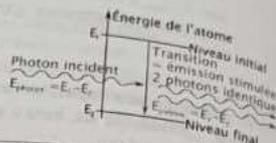


Éléments de mécanique quantique

Transferts quantiques d'énergie

- **Photon** : particule de masse et de charge électrique nulles, associée à une onde électromagnétique monochromatique, et transportant une petite quantité (un quantum) d'énergie. $E_{photon} = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda}$, avec h : constante de Planck ; ν : fréquence ; c : célérité de la lumière dans le vide ; λ , longueur d'onde dans le vide.
- **L'énergie contenue dans un atome ou une molécule est quantifiée** : elle ne peut prendre que certaines valeurs précises appelées **niveaux d'énergie**. L'état associé au niveau d'énergie le plus bas est appelé **état fondamental**, c'est un état **stable**. Les états associés aux niveaux supérieurs sont appelés **états excités** et sont **instables**. L'atome peut passer d'un niveau ($E_{initial}$) à un autre (E_{final}), en absorbant ou en émettant un photon dont l'énergie est exactement égale à $E_{photon} = |E_{initial} - E_{final}|$.

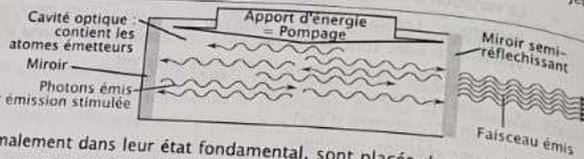
- **Absorption** : voir chapitre « Ondes et particules ».
- **Émission spontanée** : voir chapitre « Ondes et particules ».
- **Émission stimulée** (schéma à droite) : l'atome est initialement dans un état excité et reçoit un photon dont l'énergie est exactement égale à l'écart entre le niveau présent et un niveau inférieur de l'atome. Ce photon ne peut pas être absorbé mais provoque la désexcitation de l'atome et l'émission d'un deuxième photon : **les deux photons ont la même énergie et la même direction de propagation**.



- **Les transitions électroniques** sont les passages entre niveaux d'énergie associés aux interactions entre les électrons et leur environnement proche (reste de l'atome), qui présentent des écarts de l'ordre de l'électron-volt (eV). Les photons mis en jeu appartiennent au domaine du **visible** et de l'**ultraviolet**.
- Dans une molécule, **les transitions vibrationnelles** sont les passages entre niveaux d'énergie associés aux déformations de la molécule, qui présentent des écarts de l'ordre de 10^{-1} eV. Les photons mis en jeu appartiennent au domaine de l'**Infrarouge**.

Le principe du laser (« light amplification by stimulated emission of radiation ») repose sur l'**émission stimulée**.

À droite : schéma de principe du laser.



- **Inversion de population** : les atomes, normalement dans leur état fondamental, sont placés dans un état excité. Cette opération appelée **pompage** nécessite une source d'énergie (électrique, thermique...) extérieure.
- Un 1^{er} photon est émis spontanément et provoque les **émissions stimulées en cascade** d'autres photons identiques.
- **Les miroirs de la cavité optique** permettent d'amplifier l'émission stimulée, de sélectionner une direction de propagation et une longueur d'onde (la distance entre les miroirs est telle que seuls les photons d'une certaine longueur d'onde interfèrent de manière constructive en se croisant).
- **Les propriétés du laser** sont ainsi : **directivité, monochromaticité et cohérence**, ce qui permet une **grande concentration spatiale et temporelle de l'énergie émise**.

Dualité onde-particule

- En **physique classique** (jusqu'à la fin du 19^{ème} siècle) les **concepts d'onde et de particules s'opposent** :
 - ✓ Une onde est étendue dans l'espace et le temps, et ne peut être décomposée en éléments distincts ;
 - ✓ Les particules sont des éléments distincts, localisés dans l'espace et le temps.
- Au début du 20^{ème} siècle, a été découverte la **double nature de la lumière** qui est à la fois onde (elle peut être diffractée...) et particule (les photons, mis en évidence lors de leurs interactions avec les atomes, par exemple : expérience de l'effet photo-électrique).
- En 1924, **Louis de Broglie** propose que cette **dualité onde-particule soit applicable à la matière comme à la lumière** : Une particule de quantité de mouvement p (en $\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) est associée à une onde de longueur d'onde λ (en m), tel que : $p = \frac{h}{\lambda}$. Cette dualité a été vérifiée expérimentalement pour les objets à l'échelle atomique ou subatomique (observation de diffraction ou d'interférences d'électrons ou d'atomes...).

Rappel : pour les objets ayant une masse m (en kg) et une vitesse v (en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) : $p = m \cdot v$.

Numérique

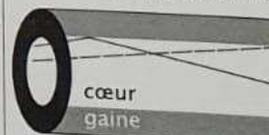
- ✓ Un signal analogique est continu.
- ✓ Un signal numérique est constitué de 2 chiffres de valeurs de tension, ce qui est appelé un bit. Un octet = 8 bits.

Conversion analogique-numérique

- **Échantillonnage** : le signal est échantillonné à intervalles réguliers.
 - ✓ Pour un signal temporel, la **fréquence d'échantillonnage** est la fréquence à laquelle l'information est recueillie.
 - ✓ Pour une **image**, le **pas** est la distance entre deux pixels. Leur couleur et/ou leur intensité sont les composantes de la résolution.
- **Quantification** : les valeurs échantillonnées doivent être converties en valeurs numériques.
 - ✓ **Codage** : la valeur quantifiée est représentée par un nombre binaire. Il y a 2^N valeurs possibles pour N bits de quantification (écart entre deux valeurs consécutives).
 - ✓ Pour une image en couleur, chaque pixel est représenté par 3 octets (rouge, vert, bleu) : $2^8 \times 2^8 \times 2^8 = 256 \times 256 \times 256$ valeurs possibles.

Composition d'une chaîne de transmission

- Le **débit binaire** : D est la quantité d'information transmise pendant la durée de la transmission.
- Procédés de transmission :
 - **Propagation libre**, trajectoire rectiligne.
 - **Propagation guidée**, trajectoire courbée.
- Les **ondes guidées** sont caractérisées par leur fréquence f , leur longueur d'onde λ , la distance parcourue, P_e et P_s (puissance émise et reçue), le signal, ce qui limite la bande passante.



À la surface d'un disque optique, les données sont généralement matérialisées (détectées) par un faisceau de lumière qui se réfléchit sur la surface du disque.

- Le **capteur reconstruit** l'image à partir des données reçues.
 - ✓ Lorsque le faisceau est réfléchi, la marche nulle est détectée.
 - ✓ Lorsque le faisceau est réfléchi, la marche nulle est détectée.
- La **capacité de stockage** dépend de la fréquence de rotation. Pour réduire la durée de la transmission, il faut augmenter la fréquence de rotation.

Transferts d'énergie macroscopiques, transferts thermiques

Du microscopique au macroscopique

- > Un **système microscopique** est constitué d'un petit nombre d'entités (**atomes, molécules, ions...**) dont l'ordre de grandeur de la taille va généralement de 10^{-10} m à 10^{-8} m.
- > Dans un **système macroscopique**, la quantité de matière se mesure en moles d'entités.
Rappel : relation entre le nombre N d'entités et le nombre n de moles est : $N = n \cdot N_A$ où $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$, est la constante d'Avogadro.
- > L'**énergie interne U** d'un système macroscopique est la somme des énergies cinétiques de toutes les entités microscopiques qui constituent le système ($E_{c,micro}$) et de toutes les énergies potentielles associées aux interactions entre ces entités ($E_{p,micro}$) :

$$U = \sum E_{c,micro} + \sum E_{p,micro}$$

Compte tenu du **nombre immense d'entités**, il est impossible de déterminer toutes les valeurs des $E_{c,micro}$ et des $E_{p,micro}$, c'est pourquoi la **valeur de l'énergie interne U ne peut pas être connue**. Cependant les **variations ΔU** de l'énergie interne peuvent être observées, mesurées ou calculées.

Variation d'énergie interne

- > L'**énergie interne peut varier** lorsque le système subit un **transfert d'énergie** sous forme de :
 - ✓ **travail (W)** de forces extérieures ou internes (frottements d'une partie du système sur une autre, par exemple) ;
 - ✓ **transfert thermique (Q)**. On distingue **3 modes de transfert thermique** :
 - **Conduction** : transport d'énergie à travers la matière, mais sans transport de matière (dans les solides, en général) ;
 - **Convection** : transport d'énergie avec transport de matière (dans les fluides) ;
 - **Rayonnement** : transport d'énergie par ondes électromagnétiques.
- > La **variation d'énergie interne** est alors la somme des transferts subis : $\Delta U = \sum W + \sum Q$.
Remarque : Lorsque les grandeurs ΔU , W ou Q sont **positives**, elles représentent un **gain d'énergie** pour le système, si elles sont **négatives**, elles représentent une **perte d'énergie**.
Lorsque l'énergie interne varie, on peut observer :
 - ✓ une variation de température ;
 - ✓ un changement d'état ;
 - ✓ une réaction chimique...
- > Lorsque la variation d'énergie interne n'est associée qu'à une **variation de température**, son expression est :

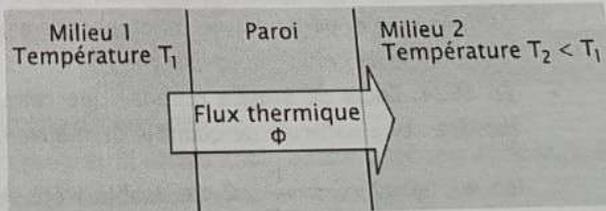
$$\Delta U = C \cdot \Delta T$$

où **C** est la **capacité thermique** du système (en $\text{J} \cdot \text{K}^{-1}$) et $\Delta T = T_{\text{finale}} - T_{\text{initiale}}$, la **variation de température**. Si le système est constitué d'un matériau unique, $C = m \cdot c$, où m est la **masse** du système (en kg) et **c** la **capacité thermique massique** du matériau (en $\text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$). Alors : $\Delta U = m \cdot c \cdot (T_{\text{finale}} - T_{\text{initiale}})$.

Transfert thermique et flux thermique

- > Le **flux thermique (Φ)** en watts, (W) est l'énergie thermique transférée par unité de temps.
- > Lorsque **deux corps de températures différentes** interagissent, un **flux thermique** s'établit spontanément **du corps le plus chaud** (qui cède de l'énergie) **vers le corps le plus froid** (qui gagne de l'énergie).
Ce transfert cesse lorsque l'**équilibre thermique** est atteint : les deux corps ont alors la **même température**.
- > Si le flux thermique est constant pendant la durée Δt (en s), le milieu de température inférieure subit pendant cette durée un transfert thermique $Q > 0$ (en J) tel que : $Q = \Phi \cdot \Delta t$.

- > Lorsqu'une **paroi sépare deux milieux de températures différentes** T_1 et T_2 , elle est traversée par un flux thermique Φ , tel que :
$$\Phi = \frac{|T_1 - T_2|}{R_{th}}$$
 où R_{th} est la **résistance thermique de la paroi** (en $\text{K} \cdot \text{W}^{-1}$).



Remarque : La résistance thermique d'une paroi dépend de sa surface S (en m^2), de son épaisseur e (en m) et du matériau dont elle est faite. Si elle n'est faite que d'un seul matériau : $R_{th} = \frac{e}{S \cdot \lambda}$ où λ est la **conductivité thermique** du matériau (en $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$). La résistance thermique d'une paroi constituée de plusieurs couches superposées est égale à la somme des résistances thermiques de toutes les couches.

Exercice 3 : Spectroscopie IR - Mécanisme réactionnel - calcul de rendement

Réactions acido-basiques

- Définitions, selon Brønsted :
 - ✓ Un **acide** est une espèce chimique susceptible de céder un proton H^+ .
 - ✓ Une **base** est une espèce chimique susceptible de capter un proton H^+ .
- **Couple acide-base (espèces conjuguées)** : AH/A^- . **Demi-équation acido-basique** du couple AH/A^- : $AH \rightleftharpoons A^- + H^+$.
- Une **réaction acido-basique** met en jeu **2 couples** acide/base différents (ex : A_1H/A_1^- et A_2H/A_2^-). L'acide d'un couple réagit avec la base de l'autre couple :
 - ✓ Si la réaction est totale ($x_f = x_{max}$), l'équation de réaction s'écrit avec une \rightleftharpoons : $A_1H + A_2^- \rightarrow A_1^- + A_2H$.
 - ✓ Si la réaction est limitée ($x_f < x_{max}$), l'équation de réaction s'écrit avec une \rightleftharpoons : $A_1H + A_2^- \rightleftharpoons A_1^- + A_2H$.

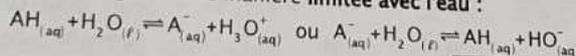
- **L'eau est une espèce amphotère** (ou **ampholyte**) : une espèce à la fois acide et base) :
 - ✓ Elle est l'acide du couple H_2O/HO^- , dont l'ion **hydroxyde** HO^- est la base ;
 - ✓ Elle est la base du couple H_3O^+/H_2O , dont l'ion **oxonium** H_3O^+ est l'acide ;
- **L'autoprotolyse de l'eau** est la réaction de l'eau sur elle-même : $2H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_3O^+_{(aq)} + HO^-_{(aq)}$.
- **Produit ionique de l'eau, K_e** , est une constante (qui dépend de la température) : $K_e = [H_3O^+]_{eq} [HO^-]_{eq}$.

De plus, par définition : $pK_e = -\log K_e \Leftrightarrow K_e = 10^{-pK_e}$.

- **Définition du pH** : $pH = -\log([H_3O^+]) \Leftrightarrow [H_3O^+] = 10^{-pH}$ où $[H_3O^+]$ est la concentration molaire des ions oxonium, exprimée en $mol.L^{-1}$. Le pH est sans dimension, et sans unité.
 - ✓ Une **solution est neutre** si, dans cette solution : $[H_3O^+] = [HO^-] = \sqrt{K_e} \Leftrightarrow pH = \frac{1}{2} pK_e$; à $25^\circ C$: $pH = 7$;
 - ✓ Une **solution est acide** si, dans cette solution : $[H_3O^+] > [HO^-] \Leftrightarrow pH < \frac{1}{2} pK_e$; à $25^\circ C$: $pH < 7$;
 - ✓ Une **solution est basique** si, dans cette solution : $[H_3O^+] < [HO^-] \Leftrightarrow pH > \frac{1}{2} pK_e$; à $25^\circ C$: $pH > 7$.

- Un **acide fort** est un acide qui réagit de manière **totale** avec l'eau : $AH_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightarrow A^-_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)}$.
Dans une solution d'acide fort, la concentration effective des ions **oxonium** est égale à la **concentration en soluté apportée** : $[H_3O^+] = C = 10^{-pH} \Leftrightarrow pH = -\log C$.
- Une **base forte** réagit de manière **totale** avec l'eau : $A^-_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightarrow AH_{(aq)} + HO^-_{(aq)}$.
Dans une solution de base forte, la concentration effective des ions **hydroxyde** est égale à la **concentration en soluté apportée** : $[HO^-] = C \Leftrightarrow [H_3O^+] = \frac{K_e}{C} = 10^{-pH} \Leftrightarrow pH = pK_e + \log C$.
- Lors du mélange d'une solution d'acide fort avec une solution de base forte, les ions oxonium réagissent avec les ions hydroxyde : $H_3O^+_{(aq)} + HO^-_{(aq)} \rightarrow 2H_2O_{(l)}$. **Cette réaction est vive et exothermique** (dégage de la chaleur).

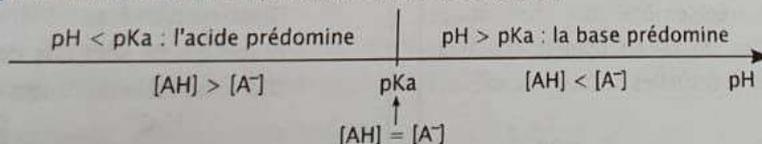
- Un **acide faible** ou une **base faible** réagissent de manière **limitée** avec l'eau :



- La **constante d'acidité K_a** d'un couple acide faible/base faible AH/A^- est : $K_a = \frac{[A^-]_{eq} [H_3O^+]_{eq}}{[AH]_{eq}}$.

La valeur du K_a ne dépend que de la température et **caractérise le couple acide/base**, ce qui signifie que chaque couple a une constante d'acidité différente. De plus, par définition : $pK_a = -\log K_a \Leftrightarrow K_a = 10^{-pK_a}$.

- Cette définition et celle du pH donnent : $pH = pK_a + \log \left(\frac{[A^-]_{eq}}{[AH]_{eq}} \right)$. Ainsi, quand $[A^-]_{eq} = [AH]_{eq}$, $pH = pK_a$.
- On dit qu'une **espèce prédomine** quand sa concentration est **supérieure** à celle de son espèce conjuguée. Le **diagramme de prédominance** d'un couple AH/A^- a l'allure suivante :



- Une **solution tampon** a un **pH qui varie peu** lors d'une **dilution** ou lors de l'**ajout modéré d'acide fort ou de base forte**. Une solution tampon contient souvent un acide faible et sa base conjuguée, en concentrations proches (voire égales) et assez élevées.
- Une solution tampon permet de réguler ou stabiliser le pH d'un milieu (biologique, notamment).

Stéréochimie

La représentation de Cram d'une molécule a pour but de rendre compte autant que possible de la position des atomes de cette molécule les uns par rapport aux autres, dans l'espace. Pour cela, les liaisons covalentes peuvent être représentées de trois manières :

- ✓ $A - B$: Les atomes A et B sont tous les deux dans le plan de la figure ;
- ✓ $A \text{---} B$: liaison « en avant », l'atome B est plus proche de l'observateur que A ;
- ✓ $A \cdots B$: liaison « en arrière », l'atome B est plus éloigné de l'observateur que A.

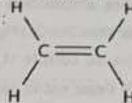
Un atome de carbone engagé dans 4 liaisons simples (avec 4 atomes distincts) est dit **tétragonal** : il se place au centre d'un **tétraèdre** dont les atomes auxquels il est lié occupent les sommets.

Exemple : le méthane :



Un atome de carbone engagé dans 2 liaisons simples et une **liaison double** (avec trois atomes distincts) est dit **trigonal** : il se place au centre d'un **triangle** dont les atomes auxquels il est lié occupent les sommets.

Exemple : l'éthène :



- **Atome de carbone asymétrique** : Atome de carbone lié à 4 atomes ou groupes d'atomes différents. Souvent signalé par un *.
- **Chiralité** : Caractère de ce qui est différent de son image dans un miroir plan. Un objet chiral ne présente pas de plan de symétrie.
 - ✓ Une molécule contenant un seul atome de carbone asymétrique est toujours chirale.
 - ✓ De nombreuses molécules biologiques (acides aminés, protéines...) sont chirales.
 - ✓ Une molécule qui n'est pas chirale est dite achirale.

- **Isomères** : Entités chimiques qui ont la même formule brute mais des représentations semi-développées ou spatiales différentes et par conséquent des propriétés physiques et/ou chimiques différentes.

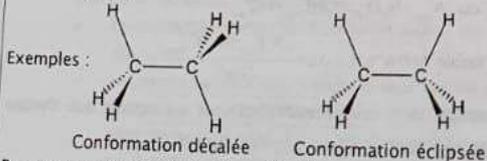
On distingue deux sortes d'isomères :

- ✓ **Isomères de constitution** : Isomères pouvant être différenciés par leurs représentations semi-développées.
Exemple : CH_3-O-CH_3 et CH_3-CH_2-OH

- ✓ **Stéréoisomères** : Isomères qui ont une constitution identique (même formule développée), mais qui diffèrent par l'arrangement de leurs atomes dans l'espace.

On distingue deux sortes de stéréoisomères :

- ♦ **Stéréoisomères de conformation** : Stéréoisomères qui peuvent être transformés l'un en l'autre par rotation de groupes d'atomes autour des liaisons simples.

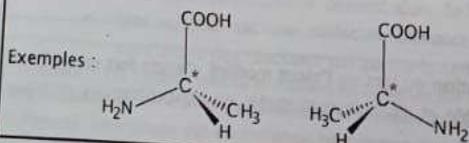


Remarque : une conformation décalée est généralement plus stable qu'une conformation éclipsée

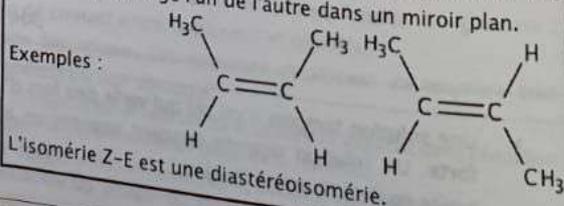
- ♦ **Stéréoisomères de configuration** : Stéréoisomères qui ne peuvent pas être transformés l'un en l'autre par rotation autour des liaisons simples mais dont la transformation de l'un en l'autre nécessite de briser au moins une liaison covalente.

On distingue deux sortes de stéréoisomères de configuration :

- x **Énantiomères** : Stéréoisomères qui sont image l'un de l'autre dans un miroir plan (après avoir subi des rotations éventuelles autour des liaisons simples).



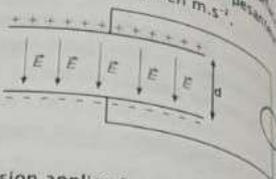
- x **Diastéréoisomères** : Stéréoisomères de configuration qui ne sont pas des énantiomères et donc pas image l'un de l'autre dans un miroir plan.



Les champs

- Un champ est une grandeur physique définie en tout point de l'espace ou d'une portion d'espace.
- Un champ **vectoriel** est défini par sa direction, son sens et sa valeur.
- Un champ est **uniforme** dans une portion de l'espace s'il y est égal en tout point.
- Le champ de pesanteur \vec{g} est uniforme dans une portion d'espace suffisamment petite, proche de la surface de la Terre : il est vertical, dirigé vers le bas. Sa valeur g est nommée intensité du champ de pesanteur. Dans le système international, elle est exprimée en N.kg^{-1} ou en m.s^{-2} .

Un condensateur plan (ci-contre) est composé de deux plaques conductrices (les armatures), séparées par un isolant électrique (un diélectrique), et qui se chargent lorsqu'on soumet une tension (différence de potentiel).



Le champ électrique \vec{E} est uniforme entre les armatures d'un condensateur plan, orthogonal aux armatures, dirigé de l'armature positive vers l'armature négative.

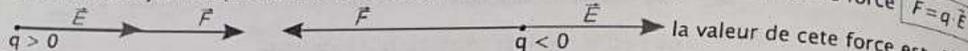
La valeur du champ électrique entre les armatures est alors : $E = \frac{U}{d}$ où U est la tension appliquée au condensateur et d la distance entre les armatures (en m). l'unité SI de E est donc le V.m^{-1} .

Les Forces

- Le poids : $\vec{P} = m\vec{g}$ avec m la masse et \vec{g} vecteur champ de pesanteur. Le poids est vertical, dirigé vers le bas. Le poids peut en bonne approximation est assimilé à l'interaction gravitationnelle exercée par la Terre éventuellement un autre corps céleste sur un objet situé à sa surface.

- L'interaction gravitationnelle exercée par un corps A (de masse m_A) sur un corps B (de masse m_B) est : $\vec{F}_{A/B} = G \frac{m_A m_B}{d^2} \vec{u}$, où G est la constante universelle de gravitation, d la distance entre les centres de gravité des 2 corps et \vec{u} un vecteur unitaire dirigée de B vers A.

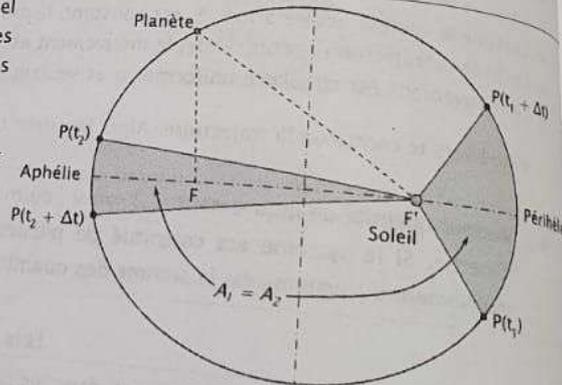
- La force électrique : une particule de charge q soumise à un champ électrique \vec{E} subit une force $\vec{F} = q\vec{E}$. La valeur de cette force est $F = |q|E$.



Lois de Kepler

- 1^{ère} loi de Kepler : loi des orbites** : Dans le référentiel héliocentrique, les planètes décrivent des trajectoires (orbites) elliptiques dont le soleil occupe l'un des foyers.

- 2^{ème} loi de Kepler : loi des aires** : Le segment reliant le centre du soleil au centre d'une planète balaie des aires égales pendant des durées égales. Conséquence : quand une planète se rapproche du Soleil, sa vitesse augmente.



La figure ci-dessus illustre la 1^{ère} et la 2^{ème} loi de Kepler.

Remarque : un cercle est un cas particulier d'ellipse dont les deux foyers (F et F') sont confondus.

- Demi grand axe (a)** : moitié de la distance séparant l'aphélie et le périhélie. Le demi grand axe d'une orbite circulaire est son rayon.
- La **période de révolution** est la durée nécessaire au système pour parcourir une fois son orbite en entier.

- 3^{ème} loi de Kepler : loi des périodes** : Le carré de la période de révolution T d'une planète est proportionnel au cube de son demi grand axe a . Ainsi, le rapport $\frac{T^2}{a^3}$ a la même valeur pour toutes les planètes.

Les lois de Kepler peuvent être généralisées à tout ce qui tourne autour du Soleil (comètes, astéroïdes...). Ces lois peuvent être transposées aux mouvements des satellites autour d'une planète. Pour les satellites de la Terre, le référentiel approprié est le référentiel géocentrique.

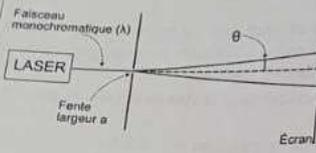
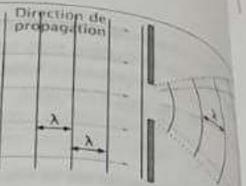
- Le **référentiel héliocentrique** est composé du centre du Soleil et d'axes pointant vers des étoiles lointaines.
- Le **référentiel géocentrique** est composé du centre de la Terre et d'axes pointant vers des étoiles lointaines.

Propriétés des ondes

Diffraction

La diffraction est observée lorsqu'une onde périodique rencontre au cours de sa propagation un obstacle ou une ouverture, dont la taille n'est pas trop grande par rapport à la longueur d'onde. Il y a alors modification (un étalement) de la direction de propagation de l'onde : une onde qui ne présenterait avant le passage par l'obstacle qu'une direction de propagation (c.f. illustration ci-contre), présenterait après l'obstacle un « éventail » de direction de propagation.

Plus l'obstacle est petit par rapport à la longueur d'onde, plus la diffraction est prononcée (plus « l'éventail » est ouvert).

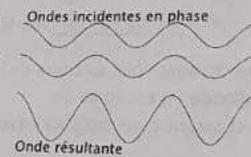


Diffraction d'une onde lumineuse monochromatique par une fente ou un trou. Une fente de largeur a , éclairée par un faisceau laser de longueur d'onde λ , diffracte la lumière, de telle sorte que sur un écran placé derrière la fente, on observe une figure de diffraction constituée de plusieurs taches lumineuses alignées dans une direction orthogonale à la fente. La tache centrale est λ fois plus grande que les autres. L'angle de diffraction θ est mesuré depuis la fente, entre le centre de la tache centrale et la première extinction : $\theta = \frac{\lambda}{a}$

Interférences

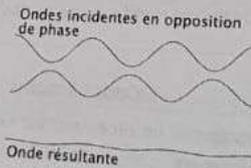
Les Interférences sont observées lorsque deux ondes périodiques, provenant de sources cohérentes (ayant la même fréquence et un déphasage constant) se superposent : l'onde résultante est égale à la somme des deux perturbations, et son amplitude dépend du « décalage » entre les deux ondes, qui dépend principalement de la différence de chemins suivis par les deux ondes. Le décalage des deux ondes se superposant peut être exprimé comme un décalage temporel Δt (en s) ou comme une différence de marche δ (en m) qui représente une distance parcourue par les ondes dans un milieu unique (le vide pour les ondes électromagnétiques), pendant la durée égale au retard Δt .

✓ Il y a **Interférence constructive** lorsque les ondes se superposent en phase, l'amplitude résultante est maximale :



Les expressions suivantes sont alors vérifiées :
 Décalage temporel : $\Delta t = k \cdot T$
 Différence de marche : $\delta = k \cdot \lambda$
 où $k \in \mathbb{Z}$

✓ Il y a **Interférence destructive** lorsque les ondes se superposent en opposition de phase, l'amplitude résultante est minimale :



Dans ce cas :
 Décalage temporel : $\Delta t = (k + \frac{1}{2}) \cdot T$
 Différence de marche : $\delta = (k + \frac{1}{2}) \cdot \lambda$

Effet Doppler

L'effet Doppler est un phénomène observé lorsque la distance entre la source d'une onde périodique et le récepteur varie. La fréquence du signal capté par le récepteur (f_R) est différente de la fréquence du signal émis par la source (f_E). On distingue deux cas :

✓ Si la source se rapproche du récepteur, la fréquence reçue est supérieure à la fréquence d'émission : $f_R > f_E$; Dans ce cas, un son est perçu plus aigu par le récepteur, une onde électromagnétique est reçue avec une longueur d'onde inférieure à la longueur d'onde d'émission, ce qui correspond à un décalage vers le bleu (blue-shift) pour la lumière visible.

✓ Si la source s'éloigne du récepteur, la fréquence reçue est inférieure à la fréquence émise : $f_R < f_E$. Dans ce cas, un son est perçu plus grave par le récepteur, une onde électromagnétique est reçue avec une longueur d'onde supérieure à la longueur d'onde d'émission, ce qui correspond à un décalage vers le rouge (red-shift) pour la lumière visible.

Ondes et particules

Rayonnements dans l'univers

Un rayonnement électromagnétique (comme, par exemple, la lumière visible) peut être décrit comme une onde (onde électromagnétique), ou comme un flux de particules (les photons).
 On distingue différents domaines d'ondes électromagnétiques, selon leur longueur d'onde dans le vide (λ):

Rayons γ (gamma)	Rayons X	Ultraviolet	Visible	Infrarouge	Micro-ondes	Ondes radio
10 pm	10 nm	400 nm	800 nm	1 mm	30 cm	

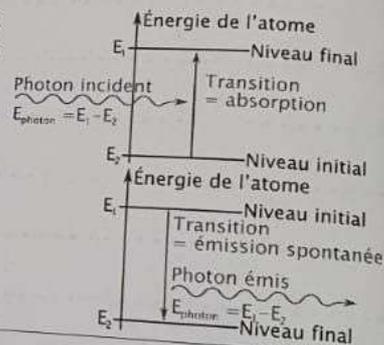
- Tous les domaines d'ondes électromagnétiques sont représentés dans le rayonnement qui provient des différentes sources présentes dans l'univers (étoiles, supernovæ, galaxies, amas gazeux...), et peuvent être associés à différents phénomènes (transformations nucléaires, mouvement de particules chargées...).
- Les longueurs d'ondes émises dépendent notamment de la température de la source : selon la loi de Wien, la longueur d'onde émise avec la plus grande intensité (λ_{max} , en m), est liée à la température de la source (T, en K) par la relation $\lambda_{max} = \frac{k}{T}$, avec k, une constante. Ainsi les étoiles les moins chaudes émettent surtout dans l'infrarouge, tandis que les étoiles les plus chaudes émettent davantage dans l'ultraviolet.

Photon : particule de masse et de charge électrique nulles, associée à une onde électromagnétique monochromatique, et transportant une petite quantité (un quantum) d'énergie.

Énergie d'un photon : $E_{photon} = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda}$, avec h : constante de Planck ; ν : fréquence ; c : célérité de la lumière dans le vide ; λ : longueur d'onde dans le vide.

L'énergie contenue dans un atome ou une molécule est quantifiée : elle ne peut prendre que certaines valeurs précises appelées niveaux d'énergie. L'état associé au niveau d'énergie le plus bas est appelé état fondamental, c'est un état stable. Les états associés aux niveaux supérieurs sont appelés états excités et sont instables. L'atome peut passer d'un niveau ($E_{initial}$) à un autre (E_{final}), en absorbant ou en émettant un photon dont l'énergie est exactement égale à $E_{photon} = |E_{initial} - E_{final}|$:

- Lors d'une absorption : l'atome est initialement dans un état bas et reçoit un photon d'énergie appropriée. Le photon est absorbé (disparaît) et l'atome passe dans le niveau supérieur.
- Lors d'une émission spontanée : l'atome est initialement dans un état excité, instable, et ne peut pas y rester : il se désexcite et passe dans un niveau inférieur en émettant un photon qui emporte l'énergie perdue par l'atome.



En astronomie, l'étude du rayonnement électromagnétique provenant du reste de l'univers permet de mieux connaître les différentes sources de ce rayonnement : composition chimique, température, vitesse de déplacement (c.f. effet Doppler), distance par rapport à la Terre. Cependant il est en partie absorbé par l'atmosphère terrestre (les ultraviolets, notamment), ce qui gêne son observation.

La Terre reçoit d'autres formes de rayonnement provenant de l'univers : ce rayonnement est constitué de particules de masse non nulle : électrons, protons, noyaux d'atome (notamment d'hélium), mais également positons et neutrinos. Ces particules, avec les photons gamma, constituent le rayonnement cosmique. Ces particules ont une très grande énergie cinétique et leur collisions avec les molécules de l'atmosphère terrestre peuvent entraîner des transformations nucléaires ou l'apparition de d'autres particules (appelées pions, muons...)

Ondes dans la matière

- On observe également d'autres types d'ondes, qui ne se propagent que dans la matière (ce sont des ondes mécaniques) :
- La houle, onde qui se propage à la surface de l'eau ;
 - Les ondes sismiques, observées lors de séismes (tremblement de terre), qui se propage dans le sol terrestre et à sa surface. La magnitude d'un séisme (souvent exprimée sur l'échelle de Richter) traduit, sur une échelle logarithmique, l'énergie totale transportée par les ondes sismiques lors d'un séisme.
 - Les ondes acoustiques (sonores ou ultrasonore), ondes de compression qui peuvent se propager dans les gaz, les liquides ou les solides.

Certaines de ces notions seront développées dans les chapitres « Les ondes » et « Éléments de mécanique quantique ».

Nomenclature des espèces organiques

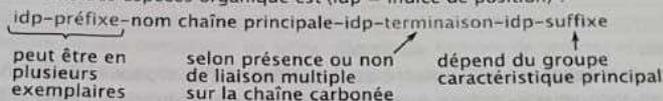
La nomenclature est l'ensemble des règles qui permettent de nommer les espèces chimiques.

<p>> Les hydrocarbures sont les molécules organiques qui ne sont constituées que de carbone et d'hydrogène.</p> <p>> Les alcanes sont les hydrocarbures acycliques, de formule générale C_nH_{2n+2}, composés d'atomes de carbone saturés (tétraédriques : ne faisant que des liaisons simples) et d'hydrogène. Les hydrocarbures saturés présentant au moins un cycle sont appelés cycloalcane.</p> <p>> Les alcènes sont, au sens strict, les hydrocarbures acycliques présentant une liaison double carbone-carbone et de formule brute C_nH_{2n}. Leur nom est obtenu en remplaçant la terminaison <i>ane</i> d'un alcane par <i>ène</i> précédé d'un indice de position. Exemple : pent-1-ène.</p>			
Noms des premiers alcanes linéaires			
Nombre de C	Nom	Nombre de C	Nom
1	Méthane	6	Hexane
2	Éthane	7	Heptane
3	Propane	8	Octane
4	Butane	9	Nonane
5	Pentane	10	Décane

Règles générales de nomenclatures

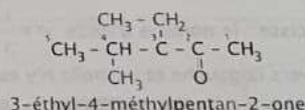
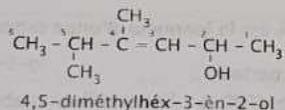
> Un **groupe caractéristique** est un groupe d'atomes contenant au moins un hétéroatome (ni C, ni H), et au plus un atome de carbone. Une **fonction** est le caractère commun des espèces chimiques présentant un même groupe caractéristique et qui font ainsi partie d'une même **famille ou classe fonctionnelle**.

> La **forme générale des noms** des espèces organique est (idp = indice de position) :

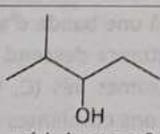
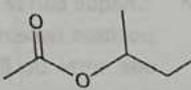
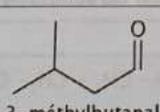
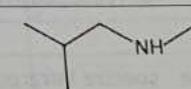
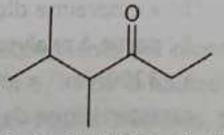
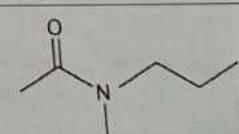
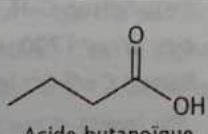


- ✓ **Critères pour le choix de la chaîne carbonée principale** (par ordre de priorité décroissante) : La chaîne principale doit porter le plus possible de groupes caractéristiques (prioritaires) > Elle doit contenir le plus possible de liaisons multiples > Elle doit contenir le plus grand nombre d'atomes de carbone.
- ✓ **Choix du sens de numérotation** des atomes de la chaîne principale : les indices de position doivent être les plus petits possibles selon l'ordre de priorité groupe caractéristique > insaturation > ramification.
- ✓ Le nom des **ramifications** correspond à celui d'un alcane dont la terminaison *ane* est remplacé par *yl*.
- ✓ Les éléments *di*, *tri*, *tétra*... indiquent que la ramification ou le groupe caractéristique est en 2, 3 ou 4 exemplaires.

Exemples :



Fonctions, groupes caractéristiques et exemples de noms

Fonctions / familles	Groupes caractéristiques ¹	Exemples	Fonctions / familles	Groupes caractéristiques ¹	Exemples
Alcools	$\begin{array}{c} \\ \text{-(C)-O-H} \\ \end{array}$ Hydroxyle	 2-méthylpentan-3-ol	Esters ²	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{-C} \\ \\ \text{O-(C)} \end{array}$	 Éthanoate de 1-méthylpropyle
Aldéhydes ²	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{-C} \\ \\ \text{(H)} \end{array}$ Carbonyle	 3-méthylbutanal	Amines ³	$\begin{array}{c} \text{(C)-N-} \\ \end{array}$	 N,2-diméthylpropan-1-amine
Cétones	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{(C)-C-(C)} \end{array}$ Carbonyle	 4,5-diméthylhexan-3-one	Amides ^{2,3}	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{-C} \\ \\ \text{N-} \\ \end{array}$	 N-méthyl-N-propyléthanamide
Acides carboxyliques ²	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{-C} \\ \\ \text{OH} \end{array}$ Carboxyle	 Acide butanoïque	<ol style="list-style-type: none"> 1. Les atomes entre parenthèses ne font pas partie du groupe caractéristique. 2. Le nom ne nécessite aucun indice de position (idp) avant le suffixe. Le carbone fonctionnel est n°1. 3. L'idp N indique que la ramification est lié à l'atome d'azote. 		