

---

**Terminale S**

**PHYSIQUE - CHIMIE**

**FICHES RESUMES DE COURS**

**Prof-TC**



# Mesures et incertitudes

- **Erreurs aléatoires** : Lorsqu'un même opérateur répète plusieurs fois, dans les mêmes conditions, un même mesurage, les valeurs mesurées peuvent être différentes.
- **Erreurs systématiques** : Un appareil défectueux, mal étalonné ou utilisé incorrectement conduit à des valeurs mesurées proches les unes des autres, mais éloignées de la valeur vraie.
- **Incertitude de mesure et intervalle de confiance** : L'intervalle de confiance est un intervalle dans lequel la valeur vraie  $M$  a de grandes chances de se trouver : On peut aussi écrire :  $M = m_{\text{mesuré}} \pm U(M)$
- **Cas d'une série de mesurages** : La valeur retenue comme valeur mesurée est la moyenne  $\bar{m}$  de toutes les mesures.  
L'incertitude se calcule à l'aide de l'écart type  $\sigma_{n-1}$  de la série de mesures :  $U(M) = k \times \frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}}$  où  $n$  est le nombre de mesures, et  $k$  un coefficient donné.
- **Incertitude-type  $u$**  : Incertitude de lecture liée à un appareil ou à une lecture simple ou double sur une graduation.  
Incertitude de tolérance liée à un instrument vérifié ou à l'indication d'un constructeur.
- **Incertitude élargie  $U(M)$**  : L'incertitude-type élargie, qui constituera l'incertitude de la mesure, notée  $U(M)$  s'exprime sous la forme :  $U(M) = k \times u(M)$  où  $k$  est le facteur d'élargissement.  
 $k = 2$  pour un niveau de confiance de 95 %  
 $k = 3$  pour un niveau de confiance de 99 %
- **Calcul d'une incertitude** : La formule est donnée. Si des rapports interviennent dans ce calcul, il n'est pas utile de convertir les valeurs mais il faut les exprimer dans les mêmes unités.
- **Incertitude relative** : C'est le pourcentage de l'incertitude  $U(M)$  par rapport à la mesure  $m$  :  $\frac{U(M)}{m}$



## Développement durable

- **Le choc** : La consommation énergétique mondiale augmente, et les ressources diminuent. Il faut économiser l'énergie et l'utiliser plus efficacement.
- **Combustibles fossiles** : Non-renouvelables, les combustibles fossiles (hydrocarbures) libèrent lors de leur combustion du dioxyde de carbone, gaz à effet de serre.
- **Économiser les atomes** : En réduisant le nombre d'étapes lors d'une synthèse, on limite la formation de sous-produits indésirables et l'utilisation de solvants. L'Utilisation Atomique s'en trouve augmentée.
- **Catalyseur** : L'emploi d'un catalyseur permet une économie de temps mais aussi potentiellement d'énergie, si on n'est plus contraint de recourir à des températures ou des pressions élevées (facteurs cinétiques).
- **Nature** : On peut utiliser des molécules complexes produites par la nature au lieu de partir de quasiment de zéro.
- **Recycler** : Une question de bon sens.



# Ondes et particules

- **Rayonnement** : Ce terme général va qualifier l'émission de particules, qu'il s'agisse de photons (constituants en particulier la lumière visible, mais aussi les ondes électromagnétiques), de neutrinos (particules de masse très faible et qui interagissent très faiblement avec la matière) ou de matière « ordinaire » (en particulier, des protons et des électrons).
- **Cosmique** : On nomme rayonnement cosmique primaire le flux de particules en provenance de l'espace, rencontrant les couches hautes de l'atmosphère. Ces particules ont pour source principale le Soleil, et hors les photons non chargés et les neutrinos de masse très faible, on distingue principalement des protons et des électrons.
- **Atmosphère** : En interagissant avec les atomes et molécules de l'atmosphère, ces protons ou électrons du rayonnement cosmique primaire créent des réactions nucléaires à l'origine de gerbes de particules. Parmi toutes les particules émises, des muons, semblables à des électrons, mais avec une masse plus élevée, atteignent le sol.
- **Fenêtres de transparence** : Tous les photons en provenance du Soleil (et éventuellement d'autres astres) ne se retrouvent pas au niveau du sol. Certains sont arrêtés par l'atmosphère. On parle de fenêtre de transparence pour qualifier les bandes de fréquence pour lesquelles les ondes électromagnétiques traversent l'atmosphère, essentiellement dans le domaine radio et une (petite !) bande dans le domaine visible.
- **Protection** : L'opacité de l'atmosphère nous protège d'une partie des photons gamma, X et UV. Le champ magnétique terrestre nous protège des particules chargées, principalement protons et électrons, dont une partie plonge aux pôles en émettant à l'occasion de magnifiques aurores boréales.
- **Sources** : Le Soleil est la source principale de rayonnements radio, UV, visible ou infrarouge. Une ampoule à filament ou à incandescence est une source d'infrarouge et de visible. Les diodes laser utilisées dans les lecteurs de CD sont des émetteurs d'infrarouge (les diodes laser des lecteurs de DVD et de Blu-ray sont dans d'autres longueurs d'ondes). Les tubes fluorescents ou « néons » émettent des UV par excitation du gaz placé entre les deux électrodes, UV absorbés par la couche opaque qui recouvre le verre du tube et qui réémet de la lumière visible dans plusieurs bandes de fréquence.
- **Onde progressive** : Une onde progressive correspond au déplacement d'une perturbation dans un milieu matériel sans transport de matière mais avec déplacement d'énergie.
- **Onde mécanique** : Une onde mécanique se propage dans un milieu matériel ; la perturbation associée à l'onde fait intervenir un mouvement local de la matière. La matière revient à sa position d'origine dès que l'onde s'est propagée. Le son, les séismes, la houle sont des exemples d'ondes mécaniques.
- **Onde Transversale** : Une onde est dite transversale quand la direction de la perturbation est perpendiculaire à la direction de propagation. Exemples : houle, ondes sismiques.
- **Onde Longitudinale** : Une onde est dite longitudinale quand la direction de la perturbation est parallèle à la direction de propagation. Exemples : son, ondes sismiques (on distingue les ondes sismiques longitudinales des transversales).
- **Puissance** : La puissance  $P$  en watt (W) est égale à l'énergie  $E$  en joule (J) consommée ou dissipée par unité de temps, c'est-à-dire pendant la durée  $t$  en seconde (s) :  $P = \frac{E}{t}$
- **Intensité lumineuse** : L'intensité  $I$  en watt par mètre carré ( $W \cdot m^{-2}$ ) d'une onde est égale à la puissance véhiculée  $P$  par unité de surface  $S$  en mètre carré ( $m^2$ ) :  $I = \frac{P}{S}$
- **Détecteurs d'ondes** : On procède par exemple :
  - L'œil est un détecteur d'ondes électromagnétiques visibles, dans ce qui est appelé le domaine du visible (longueur d'onde entre 380 et 760 nm) ;
  - Les photodiodes sont en général (trop) sensibles à l'IR proche, en sus du visible ;
  - L'oreille est un détecteur d'ondes sonores, dans le domaine de l'audible (de 20 Hz à 20 kHz) ;
  - Un microphone est un détecteur d'ondes sonores, la surpression ou le déplacement des molécules est converti en tension électrique ;
  - Un sismomètre a pour but de détecter les ondes sismiques...
- **Détecteurs de particules** : On procède par exemple :
  - Une plaque photographique « argentique » est un excellent détecteur de photons et de particules ionisantes ;
  - Un compteur Geiger permet aussi de détecter le passage d'une particule ionisante (électron, proton, particule alpha ou noyau d'hélium, muon...) ;
  - Les scintillateurs, les chambres à fils, les calorimètres ou absorbeurs d'un accélérateur de particules comme celui du LHC au CERN (Genève) permettent une identification des particules produites lors des chocs.

- **Retard** : La perturbation d'un point du milieu à l'instant  $t$  est identique à celle de la source au temps  $t' = t - \tau$ ,  $\tau$  étant le retard du point par rapport à la source (définition valable aussi entre deux points quelconques).  
Espace & temps sont alors liés, puisque l'on retrouve la même forme d'onde plus loin, un peu plus tard, une fois qu'elle a « progressé ».
- **Célérité** : La célérité  $v$  d'une onde, en mètre par seconde ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ), est donnée par :  $v = \frac{d}{t}$  avec  $d$  en m et  $t$  en s.

# Ondes périodiques

- **Oscilloscope** : Vous devez être capable de mesurer le retard d'un clap sonore ou d'une salve d'ultrasons à l'aide d'un oscilloscope. Notez bien que deux montages sont possibles, suivant que l'on dispose d'un ou de deux récepteurs.
- **Onde progressive périodique** : Une onde progressive périodique a toutes les caractéristiques de l'onde progressive, avec en plus un caractère périodique. Il faut savoir reconnaître une telle onde (mettre en évidence la répétition d'un motif élémentaire), et savoir mesurer sa période  $T$  (qui est la durée d'émission d'un motif élémentaire) le plus précisément possible (typiquement, sur plusieurs périodes).
- **Période temporelle** : Chaque point du milieu subit la même perturbation à intervalles de temps égaux à  $T$ .
- **Période spatiale** : La même perturbation se reproduit identique à elle-même dans la direction de propagation. La plus petite distance entre motifs identiques consécutifs est la période spatiale. Il est encore plus correct de dire que la longueur d'onde est la plus petite distance entre deux points en phase.
- **Cas des ondes sinusoïdales** : Une onde progressive périodique est dite sinusoïdale si l'évolution périodique de la source peut être associée à une fonction sinusoïdale.
- **Fréquence** :  $f = \frac{1}{T}$  avec  $f$  en Hz si  $T$  en s
- **Longueur d'onde** : La période spatiale est appelée longueur d'onde et notée  $\lambda$ , en mètre (m). Le lien entre période spatiale  $\lambda$  et période temporelle  $T$  en seconde (s) fait intervenir la célérité  $v$  de l'onde :  

$$\lambda = v \times T = \frac{v}{f}$$
 avec  $\lambda$  en m,  $v$  en  $\text{m.s}^{-1}$ ,  $T$  en s et  $f$  en Hz.
- **Analyse spectrale** : Consiste à décomposer un signal en une somme de sinus, par un procédé appelé « transformée de Fourier » (TFT en abrégé). On obtient un spectre : en abscisse (axe horizontal), la fréquence, en ordonnée (axe vertical), l'amplitude, permettant de juger d'un coup d'œil de l'importance de telle ou telle fréquence dans l'onde totale. Ceci permet de remonter aux fréquences de résonance de la source de l'onde.
- **Perception sonore** : Un son est caractérisé par trois perceptions : hauteur, timbre et intensité. Chaque perception physiologique correspond à une mesure physique :
  - La hauteur correspond à la fréquence du fondamental du son ;
  - Le timbre correspond aux amplitudes relatives des harmoniques dans le spectre ;
  - L'intensité correspond à l'amplitude de la vibration sonore reçue.
- **Transitoires** : Les transitoires d'attaque et d'extinction sont importantes quant à la perception finale donnée par un son.
- **Timbre d'un son** : dépend fortement de l'instrument utilisé pour produire le son. Le timbre permet de reconnaître l'instrument.
- **Bruit ou note** : Un spectre permet de faire la différence entre :
  - Un bruit « blanc » : aucune fréquence ne ressort plus qu'une autre ;
  - Une note (des pics multiples dont les fréquences  $f_n$  sont multiples entier d'une fréquence fondamentale  $f_1$ , tel que :  

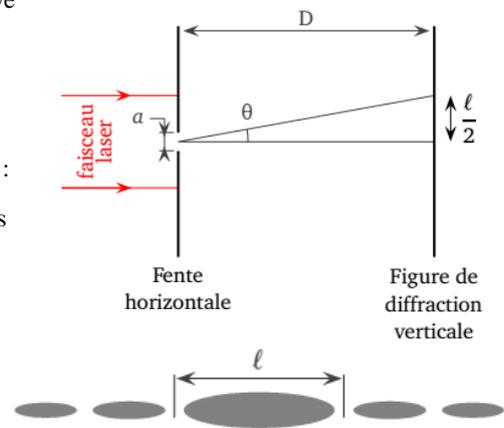
$$f_n = n \times f_1$$
- **Niveau sonore** : Le niveau (ou *level* en anglais), noté  $L$ , exprimé en décibel (symbole dB), est relié à l'intensité  $I$  par :  

$$L = 10 \times \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$$
 ;  $I_0$  est l'intensité de référence, dont la valeur sera toujours donnée.



# Propriétés des ondes

- **Diffraction** : La diffraction est l'étalement des directions de propagation de l'onde lors de sa rencontre avec un obstacle ou une ouverture. Cet étalement est d'autant plus marqué que les dimensions de l'obstacle ou de l'ouverture sont proches de la longueur d'onde :  $d \approx \lambda$
- **Description de la lumière** : Le phénomène de diffraction de la lumière prouve qu'elle peut être décrite comme une onde. La notion de dualité onde-corpuscule sera abordée plus tard.
- **Ouverture du faisceau diffracté** : Le demi-diamètre apparent ou demi-ouverture angulaire  $\theta$  d'un faisceau de lumière de longueur d'onde  $\lambda$ , diffracté par une fente ou un fil de dimension  $a$ , est donnée par la relation :  $\theta = \frac{\lambda}{a}$  où  $\theta$  est un angle exprimé en radians (rad),  $\lambda$  et  $a$  étant des longueurs en mètres (m).
- **Figure de diffraction** : La figure de diffraction obtenue est la suivante (une tache centrale de diffraction et des taches latérales) :  
La largeur  $\ell$  de la tâche centrale de diffraction est mesurée au niveau des points de lumière nulle (extinction), pas au niveau des limites apparentes de la tâche, qui dépendent des conditions d'éclairage !  
Cette largeur  $\ell$  est double des interfranges des tâches latérales.  
La largeur  $\ell$  de la tâche est d'autant plus grande que la largeur  $a$  de l'obstacle ou de la fente est petite, et que la longueur d'onde  $\lambda$  de la lumière est grande.
- **Conditions sur la diffraction** : La diffraction est toujours présente ; néanmoins, afin que le phénomène soit bien visible, on est amené à utiliser deux ou trois petites astuces expérimentales (comme augmenter la distance  $D$  pour que la tâche de diffraction soit plus grosse). Vous devez savoir identifier les situations physiques où il est pertinent de prendre en compte le phénomène de diffraction !
- **Réfraction** : La réfraction d'une onde est le changement de sa direction de propagation lors du changement de milieu. Loi de Descartes :  $n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$  ; ce phénomène s'explique par la différence de célérité de l'onde en fonction du milieu.
- **Dispersion** : Le milieu est dispersif si la célérité des ondes dépend de leur fréquence. Un bon exemple est le verre ou l'eau, faiblement dispersifs pour la lumière visible, ce qui explique la dispersion par un prisme ou par des gouttes d'eau (spectre de la lumière blanche ou « arc-en-ciel »). Un bon contre-exemple est le son dans l'air, donc la propagation est très agréablement non dispersive (sons aigus et sons grave ont même célérité).
- **Lumière monochromatique** : Une lumière monochromatique est une onde électromagnétique de fréquence unique (notée  $\nu$ , lettre grecque « nu », notation équivalente à  $f$  mais en plus snob).
- **Lumière polychromatique** : Une lumière polychromatique est un ensemble d'ondes électromagnétiques de fréquences différentes.
- **Spectre visible** : Le spectre visible correspond à des ondes électromagnétiques de longueurs d'onde dans le vide comprises entre 400 nm (violet) et 800 nm (rouge) environ. En dessous de 400 nm, on parle d'ultraviolets ; infrarouges au-dessus de 800 nm.
- **Propagation de la lumière** : La lumière est une onde électromagnétique, qui n'a pas besoin d'un milieu matériel pour se propager. La propagation est donc possible autant dans le vide que dans les milieux transparents.
- **Longueur d'onde dans le vide** : La longueur d'onde  $\lambda_0$  de la lumière dans le vide est liée à la fréquence  $\nu$  (lire « nu ») et à la célérité  $c$  dans le vide, par la relation :  $\lambda_0 = \frac{c}{\nu}$
- **Longueur d'onde dans un milieu** : Dans un milieu où la célérité de la lumière est  $v$ , la longueur d'onde d'une onde lumineuse de fréquence  $\nu$  (lire « nu ») vaut :  $\lambda = \frac{v}{\nu}$
- **Caractéristiques d'une onde** : La fréquence et la période d'une radiation monochromatique sont des caractéristiques constantes de l'onde ; elles ne changent pas lors du passage d'un milieu transparent à un autre. En revanche, célérité et longueur d'onde dépendent du milieu.
- **Milieux dispersifs** : Les milieux transparents sont plus ou moins dispersifs pour les ondes électromagnétiques ; la vitesse ou célérité de l'onde dépend alors de la fréquence de celle-ci.
- **Indice d'un milieu** : L'indice  $n$  d'un milieu transparent s'exprime comme le rapport de la célérité de la lumière dans le vide  $c$ , par cette célérité  $v$  dans le milieu considéré :  $n = \frac{c}{v}$  et  $n \geq 1$  car  $v \leq c$



- **Longueurs d'onde** : Pour une même radiation monochromatique de fréquence  $\nu$ , on a la relation :

$$\lambda_0 = \frac{c}{\nu} \text{ et } \lambda = \frac{v}{\nu} \text{ soit } n = \frac{\lambda_0}{\lambda} \Leftrightarrow \lambda_0 = n\lambda$$

- **Superposition** : Dès lors que le milieu considéré est linéaire, ce qui est le cas pour la lumière ou le son jusqu'à des intensités dantesques, deux ondes au même point s'additionnent algébriquement.
- **Interférences** : Phénomène ondulatoire dû à l'addition de vibrations de même longueur d'onde et cohérentes (c'est-à-dire présentant une différence de phase constante).
- **Conditions sur les interférences** : Les interférences ont toujours lieu ; néanmoins, afin que le phénomène soit bien visible, on est amené à utiliser deux ou trois petites astuces expérimentales (comme augmenter la distance  $D$  pour que les franges soient plus larges). Vous devez savoir identifier les situations physiques où il est pertinent de prendre en compte les interférences ! Plus précisément, les deux ondes qui interfèrent doivent être de même fréquences. Pour les ondes lumineuses, comme elles sont formées de trains d'ondes de durée limitée et décorrélés entre eux, les deux ondes doivent aussi avoir un déphasage constant entre eux.
- **Chemin optique** : Noté  $\delta$ , c'est le trajet parcouru par la lumière, donc une longueur, éventuellement multipliée par l'indice  $n = \frac{c}{v}$  du milieu.
- **Interférences constructives** : Les interférences sont constructives si les deux ondes qui interfèrent ont parcouru un chemin multiple de leur longueur d'onde :  $\delta = k \cdot \lambda$
- **Interférences destructives** : Les interférences sont destructives si les deux ondes qui interfèrent ont parcouru un chemin demi-multiple de leur longueur d'onde :  $\delta = (k + \frac{1}{2}) \times \lambda$
- **Effet Doppler** : Si la source et le récepteur sont en mouvement relatif l'un par rapport à l'autre, la fréquence perçue par le récepteur sera plus faible si le récepteur s'éloigne de la source, et plus élevée si le récepteur s'en approche. Vous devez savoir mesurer une vitesse par effet Doppler.  
 Si la vitesse  $v$  est faible devant la célérité  $c$  de l'onde, le décalage en fréquence  $\delta f$  est :  $\Delta f = f \times \frac{v}{c}$   
 Si l'observateur et la source se rapprochent, la fréquence perçue augmente de  $(f + \Delta f)$   
 Si l'observateur et la source s'éloignent, la fréquence perçue diminue de  $(f - \Delta f)$
- **Redshift et Blueshift** : L'Univers est en expansion. Les astres les plus lointains sont ceux dont le mouvement relatif est le plus rapide (ce sont aussi les plus anciens, puisque voir loin, c'est voir dans le passé). Le décalage des raies spectrales porte le nom de « Redshift » et permet donc de trouver la distance et la vitesse de l'astre observé.  
 En effet, la longueur d'onde  $\lambda$  est inversement proportionnelle à la fréquence  $f$ . Donc si  $f$  diminue, alors  $\lambda$  augmente et les raies d'absorption se décalent alors vers le rouge.  
 Le décalage des raies spectrales porte le nom de « Blueshift » si les astres se rapprochent.

# Lois de Newton

- **Référentiel** : Le mouvement d'un corps est défini par rapport à un référentiel, constitué d'un solide de référence auquel est lié un repère, et d'une horloge. On repère ainsi la position d'un corps, à une date donnée.
- **Trajectoire** : La trajectoire dépend du référentiel choisi : le mouvement est relatif au référentiel.
- **Vitesse moyenne** : La vitesse moyenne est le quotient de la distance  $d$  parcourue pendant la durée  $t$  du déplacement :  $v = \frac{d}{t}$
- **Vitesse instantanée** : La vitesse instantanée d'un point M en  $M_i$  peut être approchée par la vitesse moyenne entre deux positions  $M_{i-1}$  et  $M_{i+1}$  encadrant  $M_i$  :  $v_i = \frac{M_{i-1}M_{i+1}}{2\tau}$  avec  $\tau$  intervalle de temps entre 2 positions successives.
- **Vecteur vitesse** : Le vecteur vitesse  $\vec{v}$  est la dérivée par rapport au temps du vecteur position  $\overrightarrow{OM}$  :  $\vec{v} = \frac{d\overrightarrow{OM}}{dt}$   
Ce vecteur a une valeur notée  $v = \|\vec{v}\|$ , appelée vitesse, en mètres par seconde ( $m.s^{-1}$ ). Ses autres caractéristiques sont sa direction, tangente à la trajectoire, et son sens, toujours celui du mouvement.
- **Vecteur accélération** : Le vecteur accélération  $\vec{a}$  est la dérivée par rapport au temps du vecteur vitesse :  $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$ . Ce vecteur a une valeur notée  $a = \|\vec{a}\|$ , appelée accélération, en mètres par seconde carrés ( $m.s^{-2}$ ). Ses autres caractéristiques sont sa direction et son sens.
- **Les 4 caractéristiques d'une force** : Une force est représentée par un segment fléché, appelé vecteur force  $\vec{F}$ , de quatre caractéristiques :
  - Sa direction ;
  - Son sens ;
  - Son point d'application ;
  - Sa valeur, exprimée en newtons, de symbole N.
- **L'accélération relie mouvement et force** : Le mouvement d'un corps peut être modifié si le corps subit une action mécanique, modélisée par une force. Tout le détail de cette formulation est contenu dans le mot « modifié », c'est-à-dire qu'appliquer une force va faire varier la vitesse, c'est-à-dire créer une accélération ou une décélération.
- **L'inertie relie masse et force** : L'effet d'une force appliquée sur un corps dépend de sa masse. L'effet d'inertie est même rigoureusement proportionnel : il faut appliquer une force d'intensité double pour le même mouvement quand on double la masse.
- **Isolé ou pseudo-isolé** : Il est équivalent d'énoncer : « un corps est soumis à des forces qui se compensent » (= système pseudo-isolé) et « un corps n'est soumis à aucune force » (= système isolé).
- **Énoncé du Principe d'inertie** : « Un système persévère dans son état de repos ou de mouvement rectiligne uniforme si les forces qui s'exercent sur lui se compensent ou sont nulles. » Cette formule est appelée « première loi de Newton ». Elle permet de trouver le mouvement d'un objet connaissant toutes les forces qui s'appliquent, dans le cas où leur somme est nulle.
- **Réciproque du Principe d'inertie** : « Si un système persévère dans son état de repos ou de mouvement rectiligne uniforme, cela signifie que les forces qui s'exercent sur ce système se compensent ou sont nulles. »
- **Quantité de mouvement** : la quantité de mouvement est le produit de la masse par la vitesse :  $p = m \times v$   
Sous forme vectorielle :  $\vec{p} = m \times \vec{v}$
- **Lien entre force et quantité de mouvement** : La *résultante* (= la somme nette de tous les vecteurs) des forces extérieures appliquées est égale à la dérivée du vecteur quantité de mouvement  $\vec{p}$  du centre d'inertie G :  
 $\Sigma \vec{F}_{\text{ext}} = \frac{d\vec{p}}{dt}$ . Cette formule est appelée « deuxième loi de Newton ». Elle permet de trouver le mouvement d'un objet connaissant toutes les forces qui s'appliquent, dans le cas général.
- **Lien entre force, masse et mouvement** : si la masse du système est constante, alors la relation précédente s'écrit :  
 $\Sigma \vec{F}_{\text{ext}} = m \frac{d\vec{v}}{dt}$   
En d'autres termes, les effets d'une force peuvent être une *variation* dans le mouvement d'un objet. À contrario, il n'y a pas forcément de lien entre mouvement et force appliquée, penser à l'exemple du *mouvement perpétuel* qui perdure pour un corps *isolé*.

- **1<sup>ère</sup> loi de Newton** : Si la résultante des forces extérieures appliquées à un corps est nulle, ce dernier a une quantité de mouvement qui se *conserve* :  $\Sigma \vec{F}_{\text{ext}} = \vec{0} \Leftrightarrow \vec{v} = \vec{cte}$   
Il s'agit d'une généralisation du Principe d'inertie qui a l'avantage d'être valable pour les systèmes dont la masse varie (particules dans un accélérateur, fusée...).
- **2<sup>ème</sup> loi de Newton** : La résultante des forces extérieures appliquées à un corps est égale à la dérivée de la quantité de mouvement :  $\Sigma \vec{F}_{\text{ext}} = \frac{d\vec{p}}{dt}$   
Il s'agit d'une généralisation de la loi déjà donnée ci-dessus, qui a l'avantage d'être valable pour les systèmes dont la masse varie (particules dans un accélérateur, fusée...)  
Si la masse est constante, on peut « sortir » la constante  $m$  de la dérivée,  $\Sigma \vec{F}_{\text{ext}} = m \frac{d\vec{v}}{dt}$
- **3<sup>ème</sup> loi de Newton** : La force  $\vec{F}_{A/B}$  exercée par un corps A sur un corps B, est égale et opposée à la force  $\vec{F}_{B/A}$  exercée par le corps B sur le corps A :  $\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A} \Leftrightarrow \vec{F}_{A/B} + \vec{F}_{B/A} = \vec{0}$   
En conséquence, ces deux forces ont même direction (la droite reliant les centres d'inertie A et B des corps), sens opposés et même valeur.  
Cette loi est aussi appelée *loi des actions réciproques*.
- **Référentiels** : Pour appliquer les lois de Newton, il faut se placer dans un référentiel galiléen.  
Un *référentiel* est un repère, associé à une horloge. Cet ensemble permet de repérer un corps autant dans l'espace (repère (Oxyz)) que dans le temps (date  $t$  sur l'horloge).  
Un référentiel est *galiléen* quand on peut négliger les mouvements des masses qui entourent le référentiel. Plus prosaïquement, on peut dire qu'un référentiel est galiléen quand on peut appliquer les lois de Newton.
- **Applications de la 2<sup>ème</sup> loi de Newton** :
  - Choisir le système sur lequel l'étude va porter ;
  - Choisir le référentiel, que l'on prendra galiléen ;
  - Faire l'inventaire des forces extérieures appliquées au système ;
  - Écrire la 2<sup>ème</sup> loi de Newton ;
  - Projeter l'expression vectorielle sur des axes convenablement choisis.
- **Exploitation** : Vous devez savoir exploiter une série de photos (chronophotographie), un film (pointés sur une vidéo) ou un enregistrement (table à coussin d'air) :
  - Reconnaître si le mouvement du centre d'inertie est rectiligne uniforme ou pas ;
  - Déterminer les vecteurs vitesse, variation de vitesse, quantité de mouvement et accélération ;
  - Mettre en relation accélération et somme des forces.

# Etude de mouvements

- **Le poids** : Le vecteur poids s'écrit  $\vec{P} = m \vec{g}$ . Il ne faut pas confondre cette formule avec celle donnant la quantité de mouvement  $\vec{p} = m \vec{v}$ , qui n'a absolument aucun rapport (les deux s'ignorent superbement et ne se parlent pas).
- **Chute libre verticale** : Cas théorique, elle correspond à une chute sous le seul effet de la pesanteur. Vous devez savoir qu'elle correspond à un mouvement rectiligne uniformément accéléré :  $\vec{a} = \vec{g}$   
Vous devez savoir mener la résolution *analytique* de bout en bout, pour aboutir *in fine* à l'équation horaire du mouvement après double intégration.
- **Importance des conditions initiales** : Vous devez comprendre que toute la physique d'un problème est contenue d'une part dans l'écriture de la deuxième loi de Newton (équation différentielle du second ordre), d'autre part dans les conditions initiales (position & vitesse). À partir de ces données, vous pouvez prévoir le mouvement du système à toutes les dates ultérieures (donc vous pouvez prévoir le futur !).
- **Équations paramétriques** : Vous devez être capable de retrouver les équations horaires paramétriques  $x(t)$ ,  $y(t)$  et  $z(t)$  à partir de l'application de la seconde loi de Newton.
- **Mouvement plan** : Le mouvement d'un projectile dans le champ de pesanteur est plan. Plus précisément, le plan du mouvement sera celui défini par le vecteur vitesse initiale  $\vec{v}_0$  et le vecteur champ de pesanteur  $\vec{g}$  (et donc il s'agit d'un plan vertical).
- **Équation de la trajectoire** : L'équation de la trajectoire s'obtient à partir des équations horaires paramétriques, en éliminant le temps. Vous devez être capable de retrouver cette équation.  
Cette équation correspond à celle d'une parabole, dans le cas d'un mouvement sans frottement.
- **Poussée d'Archimède** : Pour un corps de masse volumique  $\rho$ , déplaçant un volume  $V_{\text{fluide}}$  de fluide de masse volumique  $\rho_{\text{fluide}}$ , la poussée d'Archimède est :  $\vec{\Pi} = -\rho_{\text{fluide}} \times V_{\text{fluide}} \vec{g}$
- **Frottements fluides** : Les forces de frottement fluides sont décrites par une loi *phénoménologique*, les deux cas les plus simples étant une dépendance linéaire ou quadratique avec la vitesse  $v$  :  
Traditionnellement, on réserve la première formule aux vitesses faibles, la seconde aux vitesses plus élevées, ce que l'on entend par *faible* ou *élevé* restant à préciser (car dépendant de très nombreux facteurs).  
Dans tous les cas, la force de frottement est tangente et opposée au mouvement.
- **Document expérimental** : Sur un document expérimental reproduisant la trajectoire d'un projectile, vous devez être capable de :
  - Tracer le vecteur vitesse initial  $\vec{v}_0$  et déterminer sa norme  $v_0$  et l'angle  $\alpha$  par rapport à l'axe horizontal ;
  - Tracer les vecteurs vitesses et accélération ;
  - Déterminer les caractéristiques du vecteur accélération.



# Lois de Kepler

- **Lois de Kepler :**

- Les planètes ou satellites décrivent des orbites elliptiques, l'astre attracteur étant l'un des foyers de l'ellipse ;
- Les aires balayées par le segment reliant le satellite à l'astre attracteur pendant des durées égales sont égales ;
- Le rapport entre le carré de la période de révolution  $T$  et le cube du demi-grand axe  $a$  de l'orbite elliptique est constant :  $\frac{T^2}{a^3} = k$ . Cette dernière loi a été démontrée dans le cours à partir de la deuxième loi de Newton.

- **Circulaire uniforme :** La trajectoire d'un tel mouvement est un cercle, décrit à vitesse constante (le vecteur vitesse change constamment de direction, tout en restant tangent à la trajectoire et de valeur constante).

Ce mouvement a lieu sous l'effet d'une force *radiale*, c'est-à-dire dirigée selon le rayon de la trajectoire circulaire, et la vitesse initiale est non nulle.

Le vecteur accélération est alors *centripète*, c'est-à-dire dirigé vers le centre du cercle. Sa valeur est :  $\mathbf{a} = \frac{v^2}{r}$

- **Gravitation universelle :** Deux corps dont la répartition des masses est à symétrie sphérique, de centres A et B, et dont la distance  $d = AB$  est grande devant leur taille, exercent l'un sur l'autre une force attractive :

$$\vec{\mathbf{F}}_{A/B} = -G \frac{M_A \times M_B}{d^2} \vec{\mathbf{u}}_{A/B} \text{ avec } \vec{\mathbf{u}}_{A/B} \text{ vecteur unitaire de A vers B opposé à } \vec{\mathbf{n}} \text{ donc } \vec{\mathbf{u}}_{A/B} = -\vec{\mathbf{n}}$$

- **Géostationnaire :** Un satellite est géostationnaire s'il parcourt son orbite dans le plan équatorial de la Terre, dans le même sens et avec la même période que la rotation propre de la Terre.

Ces conditions impliquent une immobilité par rapport à un point du sol, et une altitude de 36 000 km environ à la verticale de l'équateur.



# Travail et énergie

- Travail** : Le travail d'une force  $F$  constante, lors de son déplacement quelconque d'un point A à un point B, est :
 
$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{AB} = F \times AB \times \cos(\alpha) \text{ avec } \alpha = (\vec{F}, \vec{AB})$$
 W en joules (J) si F en newtons (N) et AB en mètres (m)
- Chemin suivi** : Le travail d'une force  $F$  *conservative* d'un point A à un point B ne dépend pas du chemin suivi pour aller du point A au point B. On dit d'une telle force qu'elle *dérive* d'une énergie potentielle.
- Travail du poids** : Le travail du poids  $P$  d'un point matériel de masse  $m$  qui se déplace d'un point A d'altitude  $z_A$  à un point B d'altitude  $z_B$  dans un champ de pesanteur uniforme est :  $W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = mg(z_A - z_B)$   
 Ainsi le poids est une force conservative dont l'énergie potentielle, l'énergie potentielle de pesanteur, s'exprime par :  $E_p = mgh$   
 dès lors que l'origine des énergies potentielles est prise à une hauteur  $h$  nulle. On peut utiliser ces formules directement sans démonstration.
- Charge et force** : Une particule portant la charge électrique  $q$  en coulomb (C) est soumise à la force électrique  $\vec{F}_e$  lorsqu'elle est placée dans le champ électrique  $E$  :  $\vec{F}_e = q \vec{E}$   
 Le champ électrique  $E$  peut être créé par deux plaques portant une différence de potentiel ou tension  $U = U_{AB}$  et séparées par une distance  $d = AB$ , tel que le module ou norme du champ s'exprime par :  $E = \frac{U}{d}$  ou  $E = \frac{U_{AB}}{AB}$
- Travail électrique** : Le travail de la force électrique  $F_e$  qui s'exerce sur une particule portant une charge  $q$ , qui se déplace d'un point A à un point B, dans un champ électrique  $E$  uniforme, a pour expression :
 
$$W_{AB}(\vec{F}) = q \vec{E} \cdot \vec{AB} = q \times U_{AB}$$
 avec  $W_{AB}(\vec{F})$  en J,  $q$  en C,  $E$  en  $V \cdot m^{-1}$  et  $U_{AB}$  en V  
 La force électrique est une force conservative dont l'énergie potentielle, énergie potentielle électrique, s'exprime par :  $E_p = -qV$   
 avec  $V$  le potentiel du point considéré. La différence de potentiel ou tension  $U_{AB}$  s'exprime en fonction du potentiel des deux points A et B par :  $U_{AB} = V_A - V_B$
- Frottements** : Le travail d'une force de frottement  $f$  est résistant :  $W_{AB}(\vec{f}) = \vec{f} \cdot \vec{AB} = -f \times AB < 0$   
 Les forces de frottement sont non conservatives, le travail dépend du chemin suivi, et elles ne dérivent pas d'une énergie potentielle.
- Énergie mécanique** : Par définition, l'énergie mécanique d'un système est la somme de ses énergies potentielle et cinétique :
 
$$E_m = E_p + E_c$$
- Conservation de l'énergie mécanique** : En l'absence de frottements ou lorsqu'ils restent négligeables, les variations d'énergie potentielle compensent les variations d'énergie cinétique : il y a conservation de l'énergie mécanique.  $E_m = cte \Leftrightarrow E_m = 0$   
 On peut utiliser cette dernière égalité pour calculer l'énergie cinétique lorsque l'on connaît l'énergie potentielle, et vice-versa. On dit souvent qu'un système est dans une « cuvette » d'énergie potentielle, il voit sans cesse ses formes d'énergies cinétique et potentielle s'échanger.  
 Vous devez savoir reconnaître la conservation ou la non-conservation de l'énergie mécanique sur un document expérimental.
- Dissipation de l'énergie** : La variation de l'énergie mécanique entre deux positions A et B d'un système est égale au travail de la force  $f$  qui modélise l'action des frottements entre ces deux positions :  $\Delta E_M = W_{AB}(\vec{f})$



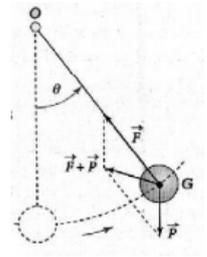
# Mesure du temps et oscillateurs

- **Oscillateur mécanique** : système mécanique animé d'un mouvement périodique de part et d'autre de sa position d'équilibre.
- **Pendule simple** : Un pendule simple est un système oscillant constitué par un solide de masse  $m$ , suspendu l'extrémité d'un fil inextensible de longueur  $L$ , grande par rapport aux dimensions du solide et de masse négligeable.

En l'absence de frottements, les oscillations libres de faible amplitude ont une même période  $T$  :

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \text{ avec } L \text{ en m, } g \text{ en m.s}^{-2} \text{ et } T_0 \text{ en s.}$$

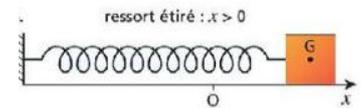
Il y a échange entre énergie cinétique et énergie potentielle de pesanteur.



- **Pendule élastique** : Un pendule élastique est composé d'un objet de masse  $m$  accroché à l'extrémité d'un ressort de constante de raideur  $k$ .
- En l'absence de frottements, les oscillations libres de faible amplitude ont une même période  $T$  :

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \text{ avec } m \text{ en kg, } k \text{ en N.m}^{-1} \text{ et } T_0 \text{ en s.}$$

Il y a échange entre énergie cinétique et énergie potentielle élastique.

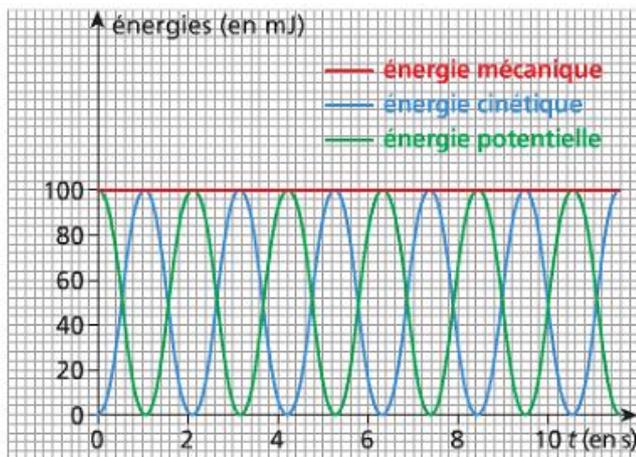


- **Energie mécanique de l'oscillateur** :

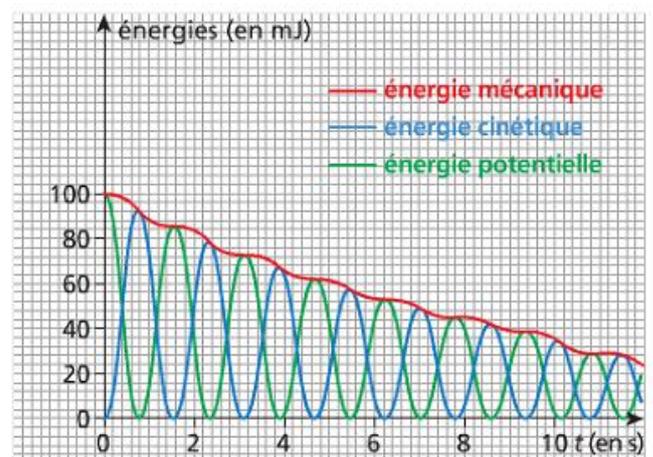
➤ Si les frottements peuvent être négligés, l'énergie mécanique du pendule est constante au cours du temps :

$$E_M = E_C + E_{pp} = \text{Constante}$$

➤ En cas de frottements, il y a dissipation d'énergie par transfert thermique par l'intermédiaire des forces de frottement.



Oscillations à énergie mécanique constante



Oscillations avec dissipation de l'énergie mécanique



# Temps et relativité restreinte

- **Célérité de la lumière** : Quelque soit le référentiel dans lequel on se place, la célérité de la lumière dans le vide vaut  $c \approx 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ , constante universelle qui est de fait une limite maximale infranchissable pour les vitesses des particules. En particulier la loi d'addition galiléenne des vitesses est mise en défaut.
- **Temps** : Le temps n'est plus une notion universelle, il dépend de l'observateur et donc de son déplacement.
- **Espace-temps** : On définit un évènement par ses quatre coordonnées spatio-temporelles, donc sa position dans l'espace et dans le temps. Le temps apparaît ainsi comme une coordonnée comme une autre.
- **Référentiel propre** : On nomme référentiel propre le référentiel dans lequel la particule est immobile.
- **Dilatation du temps** : Le temps  $\Delta t'$  mesuré dans un référentiel quelconque est lié au temps  $\Delta t_0$  mesuré dans le référentiel

propre par :  $\Delta t' = \gamma \times \Delta t_0$  où  $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

Puisque par principe  $v \leq c$  alors  $\gamma \geq 1$  et donc  $\Delta t' \geq \Delta t_0$  : c'est la dilatation du temps.

- **Contraction des longueurs** : Une conséquence de la dilatation du temps est la contraction des longueurs.
- **Horloge atomique** : Une horloge atomique est ce qui se fait de plus précis actuellement. Une telle horloge est basée sur la quantification des niveaux d'énergie d'un atome.
- **GPS** : Afin d'assurer une précision suffisante au système GPS de localisation par satellite, il faut entre autre tenir compte des effets relativistes.



# Bilans thermiques

- Avogadro** : Le nombre d'Avogadro est le nombre d'entités dans une mole :  $N_A = 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$   
 Le fait que ce nombre soit très grand implique l'impossibilité pratique de considérer les positions et les vitesses de toutes les particules pour décrire la matière et ses transformations. La description microscopique est ainsi illusoire, on procède à une description macroscopique, basée sur des grandeurs mesurables à notre échelle comme la pression  $P$ , la température  $T$ , le volume  $V$  ou la quantité de matière  $n$ .
- Spontanéité** : Les transferts thermiques ont lieu spontanément de la source chaude vers la source froide. Ils ne peuvent être inversés, on dit qu'ils sont irréversibles.
- Trois modes de transferts thermiques** : Les trois modes de transferts thermiques à connaître sont la convection (transfert par mouvement de matière), la conduction (transfert par contact, par agitation microscopique, dans la matière) et le rayonnement (transfert par rayonnement ou absorption d'une onde électromagnétique).
- Flux** : L'échange d'une quantité de chaleur  $Q$  pendant une durée  $t$  correspond à une puissance thermique  $P_{th}$  :  

$$P_{th} = \frac{Q}{\Delta t}$$
 avec  $P_{th}$  puissance ou flux thermique en watt (W) ;  $Q$  transfert thermique en joule (J) ;  $\Delta t$  durée en (s).
- Résistance thermique** : La puissance thermique échangée est proportionnelle à l'écart de température  $T_{chaud} - T_{froid}$  entre le corps chaud et le corps froid ; le coefficient de proportionnalité est appelé résistance thermique  $R_{th}$  et s'exprime par la formule, toujours rappelée :  $T_{chaud} - T_{froid} = R_{th} \times P_{th}$   
 $T_{chaud} - T_{froid}$  écart de température en °C ou en K ;  $R_{th}$  résistance thermique en kelvin par watt ( $K \cdot W^{-1}$ ) ;  
 $P_{th}$  puissance thermique en watt (W).
- Énergie interne** : L'énergie interne notée  $U$  en joule (J) est la somme de l'énergie cinétique microscopique, correspondant à l'agitation thermique, et de l'énergie potentielle microscopique, correspondant aux liaisons entre constituants.
- Variation d'énergie interne** : La variation d'énergie interne  $U$  d'un corps est proportionnelle à sa variation de la température  $T$  :  $\Delta U = C \times \Delta T$   
 $\Delta U$  variation d'énergie interne du corps (joule J) ;  $\Delta T$  variation de température du corps (°C) ;  
 $C$  capacité thermique du corps, en joule par degré Celsius ( $J \cdot ^\circ C^{-1}$ ).
- Variation d'énergie interne bis** : La variation d'énergie interne  $U$  d'un corps est proportionnelle à sa variation de la température  $T$  :  $\Delta U = m \times c \times \Delta T$  avec  $\Delta U$  variation d'énergie interne du corps (joule J) ;  $\Delta T$  variation de température du corps (°C) ;  $m$  masse en kilogramme (kg) ;  $c$  capacité thermique massique du corps, en ( $J \cdot ^\circ C^{-1} \cdot kg^{-1}$ ).
- Bilan** : L'énergie interne  $U$  d'un système varie si ce dernier échange du travail  $W$  avec l'extérieur ou qu'un transfert thermique  $Q$  s'effectue :  $\Delta U = W + Q$   
 Si le système est en mouvement, il faut ajouter les variations d'énergie cinétique  $E_c$  et d'énergie potentielle  $E_p$  au bilan :  $E_m + \Delta U = W + Q$   
 On a ainsi l'ensemble des énergies à gauche (macroscopiques et microscopiques), et l'ensemble des causes de variation à droite (transfert thermique ou travail).
- Machines thermiques** : Un moteur à explosion, un réfrigérateur, une pompe à chaleur sont des exemples de machines thermiques bithermes cycliques.



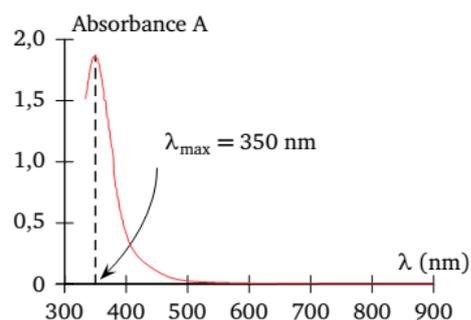
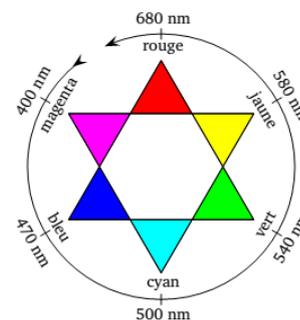
# Introduction à la quantique

- **Les 4 interactions** : Traditionnellement, on indique que la Physique fait intervenir quatre forces : l'interaction gravitationnelle, l'interaction électrique, l'interaction faible (qui explique la radioactivité  $\alpha$ ) et l'interaction forte (qui explique la cohésion des noyaux).
- **Quantification** : L'énergie de l'atome est quantifiée, c'est-à-dire que l'atome ne peut se trouver que dans un état d'énergie bien précis. La mécanique de Newton ne permet pas d'expliquer cette quantification.
- **Énergie** : L'énergie d'un atome ne peut varier que selon un multiple du quanta d'énergie :  $E = h\nu$   
 $E$  variation d'énergie, en joules (J) ;  $h$  est la constante de Planck :  $h = 6,62 \times 10^{-34}$  J.s  
 $\nu$  (lire « nu ») est la fréquence de la radiation (photon) émise ou absorbée par l'atome, en hertz (Hz).
- **État** : Le niveau d'énergie le plus bas d'un atome est appelé *état fondamental*. Les autres niveaux d'énergie sont les états excités. Les niveaux d'énergie des molécules et les noyaux sont eux aussi quantifiés.
- **Quantique ou pas ?** La quantification des niveaux d'énergie et des transferts d'énergie n'est en général sensible qu'au niveau atomique ou nucléaire. Au niveau macroscopique la majorité des systèmes qui nous entourent ne présentent pas en apparence un comportement quantifié, car la quantification de leurs niveaux d'énergie est non perceptible, cachée par la moyenne statistique sur un grand nombre de particules et d'échanges d'énergie.
- **Spectre de raies** : Un spectre de raies est le résultat de la décomposition (= dispersion par un prisme ou un réseau) des différentes radiations monochromatiques émises par un gaz d'atome chaud lors de sa désexcitation.  
 Chaque élément produit un spectre qui lui est propre, comme une signature.  
 Un spectre d'absorption, correspondant à l'excitation d'atomes ou de molécules, est complémentaire du spectre d'émission correspondant à la désexcitation des mêmes atomes ou molécules.
- **Transition** : À chaque raie du spectre correspond une transition dans l'état énergétique de l'atome. Lorsque qu'un atome passe du niveau d'énergie  $E_i$  à un niveau d'énergie supérieur  $E_f$ , il absorbe lors de cette excitation un quantum d'énergie égal à :  
 $E = E_f - E_i = h\nu$   
 Lors de la désexcitation, le même quantum d'énergie est émis.
- **Échanges d'énergie** : Les échanges d'énergies sont de l'ordre :
  - De l'eV pour le cortège électronique ;
  - Du MeV pour le noyau.
 Ces échanges d'énergie ont lieu sous forme d'absorption ou d'émission de photons, par quantités discrètes soit par quanta.
- **Dualité** : La dualité onde-corpuscule est une tentative d'accorder deux modèles antinomiques. En effet une même entité microscopique peut selon les circonstances adopter un comportement ondulatoire (interférences, diffraction...) ou un comportement corpusculaire (impact, trajectoire...). La relation liant la longueur d'onde  $\lambda$  à la quantité de mouvement  $p$  établit le lien entre les deux comportements à mes yeux :  $\lambda = \frac{h}{p}$
- **LASER** : Un laser est une source de lumière monochromatique, intense (le ratio puissance sur surface éclairée est très élevé), très directive (le faisceau émis est un faisceau de rayons parallèles) et cohérente (les photons ou trains d'ondes émis ont tous la même phase).  
 L'émission laser est basée sur :
  - Le pompage (éventuellement optique) qui provoque une inversion de population, c'est-à-dire qu'un niveau supérieur se trouve très occupé ;
  - L'émission stimulée, pour laquelle des photons tous de même fréquence et de même phase sont émis simultanément par désexcitation des atomes préalablement préparés ;
  - L'amplification par interférence constructive des photons ainsi émis dans une cavité de Fabry-Pérot (dit de façon moins obscure : deux miroirs qui se font face et qui encadrent le milieu dans lequel a lieu le pompage permettent aux photons de faire de multiples aller-retour, en provoquant à chaque passage dans le milieu des émissions stimulées).



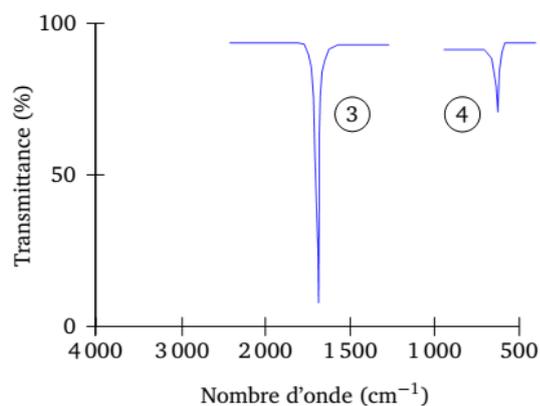
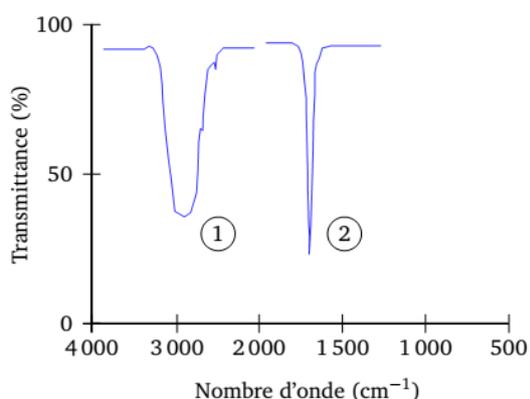
# Analyse spectrale

- **Couleur d'une solution** : Une solution est colorée si elle absorbe une partie des radiations de la lumière blanche. La couleur observée est la couleur complémentaire de la couleur absorbée.
- **Le spectrophotomètre** : Il est basé sur l'absorption de la lumière par une solution transparente contenant des espèces colorées (ou tout au moins absorbant dans l'UV ou dans l'IR). Il permet de mesurer une grandeur  $A$  appelée absorbance, positive, qui peut être supérieure à un ( $A = 0$  pour une absorbance nulle,  $A = 1$  si  $1/10^{\text{ème}}$  de la lumière traverse,  $A = 2$  pour  $1/100^{\text{ème}}$ ,  $A = 3$  pour  $1/1000^{\text{ème}}$ , etc.
- **Loi de Beer-Lambert** : À une longueur d'onde  $\lambda$  donnée, la relation entre l'absorbance  $A$  d'une solution et sa concentration  $c$  en espèce colorée est donnée par :  $A = \varepsilon \times \ell \times c$   
où  $\varepsilon$  est le coefficient d'extinction molaire, typique de chaque espèce colorée, et  $\ell$  est la longueur de solution traversée par le faisceau lumineux. On a ainsi, dans l'hypothèse de concentrations faibles, proportionnalité entre l'absorbance  $A$  et la concentration  $c$  en espèce colorée :  $A = k \times c$
- **Spectre** : Le graphique représentant l'absorbance  $A$  en fonction de la longueur d'onde  $\lambda$  est appelé spectre de la solution. L'étoile des couleurs complémentaires permet de retrouver la couleur de la solution.



- **Spectroscopie IR** : En raison de vibrations de résonance des liaisons des molécules, ces dernières absorbent de l'énergie dans différentes bandes de fréquences en lumière IR, bandes qui sont par conséquent caractéristiques de la présence de tel ou tel type de liaison.

Le spectre IR a ceci de différent par rapport au spectre en absorbance, qu'il utilise le nombre d'onde  $\sigma$  en abscisse :  $\sigma = \frac{1}{\lambda}$  souvent exprimé en inverse du centimètre ( $\text{cm}^{-1}$ ), et la transmittance en ordonnée, en pourcentage. Voici quelques extraits de spectre qui illustrent les formes de raies rencontrées en général :  
En bref, il suffit de repérer la position des bandes d'absorption, si elles sont larges 1 ou fines 2, si elles sont intenses 3 ou faibles 4, et d'aller comparer avec un tableau.



- **Spectroscopie RMN** : Le noyau d'un atome d'hydrogène est formé d'un seul proton. Ce dernier présente un *spin* qui peut interagir avec un champ magnétique extérieur. Ce spin peut même se coupler avec celui d'autres protons voisins dans la molécule (c'est la fêta). On observe des pics dont la position (le déplacement chimique  $\delta$ ) dépend directement de l'environnement électronique entourant les protons (figure : déplacement chimique du spectre 5 plus fort que celui du spectre 6).

En bref, il suffit de repérer la position des pics, noter leur multiplicité éventuelle (directement liée au nombre de protons voisins avec lesquels ils peuvent se coupler), noter l'aire ou intégrale (proportionnelle au nombre de protons de même environnement électronique), et d'aller comparer avec un tableau (figure : 7 singulet, 8 duet, 9 triplet).

En particulier, si on observe  $n + 1$  pics, c'est que le(s) proton(s) considéré(s) est (sont) couplé(s) à  $n$  autre(s) proton(s) (règle dite « des  $n+1$ -uplets »).

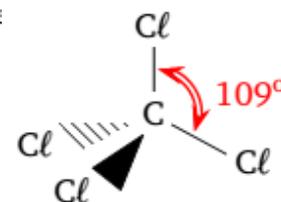
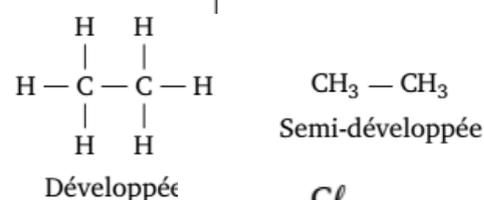
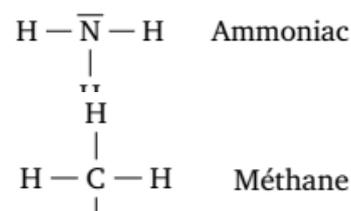


# Représentation spatiale des molécules

Chimie

UN

- **Nomenclature** : Vous devez connaître la nomenclature des espèces organiques. Vous devez connaître tous les groupes et leur nomenclature.
- **Formule brute** : On appelle formule brute d'une molécule, une formule indiquant uniquement le symbole des atomes et leurs nombres.  
Exemple :  $\text{CH}_4$  pour le méthane, comportant un carbone et quatre hydrogènes.
- **Formule de Lewis** : On appelle formule de Lewis une représentation de tous les atomes, de leurs liaisons et de leurs éventuels doublets non-liants. Exemple de l'ammoniac :
- **Formule développée** : On appelle formule développée une représentation de toutes les liaisons entre atomes, à l'exclusion des doublets non-liants. Exemple du méthane :
- **Formule semi-développée** : Dans une formule semi-développée, toutes les liaisons entre atomes sont montrées, sauf les liaisons C-H.  
Exemple de l'éthane :
- **Géométrie** : La géométrie adoptée par une molécule tend à minimiser la répulsion entre doublets d'électrons, en les répartissant dans l'espace.
- **Formule de Cram** : Dans cette représentation, les liaisons en avant du plan sont représentées par un triangle plein  $\blacktriangle$  et celles en arrière du plan par un triangle hachuré  $\text{///}$ . Exemple du tétrachlorométhane :
- **Isomères** : Des isomères sont des molécules ayant le même nombre d'atomes, mais un enchaînement de ces derniers différent.
- **Stéréoisomères** : Deux molécules sont stéréoisomères si elles présentent le même enchaînement d'atomes mais qu'elles ne sont pas superposables dans l'espace.
- **Chiralité** : Une espèce est dite chirale si elle n'est pas superposable à son image dans un miroir.
- **Carbone asymétrique** : Un carbone ayant quatre substituants différents est dit asymétrique, il est la cause de l'apparition de la chiralité d'une molécule.
- **Énantiomères** : Deux molécules sont énantiomères si elles ont le même enchaînement d'atomes, qu'elles sont non superposables, et images l'une de l'autre dans un miroir.
- **Diastéréoisomères** : Deux molécules sont diastéréoisomères si elles ont le même enchaînement d'atomes, mais qu'elles ne sont ni superposables, ni images l'une de l'autre dans un miroir.
- **Conformations** : Les conformations d'une molécule sont les différents arrangements de ses atomes qui peuvent être obtenus sans rupture de liaisons, simplement par rotation autour des liaisons carbone-carbone. Certaines conformations sont énergétiquement plus favorables que d'autres, ce qui en particulier influence la réactivité des molécules.





# Transformations en chimie organique

Chimie

13

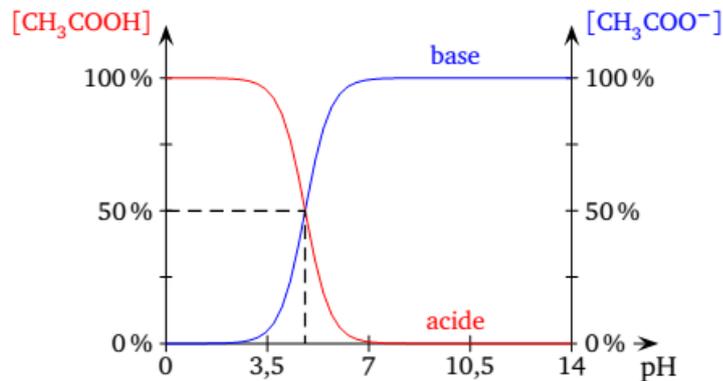
- **Modifications de chaîne** : On distingue trois modifications de chaîne différentes : craquage (diminution du nombre d'atomes de carbone), polymérisation (augmentation du nombre d'atomes de carbone) et reformage (conservation du nombre d'atomes de carbone).
- **Modifications de groupe** : Il n'est pas rare qu'une réaction chimique s'accompagne d'une modification de groupe caractéristique.
- **Trois catégories** : On distingue trois catégories de réactions chimiques : les additions, les éliminations et les substitutions.
  - Lors d'une substitution, un atome ou groupe d'atomes est remplacé par un autre atome ou groupe d'atomes ;
  - Lors d'une addition, une liaison double se transforme en liaison simple, ou encore un cycle se casse ;
  - Lors d'une élimination, une liaison simple se transforme en liaison double, ou encore un cycle se forme.
- **Électronégativité** : L'électronégativité est une grandeur sans dimension qui évalue la capacité d'un atome à attirer les électrons à lui.
- **Polarité** : Une liaison entre deux atomes d'électronégativités différentes est polarisée. Cette polarisation partielle est notée avec des charges partielles  $\delta^+$  et  $\delta^-$ .
- **Représentation de Lewis** : Dans la représentation de Lewis, tous les doublets liants ou non-liants entourant un atome sont représentés.
- **Site donneur d'électrons** : Un site est donneur de doublet d'électrons lorsqu'il présente une forte densité électronique (comme une charge ou charge partielle négative), avec un doublet liant ou non liant susceptible d'être déplacé.
- **Site accepteur d'électrons** : À contrario un site est accepteur de doublet d'électrons lorsqu'il présente une faible densité électronique (comme une lacune, une charge ou une charge partielle positive), donc une aptitude à recevoir un doublet d'électrons.
- **Mécanisme réactionnel** : Un mécanisme réactionnel est la description microscopique du déroulement d'une réaction. Cette description peut comporter plusieurs étapes.
- **Flèche courbe** : Lors d'une étape d'un mécanisme réactionnel, on représente le mouvement d'un doublet d'électrons par une flèche courbe. La flèche courbe part toujours d'un doublet et pointe toujours vers un atome.



# Réactions acido-basiques

- Brønsted Un acide « au sens de Brønsted » est une espèce capable de céder un proton  $H^+$ . Inversement une base est une espèce capable de capter un proton.
- **Le pH et sa mesure** : Le pH est lié à la concentration des ions oxonium  $H_3O^+$  par :  $pH = -\log [H_3O^+]$
- **Solution d'acide chlorhydrique** : Dans une telle solution, on a vu en TP que :  $[H_3O^+] = c$ , l'acide est dit *fort* car totalement dissocié.
- **Solution d'acide éthanoïque** : Dans une telle solution, on a vu en TP que  $[H_3O^+] < c$ , l'acide est dit *faible* car partiellement dissocié.  
La transformation entre l'acide éthanoïque et l'eau n'est pas totale, elle conduit à un équilibre :  
 $CH_3COOH_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons CH_3COO^-_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)}$
- **Équilibre chimique** : Une transformation non totale et réversible donne lieu à un équilibre chimique, c'est-à-dire une situation dans laquelle les réactifs et les produits coexistent à des concentrations fixes, constantes.  
On utilise une double flèche ( $\rightleftharpoons$ ) pour indiquer l'existence d'un équilibre dans une équation-bilan. La simple flèche ( $\rightarrow$ ) est une réaction totale, la flèche inverse ( $\leftarrow$ ) est une réaction totale, mais écrite dans l'autre sens.
- **Équilibre dynamique** : À l'état d'équilibre, il y a constamment des réactifs qui se transforment en produits (sens  $\rightarrow$ ) et inversement des produits qui se transforment en réactifs (sens  $\leftarrow$ ).  
Les vitesses de ces deux transformations étant *égales*, les concentrations respectives des réactifs et des produits restent constantes et fixes.
- **Taux d'avancement** : Le taux d'avancement  $\tau$  d'une réaction est le quotient de l'avancement final par l'avancement maximal :  
$$\tau = \frac{x_F}{x_{max}}$$
  
Pour une réaction totale,  $x_f = x_{max}$  et  $\tau = 1$  ou 100 %. Sinon  $x_f < x_{max}$  et  $\tau < 1$ .
- **Concentration molaire** : La concentration molaire  $c$ , en mole par litre ( $mol \cdot L^{-1}$ ), est égale à la quantité de matière  $n$  en mole (mol) divisée par le volume  $V$  en litre (L) :  $c = \frac{n}{V}$
- **Concentration massique** : La concentration massique ou titre massique  $t$ , en gramme par litre ( $g \cdot L^{-1}$ ), est égale à la masse  $m$  en g divisée par le volume  $V$  en litre (L) :  $t = \frac{m}{V}$  or  $n = \frac{m}{M}$  d'où  $t = c \times M$
- **Autoprotolyse** : L'eau est partiellement ionisée selon l'équation :  $H_2O_{(l)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_3O^+_{(aq)} + HO^-_{(aq)}$   
appelée autoprotolyse de l'eau. Cet équilibre est caractérisé par une constante d'équilibre appelée produit ionique de l'eau, et notée  $K_E$ , telle que :  $K_E = [H_3O^+] \times [OH^-]$ . À 25°C,  $K_E = 1,0 \times 10^{-14}$ .
- **$pK_E$**  =  $-\log(K_E)$ . À 25°C,  $pK_E = 14,0$ . Donc à cette température particulière,  $pH < 7$  pour un milieu acide,  $pH = 7$  pour un milieu neutre,  $pH > 7$  pour un milieu basique.
- **Calcul du pH** : À partir de la concentration en ions oxonium :  $pH = -\log [H_3O^+]$   
À partir de la concentration en ions hydroxyde :  $pH = pK_E + \log [OH^-]$   
Vous devez savoir démontrer cette formule à partir des précédentes inutile de l'apprendre par cœur !
- **Échelle d'acido-basité** : Une solution est :
  - Acide si  $[H_3O^+] > [OH^-]$ ;
  - Basique si  $[H_3O^+] < [OH^-]$ ;
  - Neutre si  $[H_3O^+] = [OH^-]$ .
 Repérer l'acidité ou la basicité par rapport à  $pH = pK_E/2 = 7$  est valable uniquement exactement à 25°C, où  $pK_E = 14,0$ .
- **Acide sur l'eau** : L'équation de la réaction d'un acide AH sur l'eau s'écrit,  $A^-$  étant la base conjuguée :  
 $HA_{(aq)} + H_2O \rightleftharpoons A^-_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)}$   
La constante d'équilibre de cette équation est notée  $K_A$  et est appelée constante d'acidité :  
$$K_A = \frac{[H_3O^+] \times [A^-]}{[AH]}$$
- **Relation entre pH et  $pK_A$**  : Vous devez savoir démontrer la relation :  $pH = pK_A + \log\left(\frac{[A^-]}{[AH]}\right)$
- **Domaines de prédominance** : Vous devez être capable, connaissant le pH d'une solution aqueuse et le  $pK_A$  du couple acide/base, d'indiquer l'espèce prédominante :
  - Si  $pH < pK_A \Rightarrow$  l'acide AH prédomine ;
  - Si  $pH > pK_A \Rightarrow$  la base  $A^-$  prédomine.
  - Si  $pH = pK_A$ , aucune espèce prédominante.

- **Diagramme de prédominance** : Il s'agit de placer la valeur du  $pK_A$  et les deux domaines de prédominance acide  $pH < pK_A$  et basique  $pH > pK_A$ .
- **Diagramme de distribution** : Exemple pour le couple entre l'acide éthanoïque  $CH_3COOH$  et l'ion éthanoate  $CH_3COO^-$ , tels que  $pK_A = 4,8$  :



Ce diagramme montre bien que dans certains domaines, on est à 100 % de forme acide ou 100 % de forme basique... Remarquez en particulier sur l'exemple proposé que cela n'a rien à voir avec le fait que le pH soit inférieur ou supérieur à 7 !

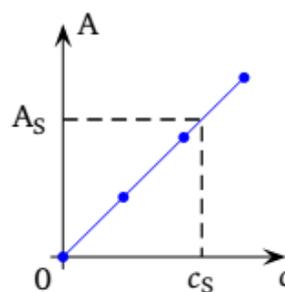
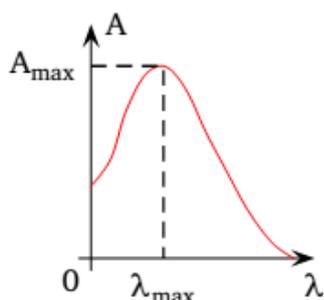
- **Sécurité** : On verse toujours l'acide dans l'eau et pas l'eau dans l'acide. C'est la même chose avec les bases, d'ailleurs. L'idée est d'éviter les projections d'acide ou de base purs...
- **Effets thermiques** : Les réactions acido-basiques sont généralement rapides et exothermiques. Ce dernier terme signifie en pratique que la température de la solution peut augmenter !

# Dosages

- **Conductance** : La conductance  $G$  en siemens (S) d'une solution est proportionnelle à la conductivité  $\sigma$  en siemens par mètre ( $S \cdot m^{-1}$ ) :  $G = k \times \sigma$  avec  $k = \frac{S}{\ell}$
- **Conductivité** : La conductivité  $\sigma$  d'une solution électrolytique est liée aux concentrations molaires  $C_i$  des ions par la relation :  $\sigma = \sum |z_i| \lambda_i C_i$  où les  $\lambda_i$  sont les conductivités molaires partielles des ions, et  $z_i$  la charge de chaque ion ( $z_i = 1$  voir 2, exceptionnellement 3 - bien prendre la valeur absolue, pour ne pas compter négativement la contribution des anions...). Seuls les ions participent à la conductivité dans une solution.
- **Unités** : La conductivité  $\sigma$  s'exprime en siemens par mètre ( $S \cdot m^{-1}$ ),  $\lambda_i$  en ( $S \cdot m^2 \cdot mol^{-1}$ ),  $C_i$  en mole par mètres cube ( $mol \cdot m^{-3}$ )  
Des conversions entre les  $mol \cdot L^{-1}$  et les  $mol \cdot m^{-3}$  sont souvent nécessaires :  $1 \text{ mol} \cdot L^{-1} = 10^3 \text{ mol} \cdot m^{-3}$ .

- **Titrage à l'aide d'un spectrophotomètre**

- On trace le spectre d'absorption, courbe  $A = f(\lambda)$  d'une solution contenant l'espèce colorée, et l'on recherche la longueur d'onde  $\lambda_{\max}$  correspondant au maximum d'absorption.
- À partir de solutions étalons de concentrations connues, on mesure l'absorbance de chaque solution et l'on trace la droite d'étalonnage  $A = f(c)$  pour la longueur d'onde  $\lambda_{\max}$ .



- On mesure alors l'absorbance  $A_S$  de la solution inconnue, et on en déduit sa concentration  $c_S$  par lecture graphique sur la droite d'étalonnage ci-dessus.

- **Réaction de dosage** : Une réaction de dosage doit être totale, unique, rapide, avec une équivalence facile à repérer.
- **Équivalence** : À l'équivalence, les réactifs titrant et titré ont été introduits en proportions stœchiométriques. Il ne reste aucun des deux réactifs, ils ont été intégralement consommés. On dit aussi que l'on a un changement du réactif limitant (avant l'équivalence, le réactif limitant est le réactif titrant ; c'est le réactif titré après l'équivalence).
- **Indicateur coloré** : Un indicateur coloré acido-basique est une espèce dont la couleur des formes acide  $HInd$  et  $Ind^-$  sont différentes.  
Dans la zone de virage,  $pK_A - 1 < pH < pK_A + 1$ , les formes acides et basiques sont en concentrations proches, l'indicateur a sa teinte sensible, mélange des couleurs des teintes acide et basique.
- **Choix d'un indicateur** : À partir d'une courbe  $pH = f(V)$ , vous devez être capable de choisir un indicateur coloré adapté au dosage colorimétrique. Pour avoir un virage à la goutte près, le saut de pH doit être dans la zone de virage de l'indicateur.
- **Repérage de l'équivalence** : Le point E d'équivalence est un *point d'inflexion* de la courbe  $pH = f(V)$  : la concavité de la courbe change en ce point. On peut repérer ce point par la méthode des tangentes (avec deux parallèles tangentes à la courbe de part et d'autre du point équivalent, et une troisième parallèle à égale distance des deux autres et qui coupe la courbe en E).

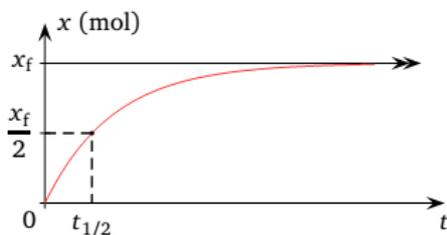
Le volume à l'équivalence  $V_E$  s'obtient aussi en repérant le maximum de la courbe dérivée :  $\frac{dpH}{dV} = g(V)$

Par intersection de  $V_E$  avec la courbe de pH, on place alors le point équivalent.

- **pH à l'équivalence** : Le pH à l'équivalence:
  - Vaut 7 pour un dosage acide fort-base forte ;
  - Supérieur à 7 pour un dosage acide faible-base forte ;
  - Inférieur à 7 pour un dosage acide fort-base faible.



# Cinétique et catalyse chimiques

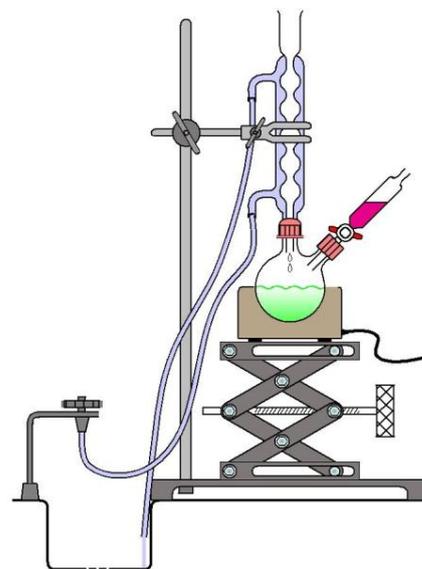
- **Demi-équation** : Forme générale d'une demi-équation électronique :  $Ox + n e^- = Réd$   
Voir la méthode distribuée en AP quant à la manière d'équilibrer une demi-équation, à connaître par cœur.
  - **Équations d'oxydoréduction** : Vous devez être capable d'écrire rapidement et surtout sans erreur l'équation d'oxydoréduction associée à une transformation chimique.
  - **Oxydants et réducteurs** : Vous devez être capable d'identifier un oxydant (= une espèce capable de capter un électron) et un réducteur (= une espèce capable de céder un électron).  
Dans une équation, vous devez savoir trouver les deux couples mis en jeux.
  - **Facteurs cinétiques** : La température et la concentration sont, parmi d'autres, deux facteurs cinétiques, c'est-à-dire leur augmentation s'accompagne *en général* d'une augmentation de la vitesse de réaction.  
À partir de résultats expérimentaux (courbes, concentrations, etc.), vous devez être capable d'identifier des facteurs cinétiques.
  - **Temps de demi-réaction** : Le temps de demi-réaction est le temps au bout duquel la moitié de la quantité de réactif limitant a disparu.  
En notant  $x_f$  l'avancement final de la réaction, et  $t_{1/2}$  le temps de demi-réaction, l'avancement de réaction  $x$  au temps  $t_{1/2}$  vaut :  $\frac{x_f}{2}$   
Il faut savoir réaliser une lecture graphique de ce temps :
- 
- **Méthodes de suivi d'une réaction** : On utilise :
    - Un manomètre lorsque la réaction s'accompagne d'un dégagement de gaz, pour un montage à volume constant (=clos) ;
    - Une mesure de volume lorsque la réaction s'accompagne d'un dégagement de gaz, pour un montage à pression constante ;
    - Un conductimètre lorsque la réaction fait intervenir des ions ;
    - Un pH-mètre lorsque la réaction fait intervenir des ions oxonium  $H_3O^+$ , ou proton hydraté  $H^+$  (ne pas laisser les  $H^+$  dans l'équation finale) ;
    - Un spectrophotomètre (ou à défaut, la comparaison avec une échelle de teinte) lorsque la réaction fait intervenir une espèce colorée ;
    - Une CCM ou chromatographie sur couche mince, basée sur la différence d'affinité d'une espèce chimique pour une phase fixe (la plaque recouverte de silice) et une phase mobile (le solvant ou éluant qui se déplace par capillarité le long de la plaque, en provoquant une migration plus ou moins prononcée de l'espèce chimique). Pour ne pas limiter la CCM aux composés colorés, on a recours à une révélation par les UV (les plaques réfléchissent les UV, sauf aux emplacements où une substance chimique est présente, ce qui fait que l'on observe des taches plus sombres).
  - **Rapide ou lent** : Dire qu'une réaction est rapide ou lente est assez subjectif. On peut par exemple tout centrer sur sa petite personne, et estimer qu'une réaction est lente quand on a le temps de voir les modifications s'effectuer à l'œil nu, et qu'à contrario elle est rapide si elle est arrivée à l'état d'équilibre quand on a terminé de verser l'un des réactifs.  
Certaines réactions ont lieu en quelques millisecondes, d'autres en jours ou en année, classer les premières dans les rapides et les secondes dans les lentes ne pose pas de problème.
  - **Catalyseur** : Un catalyseur est une substance qui augmente la vitesse d'une réaction chimique. Le catalyseur participe à la réaction, mais ne fait partie ni des réactifs, ni des produits, et donc n'apparaît pas dans l'équation-bilan (on l'indique au-dessus de la flèche ou de la double flèche).  
Exprimé autrement, un catalyseur permet à la réaction de suivre un *chemin réactionnel* bien plus rapide.
  - **Homogène** : Lorsque le catalyseur et les réactifs sont dans la même *phase* (solide, liquide ou gaz), on parle de catalyse *homogène*.
  - **Hétérogène** : Lorsque le catalyseur et les réactifs ne sont pas dans la même phase, on parle de catalyse *hétérogène*. Dans ce cas, le catalyseur est souvent un solide, et les réactifs des liquides ou des gaz (exemple : pot catalytique).
  - **Enzyme** : En biochimie, certaines protéines possèdent une activité catalytique : ces protéines sont appelées enzymes. On parle alors de catalyse *enzymatique*.
  - **Spontanéité** : Un catalyseur ne peut intervenir que sur des réactions spontanées.
  - **Spécificité** : Contrairement aux deux facteurs cinétiques température et concentration, qui agissent sur la probabilité de chocs efficaces entre molécules, le catalyseur modifie le mécanisme réactionnel, c'est-à-dire la façon dont la réaction s'effectue (on parle d'un nouveau *chemin de réaction*). Conséquence, un catalyseur est spécifique à une réaction.

- **Équilibre** : Un catalyseur ne modifie pas l'état d'équilibre, car il accélère à la fois les réactions directe et inverse. En conséquence, la transformation chimique est simplement plus rapide, l'état final est le même.
- **Sélectivité** : Dans l'industrie, le choix d'un catalyseur spécifique permet d'orienter une synthèse vers un produit particulier lorsque plusieurs produits sont susceptibles de se former.

# Stratégie de synthèse et sélectivité

- **Montages** : Voici une liste non exhaustive des montages de chimie que vous devez connaître (légende, comprendre leur utilité) :
  - Filtration simple ou filtration par gravité ;
  - Filtration sous vide ou filtration sur Büchner ;
  - Hydrodistillation ;
  - Distillation fractionnée ;
  - Montage à reflux ;
  - Ampoule à décanter ;
  - ...

On se reportera utilement aux fiches méthodes pages 616-617 du livre.
- **Reflux** : Un montage à reflux (ci-contre) permet de chauffer des liquides à ébullition sans risque de perte de matière. Ce montage permet donc d'accélérer une réaction (facteur cinétique température)
- **Distillation** : Une distillation fractionnée (que l'on reconnaît facilement à sa colonne de Vigreux) permet de séparer deux liquides de température d'ébullition différente.  
Ce montage peut aussi être utilisé pour provoquer un déplacement d'équilibre par élimination d'un produit formé plus volatil. La réaction équilibrée étant privée d'un de ses produits, elle ne peut pas avoir lieu dans le sens indirect.
- **Rendement** Le rendement d'une synthèse est le rapport (sans unité) :  $R = m_{\text{exp}}/m_{\text{th}}$  avec  $m_{\text{exp}}$  la quantité de matière ou la masse de produit pur obtenu, et  $m_{\text{th}}$  la quantité de matière ou la masse que l'on pourrait obtenir si la réaction était totale.
- **Extraction par solvant** : L'extraction par solvant consiste à utiliser un solvant extracteur pour obtenir une solution du composé recherché, dissout dans ce solvant. On distingue quatre critères de choix d'un solvant extracteur :
  - L'espèce à extraire doit être la plus soluble possible dans le solvant ;
  - Le solvant doit être le moins dangereux possible ;
  - Si l'espèce à extraire est déjà dissoute dans un autre solvant (typiquement, l'eau), le solvant extracteur ne doit pas être miscible avec cette solution ;
  - Le solvant doit être le plus volatil possible (température d'ébullition la plus faible possible, afin d'être éliminé facilement pour obtenir l'extrait pur).
- **Recristallisation** : La recristallisation est une technique de purification d'un produit solide. Le produit brut est dissous à chaud dans un solvant bien choisi. On laisse le mélange refroidir lentement, les impuretés restent dissoutes à froid dans le solvant alors que le produit de la synthèse cristallise. Le produit pur est ensuite récupéré par filtration puis séché à l'étuve.
- **Réactifs chimiosélectifs** : Une réaction est sélective si, parmi plusieurs fonctions d'une molécule, l'une d'elle réagit préférentiellement avec le réactif considéré. Ce réactif est alors dit chimiosélectif.
- **Protection** : En l'absence de réactif chimiosélectif, il est souvent nécessaire de protéger une fonction, c'est-à-dire de créer volontairement un groupe dans une molécule pour bloquer la réactivité d'une de ses fonctions, temporairement transformée et qui ne va donc pas réagir.  
On notera qu'une fois une molécule protégée lors d'une étape préliminaire, il est nécessaire de la déprotéger lors d'une étape ultérieure, une fois la réaction initialement visée réalisée. Le groupe protecteur est enlevé ou clivé.
- **Identification** : Une fois la réaction terminée, le produit isolé et purifié, on caractérise et on contrôle la pureté du produit synthétisé par l'une des méthodes suivantes :
  - mesure de sa température de fusion au banc Köfler (la température d'un mélange est différent de celui d'un corps pur) ;
  - CCM ;
  - Spectre RMN ; Spectre IR ;
  - Mesure de l'indice de réfraction ; ...





# Numérisation du signal

- **Conversion AN** : Un signal numérique est obtenu en général par la conversion d'un signal analogique. CAN signifie « convertisseur analogique-numérique ». Une telle conversion est réalisée par un échantillonneur bloqueur.
- **Conversion NA** : CNA signifie « convertisseur numérique-analogique ».
- **Numérique** : Un signal numérique est un signal au moyen duquel les informations sont représentées par un nombre fini de valeurs discrètes bien déterminées. On commence à voir apparaître la notion de résolution, forcément limitée.
- **Résolution** : Lors de la conversion d'un signal analogique en signal numérique, les valeurs sont mesurées avec un pas de résolution fixé.  
Augmenter le pas de résolution améliore la qualité du signal mesuré.  
Exprimé autrement, le pas de résolution va être la plus petite grandeur accessible en ordonnée d'un enregistrement montrant le signal mesuré en fonction du temps. (Le signal augmente par paliers visibles).
- **Bits** : La quantité de nombres binaires possibles est appelée résolution R. Par définition :  $R = 2^n$  où n est le nombre de bits utilisés.
- **Pas** : L'intervalle de tension qui existe entre deux valeurs numériques binaires successives est appelé le pas de quantification p. Pour le déterminer, on divise l'intervalle dans lequel sont comprises les valeurs de tensions par la résolution R.  
$$p = \frac{\text{plage de mesure}}{2^n}$$
- **Échantillonnage** : Pour convertir un signal analogique en signal numérique, on a recours à un échantillonnage, ce qui consiste à relever la valeur du signal à intervalle de temps régulier. Cet intervalle de temps est appelé période d'échantillonnage, son inverse est appelé fréquence d'échantillonnage.  
Diminuer la période d'échantillonnage, ou de façon équivalente augmenter la fréquence d'échantillonnage, permet d'améliorer la qualité du signal numérisé. Cela s'accompagne automatiquement d'une augmentation du nombre de points de mesure.  
Exprimé autrement, la période d'échantillonnage va être la plus petite grandeur accessible en abscisse d'un enregistrement montrant le signal mesuré en fonction du temps. On peut faire apparaître cette période d'échantillonnage (le signal change à des intervalles de temps visibles).
- **Bilan sur le CAN** : Un convertisseur analogique-numérique (CAN) est donc caractérisé par :
  - Sa plage d'entrée en tension (valeurs extrêmes de tensions convertibles) ;
  - Sa résolution (nombre de valeurs discrètes qu'il peut produire) ;
  - Son pas (plus petite valeur de tension convertible) ;
  - Son temps de conversion (durée nécessaire pour convertir un échantillon de tension, donc si le CAN est très rapide ou pas), qui doit être inférieur à la période d'échantillonnage de l'échantillonneur-bloqueur, dont la valeur a quelque chose à voir avec la période du signal.
- **Octet** : Un octet correspond à huit bits.
- **Codage RVB** : Il s'agit d'un système de représentation des images en imprimerie et sur nos écrans, basée sur la synthèse additive de trois couleurs primaires rouge, verte et bleue. On peut donner l'illusion de n'importe quelle teinte par une combinaison de ces trois couleurs avec en général des intensités relatives qui varient entre 0 et 255 niveaux, dans le cas d'un codage sur 8 bits, c'est-à-dire en  $2^8 = 256$  niveaux.
- **Image** : La résolution de l'image est le nombre de pixels par unité de longueur. Elle s'exprime en ppp (point par pouce) ou dpi (dot per inch). Le pouce (inch en anglais) vaut 2,54 cm environ. En général, on donne la taille des diagonales d'un écran en inch (symbole ").



# Transmission de l'information

- **Débit binaire** : Le débit binaire  $D$  est le nombre de bits transférés par unité de temps. Il s'exprime en  $\text{bit}\cdot\text{s}^{-1}$  ou bps et est donné par la relation :  $D = N \times n \times f_e$  avec  $N$ , nombre de signaux ;  $n$ , nombre de bits utilisés et  $f_e$ , fréquence d'échantillonnage (en Hz).  
Plus le débit binaire est important, plus le signal numérique transmis contient d'informations.
- **Transmission** : Si l'on transmet  $n$  bits pendant la durée  $t$ , le débit  $D$  s'exprime par :  $D = \frac{n}{\Delta t}$
- **Atténuation** : L'atténuation d'un signal est l'affaiblissement de l'amplitude du signal au cours de la transmission :  
 $A = 10 \log \frac{P_e}{P_s}$  où on note  $P_e$  la puissance du signal à l'entrée et  $P_s$  sa puissance à la sortie du guide. Le coefficient d'atténuation linéique  $\alpha$ , en  $\text{dB}\cdot\text{m}^{-1}$ , est défini par :  $\alpha = \frac{A}{L}$ .
- **Stockage** : Les CD, les DVD et les Blu ray sont des supports de stockage d'information qui sont basés sur la réflexion et les interférences d'un faisceau lumineux sur une surface en plastique plus ou moins réfléchissante, permettant de représenter des 0 et des 1 d'un signal numérique binaire.  
Les trois supports n'ont pas la même capacité, ni la même longueur d'onde de la diode laser utilisée pour la lecture : la capacité de chaque disque est limitée par le phénomène de diffraction, et l'emploi de lasers de longueur d'onde de plus en plus courte a permis d'accroître la capacité de stockage.

