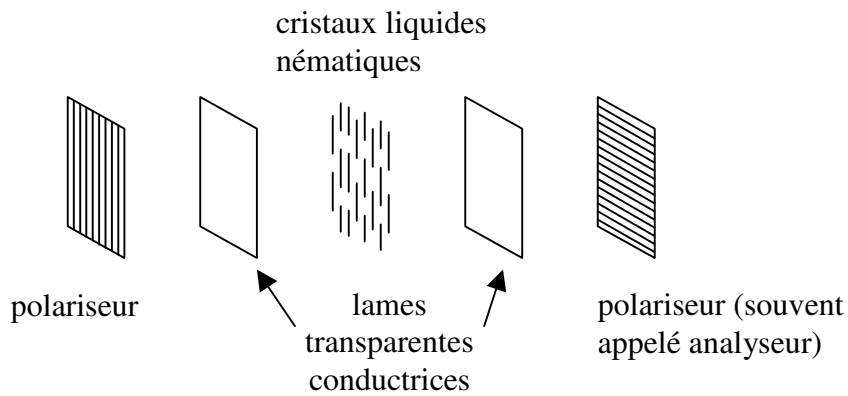
La lumière naturelle est une onde dont la polarisation est en général quelconque.

Un polariseur est un film qui transforme la lumière naturelle en une onde polarisée rectilignement dans une certaine direction. Cette direction est appelée axe du polariseur.



Afficheurs à cristaux liquides

Un cristal liquide est déposé entre deux lames transparentes rendues conductrice par métallisation. Ce sandwich est lui même compris entre deux polariseurs dont les axes sont croisés.



L'application d'une différence de potentiel entre les deux lames conductrices entraîne un changement d'orientation des molécules du cristal liquide, une variation du plan de polarisation, et donc une variation de la transparence du dispositif. C'est cette propriété, réversible, qui est utilisée dans les dispositifs d'affichage.

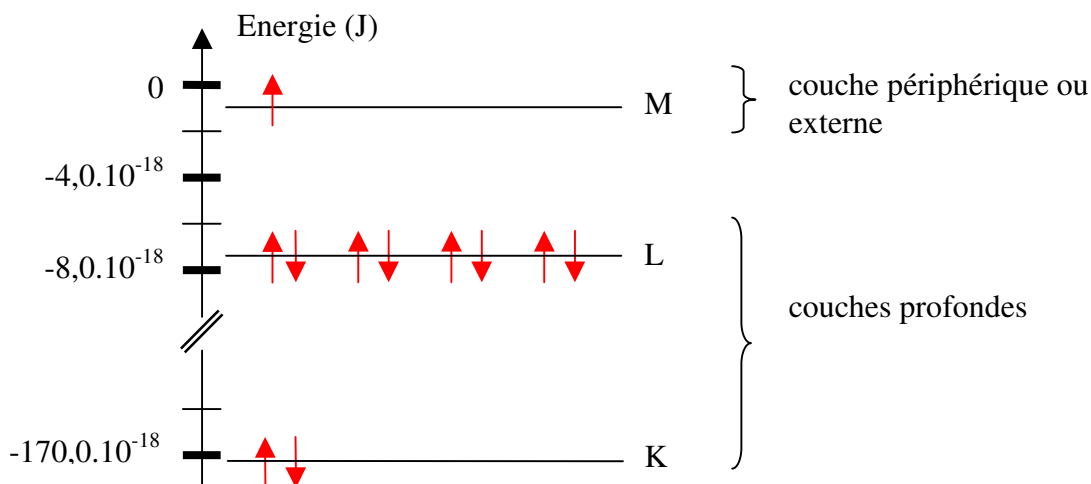
Etat liquide cristallin en phase cholestérique

Les cristaux liquides cholestériques, bien qu'incolores, vont réfracter la lumière les traversant et apparaître colorés. Leurs couleurs varient avec la température ou avec l'angle d'observation. On peut les observer sur des billets de 50€ et plus.

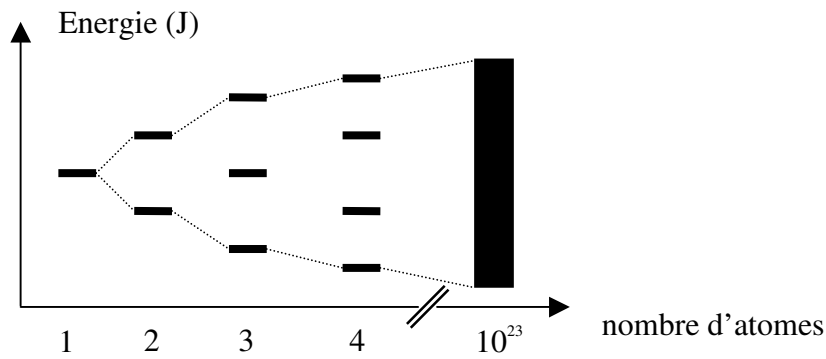
3.2.3 Semi-conducteurs

Les électrons d'un atome isolé sont répartis en couche. Chaque électron d'une même couche a la même énergie.

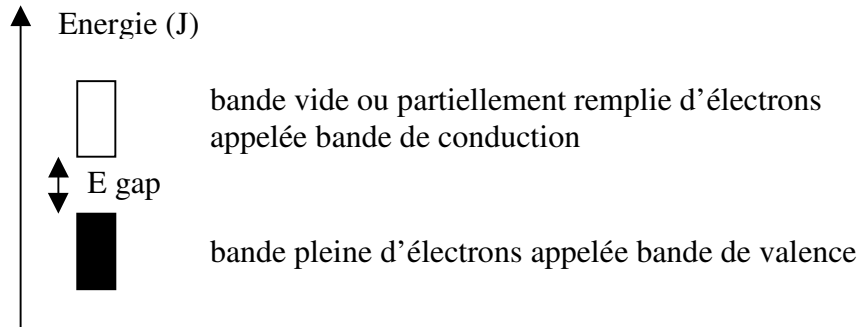
Exemple l'atome de sodium (Na) qui possède 11 électrons



La proximité des atomes au sein d'un solide induit un phénomène nouveau : les niveaux d'énergie électroniques des atomes se recouvrent et forment des bandes d'énergie permises.



L'énergie de ces bandes et leur remplissage en électrons conduisent à des situations variées :



Les électrons de la bande de conduction peuvent se déplacer librement dans tout le matériau (contrairement à ceux de la bande de valence). Ce sont eux qui participent au phénomène de conduction électrique.

On distingue trois cas selon le remplissage de bande de conduction et la valeur de E_{gap} :

- la bande de conduction est partiellement remplie. Le matériau contient donc des électrons susceptibles de participer au phénomène de conduction, il est conducteur.
- la bande de conduction est vide et E_{gap} est grand. Le matériau ne contient aucun électron capable de participer à la conduction. Le solide est isolant.
- la bande de conduction est vide mais E_{gap} est faible. Une excitation peut permettre à des électrons de passer de la bande de valence à la bande de conduction. Le matériau est semi-conducteur.

3.2.4 Cellule photovoltaïque

Principe

Dans un matériau semi-conducteur, un électron peut se déplacer de la bande de valence vers la bande de conduction d'énergie supérieure. Il faut pour cela fournir de l'énergie au matériau sous forme électrique, thermique ou radiative.

L'électron retourne, plus ou moins rapidement, vers la bande de valence. Il transfère sous forme thermique cette différence d'énergie. Le matériau chauffe.

Récupérer ce transfert d'énergie sous forme de travail électrique est l'objectif de la conversion photovoltaïque.

L'idée est de créer un champ électrique très fort à l'intérieur du matériau qui impose à l'électron d'emprunter un circuit extérieur avant de retourner vers une bande de plus faible énergie.

Jonction PN

Un atome du silicium possède 4 électrons célibataires (atome tétravalent) :

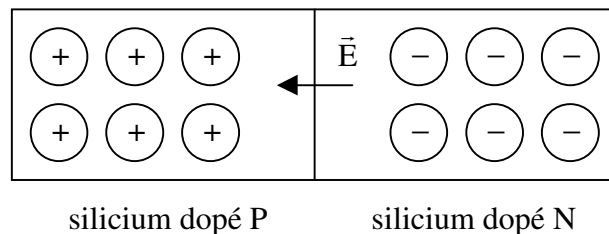


Dans le silicium à l'état cristallin, chaque atome est lié à 4 atomes voisins placés aux sommets d'un tétraèdre par une liaison covalente.

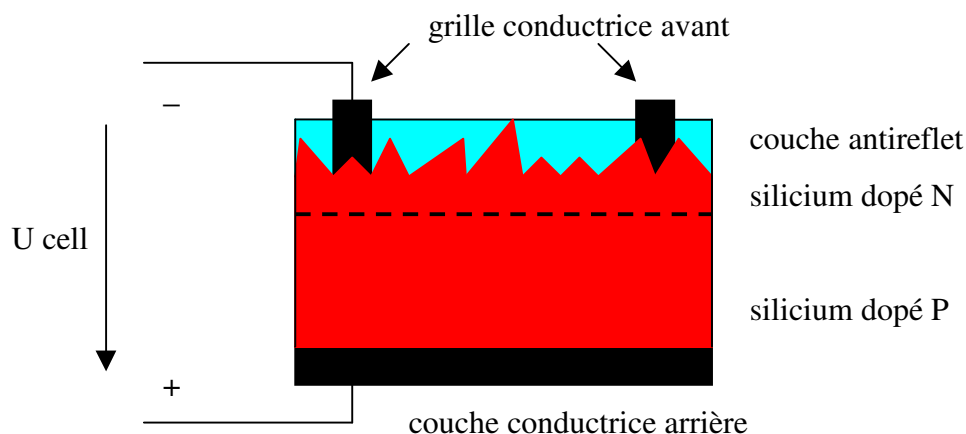
Un cristal de silicium dans lequel on a substitué certains atomes tétravalents par des atomes pentavalents est de type N. Quatre électrons de la couche périphérique de l'atome pentavalent forment des liaisons covalentes alors que le cinquième passe aisément dans la bande de conduction. Le silicium dopé N est enrichi en électrons libres.

Un cristal de silicium dans lequel on a substitué certains atomes tétravalents par des atomes trivalents (impuretés) est de type P. Trois électrons de la couche périphérique de l'atome trivalent forment des liaisons covalentes. Il manque à l'impureté un électron pour former les 4 liaisons avec les atomes de silicium voisins. Cet électron manquant est facilement capturé à un atome de silicium voisin : il y a formation d'un « trou » mobile chargé positivement. La conduction du silicium dopé P est assurée par des « trous ». Ce sont des « quasi-particules » situées dans la bande de valence, qui jouent un rôle identique aux électrons libres de la bande de conduction.

Une jonction est constituée par l'association de deux morceaux de semi-conducteurs dopés P et N. A la jonction, les électrons libres s'associent aux « trous ». Cette diffusion provoque un déséquilibre électrique local : il s'est créé un dipôle électrique et donc un champ électrique.



Cellule photovoltaïque



Les photons incidents sont absorbés sur toute la surface de la plaque. Pour cela une certaine épaisseur est nécessaire ($\cong 100 \mu\text{m}$ pour le silicium).

Cette énergie radiative génère un flux d'électrons à la surface qui est collecté par une grille conductrice dont la surface doit être minimale tout en assurant une bonne collecte.

A l'arrière, une couche conductrice est déposée sur toute la surface.

Un branchement électrique est réalisé sur la grille avant et la couche arrière et la cellule est prête à fonctionner.

Spectre du rayonnement

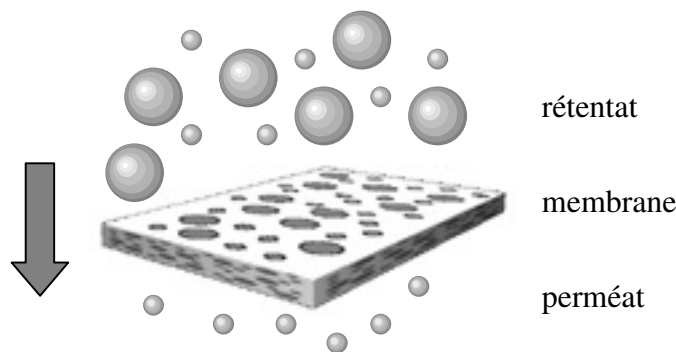
L'énergie du gap pour le silicium cristallin est de $1,76 \cdot 10^{-19}$ J. On peut calculer la longueur d'onde du rayonnement dont le photon possèdera une énergie égale à cette valeur :

$$\lambda = \frac{h \cdot c}{E_{\text{gap}}} = \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \cdot 3,00 \cdot 10^8}{1,76 \cdot 10^{-19}} = 1,13 \cdot 10^{-6} \text{ m} = 1,13 \text{ } \mu\text{m}$$

Ce qui correspond à un rayonnement infra-rouge ($0,4 \text{ } \mu\text{m} < \lambda \text{ visible} < 0,8 \text{ } \mu\text{m}$). La cellule photovoltaïque au silicium cristallin ne générera aucun courant électrique avec un rayonnement de longueur d'onde supérieure.

3.2.5 Membranes

Une membrane est un film mince qui possède des pores. Elle permet de séparer les composés d'un mélange. La partie du mélange retenue par la membrane est appelée rétentat alors que celle qui la traverse est appelée perméat.



Les techniques industrielles de séparation utilisant des membranes sont nombreuses. On distingue :

- l'électrodialyse : une membrane permet de transférer des ions de façon sélective sous l'effet d'un champ électrique (ex : dessalement d'eau de mer).
- la perméation gazeuse : procédé de séparation des gaz sous l'effet d'une différence de pression exercée de part et d'autre de la membrane (ex : séparation des isotopes de l'uranium).
- la pervaporation : séparation des constituants d'un mélange liquide, par vaporisation partielle au travers d'une membrane dense présentant une affinité préférentielle pour l'un des constituants (ex : déshydratation de l'éthanol).
- la filtration : séparation des constituants d'un mélange liquide sous l'effet d'une différence de la pression exercée de part et d'autre d'une membrane. C'est le procédé le plus utilisé. On distingue :
 - la microfiltration : $50 \text{ nm} < \varnothing \text{ pores} < 5 \text{ } \mu\text{m}$; séparer des cellules (levure, bactérie ou cellule animale) d'un liquide (ex : clarification de la bière, séparation du plasma du sang)
 - l'ultrafiltration : $5 \text{ nm} < \varnothing \text{ pores} < 50 \text{ nm}$; séparer des petites espèces (peptide, protéine, virus) d'un liquide (ex : concentration des protéines du lait pour la fabrication du fromage, dépollution des eaux usées)
 - la nanofiltration : $0,5 \text{ nm} < \varnothing \text{ pores} < 5 \text{ nm}$; séparer des espèces de faible masse molaire d'un liquide (ex : production d'eau potable)
 - l'osmose inverse : $\varnothing \text{ pores} < 0,5 \text{ nm}$; séparer tous les solutés d'un liquide (ex : dessalement de l'eau de mer, concentration des jus de fruits)

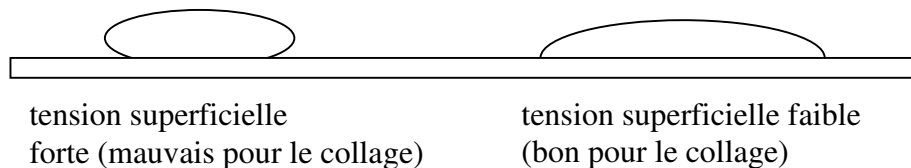
3.2.6 Colles et adhésifs

Un adhésif est d'origine synthétique et une colle est d'origine naturelle. Dans le paragraphe qui suit on utilisera uniquement le terme « colle ».

Tension superficielle

Une colle doit être fluide au moment de l'application et s'étaler le plus possible sur les deux surfaces qui vont être assemblées. Des liaisons s'établissent entre la colle encore fluide et la surface du solide (notamment des liaisons de Van Der Waals ; parfois des liaisons chimiques).

goutte de colle encore fluide :

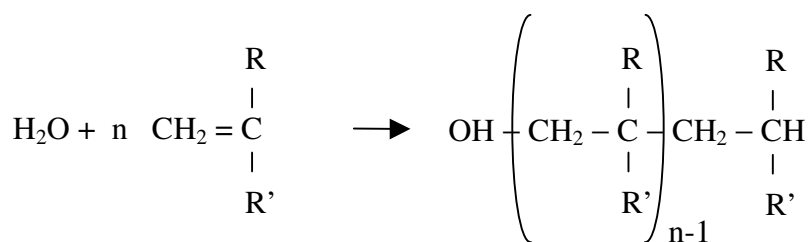


Durcissement

La colle doit ensuite durcir pour acquérir sa cohésion. C'est toujours un polymère qui assure la cohésion. Le polymère peut-être :

- dilué dans un solvant qui va s'évaporer
- transformé en liquide par chauffage (il redevient solide après refroidissement)
- synthétisé lors d'une polymérisation

Exemple polymérisation du cyanoacrylate de méthyle avec R : C ≡ N et R' : $-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\text{CH}_3$



Remarques

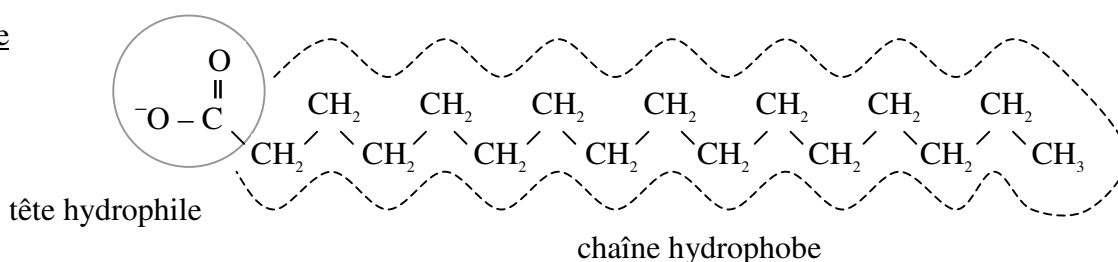
- la présence d'un film gras ou de poussières empêche la colle encore fluide de s'étaler
- des micro-cavités présentes sur la surface à assembler peuvent recevoir la colle encore fluide et serviront de points d'ancrage lors du durcissement
- la nature chimique de la colle et de la surface à assembler doit être adaptée pour que s'établissent entre elles les liaisons les plus solides possibles

3.2.7 Tensioactifs, émulsions, mousses

Composés tensioactifs

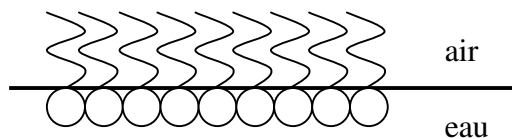
Les composés tensioactifs sont constitués d'ions ou de molécules dont les atomes forment des chaînes allongées. Ces chaînes présentent une tête hydrophile (« qui aime l'eau ») qui peut se lier à l'eau et une chaîne hydrophobe (« qui n'aime pas l'eau ») qui ne peut pas se lier à l'eau, mais qui est lipophile (« qui aime l'huile »).

Exemple

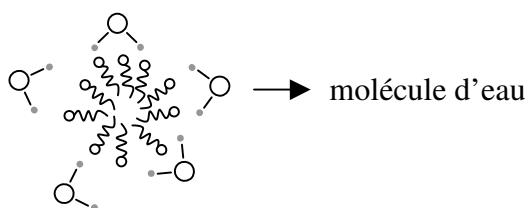


Formation de micelles

En solution aqueuse, ces composés tensioactifs se rassemblent aux interfaces, en particulier à l'interface air / eau. Elles forment alors un film avec les têtes hydrophiles orientées vers l'eau et les chaînes hydrophobes orientées vers l'air.

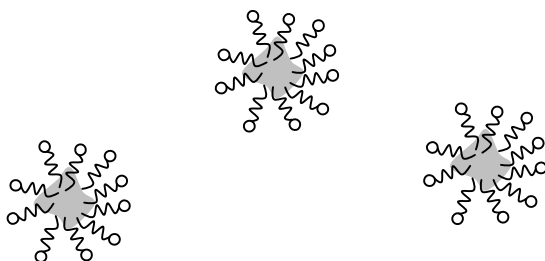


A partir d'une certaine concentration, il se forme des agrégats de molécules de tensioactifs, appelées micelles. Les queues hydrophobes se rassemblent et les têtes hydrophiles sont tournées vers l'extérieur, pour former la surface de contact avec l'eau.



Emulsion

Le jaune d'œuf est constitué de 50% d'eau et contient un composé tensioactif (les lécithines). Lorsqu'on agite énergiquement le mélange huile / œuf, les molécules de tensioactifs enrobent les gouttelettes d'huile en mettant à leur contact leur partie hydrophobe, et les dispersent dans l'eau, en se liant aux molécules d'eau par leur partie hydrophile. Pourquoi les gouttelettes enrobées ne se fondent-elles pas en une seule phase ? Les têtes hydrophiles sont électriquement chargées et les gouttelettes chargées se repoussent.



Mousse

La micelle peut aussi emprisonner un gaz et former une bulle. La mousse est formée de bulles. Dans la mousse, la phase liquide (eau et composés tensioactifs) est continue.

Par solidification de la phase liquide, on peut obtenir une mousse solide. La solidification peut être obtenue par polymérisation comme pour les éponges synthétiques utilisées pour le nettoyage.

3.3 Nouveaux matériaux

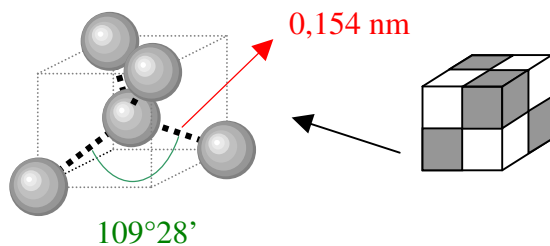
Pour être appelé « nano objet », il faut qu'au moins une des trois dimensions de cet objet (largeur, profondeur ou hauteur) ne dépasse pas 100 nm. Le préfixe « nano » fait donc référence à la taille nanométrique (10^{-9} m) de ces éléments.

3.3.1 Les nanotubes de carbone

Diamant et graphite sont deux formes sous lesquelles on peut trouver le carbone dans la nature.

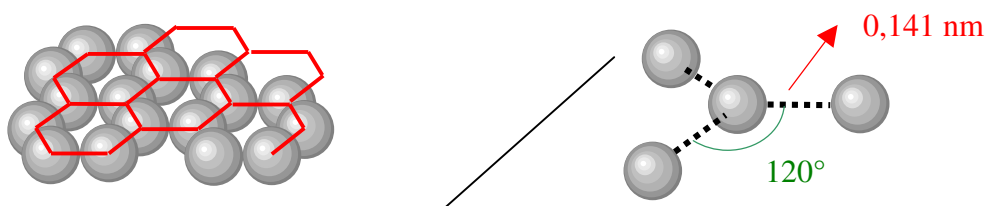
Le diamant

Dans le diamant, chaque atome de carbone est lié à 4 autres atomes de carbone par des liaisons de covalence. Le cristal de diamant est un édifice de grande ampleur qui est une véritable macromolécule.



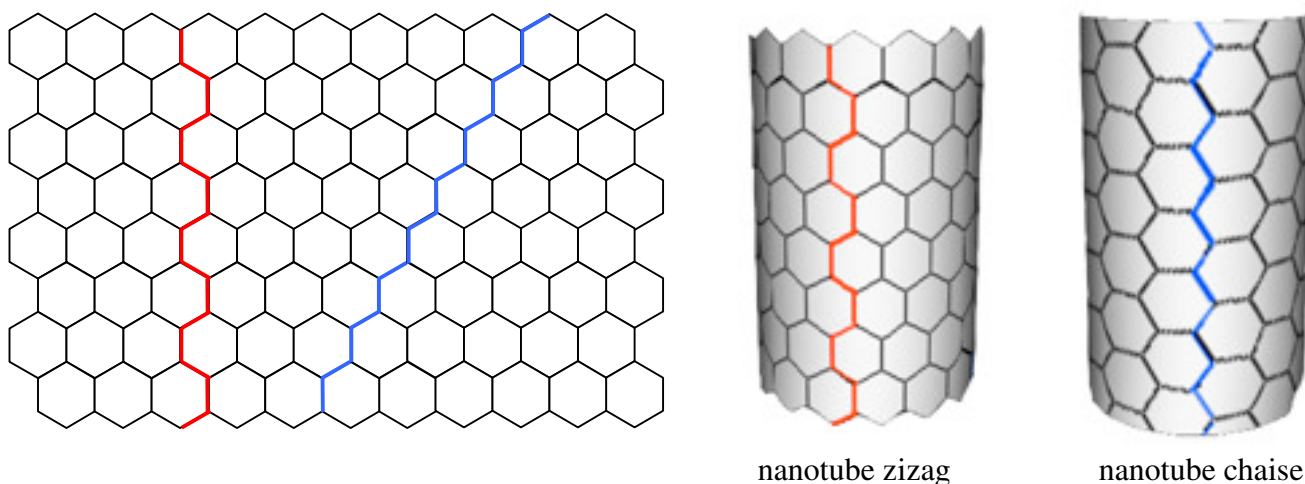
Le graphite

Dans le graphite, les atomes de carbone s'organisent dans des plans parallèles appelés graphène. Dans chaque plan, un atome de carbone est lié à 3 atomes de carbone voisins par des liaisons de covalence. Il se forme un pavage régulier d'hexagones dont chaque sommet est occupé par un atome de carbone.



Les nanotubes de carbone

En découpant par la pensée, une feuille de graphène et en l'enroulant selon une direction donnée, on obtient un nanotube de carbone. Plusieurs structures peuvent être obtenues suivant la façon d'enrouler la feuille de graphène.



Quelques propriétés remarquables des nanotubes de carbone

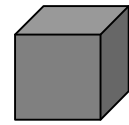
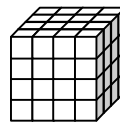
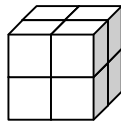
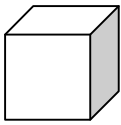
A taille égale, ils possèdent une rigidité comparable à celle de l'acier tout en étant beaucoup légers. Ils peuvent être excellents conducteurs électriques (nanotube zizag) ou semi-conducteurs (nanotube chaise).

Soumis à un champ électrique modeste, ils sont capables d'émettre des électrons (très fort effet de pointe). En dirigeant ces électrons vers un matériau phosphorescent (qui évacue l'énergie reçue sous forme de lumière), on obtient un pixel d'un écran plat par exemple.

3.3.2 Les nanoparticules

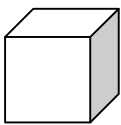
Quand on diminue la taille des particules qui le composent, les propriétés d'un matériau changent. A volume égal, sa surface augmente considérablement.

Exemple cube de 2 cm de côté

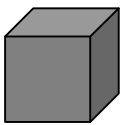


A mesure que la taille des particules diminue, la proportion d'atomes de surface augmente par rapport à ceux à l'intérieur du matériau.

Exemple cube précédent composé d'atomes d'or



$$\frac{\text{nombre d'atomes en surface}}{\text{nombre d'atomes dans le volume}} \cong 0,000\,000\,057$$



$$\frac{\text{nombre d'atomes en surface}}{\text{nombre d'atomes dans le volume}} \cong 0,22$$

Les atomes situés en surface possèdent un plus petit nombre d'atomes voisins que ceux situés à l'intérieur du matériau.

Les atomes de surface sont donc moins liés que ceux à l'intérieur du matériau et ils peuvent interagir avec des atomes extérieurs.

Les nanoparticules sont donc plus réactives que des particules plus grandes du même matériau.

Exemple l'or est inerte chimiquement sous sa forme macroscopique mais il acquiert une activité chimique sous forme de nanoparticules.

Les grandes utilisations industrielles actuelles des nanoparticules

- la fabrication des pneumatiques. Des nanoparticules d'oxyde de silicium permettent de réduire l'usure et la consommation d'énergie lors des déformations.
- la formulation des cosmétiques (principalement avec du dioxyde de titane).

3.3.3 Matériaux nanostructurés

Alors que la chimie classique utilise les atomes ou les molécules comme briques élémentaires, cette nouvelle chimie utilise les « nano objets ».

La maîtrise de la fabrication des « nano objets » ou la maîtrise de l'organisation des « nano objets » dans le matériau fait appel à de nouvelles compétences pour le chimiste. Comment procède-t-il ? Il a deux possibilités :

- en déposant des « nano objets » à la surface du matériau
- en incorporant des « nano objets » dans le matériau

L'objectif est de modifier des propriétés physiques (mécanique, optique, thermique) ou apporter de nouvelles fonctions (adhérence, couleur, électronique, ...).

Souvent l'organisation (position, orientation, ...) de ces « nano objets » dans le matériau est un paramètre important.

3.3.4 Matériaux composites

Un matériau désigne une matière de base utilisée pour réaliser un objet.

Exemples verre, sable, acier, polystyrène

Un matériau composite résulte de l'association d'au moins deux matériaux de base pour former un nouveau matériau aux performances globales améliorées. Cette association nécessite que les matériaux soient compatibles entre eux.

Exemples béton armé = ciment + sable et gravier + barres en acier
plastique à renfort fibre de verre = polymère + fibres de verre

Un matériau composite est le plus souvent constitué d'une « matrice » et d'un « renfort » :

- le renfort est un matériau sous forme de fibres qui améliore les propriétés mécaniques.
- la matrice maintient les fibres du renfort en place et les protège de l'environnement.

3.3.5 Céramiques

Composition et propriétés

Ce sont des solides formés de substances non organiques et non métalliques. Mis à part les céramiques techniques, l'argile constitue le principal matériau d'origine.

L'argile est composé de feuillets de silicate d'aluminium qui ont la possibilité de glisser les uns sur les autres en présence d'eau. Cette propriété de glisser sans se séparer explique la plasticité des argiles qui rend son façonnage possible.

Fabrication

Le mélange est porté à haute température. Les feuillets de silicate d'aluminium se figent au fur et à mesure de l'évaporation de l'eau tout en se rapprochant et en s'organisant. Le matériau durcit à une température inférieure à la température de fusion.

Il existe d'autres méthodes de fabrication (mélange de poudres, voie humide, ...)

Propriétés physiques

Les objets en céramique résistent aux sollicitations (compression, flexion, ...) avant de rompre (grande résistance mécanique). Ils possèdent une forte dureté (résistance à la pénétration d'un corps plus dur). Ils sont résistants à l'usure, à la chaleur, au vieillissement, aux chocs thermiques et aux agressions chimiques.

Exemples d'utilisation

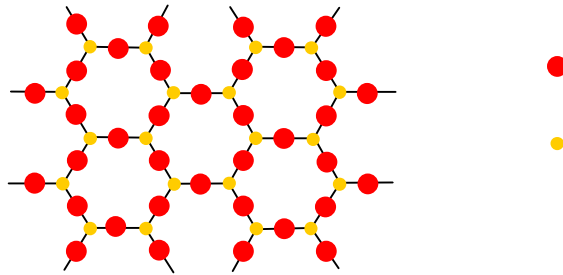
- la « navette spatiale » américaine utilisait un bouclier de tuiles en céramique. Il protégeait la navette des températures élevées dues aux frottements avec l'atmosphère
- roulement à billes sans lubrifiant
- granulats d'argile expansée pour les remblais drainants
- carreaux pour sols et murs, vaisselle, appareils sanitaires

3.3.6 Verres

Les états cristallin et amorphe

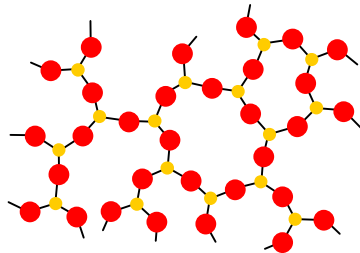
Dans un cristal, l'arrangement des atomes ou des ions est régulier et s'étend à l'infini.

Exemple représentation 2D d'un solide SiO₂ (silice) sous forme cristalline



Certaines espèces peuvent exister sous différentes formes : cristalline ou amorphe.

Exemple représentation 2D de la silice sous forme amorphe



Dans la forme amorphe, il y a une certaine périodicité à petite distance comme dans les liquides. C'est un liquide figé en quelque sorte (il a une très grande viscosité).

Transition vitreuse

Dans la silice sous forme cristalline, tous les atomes sont liés par des liaisons covalentes Si – O.

Dans la silice fondue, certaines de ces liaisons sont coupées ou déformées mais l'ensemble garde de la rigidité. Une structure cristalline a donc beaucoup de difficulté à s'y former et à grossir car le mouvement des atomes est difficile.

Quand la silice refroidit, sa viscosité augmente sans apparition du phénomène habituel de solidification à température constante des corps purs.

L'état amorphe de la silice est exceptionnel. La grande majorité des solides n'existent qu'à l'état cristallisé.

Constitution d'un verre ordinaire

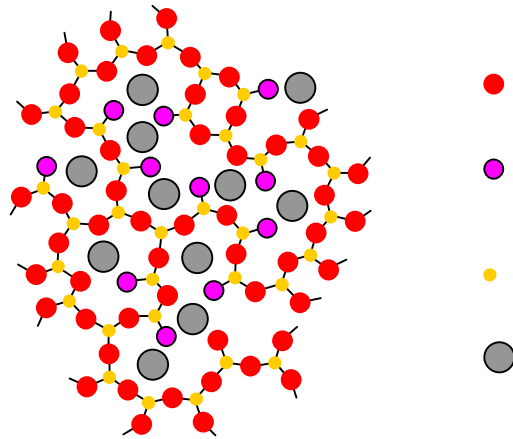
Le verre est composé de nombreux oxydes, mais le plus souvent il est élaboré à partir de 3 constituants de base :

- la silice est l'espèce majoritaire (son point de fusion est très élevé : 1730°C)
- l'oxyde de sodium (Na₂O), appelé fondant, il permet d'abaisser la température de fusion du mélange
- l'oxyde de calcium (CaO), appelé stabilisant qui modifie les propriétés physiques du verre atténuées par l'adjonction du fondant.

Structure microscopique du verre

L'introduction d'un fondant a provoqué la rupture de liaisons Si – O et l'apparition d'atomes d'oxygène qui ne possèdent qu'une seule liaison de covalence.

Exemple représentation 2D d'un verre de silice avec utilisation d'oxyde de sodium (fondant)



L'utilisation d'un fondant a donc pour effet de fragiliser le réseau et d'augmenter la solubilité dans l'eau (d'où l'ajout de stabilisants).

Propriétés physiques des verres

Par opposition aux céramiques, les verres sont des matériaux homogènes que l'on peut faire fondre autant de fois qu'on le désire. Les céramiques, une fois durcies, résistent à des températures extrêmement élevées.

Remarque

Aujourd'hui, un grand nombre de solides amorphes sont regroupés sous le nom de verre. Ainsi, on fabrique non seulement des verres minéraux, mais aussi des verres organiques et même des verres métalliques.

3.3.7 Matériaux biocompatibles

Définitions

Un biomatériau est un matériau non vivant destiné à être mis en contact avec un milieu biologique.

Un biomatériau est biocompatible lorsqu'il est capable de remplir sa fonction sans effets secondaires indésirables sur le milieu biologique dans lequel il est utilisé.

Démarche de la recherche

La biocompatibilité n'est pas une grandeur mesurable. Son évaluation nécessite des expériences biologiques *in vitro* puis *in vivo* chez l'animal.

On recherche souvent à modifier les propriétés de surface de biomatériaux, choisis d'abord pour leurs propriétés mécaniques et chimiques, afin d'en améliorer la biocompatibilité.

3.3.8 Textiles innovants

Un textile est un matériau tissé. Il est fabriqué à partir de fibres parmi lesquelles on distingue :

- les fibres naturelles animales (ex : soie, ou végétale) ou végétales (ex : lin, coton)
- les fibres artificielles issues de produits naturels (ex : viscose)
- les fibres synthétiques (ex : nylon, polyester) qui sont des polymères extrudés (le matériau est comprimé et contraint de traverser de petits trous)

Certains textiles sont des matériaux de haute technologie. Leurs nouvelles propriétés sont obtenues par :

- de nouveaux entrelacements
- l'imprégnation par des nano particules (ex : nano argent pour le textile anti microbien) ou des micro capsules qui contiennent des produits actifs (ex : parfum, colorants)

- l'optimisation génétique de fibres naturelles
- de nouvelles fibres plus fines (ex : vêtement en microfibres imperméable et respirant), avec des propriétés optiques (ex : vêtement communiquant tissé avec des fibres optiques), avec des capteurs intégrés (ex : capteurs du rythme cardiaque ou de la tension artérielle), ...

Applications

Ces textiles innovants ont des applications dans l'industrie, la santé, le BTP, et aussi dans l'habillement.