Première partie

semestre 1

Liste des chapitres du semestre 1

1 Lois de l'optique géométrique **3**
Exercice 1 : Doublage de fréquence . . . 3
Exercice 2 : Incidence de Brewster . . . 3
Exercice 3 : Hauteur d'un miroir . . . 3
Exercice 4 : Détection de pluie sur un pare-brise . . . 3
Exercice 5 : Déviation d'un rayon lumineux . . . 3
Exercice 6 : Distance apparente à travers un dioptre . . . 4
Exercice 7 : Réfractomètre de Pulfrich . . . 4
Exercice 8 : Demi-Boule de verre : . . . 4
2 Lentilles minces **5**
Exercice 1 : Construire l'objet . . . 5
Exercice 2 : En entier ! . . . 6
Exercice 3 : Distance entre objet et image . . . 6
Exercice 4 : Petit problème à résoudre . . . 6
Exercice 5 : Les malheurs de Sophie . . . 6
3 Systèmes optiques **7**
Exercice 1 : Pouvoir séparateur de l'œil . . . 7
Exercice 2 : Lunette de Galilée . . . 7
Exercice 3 : Étude d'un téléobjectif d'appareil photographique . . . 7
Exercice 4 : Lentilles de contact . . . 7
Exercice 5 : Distance hyperfocale . . . 8
Exercice 6 : Principe d'un viseur . . . 8
Exercice 7 : Distance hyperfocale . . . 8
Exercice 8 : Doublet de Huygens . . . 8
4 Molécules et solvants **9**
Exercice 1 : Déterminer le nombre d'électrons de valence d'un atome . . . 9
Exercice 2 : Moment dipolaire de liaison . . . 9
Exercice 3 : Établir la structure de Lewis d'une molécule ou d'un ion polyatomique . . . 9
Exercice 4 : Déterminer la polarité de molécules . . . 9
Exercice 5 : Expliquer les différences de températures de changement d'état . . . 10
Exercice 6 : Structure hypervalentes . . . 10
Exercice 7 : Expliquer les différences de miscibilité . . . 10
Exercice 8 : Éléments de la famille de l'azote : les pnictogènes . . . 10
Exercice 9 : Schéma de Lewis moins simples . . . 10
5 La réaction chimique **11**
Exercice 1 : Établir et utiliser un tableau d'avancement . . . 11
Exercice 2 : Chalumeau oxyacétylénique . . . 11
Exercice 3 : Synthèse de l'acide sulfurique . . . 11
Exercice 4 : Titrage des ions chlorure . . . 11
Exercice 5 : La fusée Ariane 5 . . . 12

Exercice 6 : Oxydation de l'ammoniac . . . 12
Exercice 7 : Titrage d'un engrais . . . 12
6 Cinétique chimique **13**
Exercice 1 : Utilisation de la dégénérescence de l'ordre . . . 13
Exercice 2 : Détermination des ordres globaux et partiels de la synthèse de la bromacétone . . . 13
Exercice 3 : Décomposition de l'ozone . . . 14
7 Équilibre chimique **15**
Exercice 1 : Expression d'un quotient réactionnel . . . 15
Exercice 2 : Sens d'évolution spontanée . . . 15
Exercice 3 : Formation du tétrafluorure d'uranium . . . 15
Exercice 4 : Réaction acide-base en solution aqueuse . . . 16
Exercice 5 : Synthèse de l'ammoniac . . . 16
8 Lois de l'électrocinétique **17**
Exercice 1 : Association de résistances . . . 17
Exercice 2 : Caractère récepteur ou générateur de dipôles inconnus . . . 17
Exercice 3 : Adaptation de puissance . . . 17
Exercice 4 : Ponts diviseurs . . . 18
Exercice 5 : Le pont de Wheatstone . . . 18
Exercice 6 : Double pont diviseur de tension . . . 18
Exercice 7 : Alimentation stabilisée . . . 18
9 Circuits linéaires du premier ordre **19**
Exercice 1 : Conditions initiales et régime permanent . . . 19
Exercice 2 : Étude d'un circuit à deux mailles . . . 19
Exercice 3 : Charge d'un condensateur . . . 19
Exercice 4 : Charge d'une bobine . . . 19
Exercice 5 : Décharge d'un condensateur dans un autre . . . 20
Exercice 6 : Lampe témoin . . . 20
10 Cinématique du point matériel **21**
Exercice 1 : Interpellation pour vitesse scessive . . . 21
Exercice 2 : Satellite géostationnaire . . . 21
Exercice 3 : Duel de Mercedes . . . 21
Exercice 4 : Course de voitures télécommandées . . . 22
Exercice 5 : Voyage Terre-Mars . . . 22
11 Dynamique du point matériel **23**
Exercice 1 : Avion humanitaire . . . 23
Exercice 2 : Balle immergée . . . 23
Exercice 3 : Viscosimètre à billes . . . 24
Exercice 4 : Tir d'un obus vers le zénith . . . 24

TD 1 : Lois de l'optique géométrique

Questions d'application directe

Q.1 Donner les relations existant entre la longueur d'onde dans le vide, la fréquence, et la célérité de la lumière. Donner les valeurs pour différentes couleurs.

Q.2 Présenter les différentes types de sources lumineuses.

Q.3 Construire graphiquement l'image d'un point objet par un miroir plan, et déterminer sa position en utilisant les lois de la réflexion.

Q.4 Établir la condition de réflexion totale. Attention, « la » condition est double : elle concerne à la fois les indices et l'angle d'incidence.

Q.5 Définir le cône d'acceptance d'une fibre optique à saut d'indice, et déterminer l'expression de l'ouverture numérique en fonction des indices optiques.

Q.6 Déterminer le débit maximal d'information que peut transmettre une fibre optique à saut d'indice de longueur L.

Exercices d'entraînement

Exercice 1 : Doublage de fréquence

Le rayon laser utilisé à l'observatoire du CERGA pour mesurer la distance Terre-Lune est obtenu par doublage de fréquence à partir d'un laser de longueur d'onde $\lambda_1 = 1{,}064\,\mu\text{m}$.

Q.1 Quelle est la longueur d'onde λ_2 de la lumière envoyée vers la Lune ? Quelle est sa couleur ?

Q.2 On envoie en fait des impulsions durant 0,1 ns. Calculer le nombre d'oscillations du signal lumineux dans une impulsion.

Exercice 2 : Incidence de Brewster

Un dioptre plan sépare l'air d'indice égal à $n_{air} = 1{,}00$ d'un autre milieu d'indice n. Un rayon lumineux arrive avec un angle d'incidence i sur ce dioptre.

Q.1 Exprimer en fonction de i et de l'angle de réfraction i' l'angle α formé par le rayon partiellement réfléchi avec le rayon réfracté.

Q.2 En déduire en fonction de n l'expression de l'angle d'incidence i_b tel que le rayon partiellement réfléchi soit perpendiculaire au rayon réfracté.

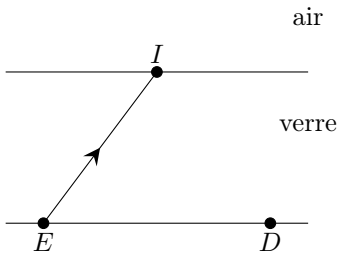
Exercice 3 : Hauteur d'un miroir

Un homme mesurant 1,80 m est situé à $d = 1\,\text{m}$ d'un miroir plan. La distance entre les yeux et le haut de son crâne vaut 10 cm. Le miroir a une hauteur H et son extrémité inférieure est située à une distance h du sol.

Q.1 Donner une ou des conditions sur h et H pour l'homme puisse se voir entièrement. S'il ne se voit pas en entier, faut-il qu'il se recule ou qu'il s'avance pour améliorer les choses ?

Exercice 4 : Détection de pluie sur un pare-brise

On modélise un pare-brise par une lame de verre à faces parallèles, d'épaisseur $e = 5\,\text{mm}$, d'indice $n_v = 1{,}5$. Un fin pinceau lumineux issu d'un émetteur situé en E arrive de l'intérieur du verre sur le dioptre verre/air en I avec un angle d'incidence $i = 60°$.

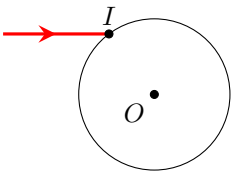


Q.1 Montrer que le flux lumineux revient intégralement sur le détecteur situé en D et déterminer la distance ED.

Q.2 Lorsqu'il pleut, une lame d'eau d'indice $n_e = 1{,}33$ et d'épaisseur $e' = 1\,\text{mm}$ se dépose sur le pare-brise. Représenter le rayon lumineux dans ce cas. À quelle distance du détecteur arrive-t-il ?

Exercice 5 : Déviation d'un rayon lumineux

On considère une goutte d'eau sphérique d'indice $n = 1{,}33$. Un rayon pénètre au point I dans la goutte avec un angle d'incidence i_1. Il se réfracte une nouvelle fois au point J où il émerge de la goutte. On définit D comme l'angle de déviation entre le rayon qui pénètre dans la goutte et le rayon qui émerge de la goutte.



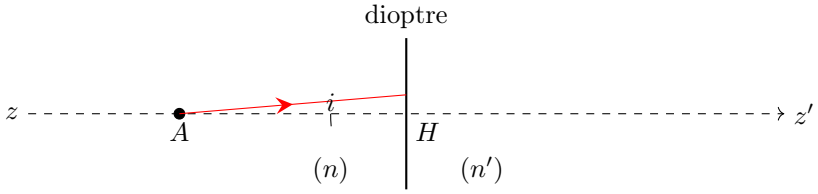
Q.1 Exprimer l'angle de réfraction r_1 à l'intérieur de la goutte en fonction de n et i_1.

Q.2 Donner la relation entre l'angle d'incidence i_2 en J et l'angle de réfraction r_1 en I.

Q.3 Exprimer puis calculer D pour $i_1 = -45°$.

Exercice 6 : Distance apparente à travers un dioptre

On considère un dioptre plan séparant deux milieux transparents d'indices respectifs $n > n'$. Soit A un point situé sur l'axe (zz') normal au dioptre. On note i l'angle incident et i' l'angle réfracté.



Q.1 Construire A' image de A par le dioptre. Prolonger le rayon réfracté jusqu'à l'intersection avec l'axe (zz') qu'on appellera A'. Le dioptre est-il stigmatique ?

Q.2 Déterminer une relation entre AH, $A'H$, i et i', puis entre AH, $A'H$, n et n' en se plaçant dans la limite des petits angles.

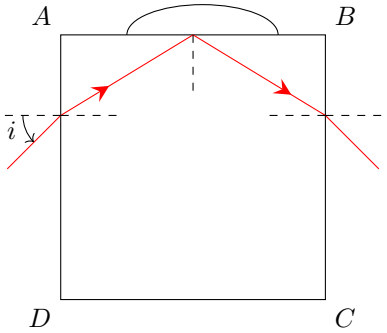
On considère un poisson dans un aquarium à une distance de 5 cm de la vitre, épaisse de 8 mm. On donne $n_{\text{eau}} = 1,33$, $n_{\text{verre}} = 1,50$ et $n_{\text{air}} = 1,00$.

Q.3 Donner la position de l'image du poisson vue par un chat situé face à la vitre.

Pour approfondir

Exercice 7 : Réfractomètre de Pulfrich

On veut mesurer l'indice de réfraction n d'un liquide. On dépose une goutte de ce liquide sur un cube de verre transparent d'indice $N = 1{,}50$. On éclaire ce cube par un faisceau lumineux d'incidence i variable sur la face d'entrée AD. On mesure la valeur de l'angle limite d'incidence i_l pour lequelle la goutte apparaît lumineuse.



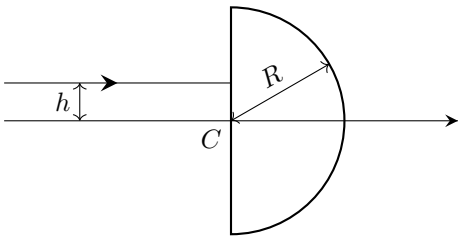
Q.1 Justifier pourquoi pour $i \geqslant i_l$, la goutte est si lumineuse.

Q.2 Déterminer alors l'indice de réfraction n en fonction de N et i_l.

Q.3 Montrer que ce réfractomètre mesure des indices n compris entre deux valeurs à déterminer.

Exercice 8 : Demi-Boule de verre :

On considère une demi-boule de verre de centre C et de rayon, d'indice n. On éclaire cette boule par un faisceau de rayons lumineux parallèle à cet axe. On observe les rayons transmis par le dispositif.



Q.1 Reproduire et légender le schéma ci-dessus.

Q.2 On considère un rayon lumineux proche de l'axe. Dessiner la marche de ce rayon lumineux. On définit le point F' comme l'intersection entre le rayon émergeant de la demi-boule et l'axe de la demi-boule. A quelle distance de C se trouve-t-il ?

Q.3 Montrer que si $h \ll R$ la position de F' est indépendante de h.

Q.4 On considère un rayon lumineux éloigné de l'axe. Quel phénomène observe-t-on ?

Q.5 En déduire la distance à l'axe à partir de laquelle un rayon incident ne sera pas observé par un observateur placé de l'autre côté du dispositif ?

TD 2 : Lentilles minces

Questions d'application directe

Q.1 Définir le stigmatisme et l'aplanétisme. Énoncer les conditions de Gauss et expliquer pourquoi celui-ci permet d'obtenir un stigmatisme approcher.

Q.2 Construire l'image à travers une lentille convergente ou divergente d'un objet situé à une position quelconque (réel, virtuel, à l'infini). Donner la nature de l'image.

Q.3 Définir le grandissement puis établir les relations de conjugaison.

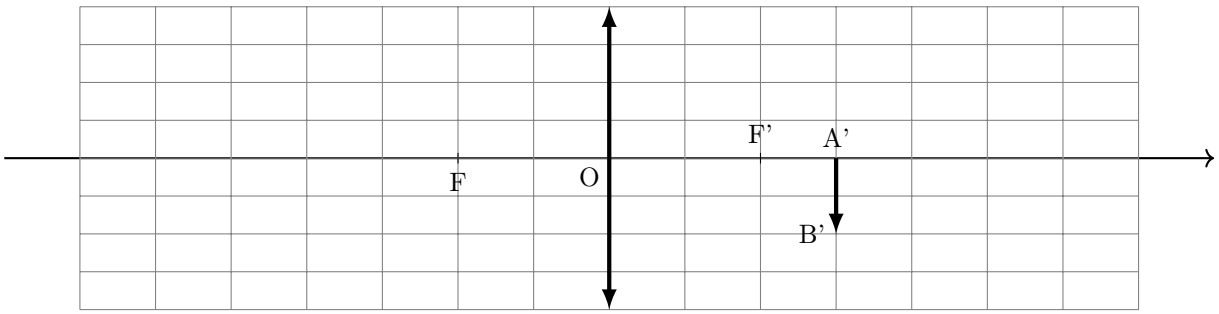
Q.4 Établir la condition de projection par une lentille de focale f' d'un objet A situé à une distance D d'un écran.

Exercices d'entraînement

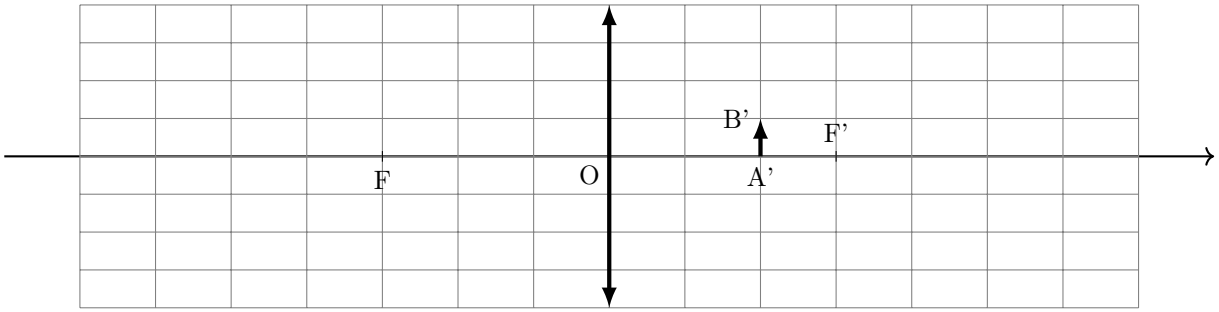
Exercice 1 : Construire l'objet

Reproduire sur votre feuille et réaliser les constructions demandées pour déterminer la position et la nature de l'objet AB.

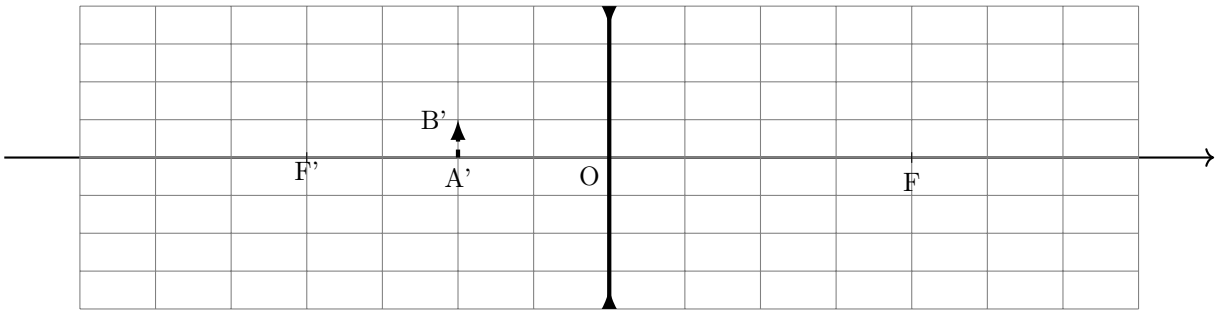
Q.1



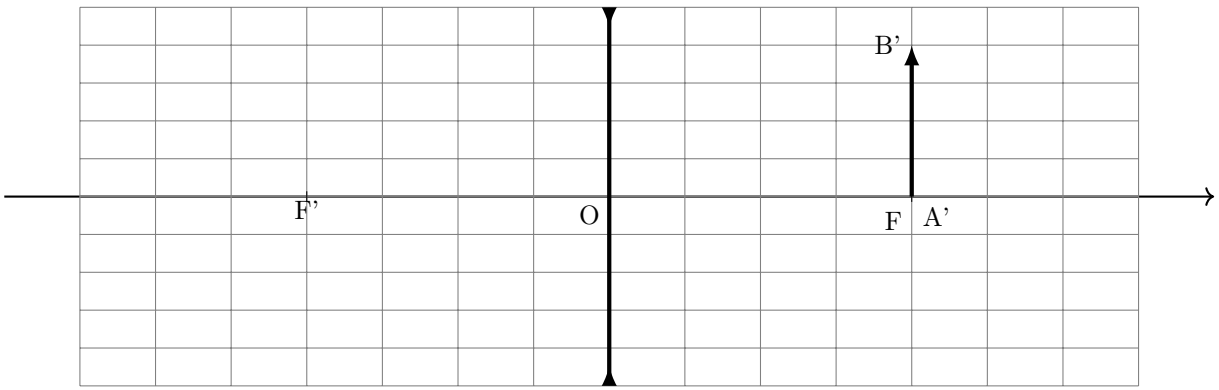
Q.2



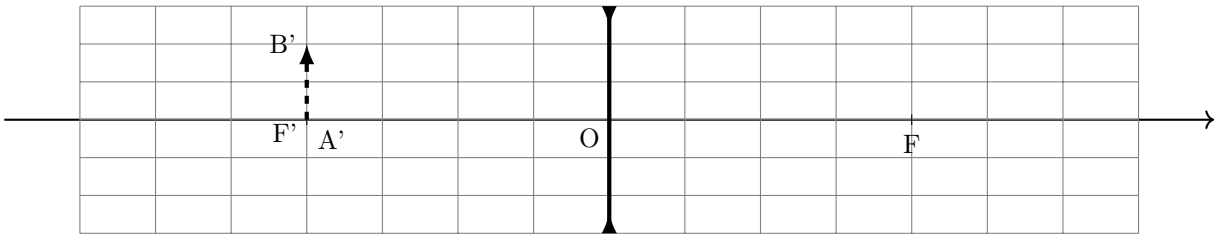
Q.3



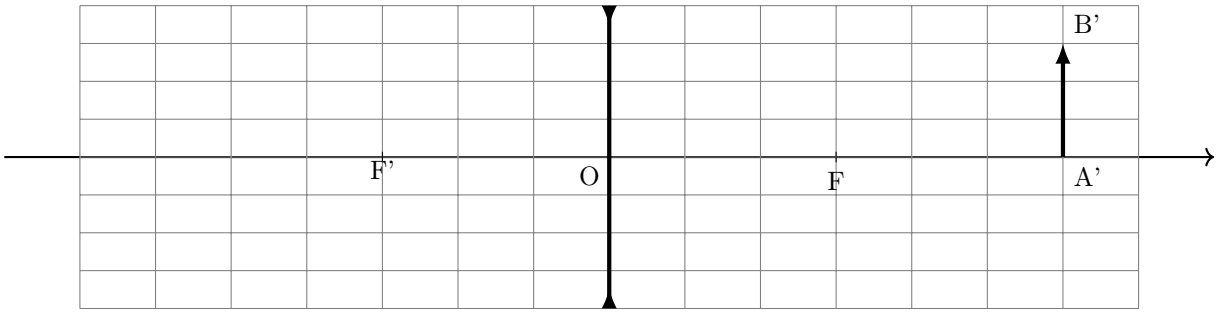
Q.4



Q.5



Q.6



Exercice 2 : En entier !

Une personne mesurant 1,70 m est photographiée avec un appareil photo dont l'objectif est assimilable à une unique lentille de vergence $20\,\delta$. Pour qu'elle apparaisse toute entière sur la photo, son image sur le capteur doit mesurer au maximum 24 mm.

Q.1 Établir la distance minimale entre l'objectif et la personne.

Exercice 3 : Distance entre objet et image

Un objet (AB) et un écran (E) sont fixes et distants de D.

Entre l'objet et l'écran, on déplace une lentille mince convergente de distance focale image f'.

Q.1 Montrer qu'il existe une valeur minimale de D pour laquelle on ne peut pas former d'image sur (E).

Q.2 Calculer la ou les positions de la lentille convergente pour lesquelles on peut former une image nette sur l'écran. Exprimer la différence entre ces deux positions qu'on notera d.

Q.3 Exprimer f' en fonction de D et d.

Exercice 4 : Petit problème à résoudre

Une lentille mince donne d'un objetAB réel une image $A'B'$ réelle deux fois plus grande. La distance AA' est de 90 cm.

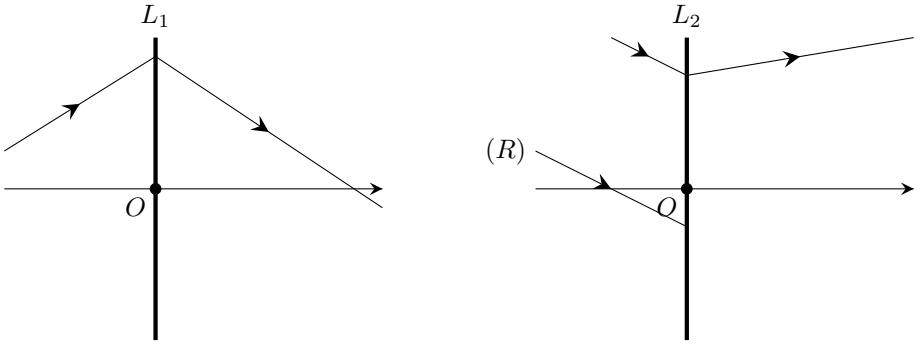
Q.1 Identifier la nature de la lentille.

Q.2 Faire une construction graphique pour placer AB, A'B', la lentille, F et F'.

Q.3 Déterminer $\overline{OA}$, $\overline{OA'}$ et f' par le calcul.

Exercice 5 : Les malheurs de Sophie

Les lentilles L_1 et L_2 présentées sur la figure ci-dessous sont de nature inconnue. Ayant tout misé sur l'apprentissage des formules de conjugaison, Sophie se trouve bien embarrassée pour caractériser les lentilles mais estime intuitivement que L_1 est vraisemblablement convergente et L_2 divergente.



Q.1 Confirmez-vous a priori l'intuition de Sophie ?

Q.2 Déterminer graphiquement la position des foyers objet F_i et image F_i' de chaque lentille L_i.

Q.3 En déduire la nature des lentilles L_1 et L_2.

Q.4 Compléter la figure de droite en représentant le rayon émergent provenant du rayon incident (R).

TD 3 : Systèmes optiques

Questions d'application directe

Q.1 Définir un instrument afocal. En déduire l'espacement entre les lentilles et tracer la marche des rayons issus d'un objet à l'infini dans une lunette astronomique. Définir le grossissement et établir son expression.

Q.2 Rappeler la modélisation d'un appareil photo. Définir la mise au point puis illustrer graphiquement l'influence du diaphragme sur la profondeur de champ.

Q.3 Rappeler la modélisation de l'œil, définir la plage d'accomodation et le pouvoir séparateur.

Q.4 Dans le cas de deux lentilles accoler, établir la relation entre f' la focale de la lentille équivalente, f'_1 et f'_2 les focales des deux lentilles.

Exercices d'entraînement

Exercice 1 : Pouvoir séparateur de l'œil

Q.1 Par quoi modélise-t-on l'œil ?

Q.2 Déterminer la distance minimale séparant deux point objets pour que leurs images puissent être vues séparément lorsqu'ils se trouvent à 30 m et 60 m.

Exercice 2 : Lunette de Galilée

On considère une lunette astronomique formée de deux lentilles minces :

- une lentille $\mathscr{L}_1$ de centre O_1 et de vergence $\nu_1 = 5\,\delta$;
- une lentille $\mathscr{L}_2$ de centre O_2 et de vergence $\nu_2 = -20\,\delta$;

Les deux lentilles sont positionnées de telle sorte que le système optique soit afocal.

Q.1 Déterminer la valeur de l'écartement e entre les deux lentilles.

La lunette de Galilée est utilisée pour observer un objet à l'infini de diamètre angulaire α.

Q.2 Réaliser la construction graphique de la lunette de Galilée. On représentera α et α' les diamètres angulaires des rayons en entrée et en sortie de la lunette.

Q.3 L'image finale est-elle droite ou renversée ?

Q.4 Déterminer l'expression du grossissement $G = \alpha'/\alpha$ de la lunette en fonction de f'_1 et f'_2. Calculer sa valeur.

Q.5 Quel est l'avantage de cette lunette par rapport à une lunette astronomique avec deux lentilles convergentes ?

Exercice 3 : Étude d'un téléobjectif d'appareil photographique

Un téléobjectif est constitué de deux lentilles minces dont les axes optiques coïncident. La lentille d'entrée L_1 a une vergence $C_1 = 10\,\delta$ et est suivie d'une lentille L_2 de vergence $C_2 = -40\,\delta$. La distance O_1O_2 séparant les deux lentilles vaut 8 cm. Un objet AB de hauteur égale à 0,5 m est placé à une distance $d = 100$ m de O_1 sur l'axe optique.

Q.1 Déterminer les caractéristiques de l'image intermédiaire A_1B_1 donnée par L_1.

Q.2 Quel rôle joue cette image pour la seconde lentille ? Déterminer les caractéristiques de l'image définitive $A'B'$.

Q.3 Les résultats de la question précédente sont-ils conformes aux propriétés attendues pour l'image donnée par un téléobjectif sur la pellicule photographique ?

Q.4 Déterminer la position de la lentille convergente unique qui permettrait d'arriver au même résultat. Préciser sa distance focale.

Q.5 Conclure quant à l'intérêt du téléobjectif.

Exercice 4 : Lentilles de contact

La distance cristallin - rétine dans un œil vaut environ 1,50 cm.

Q.1 L'œil normal peut voir nettement les objets entre l'infini et une distance minimale 25 cm du cristallin. Quelles sont donc les valeurs extrémales f'_{PP} et f'_{PR} de la focale du cristallin.

Q.2 un œil myope ne voit pas nettement les objets au-delà de $L = 2$ m. Que dire de son cristallin ?

On veut corriger la vision de cet œil afin que ses caractéristiques soient celles d'un œil normal.

Q.3 Montrer que deux lentilles minces L_1 et L_2, de focales f_1 et f'_2 accolées en O se comportent comme une unique lentille dont on précisera la focale f'.

Q.4 La correction de la vision de l'œil considéré se fait au moyen de verres de contact, assimilables à des lentilles minces au contact de la lentille modélisant le cristallin. Préciser la nature de ces lentilles. Quelle est leur vergence V_c ?

Exercice 5 : Distance hyperfocale

On modélise l'objectif d'un appareil photo par une lentille convergente L, de centre O et de distance focale image f'.

Q.1 Lorsque l'appareil est mis au point à l'infini (objet à l'infini), où doit-on placer la pellicule ?

Q.2 On considère un point objet A à la distance d_A devant la lentille. La pellicule est dans la position de la question (1).

a) Exprimer la position $\overline{OA'}$ de l'image A' de A.

b) On note D_L le diamètre utile de la lentille (diamètre du faisceau au niveau de la lentille) et D_A le diamètre de la tache du faisceau sur la pellicule. Exprimer D_A en fonction de D_L, f' et d_A.

c) La pellicule est formée de grains de diamètre ϵ. Quelle est la condition sur ϵ pour que l'image d'un point A situé à une distance d_A soit net ?

d) Calculer la distance d_A minimale (appelée distance hyperfocale) qui donnera une image nette sur la pellicule. Application numérique pour $f' = 3{,}0\,\text{cm}$; $D_L = 2\,\text{mm}$ et $\epsilon = 2\,\mu\text{m}$.

Exercice 6 : Principe d'un viseur

Un viseur est un système optique constitué :

- d'un objectif modélisé par une lentille mince $\mathscr{L}_1$ de centre O_1 et de focale $f'_1 = 50{,}0\,\text{mm}$;
- d'un oculaire modélisé par une lentille mince $\mathscr{L}_2$ de centre O_2 et de focale $f'_2 = 12{,}5\,\text{mm}$;

Ce viseur est utilisé pour observer un objet de hauteur h situé à une distance $d = 8{,}0\,\text{cm}$ de l'objectif. Dans le plan (Π') conjugué du plan (Π) de l'objet par l'objectif, on place un réticule, composé de deux axes orthogonaux portant une échelle graduée.

Q.1 Déterminer la distance $\overline{O_1O_2}$ afin qu'un œil emmétrope puisse regarder au travers du viseur sans accommoder.

Q.2 On mesure une taille $h_1 = 5{,}0\,\text{mm}$ de l'image de l'objet avec le réticule. Déterminer la hauteur h de l'objet.

Q.3 On note α' l'angle sous lequel est vue l'image finale en sortie de l'oculaire. Déterminer l'expression de la puissance optique du viseur $P = \dfrac{\alpha'}{h}$ et calculer sa valeur.

Q.4 Comparer l'angle α' et l'angle θ sous lequel serait vu l'objet à une distance $d_{\text{PP}} = 25\,\text{cm}$. Commenter.

Q.5 Quel réglage de l'oculaire faut-il prévoir pour qu'un œil myope ou herpermétrope puisse voir net l'objet au travers du viseur sans accomoder et sans modifier la distance d ?

Pour approfondir

Exercice 7 : Distance hyperfocale

On modélise l'objectif d'un appareil photo par une lentille convergente L, de centre O et de distance focale image f'.

Q.1 Lorsque l'appareil est mis au point à l'infini (objet à l'infini), où doit-on placer la pellicule ?

Q.2 On considère un point objet A à la distance d_A devant la lentille. La pellicule est dans la position de la question (1).

a) Exprimer la position $\overline{OA'}$ de l'image A' de A.

b) On note D_L le diamètre utile de la lentille (diamètre du faisceau au niveau de la lentille) et D_A le diamètre de la tache du faisceau sur la pellicule. Exprimer D_A en fonction de D_L, f' et d_A.

c) La pellicule est formée de grains de diamètre ϵ. Quelle est la condition sur ϵ pour que l'image d'un point A situé à une distance d_A soit net ?

d) Calculer la distance d_A minimale (appelée distance hyperfocale) qui donnera une image nette sur la pellicule. Application numérique pour $f' = 3{,}0\,\text{cm}$; $D_L = 2\,\text{mm}$ et $\epsilon = 2\,\mu\text{m}$.

Exercice 8 : Doublet de Huygens

On appelle doublet un ensemble de deux lentilles minces de même axe optique. En appelant L_1 et L_2 les deux lentilles (la première lentille rencontrée par la lumière est L_1), on note O_1 et O_2 leurs centres optiques, F_1 et F_2 leurs foyers objets, F'_1 et F'_2 leurs foyers images. Un doublet est caractérisé par les distances focales image des deux lentilles f'_1 et f'_2 et son épaisseur $e = \overline{O_1O_2}$.

Le doublet de Huygens est tel que : $f'_1 = 3a$, $e = 2a$, $f'_2 = a$, où a est une longueur quelconque.

Q.1 Déterminer graphiquement la position du foyer image F' du doublet de Huygens (on pourra prendre l'échelle $a = 2\,\text{cm}$).

Q.2 Retrouver ce résultat par un calcul en déterminant l'expression de $\overline{F'_2F'}$.

Q.3 Déterminer graphiquement la position du foyer objet F du doublet de Huygens.

Q.4 Retrouver ce résultat par un calcul en déterminant l'expression de $\overline{F_1F}$.

TD 4 : Molécules et solvants

Questions d'application directe

Q.1 Donner la composition (nombre de protons, neutrons et électrons) de l'atome $^{65}_{29}$Cu. L'atome $^{65}_{30}$X est-il un isotope ou un autre élément ?

Q.2 Donner les configurations électroniques et indiquer les sous-couches de valence et le nombre d'électrons de valence des atomes suivant : $_6$C, $_8$O, $_{16}$S, $_{10}$Ne et $_3$Li.

Q.3 Construire les schémas de Lewis du dioxyde de carboneCO_2, du tétrafluorure de soufre SF_4, du méthanal CH_2O, chlorure de thionyle $SOCl_2$, du monoxyde de carbone CO, du monoxyde d'azote NO,des ions hypochlorite ClO^-, oxonium H_3O^+, nitrate NO_3^- et hydrogénocarbonate HCO_3^-.

Q.4 Donner les schémas de Lewis de l'eau et du CO_2, leur géométrie en justifiant brièvement, et construire leur moment dipolaire. Indiquer en justifiant s'il s'agit de molécules polaires, polarisables, et/ou protiques.

Q.5 Interpréter l'évolution des températures d'ébullition des composés ci-dessous : tendance générale et anomalie de l'eau. Tous sont formés à partir d'éléments de la 16^e colonne du tableau périodique.

2^e ligne	**3^e ligne**	**4^e ligne**	**5^e ligne**
H_2O (100 °C)	H_2S (−60 °C)	H_2Se (41 °C)	H_2Te (−1 °C)

Exercices d'entraînement

Exercice 1 : Déterminer le nombre d'électrons de valence d'un atome

Q.1 Déterminer la configuration électronique dans l'état fondamental et le nombre d'électrons de valence pour les éléments du tableau périodique :

a) le silicium Si est situé à la 3^e période et à la 14^e colonne ;

b) le calcium Ca est situé à la 4^e période et à la 2^e colonne ;

Q.2 Lequel de ces deux éléments est le plus élecronégatif ?

Exercice 2 : Moment dipolaire de liaison

On étudie les molécules de la série des halogénures d'hydrogène H−X.

Molécule	H−F	H−Cl	H−Br	H−I
Énergie de liaison ($kJ \cdot mol^{-1}$)	566	431	366	298
Longueur de liaison (pm)	92	127	142	161
Norme du moment dipolaire (D)	1,83	1,11	0,83	0,45
T_{fus}(°C)	-83	-114	-87	-51
T_{eb}(°C)	20	-85	-67	-35

Q.1 Commennt varie l'électronégativité de l'iode, au brome, au chlore et au fluor ?

Q.2 Représenter le moment dipolaire associé à ces molécules.

Q.3 Déterminer le pourcentage d'ionicité δ de chacune de ces liaisons. Commenter.

Q.4 Quels molécules présente des liaisons hydrogènes intermoléculaires ? En déduire une interprétation des température de changement d'état.

Q.5 Comment évolue la polarisabilité des molécules ?

Q.6 Comment évolue les contributions aux interactions de van der Waals pour chaque molécules ?

Exercice 3 : Établir la structure de Lewis d'une molécule ou d'un ion polyatomique

Représenter la formule de Lewis pour :

Q.1 CO_2 | **Q.2** H_2S | **Q.3** PH_3 | **Q.4** O_3 | **Q.5** CO | **Q.6** NH_4^+ | **Q.7** SO_4^{2-} | **Q.8** NO_3^-

Exercice 4 : Déterminer la polarité de molécules

Q.1 Préciser la direction et le sens du moment dipolaire de chaucun des molécules suivantes. Pour schématiser la géométrie de la molécule, seuls les doublets liants ont été représentés (représentation de Cram), en omettant les éventuels doublets non liants et les lacunes électroniques.

OCS H_2S CCl_4 NO_2F



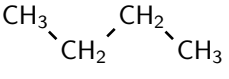
Données : sur l'échelle de Pauling, $\chi(\mathrm{H}) = 2,2$; $\chi(\mathrm{C}) = 2,6$; $\chi(\mathrm{N}) = 3,0$; $\chi(\mathrm{O}) = 3,4$; $\chi(\mathrm{F}) = 4,0$; $\chi(\mathrm{S}) = 2,6$ et $\chi(\mathrm{Cl}) = 3,2$

Exercice 5 : Expliquer les différences de températures de changement d'état

Q.1 Expliquer les différences de température de vaporisation entre ces trois gaz.

Gaz	H_2	CH_4	C_2H_6
$\theta_{\mathrm{vap}}(°\mathrm{C})$	-253	-162	-89

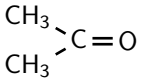
Q.2 Expliquer les différences de changement d'état entre les deux espèces chimiques suivantes.



Butane

$T_{\mathrm{fus}} = -138\,°\mathrm{C}$

$T_{\mathrm{éb}} = -0{,}5\,°\mathrm{C}$



Acétone

$T_{\mathrm{fus}} = -95\,°\mathrm{C}$

$T_{\mathrm{éb}} = 56\,°\mathrm{C}$

Exercice 6 : Structure hypervalentes

Pour chacun des ions suivants, donner une représentation de Lewis, déterminer ses formes mésomères les plus représentatives :

Q.1 L'ion sulfate SO_4^{2-} (le soufre est l'atome central).

Q.2 L'ion phosphate PO_4^{3-} (le phosphore est l'atome central).

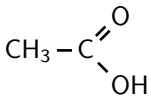
Q.3 L'ion triiodure I_3^- (structure non cyclique).

Q.4 Les ions ICl_2^- et ICl_4^- (l'iode est l'atome central).

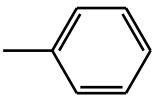
Exercice 7 : Expliquer les différences de miscibilité

Q.1 Expliquer pourquoi l'eau et l'acide éthanoïque sont miscibles, alors que l'eau et le toluène ne le seont pas.

On donne la formule semi-développée de l'acide éthanoïque et la formule topologique du toluène :



Acide éthanoïque



Toluène

Exercice 8 : Éléments de la famille de l'azote : les pnictogènes

L'azote N, le phosphore P et l'arsenic As sont situés dans la colonne 15 de la classification périodique et respectivement dans les 2e, 3e et 4e périodes.

Q.1 Comparer l'électronégativité de ces trois éléments.

Q.2 Combien de liaisons covalentes peuvent être établies par ces trois éléments en imposant une charge formelle nulle pour N, P ou As ?

Q.3 Donner les formules de Lewis des composés : NO (radical), $NO_2{}^-$, N_2O_2, N_2O_3 , N_2O_4.

Q.4 Donner la formule de Lewis ainsi que la géométrie prévue par la théorie VSEPR de $AsBr_3$. La molécule est-elle polaire ?

Q.5 Le composé PBr_5 peut-il exister ? Si oui, proposer une formule de Lewis.

Exercice 9 : Schéma de Lewis moins simples

Représenter la formule de Lewis pour :

Q.1 BH_3

Q.2 H_3PO_4 : P est central, et tous les H sont liés à des O. Pas de charge formelle.

Q.3 C_6H_6 : molécule cyclique

Q.4 $HCO_3{}^-$: pas de liaison O – O, H fixé à un O.

Q.5 CH_3NO_2 : N est central, les H sont autour de C.

Q.6 CN^-

TD 5 : La réaction chimique

Questions d'application directe

Q.1 Équilibrer l'une des équations bilan suivante :

- ... $HCl(g)$ + ... $O_2(g)$ = ... $H_2O(g)$ + ... $Cl_2(g)$
- ... $FeCl_3(g)$ = ... $Fe_2Cl_6(g)$
- ... $Fe^{3+}(aq)$ + ... $Cu(s)$ = ... $Fe^{2+}(aq)$ + ... $Cu^{2+}(aq)$
- ... $CH_4(g)$ + ... $H_2O(g)$ = ... $CO(g)$ + ... $H_2(g)$

Q.2 Dresser le tableau d'avancement de la réaction $I_2(aq) + 2S_2O_3^{2-}(aq) = 2I^-(aq) + S_4O_4^{2-}(aq)$ en prenant des quantités de matières égales pour chaque réactif et aucun produit présent initialement. En déduire le réactif limitant et l'avancement maximum.

Q.3 Rappeler la définition des proportions stœchiométriques, puis dresser le tableau d'avancement de la réaction $I_2(aq) + 2S_2O_3^{2-}(aq) = 2I^-(aq) + S_4O_4^{2-}(aq)$ et donner une relation entre les quantités initiales pour que les réactifs soient en proportion stœchiométriques.

Q.4 Considérons le titrage du diiode I_2 par les ions thiosulfate $S_2O_6^{2-}$:

- la solution titrée est une solution de diiode de concentration C_0 inconnue, dont on titre un prélèvement de volume V_p
- la solution titrante est une solution de thiosulfate de sodium ($2Na^+ + SO_2^-$) de concentration C connue, versée progressivement à la burette.

Exprimer la concentration C_0 en fonction du volume équivalent V_E à l'aide d'un tableau d'avancement.

Exercices d'entraînement

Exercice 1 : Établir et utiliser un tableau d'avancement

Soit la transformation chimique totale à laquelle on associe la réaction d'équation :

$$4Al(s) + 3O_2(g) = 2Al_2O_3(s)$$

Dans l'état initial, considérons que le système est composé de 16 mol d'aluminium Al(s), et 9,0 mol de dioxygène $O_2(g)$.

Q.1 Établir un tableau d'avancement décrivant l'évolution du système.

Q.2 Identifier le réactif limitant, et déterminer la composition final du système.

Exercice 2 : Chalumeau oxyacétylénique

L'acétylène C_2H_2 est un hydrocarbure gazeux. On peut l'obtenir par réaction entre du carbure de calcium solide CaC_2 et de l'eau. Cette transformation s'accompagne de la formation d'hydroxyde de calcium solide $Ca(OH)_2$.

La combustion complète de l'acétylène dans le dioxygène dégage beaucoup de chaleur. C'est pourquoi cet hydrocarbure est utilisé comme combustible dans les chalumeaux oxyacétyléniques. D'autre part, la flamme étant très éclairante, cette combustion est mise en œuvre dans certaines lampes utilisées en spéléologie.

Q.1 Préciser les réactifs et les produits dans la synthèse de l'acétylène et écrire l'équation correspondante.

Q.2 Écrire l'équation de combustion de l'acétylène.

Exercice 3 : Synthèse de l'acide sulfurique

L'une des étapes de la synthèse de l'acide sulfurique est la réaction entre le sulfure d'hydrogène H_2S et le dioxyde de soufre SO_2. Le soufre S et l'eau sont des produits de cette étape. On suppose que la réaction est totale.

Q.1 Écrire l'équation de la réaction en utilisant les nombres stœchiométriques entiers les plus petits possibles.

Q.2 On considère un état initial constitué de 10,0 mol de SO_2 et 8,0 mol de H_2S. À l'aide d'un tableau d'avancement, déterminer l'avancement maximal de la réaction et le réactif limitant, puis le bilan de matière du système dans l'état final.

Exercice 4 : Titrage des ions chlorure

Le test caractéristique des ions chlorure Cl^- est leur précipitation en présence d'ions argent Ag^+.

On utilise ici cette réaction comme réaction de titrage. On réalise les opérations suivantes :

- dans un bécher verser une prise d'essai de 10,0 mL de la solution (S) contenant des ions chlorure et ajouter 190 mL d'eau distillée ;
- réaliser le titrage conductimétrique des ions chlorure Cl^- de la solution (S) par une solution de nitrate d'argent (Ag^+ , NO_3^-) à la concentration de $0{,}0400\,mol\cdot L^{-1}$;
- Un précipité AgCl se forme lors de l'ajout de la solution titrante.

Q.1 Écrire l'équation de la réaction du titrage. On la supposera totale par la suite.

Q.2 On trouve $V_{éq} = 12{,}5\,mL$. En déduire la concentration molaire en ions Cl^- de la solution (S).

Exercice 5 : La fusée Ariane 5

Le décollage de la fusée Ariane 5 est assuré par l'étage d'accélération à poudre (EAP) formé de deux propulseurs à poudre.

L'étage principal cryotechnique (EPC) permet d'assurer la propulsion de la fusée après son décollage jusqu'à une altitude comprise, selon la mission, entre 130 et 420 km. Il est équipé de deux réservoirs contenant 132 tonnes de dioxygène liquide et 26 tonnes de dihydrogène liquide, qui vont réagir totalement pour former de l'eau en alimentant un moteur vulcain. Le réactif en excès permet de refroidir le moteur.

Données : Masses molaires $M(O) = 16{,}0\,g\cdot mol^{-1}$ et $M(H) = 1\,g\cdot mol^{-1}$)

Q.1 Déterminer les quantités de réactifs présents initialement dans l'étage principal cryotechnique.

Q.2 Écrire l'équation de la réaction entre le dioxygène et le dihydrogène.

Q.3 À l'aide d'un tableau d'avancement, déterminer le réactif en excès et la masse en excès.

Q.4 Calculer la masse d'eau éjectée.

Exercice 6 : Oxydation de l'ammoniac

L'acide nitrique HNO_3 est produit en grande quantité, principalement pour être utilisé dans la fabrication des engrais de l'ammoniac :

$$4NH_3(g) + 5O_2(g) = 4NO(g) + 6H_2O(g)$$

La réaction est réalisée à la température 800 °C et à une pression constante $P = 1{,}0\,bar$. À cette température, on peut supposer que la réaction est totale. Dans un réacteur opérant en système fermé à pression constante, on mélange un volume d'air avec un volume d'ammoniac. L'air contient 20% de O_2 et 80% de N_2 (un gaz chimiquement inerte).

Q.1 a) Si NH_3 et O_2 étaient apportés en proportions stœchimétriques, quelles seraient les proportions molaires des gaz NH_3, O_2 et N_2 dans le mélange initial (à donner en % à 1% près) ?

b) En déduire les pressions partielles des gaz dans le mélange à l'équilibre, avec une précision de 10 mbar.

Q.2 a) Pour un mélange gazeux contenant initialement 100 mol, calculer les quantités de matière initiales si la fraction molaire de NH_3 dans le mélange est 10%. Faire un tableau d'avancement et en déduire le réactif limitant.

b) En déduire les pressions partielles des gaz dans le mélange à l'équilibre, avec une précision de 10 mbar.

Exercice 7 : Titrage d'un engrais

On cherche à titrer les ions nitrate NO_3^- présents dans un engrais. On réalise le protocole suivant :

- Sous une hotte bien ventilée on mélange une masse $m = 400\,g$ d'engrais liquide, 5 mL d'acide sulfurique concentré, et $V_1 = 30{,}0\,mL$ d'une solution de sel de Mohr contenant des ions Fe^{2+} à la concentration $c_1 = 2{,}00\times10^{-1}\,mol\cdot L^{-1}$. Les ions Fe^{2+} sont introduits en excès.
- Le mélange est chauffé à 60 °C pendant 15 minutes. Il se produit alors une réaction totale (R_1) entre les ions Fe^{2+} et les ions NO_3^- pour former des ions Fe^{3+} et le gaz NO(g).
- Les ions Fe^{2+} restant sont ensuite titrés par une solution de dichromate de potassium ($2K^+$, $Cr_2O_7^{2-}$) de concentration $c_2 = 2{,}00\times10^{-2}\,mol\cdot L^{-1}$. L'équivalence est repérée pour un volume $V_2 = 10{,}0\,mL$ de solution titrante. La réaction du titrage (R_2) est totale entre Fe^{2+} et $Cr_2O_7^{2-}$ pour former Fe^{3+} et Cr^{3+}.

Données : masse molaire $M(O) = 16\,g\cdot mol^{-1}$ et $M(N) = 14\,g\cdot mol^{-1}$.

Q.1 Écrire les équations des réactions (R_1) et (R_2) (équilibrer avec des $H^+(aq)$ et $H_2O(l)$).

Q.2 Exprimer littéralement et calculer numériquement la quantité de matière n_1 d'ions Fe^{2+} restant dans le mélange à l'issue de la réaction (R_1) en fonction de c_2 et V_2.

Q.3 Exprimer littéralement et calculer numériquement la quantité de matière n d'ions nitrate dans l'échantillon d'engrais en fonction de n_1, c_1 et V_1.

Q.4 En déduire le pourcentage massique en ions nitrate dans l'engrais analysé.

TD 6 : Cinétique chimique

Questions d'application directe

Q.1 La réaction $2NH_3(g) = N_2(g) + 3H_2(g)$ est d'ordre 0. Déterminer la loi d'évolution $[NH_3](t)$. Déterminer l'expression du temps de demi-réaction $t_{1/2}$.

Q.2 La réaction $2I^- + S_2O_8^{2-} = I_2 + 2SO_4^{2-}$ est d'ordre 1 par rapport aux deux réactifs. On se place en situation de dégénérescence de l'ordre par rapport à $S_2O_8^{2-}$. Expliquer ce que cela signifie, et établir la loi d'évolution $\left[I^-\right](t)$. Déterminer l'expression du temps de demi-réaction $t_{1/2}$.

Q.3 La réaction $2I^- + S_2O_8^{2-} = I_2 + 2SO_4^{2-}$ est d'ordre 1 par rapport aux deux réactifs. On travaille en proportions stœchiométriques. Déterminer la relation entre les conditions initiales, et établir la loi d'évolution $\left[S_2O_8^{2-}\right](t)$. Déterminer l'expression du temps de demi-réaction $t_{1/2}$.

Q.4 Considérons une réaction d'un unique réactif A ayant une loi de vitesse $v = k\,[A]^p$. On dispose de mesures de $[A](t)$. Expliquer comment estimer p par la méthode différentielle : justifier le tracé à réaliser, et comment calculer numériquement les grandeurs utiles à partir des mesures.

Q.5 Énoncer la loi d'Arrhénius.

Exercices d'entraînement

Exercice 1 : Utilisation de la dégénérescence de l'ordre

La réduction de Hg^{2+} par Hg^{2+} s'effectue selon la réaction :

$$2Hg^{2+} + 2Fe^{2+} = Hg_2^{2+} + 2Fe^{3+}$$

On supposera la loi de vitesse de la forme : $r = k\left[Fe^{2+}\right]^p\left[Hg^{2+}\right]^q$

On suit la réaction par spectrophotométrie avec différentes concentrations initiales $\left[Fe^{2+}\right]_0$ et $\left[Hg^{2+}\right]_0$, on obtient les résultats suivants (le temps est mesuré en unités arbitraires u.a. non précisées).

Expérience n°1 : $\left[Fe^{2+}\right]_0 = 0{,}1\,\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ et $\left[Hg^{2+}\right]_0 = 0{,}1\,\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$

t en (u.a.)	0	1	2	3	$+\infty$
$\left[Hg^{2+}\right] / \left[Hg^{2+}\right]_0$	1	0,50	0,33	0,25	0

Expérience n°2 : $\left[Fe^{2+}\right]_0 = 0{,}1\,\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ et $\left[Hg^{2+}\right]_0 = 0{,}001\,\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$

t en (u.a.)	0	1	2	4	$+\infty$
$\left[Hg^{2+}\right] / \left[Hg^{2+}\right]_0$	1	0,66	0,45	0,20	0

Q.1 Expliquer l'intérêt du choix $\left[Fe^{2+}\right]_0 = \left[Hg^{2+}\right]_0$ dans la première expérience, et l'intérêt du choix $\left[Fe^{2+}\right]_0 \gg \left[Hg^{2+}\right]_0$ dans la seconde.

Q.2 Montrer que l'ordre global de la réaction est 2.

Q.3 Montrer que l'on peut estimer que les ordres partiels vérifient $p = q = 1$.

Exercice 2 : Détermination des ordres globaux et partiels de la synthèse de la bromacétone

On considère la propanone (CH_3COCH_3).

Cette cétone peut réagir sur le dibrome (Br_2) en milieu aqueux basique selon la réaction totale :

$$CH_3COCH_{3(aq)} + Br_{2(aq)} + HO^-_{(aq)} = CH_2BrCOCH_{3(aq)} + H_2O_{(l)} + Br^-_{(aq)}$$

Soit F le composé organique final.

La réaction est étudiée en milieu de pH constant. On réalise trois expériences :

Expérience 1 : $[\text{propanone}]_0 = 0{,}1\,\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$; $[Br_2]_0 = 0{,}1\,\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ et $\left[HO^-\right]_0 = C^{te} = 0{,}01\,\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$.

t en (s)	0	20	40	60	100	140	200
$[Br_2]$ en $(\text{mol}\cdot\text{L}^{-1})$	0,1	0,08	0,067	0,055	0,037	0,025	0,014
$\ln\dfrac{[Br_2]}{c^\circ}$	−2,3	−2,53	−2,7	−2,9	−3,3	−3,69	−4,27
$\dfrac{1}{[Br_2]}$ $(\text{L}\cdot\text{mol}^{-1})$	10	12,5	14,9	18,2	27,0	40	71,4

Expérience 2 : $[\text{propanone}]_0 = 0{,}1\,\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$; $[Br_2]_0 = 0{,}1\,\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ et $\left[HO^-\right]_0 = C^{te} = 0{,}02\,\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$.

t en (s)	0	10	20	30	45	60	80
$[Br_2]$ en $(mol \cdot L^{-1})$	0,1	0,082	0,068	0,056	0,041	0,031	0,02
$\ln \frac{[Br_2]}{c^\circ}$	−2,3	−2,5	−2,69	−2,88	−3,19	−3,47	−3,91
$\frac{1}{[Br_2]}$ $(L \cdot mol^{-1})$	10	12,2	14,7	17,9	24,4	32,3	50

Expérience 3 : $[\text{propanone}]_0 = 1\,mol \cdot L^{-1}$; $[Br_2]_0 = 0{,}1\,mol \cdot L^{-1}$ et $\left[HO^-\right]_0 = C^{te} = 0{,}02\,mol \cdot L^{-1}$.

t en (s)	0	1	2	3	4	5
$[Br_2]$ en $(mol \cdot L^{-1})$	0,1	0,080	0,061	0,042	0,025	0,0074
$\ln \frac{[Br_2]}{c^\circ}$	−2,3	−2,5	−2,80	−3,17	−3,69	−4,91
$\frac{1}{[Br_2]}$ $(L \cdot mol^{-1})$	10	12,2	16,4	23,8	40	135,1

On cherche si elle existe, une loi de vitesse de la forme :

$$r = k\,[CH_3COCH_3]^\alpha\,[Br_2]^\beta\,\left[HO^-\right]^\gamma$$

Q.1 Montrez que l'expérience 1 permet d'étudier les éventuels ordres partiels par rapport à la propanone et au dibrome.

Q.2 Montrez que les expériences 1 et 2 permettent d'étudier l'influence des ions hydroxyde sur la loi de vitesse.

Q.3 Qu'apporte l'expérience 3 ?

Q.4 En justifiant votre démarche déterminez les exposants α, β et γ. Donnez sa constante de vitesse k en précisant bien les unités utilisées.

Exercice 3 : Décomposition de l'ozone

L'ozonation est une méthode de traitement de l'eau potable consistant à dissoudre de l'ozone O_3 dans l'eau. L'ozone est un oxydant puissant qui détruit les matières organiques et tue les bactéries. L'ozone en solution aqueuse est instable. Il se décompose selon un mécanisme complexe, en produisant en particulier des radicaux hydroxyles, dont le pouvoir oxydant permet la dégradation de matières organiques. Pour simplifier, on envisage une dégradation en dioxygène suivant l'équation :

$$O_{3(aq)} \rightarrow \frac{3}{2} O_{2(aq)}$$

Le tableau ci-dessous donne le temps de demi-vie de l'ozone pour différentes températures (à pH = 7). Le temps de demi-vie ne dépend pas de la concentration initiale en ozone. Soit $c(t=0)$ la concentration initiale de O_3 et $c(t)$ sa concentration à un instant t. On suppose que la réaction admet un ordre α par rapport à O_3 et on note k sa constante de vitesse.

T (°C)	15	20	25	30	35
$t_{\frac{1}{2}}$ (min)	30	20	15	12	8

Données : $R = 8{,}314\,J \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$ et $0\,°C = 273\,K$.

Q.1 Dans l'hypothèse $\alpha = 1$, déterminer $c(t)$ et en déduire l'expression du temps de demi-vie.

Q.2 Dans l'hypothèse $\alpha = 2$, déterminer $c(t)$ et en déduire l'expression du temps de demi-vie.

Q.3 Quelle hypothèse faut-il retenir ? En déduire la constante de vitesse k pour les différentes températures.

Q.4 Déterminer l'énergie d'activation de la réaction.

TD 7 : Équilibre chimique

Questions d'application directe

Q.1 On réunit dans un même bécher une masse m de chlorure de plomb $PbCl_2(s)$, un volume V d'une solution contenant des ions chlorure Cl^- à la concentration c et le même volume V d'une seconde solution contenant des ions plomb Pb^{2+} à la même concentration c. On s'intéresse à la dissolution du solide, de constante d'équilibre $K^\circ = 1{,}6 \times 10^{-5}$. Montrer que le solide ne peut se dissoudre (au moins partiellement) que si la concentration c est inférieure à une valeur seuil à déterminer.

Q.2 Considérons la réaction de dissolution de la chaux $Ca(OH)_2(s) = Ca^{2+}(aq) + 2HO^-(aq)$

Sa constante d'équilibre vaut $K_s = 10^{-5,2}$. On se place dans un volume $V_0 = 100\,mL$.

a) Calculer l'avancement à l'équilibre $\xi_{éq}$.

b) Déterminer l'état final avec $n_0 = 50\,mmol$ de $Ca(OH)_2$.

c) Déterminer l'état final avec $n_0' = 5\,mmol$ de $Ca(OH)_2$.

Q.3 Considérons la réaction $CH_3COOH(aq) + NH_3(aq) = CH_3COO^-(aq) + NH_4^+(aq)$

qui a pour constante d'équilibre $K^\circ = 10^{4,4}$. À l'état initial, les concentrations en CH_3COOH et NH_3 sont respectivement $C_1 = 1{,}5 \times 10^{-3}\,mol \cdot L^{-1}$ et $C_2 = 1{,}0 \times 10^{-3}\,mol \cdot L^{-1}$. Déterminer l'état final en faisant une approximation à détailler.

Q.4 Considérons la réaction $NH_4^+(aq) + H_2O(l) = NH_3(aq) + H_3O^+(aq)$

qui a pour constante d'équilibre $K^\circ = 10^{-9,2}$. À l'état initial, la concentrations en NH_4^+ est $C_0 = 1{,}0 \times 10^{-2}\,mol \cdot L^{-1}$. Déterminer l'état final en faisant une approximation à détailler.

Exercices d'entraînement

Exercice 1 : Expression d'un quotient réactionnel

Exprimer le quotient réactionnel associé aux équations de réactions suivantes :

Q.1 $NH_4^+(aq) + H_2O(l) = NH_3(aq) + H_3O^+(aq)$

Q.2 $Ag_3PO_4(s) = 3Ag^+(aq) + PO_4^{3-}(aq)$

Q.3 $N_2(g) + 3H_2(g) = 2NH_3(g)$

Exercice 2 : Sens d'évolution spontanée

On considère une solution aqueuse d'acide méthanoïque de concentration $C = 1{,}0 \times 10^{-1}\,mol \cdot L^{-1}$. Cette solution est siège d'une transformation modélisée par la réaction d'équation :

$$HCOOH(aq) + H_2O(l) = HCOO^-(aq) + H_3O^+(aq) \qquad K^\circ = 10^{-3,8} \text{ à } 25\,^\circ C$$

Q.1 Quel est le sens spontané d'évolution du système ?

Q.2 Déterminer la composition du système à l'état final en considérant la réaction comme très peu avancée. S'agit-il d'un état d'équilibre ?

Q.3 Calculer le taux d'avancement final. Commenter le résultat.

Exercice 3 : Formation du tétrafluorure d'uranium

On considère la réaction :

$$UO_2(s) + 4\,HF(g) = UF_4(s) + 2\,H_2O(g)$$

On maintient la température égale à 700 K et la pression totale à 1,0 bar. La constante d'équilibre à 700 K est égale à $K^\circ = 6{,}8 \times 10^4$.

Q.1 On part de 1,0 mol de dioxyde d'uranium UO_2 et de 1,0 mol de fluorure d'hydrogène HF. Quelle est la composition finale du système ?

Q.2 On part de 0,10 mol de dioxyde d'uranium UO_2 et de 1,0 mol de fluorure d'hydrogène HF. Quelle est la composition finale du système ? Commenter.

Exercice 4 : Réaction acide-base en solution aqueuse

L'acide éthanoïque réagit avec l'eau pour donner l'ion éthanoate :

$$CH_3COOH(aq) + H_2O(l) = CH_3COO^-(aq) + H_3O^+(aq) \text{ de constant d'équilibre } K_1^\circ$$

Le chlorure d'ammonium (NH_4Cl) est un solide ionique soluble dans l'eau et donnant en solution aqueuse les ions chlorure Cl^- et ammonium ${NH_4}^+$. L'ion ammonium est un acide qui réagit avec l'eau pour donner l'ammoniac :

$${NH_4}^+(aq) + H_2O(l) = NH_3(aq) + H_3O^+(aq) \text{ de constant d'équilibre } K_2^\circ$$

Les constantes d'équilibre des deux réactions précédentes sont $K_1 = 1{,}7 \times 10^{-5}$ et $K_2 = 5{,}7 \times 10^{-10}$. On envisage la réaction entre l'acide éthanoïque et l'ammoiac :

$$CH_3COOH(aq) + NH_3(aq) = CH_3COO^-(aq) + {NH_4}^+(aq) \text{ de constant d'équilibre } K_3^\circ$$

L'ammoniac NH_3 est un gaz à température ambiante et pression atmosphérique. Il est très soluble dans l'eau (environ $25\,\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$). Une solution aqueuse d'ammoniac (appelée ammoniaque) perd progressivement ses molécules de NH_3 au contact de l'air. Il faut donc la doser pour contrôler sa concentration. L'ammoniac étant une base, l'acide éthanoïque est un condidat pour ce dosage, mais il faut pour cela que le taux d'avancement de la réaction soit supérieur à 99%, lorsque le réactif titrant et le réactif titré sont apportés en proportions stœchiométriques.

Q.1 Calculer la constante d'équilibre K_3. La réaction envisagée est-elle thermodynamiquement favorisée ?

Q.2 On considère un mélange stœchiométrique de NH_3 et de CH_3COOH. Calculer le taux d'avancement à l'équilibre et conclure.

Exercice 5 : Synthèse de l'ammoniac

L'ammoniac NH_3 est fabriqué industriellement en très grande quantité. Sa principale application est la fabrication d'engrais azotés. Le procédé de Haber-Bosch consiste à faire réagir du diazote N_2 avec du dihydrogène H_2 (obtenu par vaporéformage du méthane issu du gaz naturel). La réaction est :

$$3H_2(g) + N_2(g) = 2NH_3(g)$$

Elle est réalisée en système fermé, à une pression constante $P = 100\,\text{bar}$ et une température constante de $400\,^\circ\text{C}$. La constante d'équilibre à cette température est $K = 2{,}9 \times 10^{-4}$. Initialement, on introduit dans le réacteur N_2 et H_2 en proportions stœchiométriques.

Q.1 Soit n_0 le nombre de moles initial de N_2. Écrire un tableau d'avancement.

Q.2 Obtenir l'équation vérifiée par le taux de N_2 restant, défini comme le rapport de la quantité de N_2 à l'équilibre par la quantité initiale. Résoudre cette équation.

Q.3 En déduire le taux de conversion de N_2. Quel serait ce taux pour une pression $P = 1{,}0\,\text{bar}$?

TD 8 : Lois de l'électrocinétique

Questions d'application directe

Q.1 Rappeler la définition de l'ARQS. Pour une box internet qui envoie des ondes de fréquence 1 GHz et de taille environs 1 cm, peut-on se placer dans l'ARQS ? Jusqu'à quelle distance d'une centrale électrique peut-on considéré que l'ARQS est valide ?

Q.2 Établir la loi des nœuds sur un exemple.

Q.3 Établir la loi des mailles sur un exemple.

Q.4 Rappeler les relations courant/tension et les caractéristiques de tous les dipôles (fil, interrupteur ouvert, résistance, générateur idéal de courant et de tension, générateur de thévenin).

Q.5 Rappeler les définitions de puissance reçue et puissance fournie, puis établir l'expression de la puissance dissipée dans une résistance.

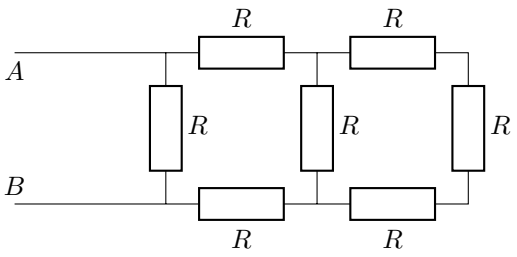
Q.6 Établir les relations d'associations de résistances en série puis en parallèle.

Q.7 Établir les expressions des ponts diviseurs de tension et de courant.

Exercices d'entraînement

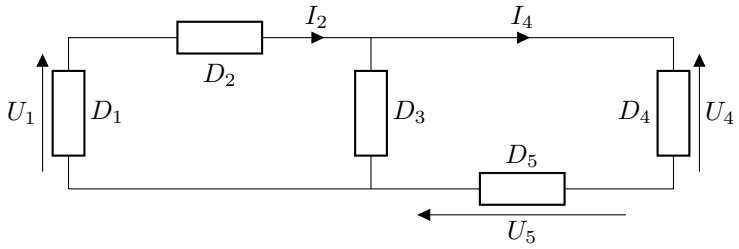
Exercice 1 : Association de résistances

Q.1 Calculer la résistance équivalente du circuit ci-dessous :



Exercice 2 : Caractère récepteur ou générateur de dipôles inconnus

Dans le circuit ci-dessous, on donne $U_1 = -2\,\text{V}$, $U_4 = -3\,\text{V}$, $U_5 = 1\,\text{V}$, $I_2 = -1\,\text{mA}$ et $I_4 = 1\,\text{mA}$.



Q.1 Reproduire le schéma en représentant toutes les tensions et tous les courants inconnus.

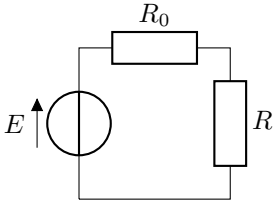
Q.2 Déduire la valeur de ces courants et tensions.

Q.3 Calculer la puissance reçue pour chacun des dipôles.

Q.4 En déduire le caractère générateur ou récepteur de chacun des dipôles.

Exercice 3 : Adaptation de puissance

Un générateur présente une tension à vide E et une résistance interne R_0. Il est branché en série avec un dipôle qu'on modélise par une résistance de valeur R.

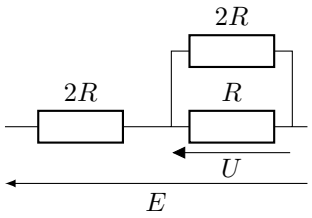


Q.1 Pour quelle valeur de R la puissance dissipée dans la résistance de valeur R est-elle maximale ?

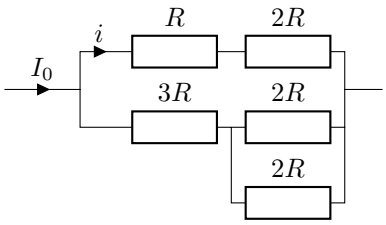
Q.2 Que vaut alors cette puissance ?

Exercice 4 : Ponts diviseurs

Q.1 Exprimer la tension U en fonction de E et R.

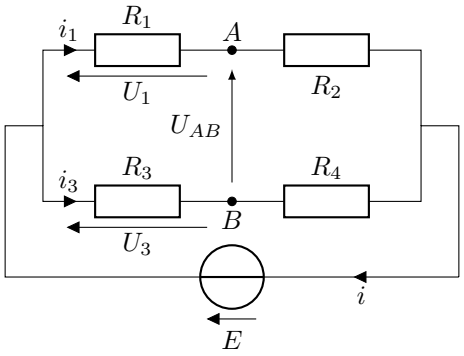


Q.2 Exprimer le courant i en fonction de I_0 et R.



Exercice 5 : Le pont de Wheatstone

Un pont de Wheatstone est constitué de quatre résistances selon le montage ci-dessous. Il permet de mesurer avec précision des faibles variations de résistances, notamment celle des thermistances, jauges de constraintes ou photorésistances.



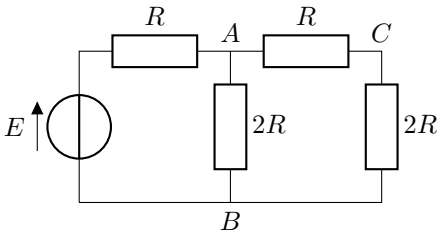
Q.1 En utilisant la formule du diviseur de tension, déterminer les valeurs de U_1 et U_3 en fonction de E et des valeurs des résistances.

Q.2 Le pont est dit équilibré lorsque $U_{AB} = 0$. Déterminer la relation entre les résistances pour équilibrer le pont.

Q.3 On utilise ce montage pour mesurer une résistance inconnue R_1 avec R_2 et R_3 fixée et R_4 variable. Pour cela, on branche un ampèremètre entre A et B et on fait varier R_4 jusqu'à ce que l'ampèremètre indique 0 A. La résistance r interne de l'appareil de mesure est-elle à prendre en compte ?

Exercice 6 : Double pont diviseur de tension

Dans ce circuit les valeurs des composants on a : $R = 10\,\Omega$ et $E = 5\,\text{V}$



Q.1 Calculer la résistance équivalente R_{AB} (R_2, R_3, R_4) entre les points A et B.

Q.2 En utilisant deux fois la formule du diviseur de tension calculer U_{CB}.

Exercice 7 : Alimentation stabilisée

Une alimentation stabilisée est un générateur qui peut fonctionné comme générateur idéal de tension ou générateur idéal de courant et dont la caractéristique est la suivante :



Q.1 Calculer la puissance dissipée par effet Joule si l'on branche une résistance $R = 1\,\Omega$, puis $R = 10\,\Omega$.

Q.2 Déterminer la résistance qui permet de dissiper le maximum de puissance.

TD 9 : Circuits linéaires du premier ordre

Questions d'application directe

Q.1 Rappeler les relations courant/tension du condensateur et de la bobine et établir les expressions des énergies stockées dans le condensateur et la bobine.

Q.2 Sur le circuit RC et le circuit RL en justifiant les équivalents en régimes permanent, exprimer toutes les grandeurs en régime permanent.

Q.3 Sur le circuit RC initialement déchargé, établir l'équation différentielle vérifiée par la tension ou le courant. La résoudre en justifiant la condition initiale.

Q.4 Sur le circuit RL initialement déchargé, établir l'équation différentielle vérifiée par la tension ou le courant. La résoudre en justifiant la condition initiale.

Q.5 À partir de la décharge d'un condensateur où $u(t) = U_0 e^{-t/\tau}$, établir les expressions de t_{95} et t_{99} pour atteindre 95% et 99% de la valeur finale.

Q.6 Établir le bilan d'énergie du circuit RC puis calculer le rendement énergétique lors de la charge du condensateur.

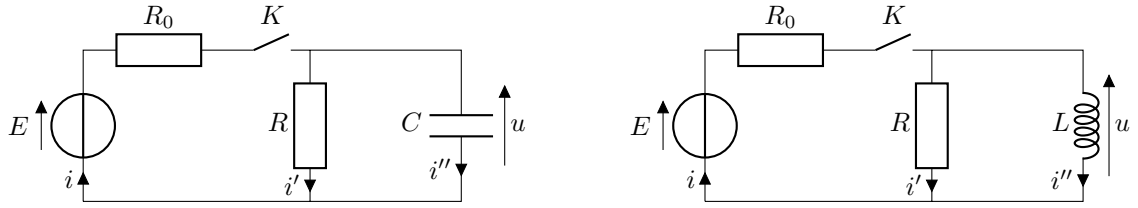
Q.7 Écrire un programme Python permettant de résoudre l'équation différentielle suivante à l'aide de la méthode d'Euler :

$$\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}t} + \frac{u}{\tau} = \frac{E}{\tau}$$

Exercices d'entraînement

Exercice 1 : Conditions initiales et régime permanent

On considère les circuits électriques suivant.



L'interrupteur est ouvert depuis longtemps. À $t = 0$, on ferme l'interrupteur.

Q.1 Pour chaque circuit, déterminer les valeurs de i, i', i'' et u à $t = 0^+$.

Q.2 Pour chaque circuit, déterminer les valeurs de i, i', i'' et u en régime permanent.

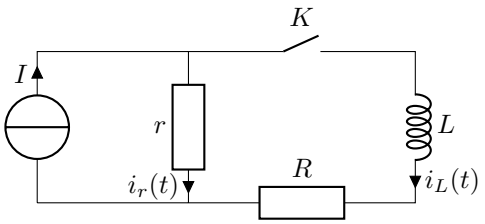
Exercice 2 : Étude d'un circuit à deux mailles

On considère le montage ci-dessous et on ferme l'interrupteur au temps $t = 0$.

Q.1 Quelles sont les valeurs de $i_r(t)$ et $i_L(t)$ pour $t = 0^+$ et $t \to +\infty$?

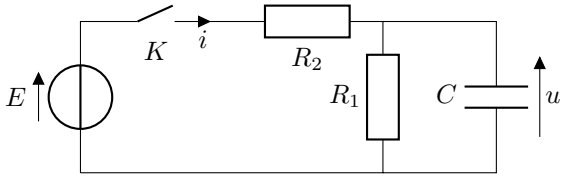
Q.2 Trouver l'équation différentielle pour i_L.

Q.3 La résoudre et vérifier le résultat grâce aux valeurs des courants en régime permanent.



Exercice 3 : Charge d'un condensateur

On considère le circuit suivant, le condensateur de capacité C étant déchargé, on ferme l'interrupteur K à l'instant $t = 0$.

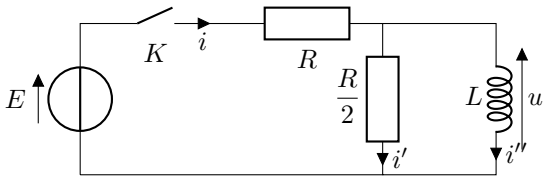


Q.1 Établir, à l'aide des lois de Kirchhoff, l'équation différentielle satisfaite par la tension $u(t)$. Quel est le temps caractéristique ?

Q.2 Quelles sont les expressions de $u(t)$ et $i(t)$?

Exercice 4 : Charge d'une bobine

Dans le circuit représenté ci-dessous le générateur de tension a une force électromotrice constante E. À l'intant $t = 0$, on ferme l'interrupteur K qui était ouvert depuis très longtemps.



Q.1 Donner les valeurs des intensités i, i' et i'' et de la tension u à $t = 0^+$.

Q.2 Que vaut $u(t)$ quand t tend vers l'infini ?

Q.3 Établir l'équation différentielle vérifiée par $u(t)$.

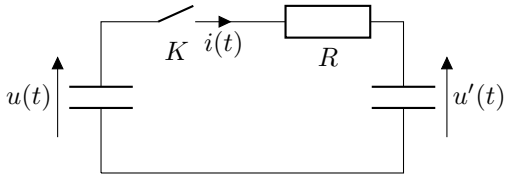
Q.4 En déduire l'expression de $u(t)$ et tracer l'allure de $u(t)$.

Q.5 Exprimer en fonction de L et R le temps t_0 au bout duquel $u(t)$ a été divisée par 10.

Pour approfondir

Exercice 5 : Décharge d'un condensateur dans un autre

Dans le circuit suivant, les deux condensateurs ont même capacité C. Le condensateur situé en bas est chargé sous la tension $u = U_0$ et le condensateur en haut est déchargé. On ferme alors l'interrupteur K à la date $t = 0$. On pose $\tau = RC$.



Q.1 Exprimer la tension $u'(t)$ en fonction de $u(t)$ et $i(t)$.

Q.2 Exprimer $i(t)$ en fonction de $u(t)$. Exprimer $i(t)$ en fonction de $u'(t)$.

Q.3 En déduire une relation entre $u(t)$ et $u'(t)$.

Q.4 En déduire l'équation différentielle vérifiée par $u(t)$ pour $t \geqslant 0$.

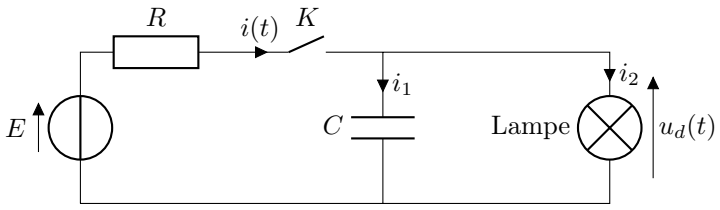
Q.5 En déduire les expressions des tensions $u(t)$ et $u'(t)$. Tracer leur allure sur un même graphe.

Q.6 À partir d'un bilan énergétique, déterminer l'énergie E_R reçue par la résistance au cours du régime transitoire.

Exercice 6 : Lampe témoin

Une lampe à décharge, dont la tension entre ses bornes est notée $U_d(t)$, possède les caractéristiques suivantes :

- si la lampe est éteinte, elle se comporte comme une résistance infinie (interrupteur ouvert) et reste éteinte tant que $|u_d(t)| < U_\text{a}$. La tension U_a est la tension d'allumage ;
- si la lampe est allumée, elle se comporte comme une résistance de valeur R_d et reste allumée tant que $|u_d(t)| > U_\text{e}$. La tension U_e est la tension d'extinction et $U_\text{e} < U_\text{a}$.



Q.1 Tracer la caractéristique $i = f(u)$ de la lampe à décharge lors d'une phase de charge allant de $u_d = 0$ à $u_d = U_\text{max}$ avec $U_\text{max} > U_\text{a}$. Tracer ensuite la même caractéristique pour une phase de décharge allant de $u_d = U_\text{max}$ à $u_d = 0$.

Q.2 Pour $t < 0$ le condensateur est déchargé et l'interrupteur est ouvert. À $t = 0$ on ferme ce dernier. Établir l'équation différentielle vérifiée par $u_d(t)$.

Q.3 Donner une condition sur la f.e.m. E pour que la lampe s'allume. Si cette condition est vérifiée, exprimer l'instant d'allumage T_a.

Q.4 Donner l'expression de $u_d(T_\text{a}^+)$, $i_1(T_\text{a}^+)$ et $i_1(T_\text{a}^+)$.

Q.5 Quelle équation différentielle vérifie $u_d(t)$ pour $t > T_\text{a}$? La résoudre.

Q.6 Sous quelle condition la lampe s'éteint spontanément ? Dans ce cas, donner l'instant d'extinction T_e. Que se passe-t-il ensuite ?

Q.7 En déduire la période ΔT du processus périodique.

TD 10 : Cinématique du point matériel

Questions d'application directe

Q.1 On considère un mouvement à accélération constante $\overrightarrow{a} = a_0 \overrightarrow{u}_x$ sans vitesse initiale depuis l'origine.

a) Justifier que le mouvement est à un degrés de liberté.

b) Établir l'équation du mouvement.

c) Intégrer pour obtenir les équations horaires.

Q.2 On considère un mouvement à accélération constante $\overrightarrow{a} = a_0 \overrightarrow{u}_y$, à $t = 0$ le point M est à l'origine avec une vitesse initiale $\overrightarrow{v_0} = v_0 \overrightarrow{u}_x$.

a) Justifier que le mouvement est à deux degrés de liberté.

b) Établir les équations du mouvement.

c) Intégrer pour obtenir les équations horaires puis l'équation de la trajectoire.

Q.3 Rappeler la définition des coordonnées polaires à l'aide d'un schéma et du vecteur position.

a) Établir les expressions des vecteurs vitesse et accélération.

b) Définir le repère de Frenet et donner l'expression de son accélération.

c) Dans le cas d'un mouvement circulaire, identifier $\overrightarrow{u_T}$ et $\overrightarrow{u_N}$.

Q.4 Rappeler la définition du déplacement élémentaire et donner son expression en coordonnées cartésienne, cylindrique et sphérique à l'aide d'un schéma.

Exercices d'entraînement

Exercice 1 : Interpellation pour vitesse scessive

Un conducteur roule à vitesse constante v_0 sur une route rectiligne. Comme il est en excès de vitesse à $100\,\mathrm{km \cdot h^{-1}}$, un gendarme à moto démarre à l'instant où la voiture passe à sa hauteur et accélère uniformément. Le gendarme atteint la vitesse de $90\,\mathrm{km \cdot h^{-1}}$ au bout de $10\,\mathrm{s}$.

Q.1 Quel sera le temps nécessaire au motard pour rattraper la voiture ? Quelle distance aura-t-il parcourue ? Quelle vitesse aura-t-il alors atteinte ?

Exercice 2 : Satellite géostationnaire

Un satellite géostationnaire est en mouvement circulaire uniforme autour de la Terre. Il ressent une accélération :

$$a = g_0 \left(\frac{R}{r}\right)^2$$

où $R = 6400\,\mathrm{km}$ est le rayon de la terre, $g_0 = 9{,}8\,\mathrm{m \cdot s^{-2}}$ et r est le rayon de l'orbite. La période de révolution du satellite est égale à la période de rotation de la terre sur elle-même.

Q.1 Calculer la période T de rotation de la Terre en secondes, puis la vitesse angulaire Ω.

Q.2 Déterminer l'altitude de l'orbite géostationnaire.

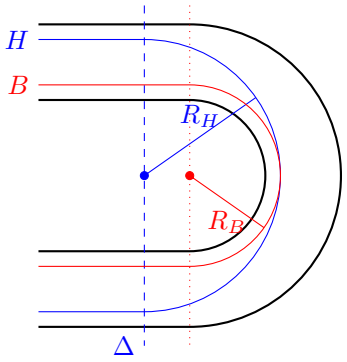
Q.3 Déterminer sa vitesse sur sa trajectoire et calculer sa norme.

Exercice 3 : Duel de Mercedes

Lors des essais chronométrés d'un grand prix, Lewis Hamilton et Valteri Bottas arrivent en ligne droite et coupent l'axe Δ au même instant de leur parcours. Ils prennent le virage de deux façons différentes :

- Hamilton suit une trajectoire circulaire de rayon $R_H = 90{,}0\,\mathrm{m}$.
- Bottas choisit une trajectoire de rayon $R_B = 75{,}0\,\mathrm{m}$.

On cherche à trouver la trajectoire optimale, c'est-à-dire à savoir lequel des deux pilotes gagne du temps dans le virage.



Q.1 Déterminer les distances D_H et D_B parcourues par les deux pilotes entre leurs deux passages par l'axe Δ. Peut-on conclure ?

Q.2 Pour simplifier, on imagine que les deux voitures roulent à des vitesse v_h et v_B constantes entre leurs deux passages par l'axe Δ. Déterminer ces vitesses en sachant que l'accélération des voitures doit rester inférieure à $0{,}8g$: au delà de cette limite, elles dérapent et finissent la course dans les graviers. Les calculer numériquement.

Q.3 Quelle est finalement la meilleur trajectoire ?

Exercice 4 : Course de voitures télécommandées

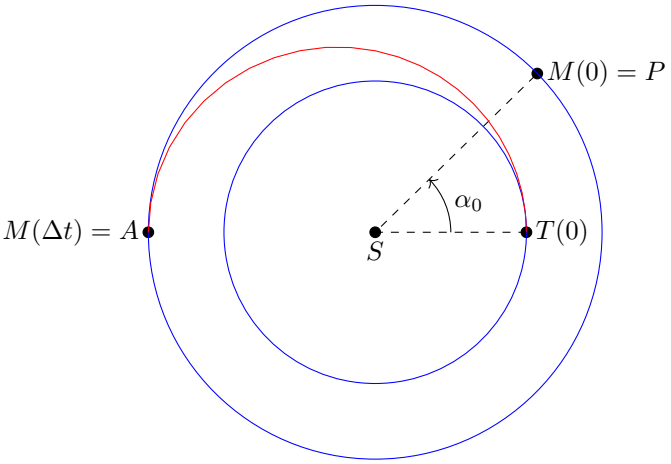
Emile et son copain comparent les performances des voitures télécommandées que le Père Noël leur a apporté. La voiture d'Emile a une accélération de $2\,\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-2}$ alors que celle de son copain accélère à $3\,\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-2}$, mais la voiture d'Emile peut atteindre $12\,\mathrm{km}\cdot\mathrm{h}^{-1}$ et celle de son copain plafonne à $10\,\mathrm{km}\cdot\mathrm{h}^{-1}$.

Q.1 Qui gagne la course dans l'allée du jardin, longue de 15 m.

Q.2 Grand prince, le gagnant accorde une revanche à son adversaire et lui laisse même choisir la distance de la course. Quelle distance le perdant doit-il proposer pour être sûr de gagner ?

Exercice 5 : Voyage Terre-Mars

Pour effectuer le voyage Terre-Mars, il faut transférer un objet de l'orbite terrestre à l'orbite martienne. Durant ce transfert, on néglige l'attraction des planètes pour ne retenir que celle du Soleil. L'une des trajectoires possibles est une ellipse, dont le Soleil est un des foyers, tangente à l'orbite terrestre en son périgée P, tangente à l'orbite martienne en son apogée A et coplanaire à l'orbite terrestre. Les mouvement de la Terre et de Mars sont uniformes, on note T_0 la période de révolution de la Terre autour du Soleil, T_1 celle de Mars et Δt la durée du voyage entre les deux. On assimile la trajectoire de la Terre autour du Soleil à un cercle de rayon a_0 décrit à la vitesse $v_0 = 30\,\mathrm{km}\cdot\mathrm{s}^{-1}$ et celle de Mars à une orbite circulaire coplanaire à l'orbite terrestre de rayon $a_1 = na_0 = 1{,}5a_0$. La situation initiale est représentée dans le schéma ci-dessous en notant α_0 l'angle initial entre la Terre et Mars tel que Mars soit à la bonne position à la fin du voyage.



Q.1 En notant θ_T et θ_M les positions angulaires respectives de la Terre et du Mars, établir leurs expressions.

Q.2 En déduire une relation entre T_0 la période de révolution de la Terre et a_0 et v_0 puis entre T_1 la période de révolution de Mars et a_1 et v_1.

Q.3 Établir l'expression de α_0 en fonction de T_0, T_1 et Δt.

Q.4 Si les voyageurs loupent le départ, ils doivent attendre que l'angle entre la Terre et Mars soit de nouveau à α_0 pour partir, exprimer la périodicité de ce positionnement en fonction de T_1, T_0 et Δt.

TD 11 : Dynamique du point matériel

Questions d'application directe

Q.1 Énoncer le principe d'inertie, et justifier à quel condition les référentiels classiques (Terrestre, géocentrique et héliocentrique) peuvent être supposés galiléens.

Q.2 Dans le cas d'un système composé de deux points, démontrer le théorème de la résultante cinétique.

Q.3 On considère un tir d'un projectile de masse m dans un champ de pesanteur uniforme $\overrightarrow{g} = -g\overrightarrow{u}_z$ avec une vitesse initiale $\overrightarrow{v_0} = v_0(\cos(\alpha\overrightarrow{u}_x + \sin(\alpha)\overrightarrow{u}_z)$.

a) Établir les équations du mouvement

b) Intégrer pour obtenir les équations horaires et l'équation de la trajectoire.

c) Déterminer la portée et la flèche.

d) Pour quelle valeur de α la portée est-elle maximale ?

Q.4 On considère une chute d'une bille de masse volumique ρ_b et de volume V dans un liquide de masse volumique ρ_f. La bille est soumise à une force de frottement fluide $\overrightarrow{f} = -\lambda - \overrightarrow{v}$. On lâche la bille de la surface sans vitesse initiale.

a) Établir l'équation du mouvement

b) Déterminer la vitesse limite et un temps caractéristique.

c) Montrer que l'équation du mouvement peut s'écrire en fonction d'une vitesse adimensionnée v^* et d'un temps adimensionné t^*.

d) En déduire l'ordre de grandeur de la profondeur pour que la bille atteigne la vitesse limite.

Q.5 On considère un parachutiste de masse m soumis à une force de frottement fluide $\overrightarrow{f} = -\mu v\overrightarrow{v}$. Le parachutiste saute sans vitesse initiale d'une hauteur h.

a) Justifier que la poussé d'Archimède est négligeable.

b) Établir l'équation du mouvement

c) Déterminer la vitesse limite et un temps caractéristique.

d) Montrer que l'équation du mouvement peut s'écrire en fonction d'une vitesse adimensionnée v^* et d'un temps adimensionné t^*.

e) En déduire l'ordre de grandeur de la profondeur pour que la bille atteigne la vitesse limite.

Exercices d'entraînement

Exercice 1 : Avion humanitaire

Un avion humanitaire vole à une altitude $h = 6000\,\text{m}$ à la vitesse $v_0 = 750\,\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$. Il laisse tomber un colis, assimilé à un point matériel, de masse m de nourriture et de médicaments, en passant à la verticale d'un point A.

Q.1 Déterminer le temps nécessaire τ pour que le colis atteigne le sol.

Q.2 Quelle est la distance d parcourue par l'avion pendant ce temps ?

Q.3 À quelle distance du point A se trouve le colis quand il arrive sur le sol ?

Q.4 Reprendre les questions précédentes si l'avion a initialement une trajectoire inclinée vers le bas d'un angle $\beta = 30°$ par rapport à l'horizontale.

Q.5 L'avion est dans les même conditions qu'à la question 4, De quelle hauteur doit-on lâcher le colis pour qu'il tombe à moins de 100 m du point A.

Exercice 2 : Balle immergée

On considère une balle de masse $m = 2{,}7\,\text{g}$ et de diamètre $d = 40\,\text{mm}$. La balle est lâché sans vitesse initiale au fond du bassin rempli d'eau. La balle remonte à la surface.

Le centre de masse G de la balle est repéré par son altitude z, initialement nulle. Lorsque $z = 30\,\text{cm}$ la partie supérieure de la balle affleure la surface du bain. La balle subit une force de frottement fluide de norme $F_f = hv^2$ proportionnelle au carré de sa vitesse v et opposée à son déplacement vertical.

Nous prendrons $g = 9{,}8\,\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$, $h = 0{,}30\,\text{USI}$ et $\mu_e = 1{,}0\times10^3\,\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ (masse volumique de l'eau).

Q.1 Faire un bilan des forces s'exerçant sur la balle lors de sa remontée vers la surface. Quelle est l'unité de h ?

Q.2 Appliquer la loi de la quantité de mouvement dans le référentiel terrestre supposé galiléen.

Q.3 Montrer qu'il existe une vitesse limite constante solution de cette équation du mouvement.

Q.4 Exprimer et calculer l'accélération initiale de la balle.

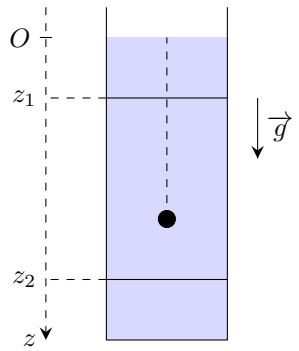
Q.5 Exprimer et calculer la durée caractéristique pour atteindre la vitesse limite.

Q.6 Évaluer la durée de la remontée de la balle vers la surface en précisant les éventuelles approximations effectuées.

Exercice 3 : Viscosimètre à billes

À $t = 0$ une bille d'acier de masse volumique $\rho = 7800\,\mathrm{kg\cdot m^{-3}}$ de rayon $r = 5\,\mathrm{mm}$ est déposée sans vitesse initiale à la surface d'un tube rempli de glycérine. La glycérine est un fluide visqueux de masse volumique $\rho_0 = 1260\,\mathrm{kg\cdot m^{-3}}$. On définit sa viscosité η par l'expression de la force de frottement $\overrightarrow{f}$ qu'elle exerce sur la bille quand celle-ci est en mouvement à la vitesse $\overrightarrow{v}$:

$$\overrightarrow{f} = -6\pi\eta r\overrightarrow{v}$$



La position de la bille est repérée par son abscisse $z(t)$ mesurée à l'instant t sur l'axe Oz vertical descendant fixe dans le référentiel $\mathscr{R}_g$ d'étude supposé galiléen. Le champ de pesanteur supposé constant a pour module $g = 9{,}81\,\mathrm{m\cdot s^{-2}}$.

Q.1 Établir l'équation différentielle vérifiée par la vitesse $v(t)$.

Q.2 Montrer que la vitesse de la bille tend vers une valeur limite dont on donnera l'expression en fonction des données du problème.

Q.3 Exprimer la durée caractéristique τ pour atteindre la vitesse limite. En déduire un ordre de grandeur de la distance de chute nécessaire pour l'atteindre.

Q.4 On place deux repères, l'un à $z_1 = 10\,\mathrm{cm}$ et l'autre à $z_2 = 50\,\mathrm{cm}$ sous la surface. On lâche la bille à la surface du liquide et on mesure $\Delta t = 1{,}6\,\mathrm{s}$ la durée pour que la bille passe du repère en z_1 au repère en z_2. Déterminer la valeur de la viscosité η en supposant la vitesse limite atteinte en z_1.

Q.5 Vérifier que l'hypothèse de vitesse limite atteinte en z_1 est pertinente. Le viscosimètre est-il adapté pour la mesure de la viscosité de l'eau avec $\eta_{\mathrm{eau}} = 1\times10^{-3}\,\mathrm{Pa\cdot s}$?

Pour approfondir

Exercice 4 : Tir d'un obus vers le zénith

Au 17e siècle, le Père Mersenne, ami et correspondant de Descartes, se livra à un tir d'obus, le canon étant pointé vers le zénith. Le résultat ne fut pas du tout celui escompté.

On se propose d'étudier l'influence de différents facteurs physiques sur la trajectoire de l'obus.

En un lieu O, un canon tire un obus à la vitesse $v_0 = 100\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$ suivant la verticale ascendante Oz. On désigne par $Oxyz$ un repère orthonormé lié à la Terre.

Le référentiel terrestre $\mathscr{R}$ est supposé galiléen. On note $\overrightarrow{g}$ le champ de pesanteur terrestre, de module g supposé constant égal à $10\,\mathrm{m\cdot s^{-2}}$.

La résistance de l'air sur l'obus, de forme sphérique de rayon $r_0 = 5\,\mathrm{cm}$ et animé d'une vitesse de norme v, se traduit par une force $\overrightarrow{f}$ de module $\|\overrightarrow{f}\| = k\pi r_0^2 v^2$. Au voisinage des conditions normales, $k = 0{,}25\,\mathrm{SI}$. L'obus est en plomb de masse volumique $\rho = 11{,}3\,\mathrm{g\cdot cm^{-3}}$.

Q.1 Préciser l'unité de k.

Q.2 En appliquant le principe fondamental de la dynamique. Établir l'équation du mouvement qu'on mettra sous la forme :

$$\frac{\mathrm{d}\dot{z}}{\mathrm{d}t} + \alpha(v)\dot{z} = \beta$$

avec $\alpha(v)$ une fonction qui dépend de la norme de v à préciser et β une constante à préciser.

Q.3 Montrer qu'il existe une vitesse limite qu'on notera $v_{\mathrm{lim}} > 0$ et un temps caractéristique τ qu'on exprimera en fonction de ρ, r_0, k et g. Faire l'application numérique.

Q.4 On pose $u = v^2$. Montrer que lors de la phase de montée, u vérifie l'équation :

$$\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}z} = -2g - 2\frac{k\pi}{m}r_0^2 u$$

Q.5 En posant $d = \dfrac{m}{2k\pi r_0^2}$, résoudre cette équation différentielle afin d'obtenir $u(z)$.

Q.6 En déduire $z(v)$. Exprimer l'altitude H atteinte par l'obus à la fin de la phase de montée.

Q.7 L'obus atteindra-t-il sa vitesse limite lors de sa phase de descente ?