

**DOSSIER
PHYSIQUE-CHIMIE**

PREMIÈRE S



TERMINALE S

ATTENTION

L'intégralité du programme de Première S doit être maîtrisée pour la Terminale S. Ce document ne revient que sur quelques points du programme de Première.

Conseil : consacrer les deux dernières semaines du mois d'août à la préparation de la rentrée (reprendre cours, exercices, devoirs, corrections de devoirs...)

PROGRAMME DE TERMINALE S

OBSERVER

Ondes et matière

Les ondes et les particules sont supports d'informations. Comment les détecte-t-on ?
Quelles sont les caractéristiques et les propriétés des ondes ? Comment réaliser et exploiter des spectres pour identifier des atomes et des molécules ?

A. ONDES ET PARTICULES

Rayonnements dans l'Univers

Absorption de rayonnements par l'atmosphère terrestre.

Les ondes dans la matière

Houle, ondes sismiques, ondes sonores.

Magnitude d'un séisme sur l'échelle de Richter.

Niveau d'intensité sonore.

Détecteurs d'ondes (mécaniques et électromagnétiques) **et de particules** (photons, particules élémentaires ou non).

B. CARACTÉRISTIQUES ET PROPRIÉTÉS DES ONDES

Caractéristiques des ondes

Ondes progressives. Grandeurs physiques associées. Retard.

Ondes progressives périodiques, ondes sinusoïdales.

Ondes sonores et ultrasonores.

Analyse spectrale. Hauteur et timbre.

Propriétés des ondes

Diffraction.

Influence relative de la taille de l'ouverture ou de l'obstacle et de la longueur d'onde sur le phénomène de diffraction.

Cas des ondes lumineuses monochromatiques, cas de la lumière blanche.

Interférences.

Cas des ondes lumineuses monochromatiques, cas de la lumière blanche. Couleurs interférentielles.

Effet Doppler.

C. ANALYSE SPECTRALE

Spectres UV-visible

Lien entre couleur perçue et longueur d'onde au maximum d'absorption de substances organiques ou inorganiques.

Spectres IR

Identification de liaisons à l'aide du nombre d'onde correspondant ; détermination de groupes caractéristiques.

Mise en évidence de la liaison hydrogène.

Spectres RMN du proton

Identification de molécules organiques à l'aide :

- du déplacement chimique ;

- de l'intégration ;

- de la multiplicité du signal : règle des $(n+1)$ -uplets.

COMPRENDRE

Lois et modèles

Comment exploite-t-on des phénomènes périodiques pour accéder à la mesure du temps ? En quoi le concept de temps joue-t-il un rôle essentiel dans la relativité ? Quels paramètres influencent l'évolution chimique ?

Comment la structure des molécules permet-elle d'interpréter leurs propriétés ? Comment les réactions en chimie organique et celles par échange de proton participent-elles de la transformation de la matière ?

Comment s'effectuent les transferts d'énergie à différentes échelles ? Comment se manifeste la réalité quantique, notamment pour la lumière ?

A. TEMPS, MOUVEMENT ET ÉVOLUTION

Temps, cinématique et dynamique newtoniennes

Description du mouvement d'un point au cours du temps : vecteurs position, vitesse et accélération.

Référentiel galiléen.

Lois de Newton : principe d'inertie, et principe des actions réciproques.

Conservation de la quantité de mouvement d'un système isolé.

Mouvement d'un satellite.

Révolution de la Terre autour du Soleil.

Lois de Kepler.

Mesure du temps et oscillateur, amortissement

Travail d'une force.

Force conservative ; énergie potentielle.

Forces non conservatives : exemple des frottements.

Énergie mécanique.

Étude énergétique des oscillations libres d'un système mécanique.

Dissipation d'énergie.

Définition du temps atomique.

Temps et relativité restreinte

Invariance de la vitesse de la lumière et caractère relatif du temps.

Postulat d'Einstein. Tests expérimentaux de l'invariance de la vitesse de la lumière.

Notion d'événement. Temps propre.

Dilatation des durées.

Preuves expérimentales.

Temps et évolution chimique : cinétique et catalyse

Réactions lentes, rapides ; durée d'une réaction chimique.

Facteurs cinétiques. Évolution d'une quantité de matière au cours du temps.

Temps de demi-réaction.

Catalyse homogène, hétérogène et enzymatique.

B. STRUCTURE ET TRANSFORMATION DE LA MATIÈRE

Représentation spatiale des molécules

Chiralité : définition, approche historique.

Représentation de Cram.

Carbone asymétrique.

Chiralité des acides α -aminés.

Énantiomérie, mélange racémique, diastéréoisomérie (Z/E , deux atomes de carbone asymétriques).

Conformation : rotation autour d'une liaison simple ; conformation la plus stable.

Formule topologique des molécules organiques.

Propriétés biologiques et stéréoisomérie.

Transformation en chimie organique

Aspect macroscopique :

- Modification de chaîne, modification de groupe caractéristique.

- Grandes catégories de réactions en chimie organique : substitution, addition, élimination.

Aspect microscopique :

- Liaison polarisée, site donneur et site accepteur de doublet d'électrons.

- Interaction entre des sites donneurs et accepteurs de doublet d'électrons ; représentation du mouvement d'un doublet d'électrons à l'aide d'une flèche courbe lors d'une étape d'un mécanisme réactionnel.

Réaction chimique par échange de proton

Le pH : définition, mesure.

Théorie de Brönsted : acides faibles, bases faibles ; notion d'équilibre ; couple acide-base ; constante d'acidité K_a .

Échelle des pK_a dans l'eau, produit ionique de l'eau ; domaines de prédominance (cas des acides carboxyliques, des amines, des acides α -aminés).

Réactions quasi-totales en faveur des produits :

- acide fort, base forte dans l'eau ;

- mélange d'un acide fort et d'une base forte dans l'eau.

Réaction entre un acide fort et une base forte : aspect thermique de la réaction. Sécurité.

Contrôle du pH : solution tampon ; rôle en milieu biologique.

C. ÉNERGIE, MATIÈRE ET RAYONNEMENT

Du macroscopique au microscopique

Constante d'Avogadro.

Transferts d'énergie entre systèmes macroscopiques

Notions de système et d'énergie interne. Interprétation microscopique.

Capacité thermique.

Transferts thermiques : conduction, convection, rayonnement.

Flux thermique. Résistance thermique.

Notion d'irréversibilité.

Bilans d'énergie.

Transferts quantiques d'énergie

Émission et absorption quantiques.

Émission stimulée et amplification d'une onde lumineuse.

Oscillateur optique : principe du laser.

Transitions d'énergie : électroniques, vibratoires.

Dualité onde-particule

Photon et onde lumineuse.

Particule matérielle et onde de matière ; relation de de Broglie.

Interférences photon par photon, particule de matière par particule de matière.

AGIR

Défis du XXIème siècle

En quoi la science permet-elle de répondre aux défis rencontrés par l'Homme dans sa volonté de développement tout en préservant la planète ?

A. ÉCONOMISER LES RESSOURCES ET RESPECTER L'ENVIRONNEMENT

Enjeux énergétiques

Nouvelles chaînes énergétiques.

Économies d'énergie.

Apport de la chimie au respect de l'environnement

Chimie durable :

- économie d'atomes ;
- limitation des déchets ;
- agro ressources ;
- chimie douce ;
- choix des solvants ;
- recyclage.

Valorisation du dioxyde de carbone.

Contrôle de la qualité par dosage

Dosages par étalonnage :

- spectrophotométrie ; loi de Beer-Lambert ;
- conductimétrie ; explication qualitative de la loi de Kohlrausch, par analogie avec la loi de Beer-Lambert.

Dosages par titrage direct.

Réaction support de titrage ; caractère quantitatif.

Équivalence dans un titrage ; repérage de l'équivalence pour un titrage pH-métrique, conductimétrique et par utilisation d'un indicateur de fin de réaction.

B. SYNTHÉTISER DES MOLÉCULES, FABRIQUER DE NOUVEAUX MATÉRIAUX

Stratégie de la synthèse organique

Protocole de synthèse organique :

- identification des réactifs, du solvant, du catalyseur, des produits ;
- détermination des quantités des espèces mises en jeu, du réactif limitant ;
- choix des paramètres expérimentaux : température, solvant, durée de la réaction, pH ;
- choix du montage, de la technique de purification, de l'analyse du produit ;
- calcul d'un rendement ;
- aspects liés à la sécurité ;
- coûts.

Sélectivité en chimie organique

Composé polyfonctionnel : réactif chimiosélectif, protection de fonctions.

C. TRANSMETTRE ET STOCKER DE L'INFORMATION

Chaîne de transmission d'informations

Images numériques

Caractéristiques d'une image numérique : pixellisation, codage RVB et niveaux de gris.

Signal analogique et signal numérique

Conversion d'un signal analogique en signal numérique.

Échantillonnage ; quantification ; numérisation.

Procédés physiques de transmission

Propagation libre et propagation guidée.

Transmission :

- par câble ;
- par fibre optique : notion de mode ;
- transmission hertzienne.

Débit binaire.

Atténuations.

Stockage optique

Écriture et lecture des données sur un disque optique. Capacités de stockage.

D. CRÉER ET INNOVER

Culture scientifique et technique ; relation science-société.

Métiers de l'activité scientifique (partenariat avec une institution de recherche, une entreprise, etc.).

ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

Thème 1 : l'eau

Eau et environnement

Eau et ressources

Eau et énergie

Thème 2 : son et musique

Instruments de musique

Émetteurs et récepteurs sonores

Son et architecture

Thème 3 : matériaux

Cycle de vie

Structure et propriétés

Nouveaux matériaux

LES 7 UNITÉS DE BASE DU SYSTÈME INTERNATIONAL D'UNITÉS (SI)

Les sept grandeurs de base correspondant aux sept unités de base sont la longueur, la masse, le temps, le courant électrique, la température thermodynamique, la quantité de matière et l'intensité lumineuse.

Toutes les autres grandeurs sont des grandeurs dérivées et sont exprimées au moyen d'unités dérivées, définies comme étant des produits de puissances des unités de base.

◆ Longueur (mètre, m)

Le mètre est la longueur du trajet parcouru dans le vide par la lumière pendant une durée de 1/299 792 458 de seconde. Il en résulte que la vitesse de la lumière dans le vide est égale à 299 792 458 m.s⁻¹ exactement.

◆ Masse (kilogramme, kg)

Le kilogramme est l'unité de masse; il est égal à la masse du prototype international du kilogramme.

◆ Temps (seconde, s)

La seconde est la durée de 9 192 631 770 périodes de la radiation correspondant à la transition entre les deux niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de césum 133.

◆ Courant électrique (ampère, A)

L'ampère est l'intensité d'un courant constant qui, maintenu dans deux conducteurs parallèles, rectilignes, de longueur infinie, de section circulaire négligeable et placés à une distance de 1 mètre l'un de l'autre dans le vide, produirait entre ces conducteurs une force égale à $2 \cdot 10^{-7}$ newton par mètre de longueur.

◆ Température thermodynamique (kelvin, K)

Le kelvin, unité de température thermodynamique, est la fraction 1/273,16 de la température thermodynamique du point triple de l'eau.

◆ Quantité de matière (mole, mol)

1. La mole est la quantité de matière d'un système contenant autant d'entités élémentaires qu'il y a d'atomes dans 0,012 kilogramme de carbone 12.
2. Lorsqu'on emploie la mole, les entités élémentaires doivent être spécifiées et peuvent être des atomes, des molécules, des ions, des électrons, d'autres particules ou des groupements spécifiés de telles particules.

◆ Intensité lumineuse (candela, cd)

La candela est l'intensité lumineuse, dans une direction donnée, d'une source qui émet un rayonnement

IONS, MOLECULES ET COMPOSÉS IONIQUES

CATIONS		ANIONS		MOLECULES		COMPOSÉS IONIQUES	
ion oxonium	H ₃ O ⁺	ion hydroxyde	HO ⁻	dioxygène	O ₂ (g)	hydroxyde de sodium (soude)	NaOH
ion cuivreux ou cuivre I	Cu ⁺	ion nitrate	NO ₃ ⁻	dihydrogène	H ₂ (g)	chlorure de sodium (sel)	NaCl
ion cuivrique ou cuivre II	Cu ²⁺	ion fluorure	F ⁻	diazote	N ₂ (g)	sulfate de cuivre	CuSO ₄
ion sodium	Na ⁺	ion iodure	I ⁻	dichlore	Cl ₂ (g)	nitrate d'argent	AgNO ₃
ion calcium	Ca ²⁺	ion bromure	Br ⁻	dibrome	Br ₂ (l)	chlorure d'argent	AgCl
ion ferreux ou fer II	Fe ²⁺	ion chlorure	Cl ⁻	diiode	I ₂ (s)	hydroxyde de potassium (potasse)	KOH
ion ferrique ou fer III	Fe ³⁺	ion sulfate	SO ₄ ²⁻	méthane	CH ₄ (g)	permanganate de potassium	KMnO ₄
ion lithium	Li ⁺	ion dichromate	Cr ₂ O ₇ ²⁻	dioxyde de carbone (gaz carbonique)	CO ₂ (g)	dichromate de potassium	K ₂ Cr ₂ O ₇
ion argent	Ag ⁺	ion carbonate	CO ₃ ²⁻	monoxyde de carbone	CO (g)		
ion magnésium	Mg ²⁺	ion phosphate	PO ₄ ³⁻	dioxyde d'azote	NO ₂ (g)		
ion potassium	K ⁺	ion permanganate	MnO ₄ ⁻	ammoniaque	NH ₃ (aq)		
ion plomb	Pb ²⁺	ion sulfure	S ²⁻	eau	H ₂ O (l)		
ion ammonium	NH ₄ ⁺	ion thiosulfate	S ₂ O ₃ ²⁻	glucose	C ₆ H ₁₂ O ₆ (s)		
ion zinc	Zn ²⁺	ion bromate	BrO ₃ ⁻	saccharose (sucre)	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁ (s)		
ion baryum	Ba ²⁺	ion chromate	CrO ₄ ²⁻	peroxyde d'hydrogène (eau oxygénée)	H ₂ O ₂ (l)		

TESTS CHIMIQUES

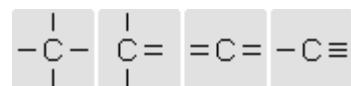
Espèce à identifier (couleur en solution aqueuse)	Formule de l'ion	Réactif utilisé	Ion réagissant dans le réactif	Résultat du test	Nom et formule du produit formé
Ion chlorure (incolore)	Cl ⁻	Solution de nitrate d'argent (Ag ⁺ + NO ₃ ⁻)	Ion argent Ag ⁺	Précipité blanc qui noircit à la lumière	Chlorure d'argent : AgCl _(s) Ag ⁺ + Cl ⁻ = AgCl
Ion magnésium (incolore)	Mg ²⁺	Solution d'hydroxyde de sodium (Na ⁺ + HO ⁻)	Ion hydroxyde HO ⁻	Précipité blanc	Hydroxyde de magnésium : Mg(OH) _{2(s)} Mg ²⁺ + 2HO ⁻ = Mg(OH) ₂
Ion calcium (incolore)	Ca ²⁺	Solution d'oxalate d'ammonium (2 NH ₄ ⁺ + C ₂ O ₄ ²⁻)	Ion oxalate C ₂ O ₄ ²⁻	Précipité blanc	Oxalate de calcium : CaC ₂ O _{4(s)} Ca ²⁺ + C ₂ O ₄ ²⁻ = CaC ₂ O ₄
Ion sodium (incolore)	Na ⁺	Test de flamme		Flamme jaune orangé	
Ion potassium (incolore)	K ⁺	Test de flamme		Flamme violette	
Ion phosphate (incolore)	PO ₄ ³⁻	Solution de nitrate d'argent (Ag ⁺ + NO ₃ ⁻)	Ion argent Ag ⁺	Précipité jaunâtre	Phosphate d'argent Ag ₃ PO _{4(s)} PO ₄ ³⁻ + 3Ag ⁺ = Ag ₃ PO ₄
Ion sulfate (incolore)	SO ₄ ²⁻	Solution chlorure de baryum (Ba ²⁺ + 2Cl ⁻)	Ion baryum Ba ²⁺	Précipité blanc	Sulfate de baryum BaSO _{4(s)} SO ₄ ²⁻ + Ba ²⁺ = BaSO ₄
Ion nitrate (incolore)	NO ₃ ⁻	Cuivre métallique en solution acide		Dégagement de vapeurs rousses (NO ₂) Bleuissement de la solution (Cu ²⁺)	Cu + 2NO ₃ ⁻ + 4H ⁺ = Cu ²⁺ + 2NO ₂ + 2H ₂ O
Ion cuivre II (bleu)	Cu ²⁺	Solution d'hydroxyde de sodium (Na ⁺ + HO ⁻)	Ion hydroxyde HO ⁻	Précipité bleu	Hydroxyde de cuivre II : Cu(OH) _{2(s)} Cu ²⁺ + 2HO ⁻ = Cu(OH) ₂
Ion fer II (vert pâle)	Fe ²⁺	Solution d'hydroxyde de sodium (Na ⁺ + HO ⁻)	Ion hydroxyde HO ⁻	Précipité vert	Hydroxyde de fer II : Fe(OH) _{2(s)} Fe ²⁺ + 2HO ⁻ = Fe(OH) ₂
Ion fer III (rouge pâle)	Fe ³⁺	Solution d'hydroxyde de sodium (Na ⁺ + HO ⁻)	Ion hydroxyde HO ⁻	Précipité rouille	Hydroxyde de fer III : Fe(OH) _{3(s)} Fe ³⁺ + 3HO ⁻ = Fe(OH) ₃
Ion zinc (incolore)	Zn ²⁺	Solution d'hydroxyde de sodium (Na ⁺ + HO ⁻)	Ion hydroxyde HO ⁻	Précipité blanc (soluble dans un excès de soude)	Hydroxyde de zinc : Zn(OH) _{2(s)} Zn ²⁺ + 2HO ⁻ = Zn(OH) ₂

Espèce Chimique Présente	Test Chimique	Action
L'eau	Sulfate de cuivre anhydre	Cette poudre blanche devient bleue en présence d'eau
Dioxyde de carbone	L'eau de Chaux	L'eau de Chaux qui est initialement un liquide transparent se trouble en présence de CO ₂
Espèce Chimique acide, neutre ou basique	Le papier pH	Cet indicateur coloré est de couleur jaune en milieu acide, vert en milieu neutre et bleu en milieu basique.
Glucose	Liqueur de Fehling	Ce liquide bleu donne un précipité rouge par chauffage
Amidon	L'eau iodée	Ce liquide brin devient bleu foncé au contact de l'amidon

LES LIAISONS CARBONE

Un atome de carbone possède quatre électrons sur sa couche externe et doit donc former quatre liaisons covalentes pour obéir à la règle de l'octet. Pour cela il y a quatre possibilités:

- ◆ 4 liaisons simples avec 4 autres atomes
- ◆ 2 liaisons simples et une liaison double avec 3 autres atomes
- ◆ 1 liaison simple et 1 liaison triple avec 2 autres atomes
- ◆ 2 liaisons doubles avec deux autres atomes



L'atome de carbone est **digonal** (deux cotés) s'il est lié à deux autres atomes (la structure est alors linéaire), **trigonal** (trois cotés) s'il est lié à trois autres atomes (la structure est alors plane), **tétragonal** (quatre cotés) s'il est lié à quatre autres atomes (la structure est alors tétraédrique).

La répartition de ces liaisons a donc une influence directe sur la géométrie des molécules.

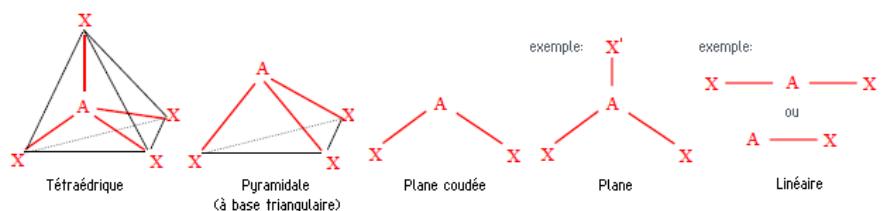
Exemples:

Molécules	CH ₄ Méthane	COCl ₂ Dichlorure de méthanoyle (phosgène)	CO ₂ Dioxyde de carbone	HCN Cyanure d'hydrogène
Caractéristiques	Structure tétraédrique Carbone tétragonal	Structure plane Carbone trigonal	Structure linéaire Carbone digonal	Structure linéaire Carbone digonal
Modèle				
Modèle avec liaisons				
Représentations de Lewis	H H—C—H H			H—C≡N
Structures	Structure tétraédrique Angle H-C-H: 109°	Structure plane Angle Cl-C-Cl: 112°	Structure linéaire	Structure linéaire

GÉOMÉTRIE DES MOLÉCULES

La géométrie des molécules est due à la répulsion entre les doublets liants et non liants.

Les doublets se **repoussent au maximum** dans l'espace afin d'être **les plus éloignés possibles** les uns des autres.



Exemples:

Molécules	NH ₃ Ammoniac	H ₂ O Eau	O ₂ Dioxygène
Modèle			
Représentations de Lewis	H—N—H H		
Structures	Structure pyramidale à base triangulaire Angles H-N-H: 108°	Structure plane coudée Angle H-O-H: 105°	Structure linéaire

RÉACTIONS D'OXYDORÉDUCTION

Réaction entre le zinc et une solution de sulfate de cuivre

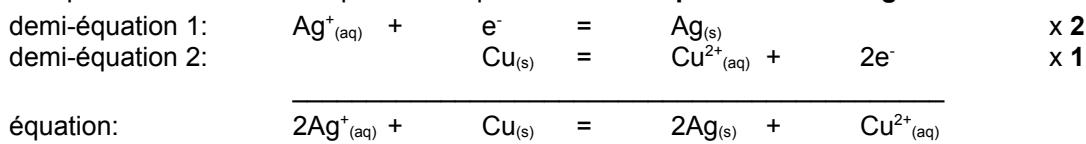
Expérience	Observations	Caractérisation des produits formés	Interprétation
On plonge une lame de zinc dans une solution de sulfate de cuivre II (couleur bleue).	Après 12 heures, la partie immergée de la plaque est recouverte d'un dépôt de couleur rouge brique et la solution devient transparente.	En présence de soude dans la solution à l'état final, il se forme un précipité blanc qui caractérise des ions Zn^{2+} . Les ions Cu^{2+} ont donc disparu, d'où le passage du bleu au transparent. Le dépôt rouge brique sur la lame de zinc rappelle la couleur du cuivre métal.	Réactifs : $Cu^{2+}_{(aq)}$ et $Zn_{(s)}$ Produits : $Cu_{(s)}$ et $Zn^{2+}_{(aq)}$ Pour passer d'ions à des atomes ou inversement il faut qu'il y ait transfert d'électrons. $Zn_{(s)} = Zn^{2+}_{(aq)} + 2e^-$ $Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^- = Cu_{(s)}$

Les atomes de zinc ont cédé deux électrons et les ions cuivre II en ont accepté deux. On peut donc écrire l'équation de la réaction: $Cu^{2+}_{(aq)} + Zn_{(s)} = Cu_{(s)} + Zn^{2+}_{(aq)}$

Réaction entre le cuivre métal et une solution de nitrate d'argent

Expérience	Observations	Caractérisation des produits formés	Interprétation
Dans un erlenmeyer, on verse du nitrate d'argent et on ajoute un fil de cuivre.	La solution est devenue bleue et il se forme une dépôt sur le fil de cuivre en forme d'arborescence.	La couleur bleue caractérise la production d'ions cuivre II et l'arborescence la production d'argent métallique.	Réactifs : $Cu_{(s)}$ et $Ag^+_{(aq)}$ Produits : $Cu^{2+}_{(aq)}$ et $Ag_{(s)}$ Pour passer d'ions à des atomes ou inversement il faut qu'il y ait transfert d'électrons. $Ag^+_{(aq)} + e^- = Ag_{(s)}$ $Cu_{(s)} = Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^-$

Les atomes de cuivre ont cédé deux électrons et les ions argent I en ont accepté un. On peut donc écrire l'équation de la réaction à partir des deux demi-équations en prenant soin d'**équilibrer les charges**:



Définitions

Réducteur: un réducteur est une espèce chimique **susceptible de céder un ou plusieurs électrons**.
Exemples de réducteurs: le métal zinc $Zn_{(s)} = Zn^{2+}_{(aq)} + 2e^-$, le métal cuivre $Cu_{(s)} = Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^-$

Oxydant: un oxydant est une espèce chimique **susceptible de capter un ou plusieurs électrons**.
Exemple d'oxydants : les ions cuivre II $Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^- = Cu_{(s)}$, les ions argent $Ag^+_{(aq)} + e^- = Ag_{(s)}$

Couple oxydant/réducteur: un couple oxydant/réducteur est l'ensemble d'un oxydant et d'un réducteur qui sont liés par une demi-équation électronique : **oxydant + ne⁻ = réducteur**

Exemple: le cuivre est un réducteur et l'ion cuivre II capable de capter deux électrons est un oxydant. On dit que l'ion cuivre II est l'oxydant conjugué du cuivre ou que le cuivre est le réducteur conjugué de l'ion cuivre II.

Réaction d'oxydoréduction: une réaction d'oxydoréduction consiste en un transfert d'électrons entre un oxydant d'un couple et un réducteur d'un autre couple. Elle est le résultat de la combinaison de deux demi-équations.

Remarque : les électrons n'existent pas à l'état libre en solution aqueuse.

Les couples à connaître et leurs demi-équations associées

Couple	Nom de l'oxydant	Nom du réducteur	Demi-équation
$H^+_{(aq)}/H_{(g)}$	Ion H^+ (aqueux)	Dihydrogène	$2H^+_{(aq)} + 2e^- = H_{(g)}$
$Mn^{3+}_{(aq)}/M_{(s)}$	Cation métallique	Métal	$Mn^{3+}_{(aq)} + ne^- = M_{(s)}$
$Fe^{3+}_{(aq)}/Fe^{2+}_{(aq)}$	Ion fer III	Ion fer II	$Fe^{3+}_{(aq)} + e^- = Fe^{2+}_{(aq)}$
$MnO_4^-_{(aq)}/Mn^{2+}_{(aq)}$	Ion permanganate (violet)	Ion manganèse II (incolore)	$MnO_4^-_{(aq)} + 8H^+ + 5e^- = Mn^{2+}_{(aq)} + 4H_2O$
$I_2_{(aq)}/I^-_{(aq)}$	Diiode	Ion iodure	$I_2_{(aq)} + 2e^- = 2I^-_{(aq)}$
$S_4O_6^{2-}_{(aq)}/S_2O_3^{2-}_{(aq)}$	Ion tétrathionate	Ion thiosulfate	$S_4O_6^{2-}_{(aq)} + 2e^- = 2S_2O_3^{2-}_{(aq)}$

ALCANES ET GROUPES CARACTÉRISTIQUES

I. Les alcanes

1. Définitions

Les alcanes sont des hydrocarbures **saturés** acycliques, formés de chaînes ouvertes linéaires ou ramifiées, de formule brute C_nH_{2n+2} .

Les alcanes cycliques ou cycloalcanes sont des hydrocarbures **saturés** cycliques de formule brute C_nH_{2n} .

2. Nomenclature

Pour déterminer le nom de l'alcane, on cherche la chaîne carbonée la plus longue: c'est la chaîne principale qui identifie l'alcane.

3. Nom des 6 premiers alcanes:

Nom de l'alcane	Méthane	Éthane	Propane	Butane	Pentane	Hexane
Préfixe	méth	éth	prop	but	pent	hex
Nombre d'atome de carbone	1	2	3	4	5	6

4. Alcanes ramifiés

On identifie ensuite les ramifications: ce sont les groupes alkyles. On écrit leur nom en remplaçant la terminaison -ane de l'alcane par la terminaison -yle.

Si plusieurs groupes sont identiques, on utilise les préfixes di, tri, tétra,...

On numérote ensuite la chaîne carbonée principale afin que le nombre obtenu par l'ensemble des indices soit le plus bas.

Les groupes substituants sont classés par ordre alphabétique sans tenir compte des préfixes multiplicatifs.

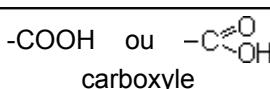
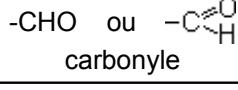
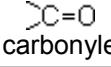
L'alcane ramifié se nomme en faisant précéder le nom de l'alcane, correspondant à la chaîne la plus longue, du nom du groupe alkyle (avec élision du e final). On place devant ce nom, en le séparant par un tiret, le nombre indiquant sa position sur la chaîne principale.

S'il y a plusieurs groupes alkyles identiques, on utilise des préfixes multiplicateurs et on sépare les indices par une virgule.

S'il y a plusieurs groupes alkyles différents, on les nomme dans l'ordre alphabétique en mettant un tiret entre le nom du groupe précédent et l'indice du groupe suivant.

II. Les composés dont la chaîne porte un groupe caractéristique

Acides carboxyliques, composés carbonylés et alcools

Famille de composés	Groupe caractéristique	Suffixe
Acide carboxylique	-COOH ou  carboxyle	Acide ...oïque
Aldéhyde	-CHO ou  carbonyle	al
Cétone	 carbonyle	one
Alcool	-OH hydroxyle	ol

On détermine l'alcane correspondant à la chaîne carbonée la plus longue portant le groupe caractéristique.

On numérote la chaîne carbonée de l'alcane de façon à obtenir le plus petit indice pour le groupe caractéristique.

On identifie les groupes alkyles.

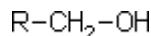
On classe les préfixes par ordre alphabétique.

ALCOOLS ET OXYDATION

A. Les différentes classes d'alcools

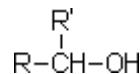
I. Les alcools primaires (alcool I)

Un alcool est primaire si le carbone qui porte le groupe fonctionnel –OH n'est lié qu'à un groupe alkyl. Il est de la forme : **R-CH₂OH** (avec R un groupe alkyl ou un H)



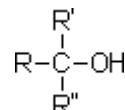
II. Les alcools secondaires (alcool II)

Un alcool est secondaire si le carbone qui porte le groupe fonctionnel –OH est lié à 2 groupes alkyl. Il est de la forme : **R-CHOH-R'** (avec R et R' deux groupes alkyl)



III. Les alcools tertiaires (alcool III)

Un alcool est tertiaire si le carbone qui porte le groupe fonctionnel –OH est lié à 3 groupes alkyl. Il est de la forme : **R-R'R''COH** (avec R, R' et R'' trois groupes alkyl)



B. Oxydation totale par le dioxygène: combustion

Quelle que soit leur classe, les alcools brûlent dans le dioxygène. Ils subissent alors une oxydation totale (combustion), qui détruit la chaîne carbonée. Cette réaction qui libère de l'énergie thermique, conduit à la formation de dioxyde de carbone et d'eau. Exemple: $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_{(l)} + 3\text{O}_{2(g)} \rightarrow 2\text{CO}_{2(g)} + 3\text{H}_2\text{O}_{(g)}$

Quand la quantité de dioxygène est insuffisante, la combustion est incomplète. Les produits formés sont l'eau et le monoxyde de carbone (gaz mortel incolore et inodore).

C. Oxydation ménagée

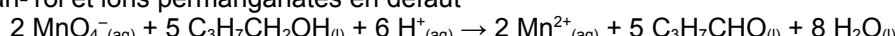
L'oxydation ménagée d'un alcool est une transformation d'oxydoréduction qui ne modifie pas la chaîne carbonée mais uniquement le groupe caractéristique de la molécule.

I. Oxydation ménagée des alcools primaires

1. Oxydant en défaut

Les alcools primaires R-CH₂OH sont transformés (oxydés) en aldéhydes R-CHO par action d'un oxydant introduit en défaut. Le couple oxydant/réducteur mis en jeu est : R-CHO / R-CH₂OH.

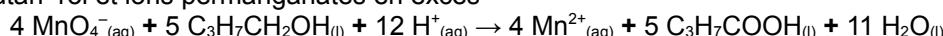
Exemple: butan-1ol et ions permanganates en défaut



2. Oxydant en excès

Les alcools primaires R-CH₂OH sont transformés (oxydés) en acides carboxyliques R-COOH par action d'un oxydant introduit en excès. L'alcool est d'abord transformé en aldéhyde puis l'aldéhyde est transformé en acide carboxylique. On peut envisager une oxydation directe en acide carboxylique, en faisant intervenir le couple oxydant/réducteur, R-COOH / R-CH₂OH

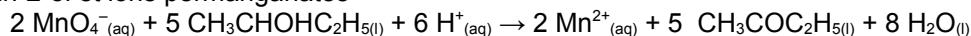
Exemple: butan-1ol et ions permanganates en excès



II. Oxydation ménagée des alcools secondaires

Les alcools secondaires R-CHOH-R' sont transformés (oxydés) en cétones R-CO-R' par action d'un oxydant. Le couple oxydant/réducteur mis en jeu est : R-CO-R' / R-CHOH-R'

Exemple: butan-2-ol et ions permanganates



Remarque: le groupe carbonyle des cétones n'est pas oxydable de façon ménagée.

III. Oxydation ménagée des alcools tertiaires

Les alcools tertiaires ne sont pas oxydables.

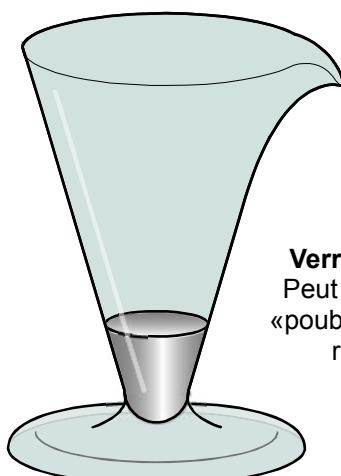
D. Bilan

	Défaut d'oxydant	Excès d'oxydant
Alcool primaire $\text{R}-\text{CH}_2-\text{OH}$ exemple: butan-1-ol	Aldéhyde $\text{R}-\text{CH}=\text{O}$ exemple: butanal	Acide carboxylique $\text{R}-\text{C}=\text{O}$ $\text{R}-\text{C}(=\text{O})-\text{OH}$ exemple: acide butanoïque
Alcool secondaire $\begin{array}{c} \text{R}-\text{CH}-\text{OH} \\ \\ \text{R}' \end{array}$ exemple: butan-2-ol		Cétone $\text{R}-\text{C}=\text{O}$ $\text{R}-\text{C}(=\text{O})-\text{R}'$ exemple: butan-2-one

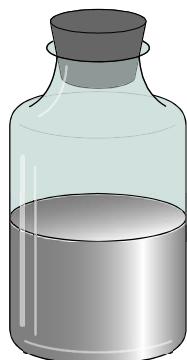
FICHES ECE

VERRERIE DE LABORATOIRE

Au cours d'une manipulation, de nombreux volumes sont mesurés, chacun avec une précision différente. Il convient donc d'utiliser à bon escient la verrerie en fonction de son degré de précision.



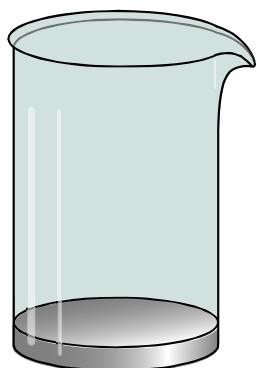
Verre à pied
Peut servir de «poubelle» pour rincer



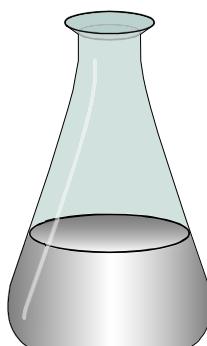
Flacon étiqueté
Contient les réactifs



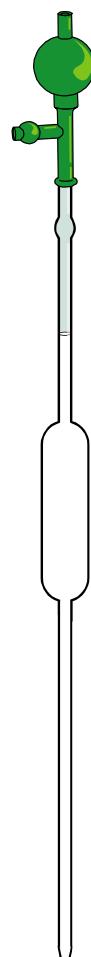
Tube à essai
Pour faire des petits tests



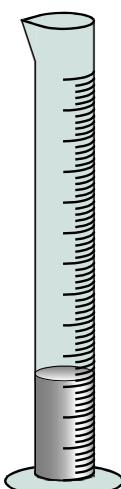
Bécher
Contient une solution avant prélèvement, utilisé pour les dosages



Erlenmeyer
Contient une solution avant prélèvement, utilisé pour les dosages



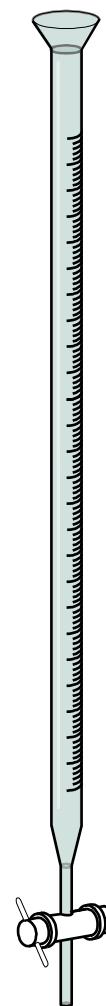
Burette
Pour mesurer des volumes précis au $\frac{1}{2}$ mL lors de dosage



Éprouvette
Pour mesurer des volumes précis au mL



Fiole jaugée
Utilisée pour faire des solutions précis au $10^{\text{ème}}$ de mL

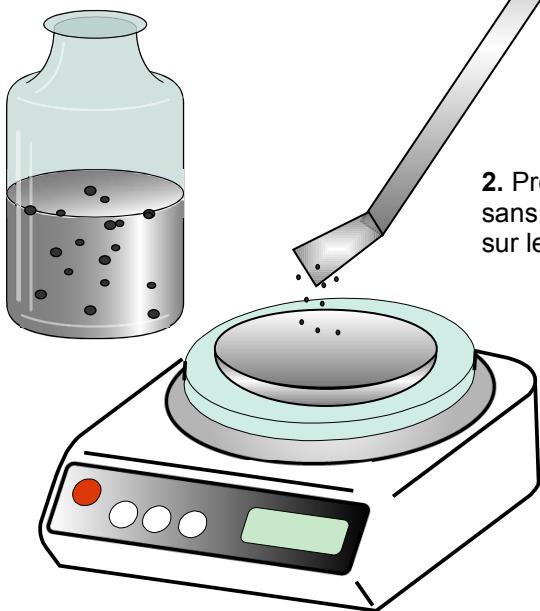


Pipette jaugée
Pour mesurer des volumes précis au $10^{\text{ème}}$ de mL

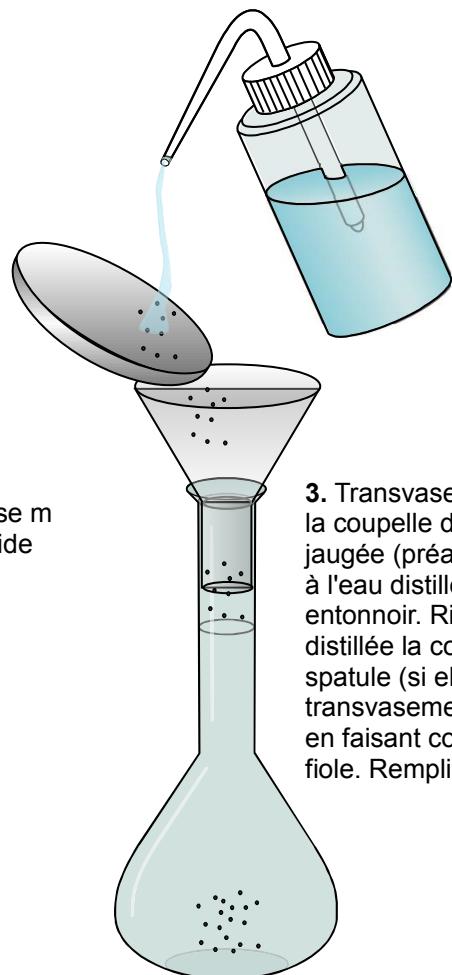
RÉALISER UNE SOLUTION PAR DISSOLUTION

La masse m en g de solide à peser est telle que $m = C \cdot V \cdot M$ avec C est la concentration en mol.L⁻¹, V le volume de solution en L, et M la masse molaire en g.mol⁻¹.

1. La pesée se fait avec une spatule et une coupelle. Placer la coupelle vide sur le plateau et appuyer sur le bouton de tarage de façon que la balance indique 0,00g.

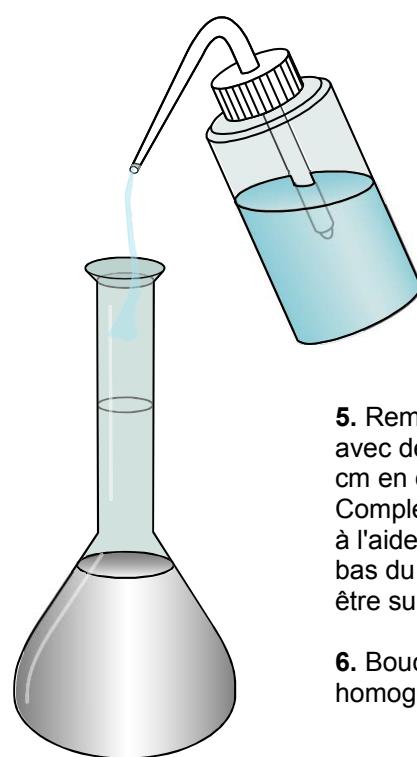
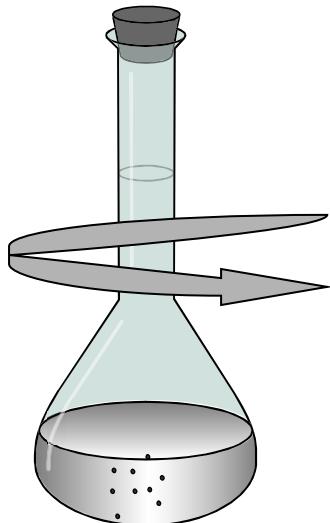


2. Prélever la masse m sans mettre de solide sur le plateau.



3. Transvaser le contenu de la coupelle dans la fiole jaugée (préalablement rincée à l'eau distillée) à l'aide d'un entonnoir. Rincer à l'eau distillée la coupelle, la spatule (si elle a servi au transvasement) et l'entonnoir en faisant couler l'eau dans la fiole. Remplir au $\frac{3}{4}$.

4. Boucher la fiole et agiter jusqu'à dissolution complète du solide.



5. Remplir à la pissette la fiole avec de l'eau distillée jusqu'à 1 cm en dessous du trait de jauge. Compléter jusqu'au trait de jauge à l'aide d'une pipette simple. Le bas du ménisque de liquide doit être sur le trait.

6. Boucher et agiter pour bien homogénéiser la solution.

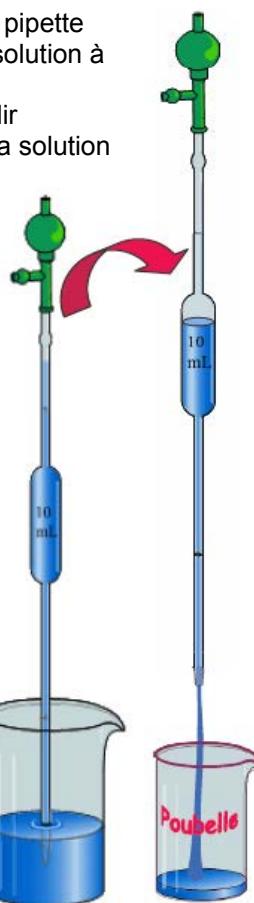
PRÉPARER UNE SOLUTION DE CONCENTRATION DONNÉE PAR DILUTION

Au cours d'une dilution la quantité de matière ne change pas: $C_m \cdot V_m = C_f \cdot V_f$ avec C_m la concentration de la solution mère de volume V_m et C_f la concentration de la solution fille de volume V_f .

1. Verser un peu de solution dans un bêcher.

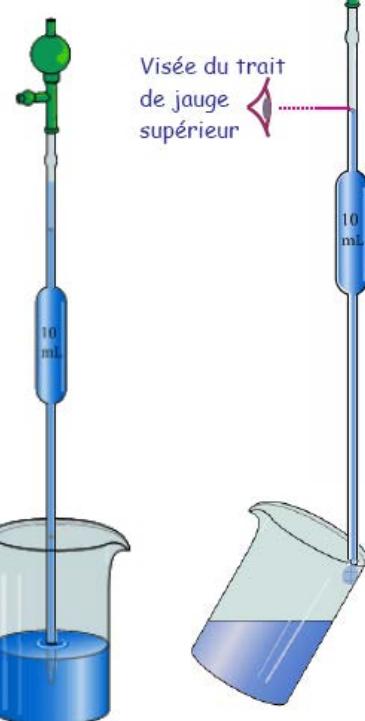
Rincer la pipette avec la solution à prélever:

- la remplir
- rejeter la solution



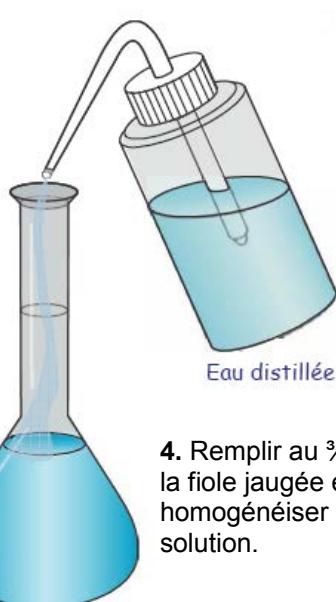
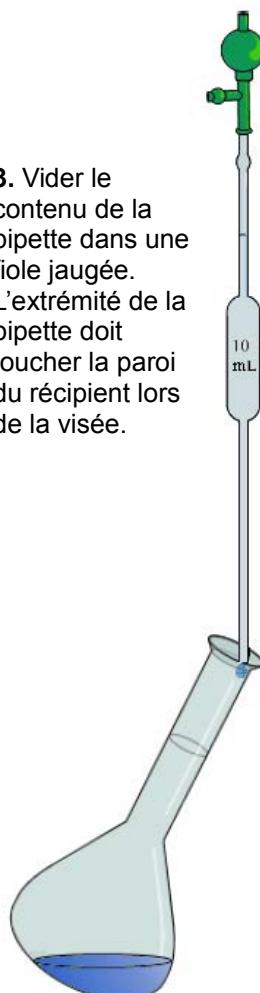
2. Remplir la pipette avec la solution en dépassant légèrement le trait de jauge supérieur.

Ajuster le niveau au trait supérieur la pipette verticale étant hors de la solution, son extrémité touchant le bêcher.

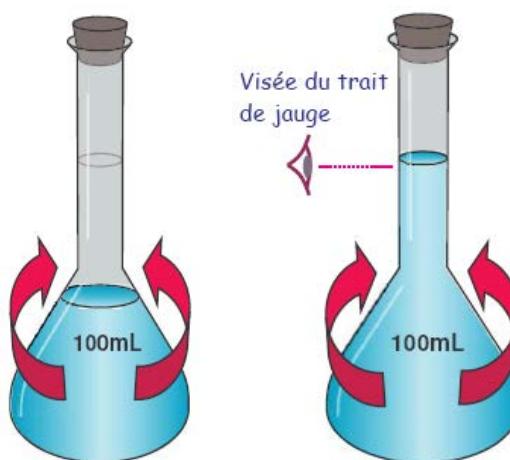


3. Vider le contenu de la pipette dans une fiole jaugée.

L'extrémité de la pipette doit toucher la paroi du récipient lors de la visée.



4. Remplir au $\frac{3}{4}$ la fiole jaugée et homogénéiser la solution.



Visée du trait de jauge

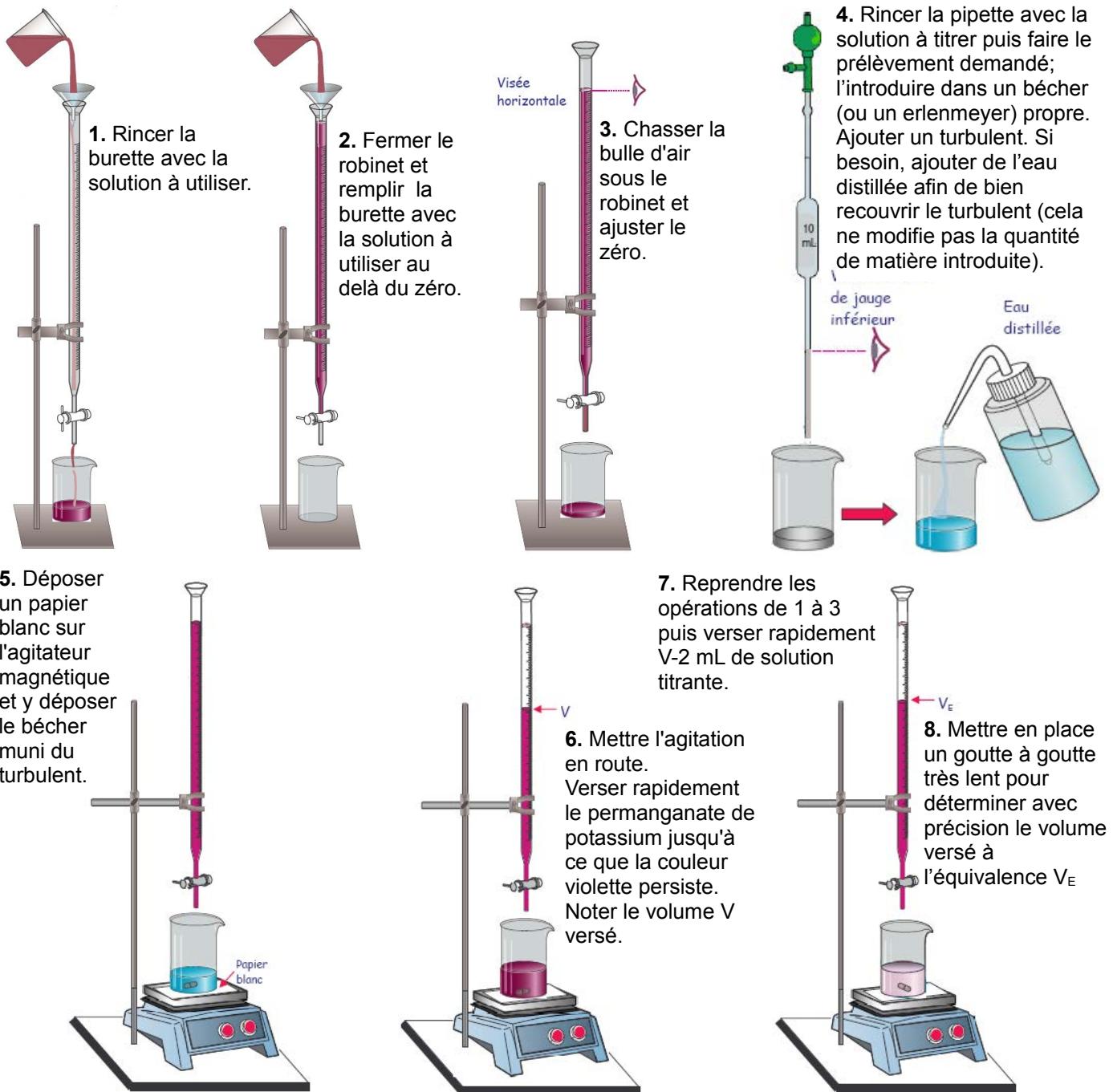
5. Remplir à la pissette la fiole avec de l'eau distillée jusqu'à 1 cm en dessous du trait de jauge.

Compléter jusqu'au trait de jauge à l'aide d'une pipette simple. Le bas du ménisque du liquide doit être sur le trait.

6. Boucher et agiter pour bien homogénéiser la solution.

RÉALISER UN TITRAGE COLORIMÉTRIQUE (TS)

La concentration de la solution inconnue (solution à titrer) est déterminée en repérant l'équivalence par un changement de sa couleur.



Équation de la réaction		aA + bB → cC + dD			
État initial	0	$n_A = C_A \cdot V_A$	$n_B = C_B \cdot V_B$	0	0
En cours	x	$C_A \cdot V_A - ax$	$C_B \cdot V_B - bx$	cx	dx
A l'équivalence	x_E	0	0	$c x_E$	$d x_E$

A l'équivalence, les deux réactifs ont disparu:

$$\begin{aligned} C_A \cdot V_A - ax_E &= 0 \\ C_B \cdot V_B - bx_E &= 0 \end{aligned}$$

donc

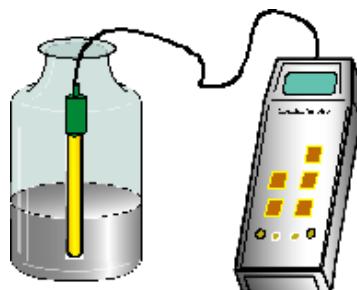
$$\frac{C_A \cdot V_A}{a} = \frac{C_B \cdot V_B}{b}$$

soit

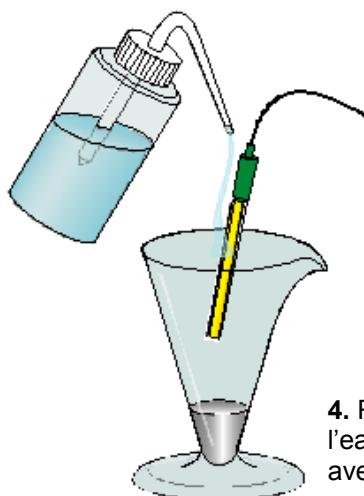
$$\frac{n_a}{a} = \frac{n_b}{b}$$

RÉALISER UN TITRAGE CONDUCTIMÉTRIQUE (TS)

Il s'agit souvent de déterminer la concentration d'une solution à titrer en repérant l'équivalence par une brusque variation de la courbe représentant la grandeur mesurée (conductance ou conductivité) en fonction du volume de titrant versé.

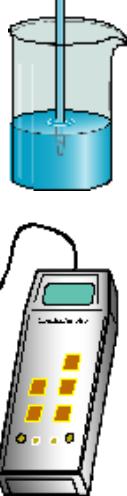


1. Procéder à l'étalonnage de la sonde de mesure en ajustant la valeur donnée avec la valeur de la solution étalon.

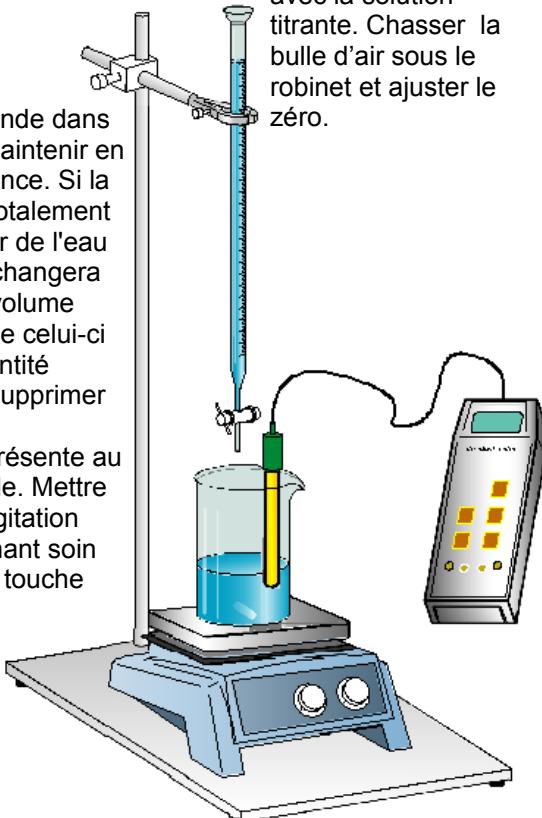


4. Rincer l'électrode avec de l'eau distillée puis la sécher avec du papier absorbant

2. Rincer la pipette avec la solution à titrer puis faire le prélèvement demandé. L'introduire dans un bêcher propre.

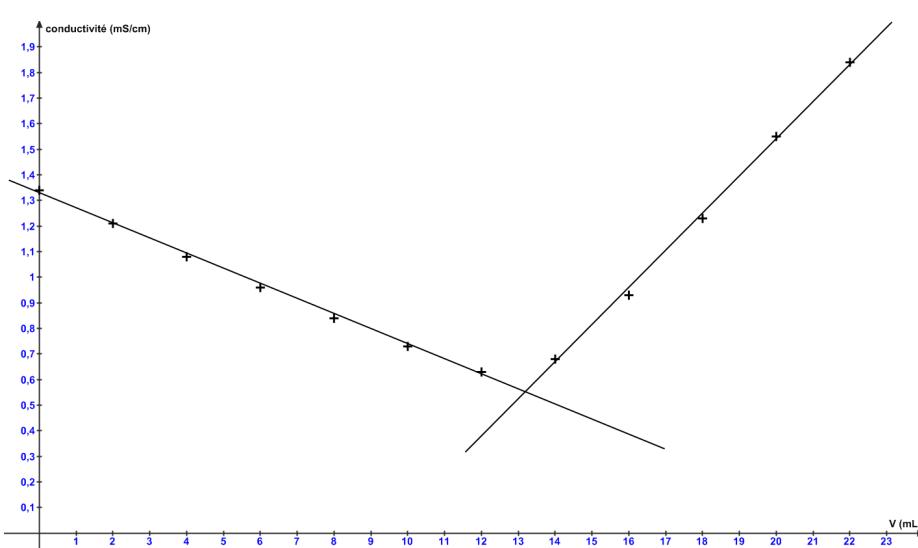


5. Immerger la sonde dans la solution et la maintenir en place avec une pince. Si la sonde n'est pas totalement immergée, ajouter de l'eau distillée (ceci ne changera pas la valeur du volume équivalent puisque celui-ci dépend de la quantité d'ions à doser). Supprimer toute bulle d'air éventuellement présente au niveau de la sonde. Mettre en marche une agitation modérée, en prenant soin que l'agitateur ne touche pas la sonde.



3. Rincer la burette avec la solution titrante. Chasser la bulle d'air sous le robinet et ajuster le zéro.

7. Représenter graphiquement l'évolution $\sigma = f(V)$ (ou $G = f(V)$). La représentation graphique est constituée de deux segments de droite. Leur intersection permet de déterminer l'équivalence E et de déduire graphiquement le volume équivalent V_E (abscisse du point d'intersection des deux segments).



8. Calcul de la concentration de la solution à titrer.

A l'équivalence, les deux réactifs ont disparu:

donc

$$C_a \cdot V_a - a x_E = 0$$

$$C_b \cdot V_b - b x_E = 0$$

$$\frac{C_a \cdot V_a}{a} = \frac{C_b \cdot V_b}{b}$$

soit

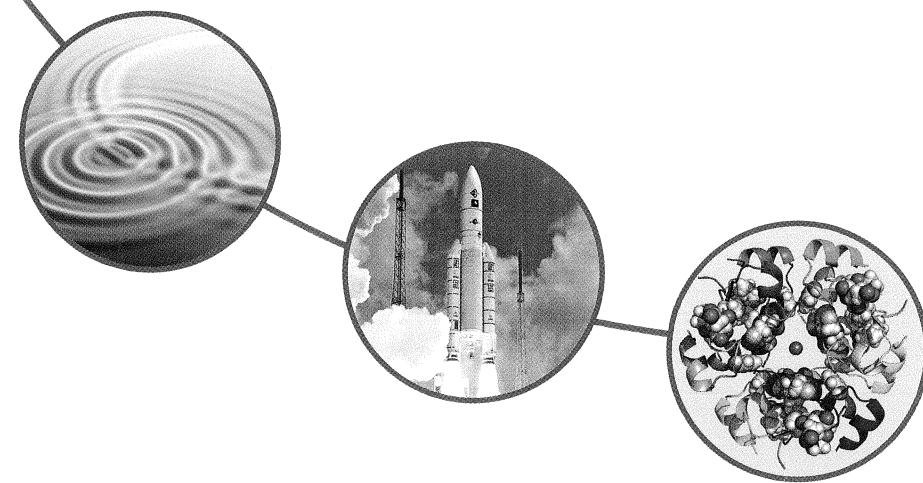
$$\frac{n_a}{a} = \frac{n_b}{b}$$

PRÉREQUIS / RÉVISIONS

Nouveau programme

Physique Chimie

Enseignement spécifique



hachette
ÉDUCATION
Les enseignants sont nos auteurs

Les notions vues au Collège, en Seconde et en Première S

Phénomène périodique, période et fréquence

► Un **phénomène périodique** se reproduit identique à lui-même à intervalles de temps égaux.

► La **période** T est la plus petite durée au bout de laquelle un phénomène périodique se répète.

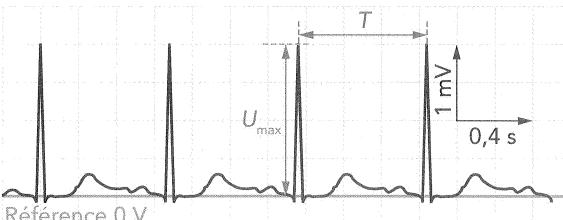
► La **fréquence** f est le nombre de répétitions d'un phénomène périodique par unité de temps.

La fréquence et la période sont liées par la relation $f = \frac{1}{T}$, avec T en seconde (s) et f en hertz (Hz).

► La **tension maximale** U_{\max} d'un signal est l'écart entre la valeur maximale de ce signal et la valeur référence.

U_{\max} s'exprime en volt (V).

► Un oscilloscope ou un système d'acquisition permet de visualiser l'évolution d'une tension au cours du temps.



Sur l'exemple ci-dessus :

$$U_{\max} = 2,0 \text{ div} \times 1 \text{ mV/div} = 2,0 \text{ mV}$$

$$\text{et } T = 1,7 \text{ div} \times 0,40 \text{ s/div} = 0,68 \text{ s},$$

$$\text{soit } f = \frac{1}{0,68} = 1,5 \text{ Hz.}$$

Ondes sonores et ultrasonores

► Les ondes sonores et ultrasonores ont besoin d'un **milieu matériel** pour se propager.

Dans l'air, elles se propagent à une vitesse dont la valeur est de l'ordre de $340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

► Les sons audibles ont des fréquences comprises entre 20 Hz et 20 kHz environ. Ils sont limités par les **infrasons** ($f < 20 \text{ Hz}$) et par les **ultrasons** ($f > 20 \text{ kHz}$).

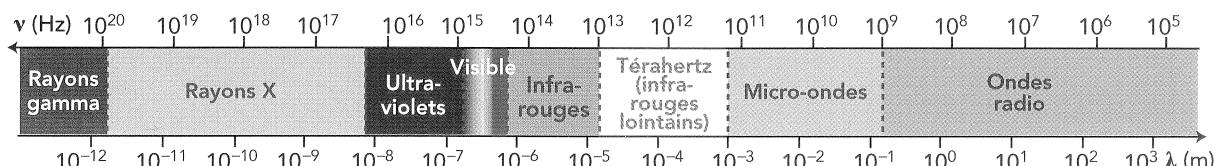
Lumière et ondes électromagnétiques

► Le **spectre des ondes électromagnétiques** est découpé en divers domaines.

► Une **radiation lumineuse** est caractérisée par sa fréquence ou par sa longueur d'onde dans le vide.

La fréquence d'une onde électromagnétique est souvent notée v (nu).

► La longueur d'onde dans le vide λ et la fréquence v d'une onde électromagnétique sont liées par la relation $\lambda = \frac{c}{v}$. λ s'exprime en mètre (m) et v en hertz (Hz); c est la vitesse de la lumière dans le vide : $c \approx 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

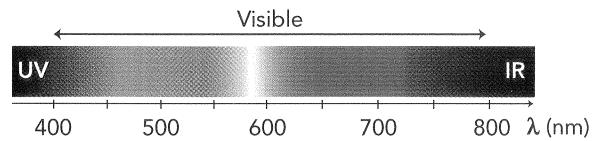


► Longueurs d'onde dans le vide et fréquences des radiations visibles ou invisibles.

► La lumière émise par un laser est **monochromatique**, elle ne contient qu'une radiation.

La lumière émise par une source chaude comme une lampe à incandescence est **polychromatique**, elle contient plusieurs radiations.

► Dans le vide ou dans l'air, les radiations visibles ont des longueurs d'onde comprises entre 400 nm et 800 nm environ. Elles sont limitées par les **ultraviolets** ($\lambda < 400 \text{ nm}$) et par les **infrarouges** ($\lambda > 800 \text{ nm}$).



► Longueurs d'onde dans le vide et dans l'air des radiations visibles.

► L'énergie de la lumière est transportée par des **photons**. Dans une radiation de longueur d'onde dans le vide λ , chaque photon transporte un **quantum d'énergie** $E = h \cdot v = \frac{h \cdot c}{\lambda}$.

E s'exprime en joule (J), λ en mètre (m) et v en hertz (Hz); h est la constante de Planck : $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$.

Particules élémentaires

► Tout édifice est constitué d'atomes, de molécules ou d'ions.

Ces entités sont elles-mêmes formées à partir de particules plus petites, dites élémentaires.

Particule	Localisation dans l'atome	Charge	Masse
Proton	Dans le noyau des atomes.	$+e = +1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$	$1,673 \times 10^{-27} \text{ kg}$, soit environ 10^{-27} kg
Neutron	Dans le noyau des atomes.	0	$1,675 \times 10^{-27} \text{ kg}$, soit environ 10^{-27} kg
Électron	Dans l'atome, autour du noyau.	$-e = -1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$	$9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$, soit environ 10^{-30} kg négligeable par rapport à celle d'un nucléon.

► La charge élémentaire est notée e et vaut $e = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$.

La charge électrique q d'un noyau atomique, d'un ion ou d'un objet chargé peut s'exprimer en fonction de la charge élémentaire e : $q = n \cdot e$, avec n un nombre entier.

Radioactivité et réactions nucléaires

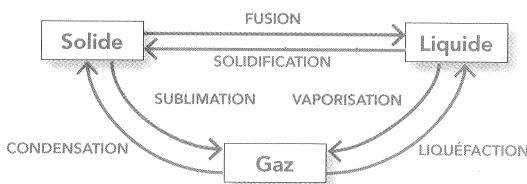
► Lors d'une désintégration radioactive, un noyau père se désintègre spontanément en émettant un noyau fils, une particule et des rayonnements gamma (γ).

► L'activité d'un échantillon radioactif est le nombre de noyaux qui se désintègrent par seconde. Elle s'exprime en becquerel (Bq) : $1 \text{ Bq} = 1 \text{ désintégration} \cdot \text{s}^{-1}$.

Transformations physiques

► Un corps pur peut exister sous trois états physiques : **solide, liquide et gazeux**.

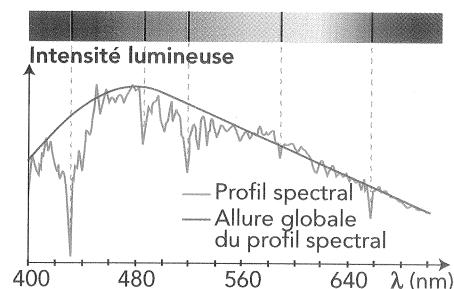
► Le passage d'un état physique à un autre, ou **changement d'état**, est une **transformation physique**.



Spectre et profil spectral de la lumière venant d'une étoile

► Le spectre de la lumière venant d'une étoile comporte des raies noires qui correspondent à des **minima d'intensité lumineuse** sur le profil spectral de cette étoile. Les radiations correspondantes sont absorbées lors de leur parcours entre l'étoile et la Terre.

► L'étude du spectre ou du profil spectral de la lumière d'une étoile permet d'identifier des entités chimiques de son atmosphère à partir des longueurs d'onde dans le vide des radiations absorbées qui sont caractéristiques de chaque entité.



► Spectre et profil spectral de la lumière venant d'une étoile.

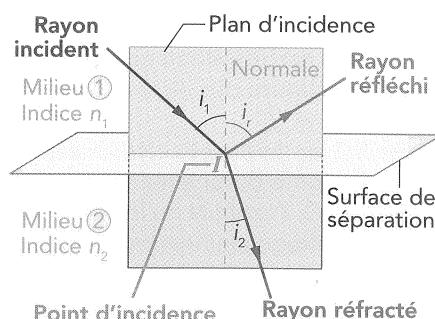
Réflexion et réfraction

► La lumière peut être réfléchie lorsqu'elle rencontre un obstacle : c'est le **phénomène de réflexion**.

Le rayon incident et le rayon réfléchi appartiennent au **plan d'incidence**. Les directions des rayons sont telles que $i_1 = i_r$.

► La lumière peut être déviée lorsqu'elle change de milieu de propagation : c'est le **phénomène de réfraction**.

Le rayon incident et le rayon réfracté appartiennent au **plan d'incidence**. Les directions des rayons sont telles que $n_1 \cdot \sin i_1 = n_2 \cdot \sin i_2$. n_1 et n_2 sont respectivement les indices de réfraction des milieux ① et ②.

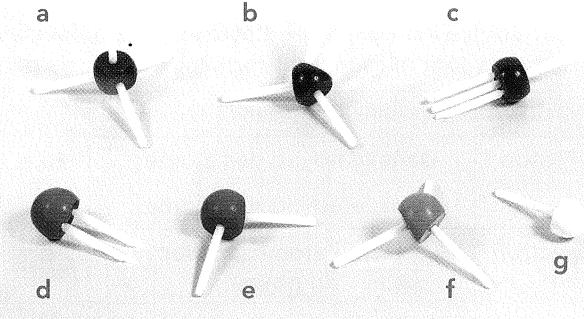


Révisions

Carbone, oxygène, azote et hydrogène

► Dans les composés organiques, pour satisfaire la **règle de l'octet** :

- chaque atome de **carbone** participe à quatre liaisons covalentes; il peut être **tétragonal** (a), **trigonal** (b) ou **diagonal** (c);
- chaque atome d'**oxygène** participe à deux liaisons covalentes en s'engageant dans **une liaison double** (d) ou **deux liaisons simples** (e);
- chaque atome d'**azote** participe à trois liaisons covalentes (f).



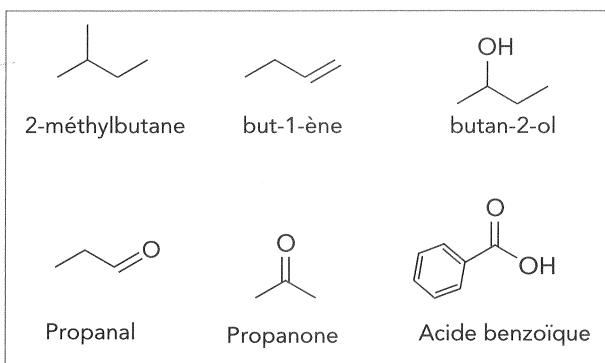
► Pour satisfaire la **règle du duet**, un atome d'**hydrogène** participe à une liaison covalente (g).

Écriture topologique des molécules

► La **chaîne carbonée** disposée en zig-zag est représentée par une ligne brisée portant éventuellement des ramifications.

► Par convention, un atome de carbone se trouve à chaque sommet de cette ligne brisée et porte autant d'atomes d'**hydrogène** que nécessaire pour respecter la règle de l'octet.

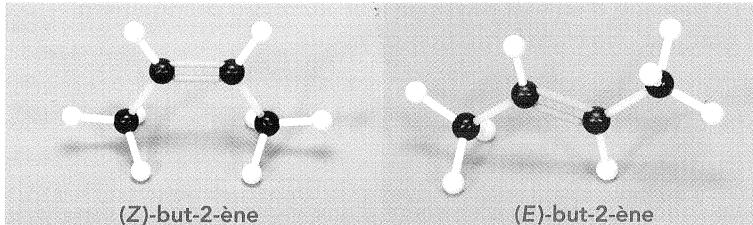
► Les atomes, autres que C et H, sont figurés par leur symbole, ainsi que les atomes d'**hydrogène** qu'ils portent.



Isomérie Z/E, liaisons conjuguées, couleur

► Un composé de formule $\text{HAC}=\text{CBH}$, où A et B ne sont pas des atomes d'**hydrogène**, présente **deux isomères** notés **Z** et **E**.

► Des **doubles liaisons** séparées par une seule liaison simple sont dites **conjuguées**. Les molécules d'espèces organiques colorées présentent souvent de nombreuses liaisons conjuguées.



► La couleur d'une solution résulte de la superposition des radiations non absorbées de la lumière blanche.

Alcools, aldéhydes, cétones et acides carboxyliques, liaison hydrogène

► Un **alcool** est un composé oxygéné qui contient un **groupe hydroxyle** $-\text{OH}$ lié à un atome de carbone tétragonal.

► Les **aldéhydes** et les **cétones** sont des composés oxygénés qui contiennent le **groupe carbonyle** $\text{C}=\text{O}$ directement lié à des atomes de carbone ou d'**hydrogène**. C'est un aldéhyde, si l'atome de carbone est lié à au moins un atome d'**hydrogène**; c'est une cétonne dans le cas contraire.



► Un **acide carboxylique** est un composé oxygéné qui contient le **groupe carboxyle** $-\text{C}-\text{OH}$

La **nomenclature** des alcanes, des alcools, des aldéhydes, des cétones et des acides carboxyliques est rappelée dans le **rabat V**.

► Une **liaison hydrogène** se forme lorsqu'un atome d'**hydrogène** lié à un atome A, très électronégatif, interagit avec un atome B, lui aussi très électronégatif et porteur d'un doublet non liant. A et B peuvent être le fluor F, l'**oxygène** O, l'**azote** N ou le chlore Cl. Les molécules d'**alcools** et d'**acides carboxyliques** peuvent participer à des liaisons hydrogène.

Rendement d'une synthèse

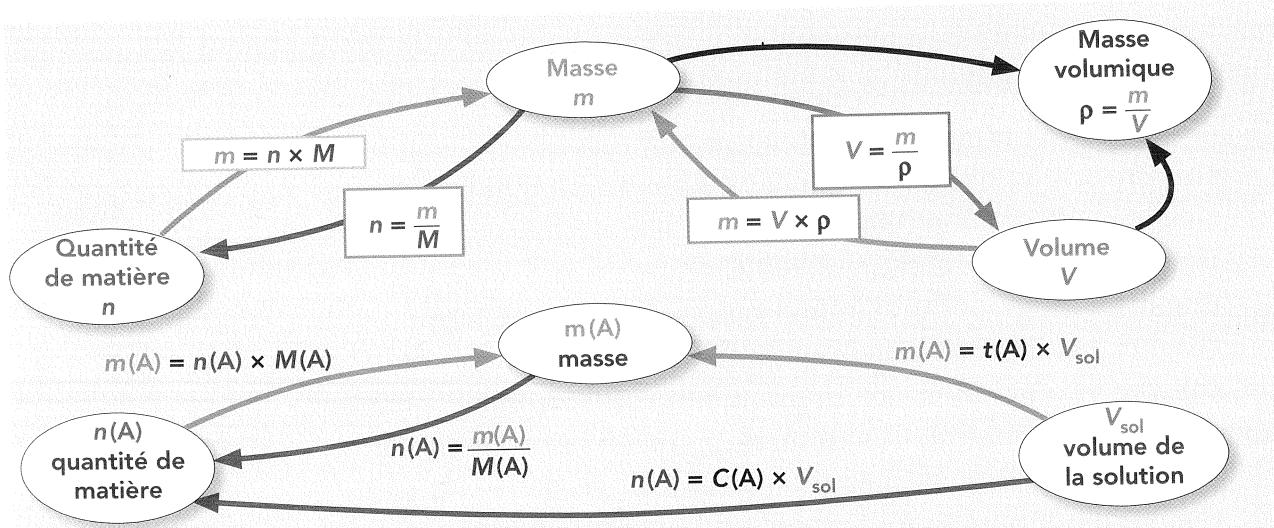
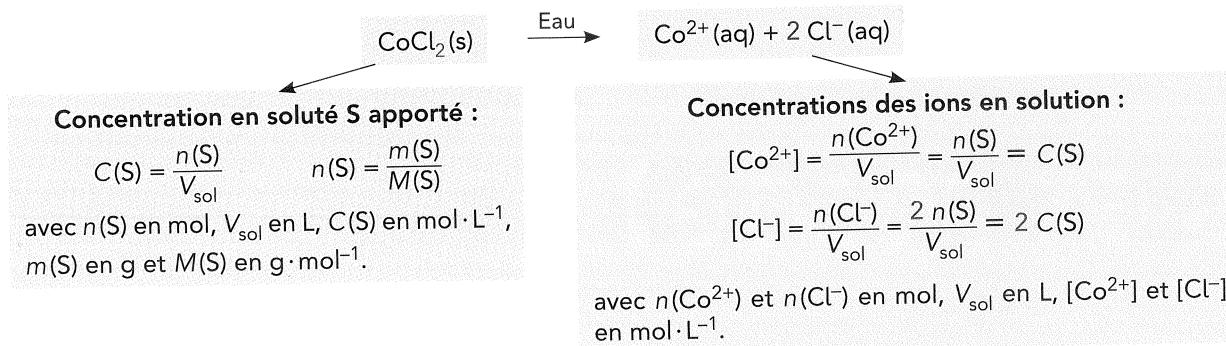
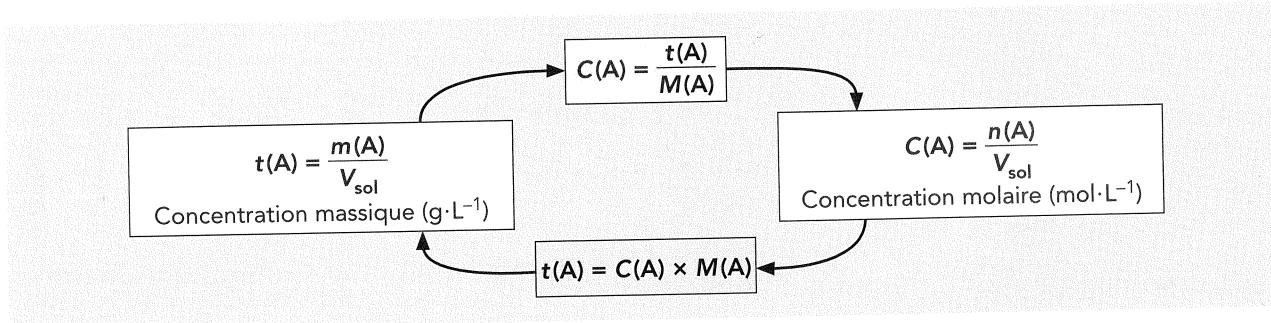
► Le **rendement** d'une synthèse, noté ρ , est égal au quotient de la quantité de produit obtenu, n_{exp} , par la quantité maximale de produit attendu, n_{max} :
$$\rho = \frac{n_{\text{exp}}}{n_{\text{max}}}.$$

Révisions

Les notions vues au Collège, en Seconde et en Première S

Solution, quantité de matière, concentration

- La dissolution complète d'un **soluté** dans un liquide, appelé **solvant**, donne un mélange homogène appelé **solution**. Si le solvant est l'**eau**, on obtient une **solution aqueuse**.
- Pour préparer une solution de concentration déterminée, on peut soit **dissoudre un solide**, soit **diluer une solution-mère** (voir **fiches n°s 8 et 9**, p. 591 et 592).
- La **concentration massique** (ou teneur massique) $t(A)$ d'une espèce chimique A est la masse de cette espèce chimique dissoute dans un litre de solution. La **concentration molaire** $C(A)$ d'une espèce chimique A est la quantité de cette espèce chimique A dissoute dans un litre de solution.



Électronégativité, polarité d'une liaison

L'**électronégativité** de l'atome A traduit son aptitude à attirer vers lui le doublet d'électrons qui le lie à l'atome B dans une liaison covalente.

Une liaison entre deux atomes A et B est **polarisée** si ces deux atomes ont des électronégativités différentes.

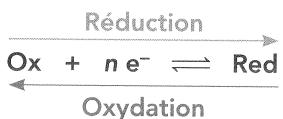
Évolution d'un système chimique – Tableau d'avancement

► L'évolution d'un système chimique est décrit depuis son état initial, par l'avancement, noté x et exprimé en mol. Le tableau d'avancement d'un système chimique se présente sous la forme suivante :

Équation chimique		2 Al(s)	+	6 H ⁺ (aq)	→	2 Al ³⁺ (aq)	+	3 H ₂ (g)
État du système	Avancement (mol)	$n(\text{Al})$		$n(\text{H}^+)$		$n(\text{Al}^{3+})$		$n(\text{H}_2)$
État initial	$x = 0$	$n_0(\text{Al})$		$n_0(\text{H}^+)$		0		0
État intermédiaire	x	$n_0(\text{Al}) - 2x$		$n_0(\text{H}^+) - 6x$		$+ 2x$		$+ 3x$
État final	x_{max}	$n_0(\text{Al}) - 2x_{\text{max}}$		$n_0(\text{H}^+) - 6x_{\text{max}}$		$+ 2x_{\text{max}}$		$+ 3x_{\text{max}}$

Réaction d'oxydoréduction

- Un **réducteur** est une espèce chimique capable de céder un ou plusieurs électrons.
- Un **oxydant** est une espèce chimique capable de capter un ou plusieurs électrons. Deux espèces Ox et Red sont appelées **conjuguées** et forment un **couple oxydant/réducteur**, noté Ox/Red, si elles peuvent être reliées par une demi-équation d'oxydoréduction :



Établir une demi-équation redox

1. Débuter l'écriture de la demi-équation redox par l'oxydant qui doit gagner un ou plusieurs électrons pour être réduit en son réducteur conjugué : $\text{Ox} + n \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Red}$
2. Assurer, ou vérifier, la conservation des éléments autres que hydrogène et oxygène.
3. Assurer la conservation de l'élément oxygène avec des molécules d'eau H₂O (molécules constituant le solvant) : H₂O (ℓ).
4. Assurer la conservation de l'élément hydrogène avec des ions hydrogène H⁺(aq).
5. Assurer la conservation de la charge avec des électrons.

Étude d'un mouvement

Dans un référentiel donné, le système étudié est un point mobile noté M :

- la trajectoire de M est l'ensemble des positions occupées par M au cours de son mouvement;
- la valeur moyenne v de la vitesse de M est le rapport de la distance parcourue d par la durée Δt du parcours :

$$v = \frac{d}{\Delta t};$$

- les caractéristiques du mouvement de M dépendent de la forme de sa trajectoire et de l'évolution de sa vitesse.

Modélisation d'une action mécanique

- Les actions mécaniques exercées sur un système sont toutes les **actions** exercées par l'extérieur sur le système. Elles peuvent être **de contact** ou **à distance**.
- Une action mécanique peut être modélisée par une force caractérisée par **une direction, un sens, une valeur** qui s'exprime en newton (N). Sur un schéma, une **force** est représentée par un **vecteur**.
- Le **point d'application** d'une force est le point où l'on considère que s'exerce la force.

Principe d'inertie

- Un corps est **immobile** ou en **mouvement rectiligne uniforme** si, et seulement si, les forces qui s'exercent sur lui se compensent (corps pseudo-isolé), ou s'il n'est soumis à aucune force (corps isolé). Ce principe ne s'applique que dans certains référentiels, appelés galiléens (voir p. 140).
- Le mouvement d'un système est modifié lorsque les forces qui s'exercent sur lui ne se compensent pas.

Révisions

Interaction gravitationnelle

- Deux corps A et B, de masses m_A et m_B uniformément réparties autour de leurs centres séparés d'une distance d , exercent l'un sur l'autre des forces **d'attraction gravitationnelle** dont la valeur est donnée par la relation ci-contre.

$$F_{A/B} = F_{B/A} = G \frac{m_A \cdot m_B}{d^2}$$

F en newton (N) m_A et m_B en kilogramme (kg)
 d en mètre (m)
 $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$
 (constante universelle de gravitation)

Champs et forces

- Un corps de masse m placé dans une région de l'espace où règne un champ de pesanteur \vec{g} est soumis à une force $\vec{P} = m \cdot \vec{g}$ appelée le **poids**.
- Une particule de charge q placée dans une région de l'espace où règne un champ électrostatique \vec{E} est soumise à une force $\vec{F} = q \cdot \vec{E}$.

Énergies

- L'énergie cinétique \mathcal{E}_c d'un solide en translation est l'énergie qu'il possède du fait de son mouvement. Elle est définie par la relation ci-contre.

$$\mathcal{E}_c = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

joule (J) kilogramme (kg) v en mètre par seconde ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

- L'énergie potentielle de pesanteur \mathcal{E}_p d'un solide est l'énergie qu'il possède du fait de sa position par rapport à la référence choisie ($\mathcal{E}_{p_0} = 0$ quand $z = 0$), l'axe vertical (Oz) étant orienté vers le haut. Elle est définie par la relation ci-contre.

$$\mathcal{E}_p = m \cdot g \cdot z$$

joule (J) kilogramme (kg) mètre (m)
 $g \approx 9,8 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$ (intensité de la pesanteur à la surface de la Terre)

- L'énergie mécanique \mathcal{E}_m d'un solide est $\mathcal{E}_m = \mathcal{E}_c + \mathcal{E}_p$.

- L'énergie d'un système isolé se conserve : elle peut être transférée d'une partie du système à un autre et/ou transformée d'une forme en une autre.
 ► Entre des corps en contact à des températures différentes, il y a échange d'énergie par transfert thermique.

Puissance et énergie

- L'énergie \mathcal{E} consommée ou produite par un appareil de puissance \mathcal{P} est liée à sa durée de fonctionnement Δt par la relation ci-contre.

$$\mathcal{E} = \mathcal{P} \cdot \Delta t$$

joule (J) kilowatt-heure ($\text{kW} \cdot \text{h}$) watt (W)
 kilowatt (kW) seconde (s)
 heure (h)

Onde électromagnétique et énergie

- L'énergie de la lumière est transportée par des **photons**. Dans une radiation de fréquence v de longueur d'onde dans le vide λ , chaque photon transporte un quantum d'énergie \mathcal{E} défini par la relation ci-contre.

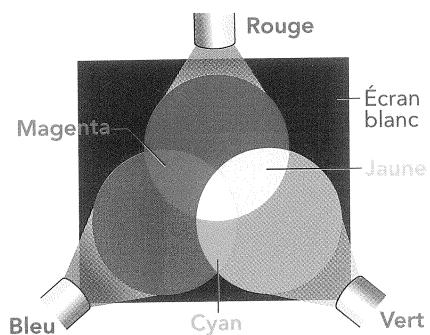
$$\mathcal{E} = h \cdot v = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

joule (J) hertz (Hz) mètre (m)
 $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
 (constante de Planck)
 $c \approx 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
 (valeur de la vitesse de la lumière dans le vide)

Les notions vues au Collège, en Seconde et en Première S

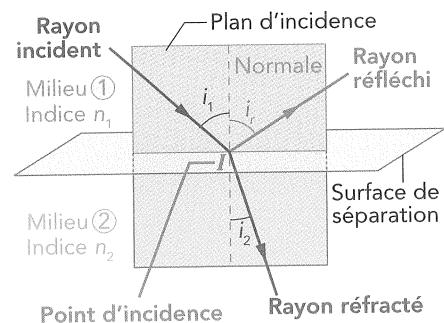
Synthèse additive de lumières colorées

- La synthèse additive est la superposition de lumières colorées. Le rouge, le vert et le bleu sont les **couleurs primaires** de la synthèse additive.
- Sur un écran plat, les couleurs de chaque pixel sont restituées par synthèse additive.



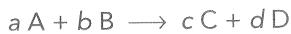
Réflexion et réfraction

- La lumière peut être réfléchie lorsqu'elle rencontre un obstacle, c'est le **phénomène de réflexion**. Le rayon incident et le rayon réfléchi appartiennent au plan d'incidence. Les directions des rayons sont telles que $i_1 = i_r$.
- La lumière peut être déviée lorsqu'elle change de milieu de propagation, c'est le **phénomène de réfraction**. Le rayon incident et le rayon réfracté appartiennent au plan d'incidence. Les directions des rayons sont telles que $n_1 \cdot \sin i_1 = n_2 \cdot \sin i_2$. n_1 et n_2 sont respectivement les indices de réfraction des milieux ① et ②.



Mélange stœchiométrique

- Un mélange est stœchiométrique si les quantités initiales des réactifs sont dans les proportions des nombres stœchiométriques des réactifs. Ainsi pour la réaction d'équation :



Un mélange initial tel que

$$\frac{n_0(A)}{a} = \frac{n_0(B)}{b}$$

est stœchiométrique.

Dissolution des composés ioniques ou moléculaires dans un solvant

- Un **composé ionique** est généralement **soluble** dans un **solvant polaire**, tel que l'eau, et quasiment **insoluble** dans un **solvant apolaire**.
- Généralement, un **composé polaire** est soluble dans un solvant polaire et un **composé apolaire** l'est dans un solvant apolaire.
- Des **interactions de Van der Waals**, auxquelles peuvent s'ajouter des **liaisons hydrogène**, sont à l'origine de la dissolution d'un composé moléculaire dans un solvant.

Voir aussi :

- Phénomène périodique, période et fréquence, p. 16.
- Lumière et ondes électromagnétiques, p 16.
- Rendement d'une synthèse, p. 18.
- Solution, quantité de matière, concentration, p. 126.

Utilisation des produits chimiques : consignes de sécurité

Le système européen de classification et d'étiquetage des produits chimiques, basé sur le Système Général Harmonisé (SGH), est entré en vigueur en décembre 2010.

L'étiquette du produit doit obligatoirement porter les indications suivantes :

- un ou plusieurs pictogrammes SGH de DANGER choisi(s) parmi les 9 pictogrammes du tableau ci-contre;
 - une mention d'avertissement en rouge :
- ATTENTION** pour les produits les moins agressifs et **DANGER** pour les produits les plus agressifs;
- une ou plusieurs mention(s) de danger. Chaque phrase correspond à un code formé par la lettre H suivie de 3 chiffres.

L'étiquette peut comporter aussi une mention additionnelle de danger dont le code est EUH suivi de 3 chiffres;

- un ou plusieurs conseil(s) de prudence pour manipuler le produit en toute sécurité. Chaque conseil correspond à un code formé par la lettre P suivie de 3 chiffres.

Exemples de mentions de danger :

H224 : Liquides et vapeurs extrêmement inflammables.

H302 : Nocif en cas d'ingestion.

H304 : Peut être mortel en cas d'ingestion et de pénétration dans les voies respiratoires.

H315 : Provoque une irritation cutanée.

H319 : Provoque une sévère irritation des yeux.

H336 : Peut provoquer somnolence et vertiges.

H350 : Peut provoquer le cancer.

H373 : Risque présumé d'effets graves pour les organes.

H410 : Très毒ique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme.

EUH014 : Réagit violemment au contact de l'eau.

EUH031 : Au contact d'un acide, dégage un gaz毒ique.

EUH059 : Dangereux pour la couche d'ozone.

Exemples de conseils de prudence :

P102 : Tenir hors de portée des enfants.

P210 : Tenir à l'écart de la chaleur / des étincelles / des flammes nues / des surfaces chaudes. Ne pas fumer.

P262 : Éviter tout contact avec les yeux, la peau ou les vêtements.

P273 : Éviter le rejet dans l'environnement.

P280 : Porter des gants de protection / des vêtements de protection / un équipement de protection des yeux / du visage.

P310 : Appeler immédiatement un CENTRE ANTIPOISON ou un médecin.

P351 : Rincer avec précaution à l'eau pendant plusieurs minutes.

P403 : Stocker dans un endroit bien ventilé.

@ Liste complète sur le site de l'UNECE annexe 3 :
http://www.unece.org/trans/danger/publi/ghs/ghs_rev02/02files_f.html

	SGH01		SGH02
DANGER D'EXPLOSION			
	SGH03		SGH04
PRODUITS COMBURANTS			GAZ SOUS PRESSION
	SGH05		SGH06
DANGER DE CORROSION			DANGER DE TOXICITÉ AIGUÈ
	SGH07		SGH08
DANGER SUR LA SANTÉ			DANGER POUR LA SANTÉ
	SGH09		
DANGER POUR L'ENVIRONNEMENT			



	MATIÈRES EXPLOSIVES (E)	Jusqu'en juin 2015, l'ancien système de classification et d'étiquetage des produits est toléré. Cet étiquetage associe un ou plusieurs pictogrammes avec des phrases de risque (notées R) et des conseils de sécurité (notés S).		
	MATIÈRES INFLAMMABLES (F)		MATIÈRES CORROSIVES (C)	
	MATIÈRES COMBURANTES (O)		DANGEREUX POUR LA SANTÉ (X)	

Grandeurs physiques et chimiques et leurs unités

Grandeur et son symbole	Unité et son symbole	Grandeur et son symbole	Unité et son symbole
longueur (ℓ)	mètre (m)	masse (m)	kilogramme (kg) ou gramme (g)
temps (t)	seconde (s)	volume (V)	mètre cube (m^3) ou litre (L)
vitesse (v)	mètre par seconde ($m \cdot s^{-1}$)	masse volumique (ρ)	kilogramme par mètre cube ($kg \cdot m^{-3}$) ou gramme par millilitre ($g \cdot mL^{-1}$)
fréquence (f)	hertz (Hz)	quantité de matière (n)	mole (mol)
force (F)	newton (N)	masse molaire (M)	kilogramme par mole ($kg \cdot mol^{-1}$) ou gramme par mole ($g \cdot mol^{-1}$)
pression (P)	pascal (Pa)	densité (d)	Pas d'unité
charge électrique (q)	coulomb (C)	concentration ou teneur massique de A ($t(A)$)	kilogramme par mètre cube ($kg \cdot m^{-3}$) ou gramme par litre ($g \cdot L^{-1}$)
température (θ ou T)	degré Celsius ($^\circ C$) ou kelvin (K)	concentration molaire de A ($C(A)$)	mole par mètre cube ($mol \cdot m^{-3}$) ou mole par litre ($mol \cdot L^{-1}$)

En rouge, les unités du système international (unités S.I.).
En bleu, les unités généralement utilisées au laboratoire.

Constantes fondamentales

Grandeur	Symbol	Valeur approchée
Vitesse de la lumière dans le vide et dans l'air	c	$3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
Constante universelle de gravitation	G	$6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$
Constante d'Avogadro	N_A	$6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
Charge élémentaire	e	$1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$
Masse de l'électron	m_e	$9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$
Masse du proton	m_p	$1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$
Masse du neutron	m_n	$1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$

Puissances de dix et conversions d'unités

10^n	10^{-15}	10^{-12}	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	10	10^2	10^3	10^6	10^9	10^{12}	10^{15}
Abréviation	f	p	n	μ	m	c	d	da	h	k	M	G	T	P
Préfixe	femto	pico	nano	micro	milli	centi	déci	déca	hecto	kilo	méga	giga	tera	péta

$$89,5 \mu\text{L} = 89,5 \times 10^{-6} \text{ L} = 89,5 \times 10^{-3} \text{ mL}$$

$$3,47 \text{ L} = 3,47 \times 10^3 \text{ mL} = 3,47 \times 10^6 \mu\text{L}$$

$$15,2 \text{ pm} = 15,2 \times 10^{-12} \text{ m} = 15,2 \times 10^{-9} \text{ mm}$$

$$6,3 \text{ MHz} = 6,3 \times 10^6 \text{ Hz} = 6,3 \times 10^3 \text{ kHz.}$$

Classification périodique

2. Numéro de la colonne

Masse molaire atomique en g·mol⁻¹

H	2,2	Hydrogène
Li	9,0	Béryllium
Be	4 1,5	Béryllium

18

He	4,0	Hélium
Ne	20,2	Néon
F	19,0	Fluor
O	16,0	Oxygène
S	32,1	Soufre
Cl	35,5	Chlore
Ar	39,9	Argon
P	31,0	Phosphore
Si	28,1	Silicium
Al	27,0	Aluminium
B	10,8	Carbone
C	12,0	Bore
N	14,0	Azote
Oxygen	16,0	
S	32,1	
Cl	35,5	
Ar	39,9	
Kr	83,8	
Br	79,9	
Se	79,0	
As	74,9	
Ge	69,7	
Ga	69,7	
Cu	63,5	
Ni	58,7	
Fe	55,8	
Mn	52,0	
Cr	50,9	
V	50,9	
Ti	47,9	
Sc	45,0	
Ca	40,1	
K	39,1	
Na	23,0	
Mg	12,12	
Al	11,0,9	
Si	11,0,9	
Ca	20,1,0	
Sc	21,1,3	
Ti	22,1,5	
V	23,1,6	
Cr	24,1,6	
Mn	25,1,5	
Fe	26,1,8	
Co	27,1,8	
Ni	28,1,8	
Cu	29,1,9	
Zn	30,1,6	
Niobium	65,4	
Cobalt	63,5	
Nickel	62,5	
Argent	61,5	
Rhodium	60,5	
Ruthénium	59,5	
Tungstène	58,5	
Rhenium	57,5	
Platine	56,5	
Or	55,5	
Thallium	54,5	
Antimoine	53,5	
Indium	52,5	
Galium	51,5	
In	50,5	
Sb	51,5	
Te	52,5	
Sn	53,5	
Ge	54,5	
As	55,5	
Se	56,5	
Br	57,5	
Kr	58,5	
Te	59,5	
Bi	60,5	
Po	61,5	
Rh	62,5	
At	63,5	
Xe	64,5	
Iode	65,5	
Pb	66,5	
Bi	67,5	
Po	68,5	
Rh	69,5	
At	70,5	
Xe	71,5	
Rn	72,5	
Atome	73,5	
Potassium	39,1	
Sodium	23,0	
Magnésium	24,3	
Lithium	6,9	
Hydrogène	1,0	
Be	1,5	
Li	1,0	
Be	1,5	
Ca	20,1,0	
Sc	21,1,3	
Ti	22,1,5	
V	23,1,6	
Cr	24,1,6	
Mn	25,1,5	
Fe	26,1,8	
Co	27,1,8	
Ni	28,1,8	
Cu	29,1,9	
Zn	30,1,6	
Niobium	65,4	
Cobalt	63,5	
Nickel	62,5	
Argent	61,5	
Rhodium	60,5	
Ruthénium	59,5	
Tungstène	58,5	
Rhenium	57,5	
Platine	56,5	
Or	55,5	
Thallium	54,5	
Antimoine	53,5	
Indium	52,5	
Galium	51,5	
In	50,5	
Sb	51,5	
Te	52,5	
Sn	53,5	
Ge	54,5	
As	55,5	
Se	56,5	
Br	57,5	
Kr	58,5	
Te	59,5	
Bi	60,5	
Po	61,5	
Rh	62,5	
At	63,5	
Xe	64,5	
Iode	65,5	
Pb	66,5	
Bi	67,5	
Po	68,5	
Rh	69,5	
At	70,5	
Xe	71,5	
Rn	72,5	
Atome	73,5	
Potassium	39,1	
Sodium	23,0	
Magnésium	24,3	
Lithium	6,9	
Hydrogène	1,0	
Be	1,5	
Li	1,0	
Be	1,5	
Ca	20,1,0	
Sc	21,1,3	
Ti	22,1,5	
V	23,1,6	
Cr	24,1,6	
Mn	25,1,5	
Fe	26,1,8	
Co	27,1,8	
Ni	28,1,8	
Cu	29,1,9	
Zn	30,1,6	
Niobium	65,4	
Cobalt	63,5	
Nickel	62,5	
Argent	61,5	
Rhodium	60,5	
Ruthénium	59,5	
Tungstène	58,5	
Rhenium	57,5	
Platine	56,5	
Or	55,5	
Thallium	54,5	
Antimoine	53,5	
Indium	52,5	
Galium	51,5	
In	50,5	
Sb	51,5	
Te	52,5	
Sn	53,5	
Ge	54,5	
As	55,5	
Se	56,5	
Br	57,5	
Kr	58,5	
Te	59,5	
Bi	60,5	
Po	61,5	
Rh	62,5	
At	63,5	
Xe	64,5	
Iode	65,5	
Pb	66,5	
Bi	67,5	
Po	68,5	
Rh	69,5	
At	70,5	
Xe	71,5	
Rn	72,5	
Atome	73,5	
Potassium	39,1	
Sodium	23,0	
Magnésium	24,3	
Lithium	6,9	
Hydrogène	1,0	
Be	1,5	
Li	1,0	
Be	1,5	
Ca	20,1,0	
Sc	21,1,3	
Ti	22,1,5	
V	23,1,6	
Cr	24,1,6	
Mn	25,1,5	
Fe	26,1,8	
Co	27,1,8	
Ni	28,1,8	
Cu	29,1,9	
Zn	30,1,6	
Niobium	65,4	
Cobalt	63,5	
Nickel	62,5	
Argent	61,5	
Rhodium	60,5	
Ruthénium	59,5	
Tungstène	58,5	
Rhenium	57,5	
Platine	56,5	
Or	55,5	
Thallium	54,5	
Antimoine	53,5	
Indium	52,5	
Galium	51,5	
In	50,5	
Sb	51,5	
Te	52,5	
Sn	53,5	
Ge	54,5	
As	55,5	
Se	56,5	
Br	57,5	
Kr	58,5	
Te	59,5	
Bi	60,5	
Po	61,5	
Rh	62,5	
At	63,5	
Xe	64,5	
Iode	65,5	
Pb	66,5	
Bi	67,5	
Po	68,5	
Rh	69,5	
At	70,5	
Xe	71,5	
Rn	72,5	
Atome	73,5	
Potassium	39,1	
Sodium	23,0	
Magnésium	24,3	
Lithium	6,9	
Hydrogène	1,0	
Be	1,5	
Li	1,0	
Be	1,5	
Ca	20,1,0	
Sc	21,1,3	
Ti	22,1,5	
V	23,1,6	
Cr	24,1,6	
Mn	25,1,5	
Fe	26,1,8	
Co	27,1,8	
Ni	28,1,8	
Cu	29,1,9	
Zn	30,1,6	
Niobium	65,4	
Cobalt	63,5	
Nickel	62,5	
Argent	61,5	
Rhodium	60,5	
Ruthénium	59,5	
Tungstène	58,5	
Rhenium	57,5	
Platine	56,5	
Or	55,5	
Thallium	54,5	
Antimoine	53,5	
Indium	52,5	
Galium	51,5	
In	50,5	
Sb	51,5	
Te	52,5	
Sn	53,5	
Ge	54,5	
As	55,5	
Se	56,5	
Br	57,5	
Kr	58,5	
Te	59,5	
Bi	60,5	
Po	61,5	
Rh	62,5	
At	63,5	
Xe	64,5	
Iode	65,5	
Pb	66,5	
Bi	67,5	
Po	68,5	
Rh	69,5	
At	70,5	
Xe	71,5	
Rn	72,5	
Atome	73,5	
Potassium	39,1	
Sodium	23,0	
Magnésium	24,3	
Lithium	6,9	
Hydrogène	1,0	
Be	1,5	
Li	1,0	
Be	1,5	
Ca	20,1,0	
Sc	21,1,3	
Ti	22,1,5	
V	23,1,6	
Cr	24,1,6	
Mn	25,1,5	
Fe	26,1,8	
Co	27,1,8	
Ni	28,1,8	
Cu	29,1,9	
Zn	30,1,6	
Niobium	65,4	
Cobalt	63,5	
Nickel	62,5	
Argent	61,5	
Rhodium	60,5	
Ruthénium	59,5	
Tungstène	58,5	
Rhenium	57,5	
Platine	56,5	
Or	55,5	
Thallium	54,5	
Antimoine	53,5	
Indium	52,5	
Galium	51,5	
In	50,5	
Sb	51,5	
Te	52,5	
Sn	53,5	
Ge	54,5	
As	55,5	
Se	56,5	
Br	57,5	
Kr	58,5	
Te	59,5	
Bi	60,5	
Po	61,5	
Rh	62,5	
At	63,5	
Xe	64,5	
Iode	65,5	
Pb	66,5	
Bi	67,5	
Po	68,5	
Rh	69,5	
At	70,5	
Xe	71,5	
Rn	72,5	
Atome	73,5	
Potassium	39,1	
Sodium	23,0	
Magnésium	24,3	
Lithium	6,9	
Hydrogène	1,0	
Be	1,5	
Li		