



République Du Sénégal
Un Peuple – Un But – Une Foi

**MINISTERE DE
L'EDUCATION NATIONALE**

**MINISTERE DE L'EMPLOI, DE LA
FORMATION PROFESSIONNELLE
ET DE L'ARTISANAT**

INSPECTION D'ACADEMIE DE PIKINE-GUEDIAWAYE
**EN COLLABORATION AVEC L'INSPECTION GENERALE DE L'EDUCATION ET
DE LA FORMATION (IGEF)**

**CONVENTION DE PARTENARIAT ENTRE
L'INSPECTION D'ACADEMIE DE PIKINE-GUEDIAWAYE ET
LA CAISSE DES DEPÔTS ET CONSIGNATIONS (CDC)**



**CAISSE DES DÉPÔTS
ET CONSIGNATIONS**
— tiers de confiance —

Interdit à la vente

**FASCICULE DE PHYSIQUE
CHIMIE TERMINALE S**



Offert par :

- la CDC**
- la Ville de Guédiawaye**
- la Ville de Pikine**



Février 2020



République Du Sénégal
Un Peuple – Un But – Une Foi

**MINISTERE DE
L'EDUCATION NATIONALE**

**MINISTERE DE L'EMPLOI, DE LA
FORMATION PROFESSIONNELLE
ET DE L'ARTISANAT**

INSPECTION D'ACADEMIE DE PIKINE-GUEDIAWAYE
**EN COLLABORATION AVEC L'INSPECTION GENERALE DE L'EDUCATION ET
DE LA FORMATION (IGEF)**

**CONVENTION DE PARTENARIAT ENTRE
L'INSPECTION D'ACADEMIE DE PIKINE-GUEDIAWAYE ET
LA CAISSE DES DEPÔTS ET CONSIGNATIONS (CDC)**



Interdit à la vente

**FASCICULE DE PHYSIQUE
CHIMIE TERMINALE S**

Offert par :

- la CDC**
- la Ville de Guédiawaye**
- la Ville de Pikine**



Février 2020

COMITE DE PILOTAGE

N°	Prénoms et Nom	Structures
1.	Gana SENE	Inspection d'Académie de Pikine-Guédiawaye (Inspecteur d'Académie entrant)
2.	Seyni WADE	Inspection d'Académie de Pikine-Guédiawaye (Inspecteur d'Académie sortant)
3.	Idrissa GUEYE	Inspection d'Académie de Pikine-Guédiawaye (Secrétaire général entrant)
4.	Aboubakry Sadikh NIANG	Inspection d'Académie de Pikine-Guédiawaye (Secrétaire général sortant)
5.	Adama DIOUF	Consultant
6.	Saliou SALL	Centre régional de Formation des Personnels de l'Education (CRFPE) de Dakar
7.	Mamadou Lamine SYLLA	Caisse des Dépôts et Consignations (CDC)
8.	Matar DIOP	Caisse des Dépôts et Consignations (CDC)
9.	Samane M. GNING	Caisse des Dépôts et Consignations (CDC)
10.	Magueye SECK	Mairie de la Ville Pikine
11.	Salamata LY	Mairie de la Ville Pikine
12.	Charles Ousmaïla NDIAYE	Mairie de la Ville de Guédiawaye
13.	Pape Maoumy FALL	Mairie de la Ville de Guédiawaye

FASCICULE D'EXERCICES DE PHYSIQUE ET CHIMIE DE LA CLASSE DE TERMINALE S

TABLE DES MATIERES

EQUIPE DE REVISION ET DE VALIDATION.....	6
PRESENTATION DU RECUEIL D'EXERCICES.....	7
PREMIERE PARTIE : EXERCICES CORRIGES DE CHIMIE.....	8
CHAPITRE C1 LES ALCOOLS	9
CHAPITRE 2 LES AMINES.....	15
CHAPITRE C3 ACIDES CARBOXYLIQUES ET DERIVES	20
CHAPITRE 4 CINETIQUE CHIMIQUE.....	26
CHAPITRE 5.....	36
pH D'UNE SOLUTION AQUEUSE - AUTOPROTOLYSE DE L'EAU, PRODUIT IONIQUE INDICATEURS COLORES	36
CHAPITRE 6.....	41
NOTIONS D'ACIDE FORT ET DE BASE FORTE REACTION ENTRE ACIDE FORT ET BASE FORTE. 41	
CHAPITRE 7.....	51
ACIDES ET BASES FAIBLES, COUPLES ACIDE-BASE-	51
CONSTANTE D'ACIDITE ET.....	51
CLASSIFICATION DES COUPLES ACIDE – BASE.....	51
CHAPITRE 8 : REACTIONS ACIDE FAIBLE –	71
BASE FORTE ET ACIDE FORT -	71
BASE FAIBLE, DOSAGES, EFFET TAMPON.....	71
CHAPITRE 9 ACIDES A AMINES.....	80
DEUXIEME PARTIE : EXERCICES CORRIGES DE PHYSIQUE.....	88
CHAPITRE P1.....	89
CINEMATIQUE DU POINT MATERIEL	89
CHAPITRES 2 ET 3	107
BASES DE LA DYNAMIQUEAPPLICATION DES BASES DE LA DYNAMIQUE	107
CHAPITRE P4 GRAVITATION	UNIVERSELLE
.....	140
CHAPITRE 5.....	156
GENERALITES SUR LES CHAMPS MAGNETIQUES - CHAMPS MAGNETIQUES DES COURANTS..	156
CHAPITRE 6.....	160
MOUVEMENT D'UNE PART CHRGEE DANS UN CHAMP MAGNETIQUE UNIFORME	160
CHAPITRE P7 LOI DE LAPLACE	167
CHAPITRE P8.....	174
INDUCTION MAGNETIQUE- ETUDE D'UN DIPOLE (R, L)	174
CHAPITRE 9 ETUDE DU DIPOLE (R,C)	195

CHAPITRE10 : OSCILLATIONS ELECTRIQUES LIBRES ET OSCILLATIONS ELECTRIQUES FORCEES	201
CHAPITRE P12 INTERFERENCES LUMINEUSES	210
CHAPITRE 14	221
NIVEAUX D'ENERGIE DE L'ATOME	221

EQUIPE DE REVISION ET DE VALIDATION

Le présent fascicule a été révisé du point de la forme et du fond par le collège des Inspecteurs généraux de l'éducation de la formation (IGEF) de sciences physiques avant d'être validé par ledit collège.

L'équipe de révision et de validation est composée ainsi qu'il suit :

Prénom et Nom	Structure
Mayoro DIOP	IGEF
Salmone FAYE	IGEF
Saliou KANE	IGEF
Samba NDIAYE	IGEF
Songde SARR	IGEF

PRESENTATION DU RECUEIL D'EXERCICES

Le présent fascicule d'exercices est conçu pour les élèves.

Il aide à améliorer la qualité des apprentissages en sciences physiques et contribue à la promotion des sciences en accord avec la Lettre de Politique Générale de l'éducation.

De par son contenu, le recueil d'exercices couvre la totalité des chapitres du programme et prend en compte les instructions de la commission nationale.

La structuration du fascicule, la même pour tous les chapitres est déclinée en :

- Objectifs

Cette partie reprend les objectifs formulés dans le référentiel du programme

- Essentiel du cours

Sont présentées à ce niveau les connaissances fondamentales du chapitre considéré, connaissances que l'élève doit maîtriser pour pouvoir résoudre les exercices.

- Exercices

Des exercices sont conçus en rapport avec les objectifs sus visés.

Les types d'exercices sont variés et comprennent des phrases à trous, des questions à deux choix, des questions à réponses courtes, des questions de résolution de problèmes....

Dans les exercices, les capacités évaluées sont de type I (restitution de connaissances), type II(application) et III (analyse, synthèse).

- Corrigés des exercices

Des corrigés types sont donnés permettant à l'élève de s'approprier la démarche de résolution d'exercices et de problèmes.

L'utilisation à bon escient du fascicule devrait garantir la réussite à tout élève.

PREMIERE PARTIE : EXERCICES CORRIGES DE CHIMIE

CHAPITRE C1 LES ALCOOLS

A-OBJECTIFS

Construire les modèles des molécules d'alcools de différentes classes

Nommer un alcool.

Distinguer les trois classes d'alcool par leur formule ou par l'oxydation ménagée.

Ecrire les équations bilans traduisant les propriétés chimiques des alcools.

Citer les caractéristiques de la réaction d'estérification directe et celles de l'hydrolyse de l'ester.

Distinguer qualitativement une réaction totale d'une réaction réversible

B-L'ESSENTIEL DU COURS

Les alcools répondent à la formule générale $R-OH$ où R étant un groupe monovalent.

Si R est un radical alcoyle, l'alcool correspondant est alors appelé alcanol (monoalcool à chaîne carbonée aliphatique saturée).

La formule de l'alcanol dérive formellement de celle de l'alcane par remplacement d'un atome d'hydrogène par le groupe hydroxyle $-OH$.

La formule générale de l'alcanol s'écrit $C_nH_{2n+1}OH$ ou $C_nH_{2n+2}O$

Dans la molécule d'alcanol l'atome de carbone porteur du groupe fonctionnel $-OH$ est tétragonal ; il n'échange que des liaisons simples.

Dans la suite, sauf indication contraire, on utilisera le terme familier alcool pour désigner l'alcanol.

Le nom d'un alcool est obtenu, en numérotant la chaîne carbonée la plus longue de telle sorte que le carbone fonctionnel (carbone qui porte le groupe fonctionnel OH) ait le plus petit indice.

Le nom de l'alcool est obtenu à partir du nom de l'alcane en remplaçant la terminaison « e » par « ol » précédée d'un tiret et d'un chiffre qui correspond à la position du carbone fonctionnel dans la chaîne carbonée.

Il existe trois classes d'alcool :

Alcool primaire : le carbone fonctionnel est lié à deux atomes d'hydrogène, formule générale $R-CH_2-OH$

Alcool secondaire : le carbone fonctionnel est lié à un atome d'hydrogène, formule générale $R-CH(R')-OH$

Alcool tertiaire : le carbone fonctionnel n'est lié à aucun atome d'hydrogène, formule générale $R-C(R')(R'')-OH$

Les alcools sont préparés par hydratation des alcènes.

La combustion complète des alcools dans le dioxygène de l'air dégage du dioxyde de carbone et de l'eau. L'équation de la réaction est $C_nH_{2n+2}O + \frac{3n}{2}O_2 \rightarrow n CO_2 + (n+1) H_2O$

L'oxydation ménagée d'un alcool primaire ou secondaire peut se faire par action d'une solution acidifiée de permanganate de potassium ($K^+ + MnO_4^-$) ou de dichromate de potassium ($2 K^+ + Cr_2O_7^{2-}$).

L'oxydation ménagée d'un alcool primaire $R-CH_2-OH$ donne un aldéhyde $R-CHO$. Si l'oxydant est en excès l'oxydation se poursuit jusqu'à la formation de l'acide carboxylique $R-COOH$.

L'oxydation d'un alcool secondaire donne une cétone $R-CO-R'$. L'oxydation ménagée d'un alcool tertiaire n'est pas possible.

La déshydratation intramoléculaire d'un alcool donne un alcène. L'alcène le plus substitué est le produit majoritaire (règle de Zaitsev).

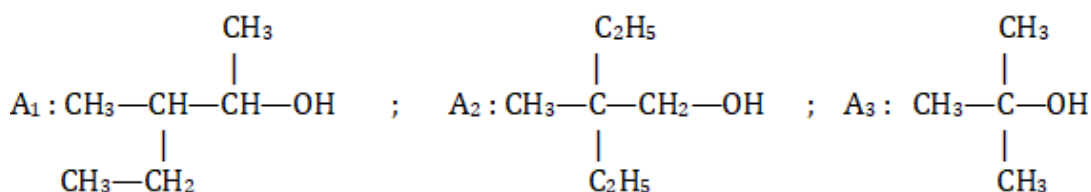
L'estérification directe est la réaction entre un alcool et un acide carboxylique. C'est une réaction lente athermique et limitée par la réaction inverse ; elle est dite réversible

C-EXERCICES

EXERCICE 1 :

1) Ecrire la formule semi-développée, et donner le nom et la classe de chacun dei isomères correspondants à la formule $C_5H_{11}OH$

2) On dispose de trois alcools A_1 , A_2 et A_3 de formules semi-développées respectives. Donner le nom et la classe de chaque alcool.



3) On a réalisé l'oxydation ménagé de l'un des alcools précédents par une solution acidifiée de permanganate de potassium (K^+ ; MnO_4^-), le produit formé un précipité jaune avec la 2,4-dinitrophénylhydrazine et ne réagit pas avec le réactif de Schiff.

- Préciser-en le justifiant l'alcool utilisé.
- Ecrire l'équation (ou les équations) de la réaction (ou des réactions) qui s'est produite (qui se sont produites)
- Donner la famille du (ou des) produit (s) formé (s).

4) La déshydratation intramoléculaire de l'alcool (A_3) a donné un composé (C).

- Ecrire l'équation-bilan de cette réaction.
- Donner le nom et la famille chimique de (C)

EXERCICE 2 :

La combustion complète de 7,4 g d'un alcool (A) donne 17,6 g de dioxyde de carbone.

- Ecrire l'équation de combustion complète de l'alcool (A). Ecrire le bilan molaire.
- Déterminer la formule brute de l'alcool (A).
- Donner les formules semi-développées, les noms et les classes de tous les alcools isomères correspondant à cette formule brute.
- L'oxydation ménagée de (A) donne un composé (B) qui réagit avec la 2-4-dinitrophénylhydrazine (DNPH) réagit avec le réactif de schiff.
 - Identifier la classe de l'alcool (A) en justifiant la réponse.
 - Donner la formule semi-développée de (A) sachant que l'alcool est ramifié.

EXERCICE 3

L'analyse élémentaire d'un composé (A) a donné 62 % de carbone, 27,6 % d'oxygène et 10,4 % d'hydrogène.

- Sachant que la masse molaire de (A) est égale à 58 g.mol⁻¹, déterminer la formule brute de (A).
- Donner la forme semi-développée et le nom de chaque isomère répondant à la formule brute de (A).
- Le composé (A) ne réagit pas avec le réactif de schiff. Identifier (A).
- Comment peut-on préparer (A) à partir d'un alcool (B) ?

- 5) L'isomère (B') de (B) subit une oxydation ménagée dans le dioxygène de l'air en excès.
- Décrire cette expérience et identifier les produits obtenus.
 - Ecrire les équations -bilan des réactions qui se sont déroulées durant de cette expérience.

EXERCICE 4

On réalise l'oxydation ménagée d'un alcool (A) dont la chaîne carbonée compte quatre atomes de carbone par une solution de dichromate en milieu acide. On obtient un composé (B) qui donne un précipité jaune avec la D.N.P.H mais ne réagit pas avec le réactif de schiff.

- Donner la formule brute de (A). Donner sa formule semi-développée et son nom.
- Ecrire l'équation de cette réaction et donner le nom du produit (B) formée en utilisant les formules semi-développées
- On réalise la combustion complète du composé (A) dans un volume $V = 0,4$ L de dioxygène pris dans les conditions normales de température et de pression.
 - Ecrire l'équation de la réaction
 - Calculer la masse de l'alcool (A) consommée par cette réaction.

EXERCICE 5

- La combustion complète de 0,37 g d'un alcool (A) nécessite un volume $V = 0,72$ L de dioxygène dans les conditions de température et de pression où le volume molaire des gaz est égal à 24 L.mol^{-1} .
 - Ecrire l'équation de la combustion complète de l'alcool (A).
 - Déterminer la formule brute de (A). On donne $M(\text{C}) = 12 \text{ mol}^{-1}$, $M(\text{H}) = 1 \text{ g.mol}^{-1}$ et $M(\text{O}) = 16 \text{ g.mol}^{-1}$
 - Donner les formules semi-développées, les noms et les classes de tous les alcools isomères correspondant à cette formule brute.
- On réalise l'oxydation de (A) par le dioxygène de l'air, on obtient un composé (B) qui rosit avec le réactif de schiff.
 - Décrire cette expérience.
 - Identifier l'alcool (A) sachant que son isomère de position ne réagit pas au cours d'une oxydation ménagée.
 - Donner la formule semi-développée de (B) et son nom.
 - L'oxydation ménagée de (B) donne un composé (C), donner le nom et la formule semi-développée de (C).
- On réalise la déshydratation de l'alcool (A) à une température de 180°C , on obtient un composé organique (D)
 - Ecrire l'équation de la réaction de déshydratation de (A).
 - Donner la famille, le nom et la formule semi-développée de (D).

EXERCICE 6

Un alcool (A) saturée a une densité de vapeur $d = 3,03$.

- L'oxydation ménagée de (A) par une solution de dichromate de potassium acidifiée conduit à un composé (B) qui réagit avec la 2,4-dinitrophénylhydrazine.
 - Quelle peut être la fonction du composé (B) ?
 - Ecrire l'équation bilan de la réaction d'oxydoréduction qui a lieu.
- On laisse réagir dans une étuve, un mélange de 0,5 mol de l'alcool (A) et 2,0 mol d'acide éthanóique. Au bout d'une journée, n'évolueant plus. La composition du mélange contient alors 1,6 mol d'acide éthanóique. Calculer la masse d'ester formé ainsi le taux d'alcool estérifié.

- 3) Sachant que (A) est un alcool secondaire à chaîne ramifiée et dont la molécule possède un carbone asymétrique (Carbone lié à quatre substituants différents). Identifier (A).

EXERCICE 7

Un monoalcool saturé (A) a pour masse molaire $M_A = 74 \text{ g.mol}^{-1}$.

- 1) Quelle est sa formule brute ? En déduire ses différents isomères.
- 2) L'oxydation ménagée de (A) par une solution de dichromate de potassium en milieu acide conduit à un composé B qui réagit avec la D.N.P.H mais est sans action sur la liqueur de Fehling. En déduire la formule semi-développée et le nom de l'alcool (A).
 - a) Montrer que (A) est une molécule chirale (molécule renfermant un carbone asymétrique)
 - b) Ecrire l'équation bilan de la réaction d'oxydation de (A) en (B). Donner le nom de (B).
- 3) L'action d'un mono acide carboxylique saturé $R\text{---COOH}$ sur l'alcool (A) conduit à un corps (E) de formule brute $C_5H_{10}O_2$.
 - a) De quel type de réaction s'agit-il ? Quelles sont ses caractéristiques ? Quel serait l'effet d'une élévation de température sur cette réaction ?
 - b) Ecrire l'équation bilan générale de cette réaction.
 - c) En déduire la formule semi-développée et le nom de l'acide carboxylique utilisé.
 - d) Donner la formule semi-développée et le nom du corps E formé.
- 4) Au départ on avait mélangé 7,4 g de A et 4,6 g de l'acide $R\text{---COOH}$. Quelle masse de corps (E) obtient en fin de réaction.

On rappelle que la limite d'estérification pour un mélange équimolaire acide carboxylique-alcool est environ : 66% si l'alcool est primaire ; 60% s'il est secondaire ; 5% si l'alcool est tertiaire.

EXERCICE 8

L'addition d'eau à un alcène A conduit à un alcool (produit majoritaire) B. Ce dernier contient en masse 21 % d'élément oxygène

- 1) Déterminer la formule brute de B.
- 2) L'alcool B contient un carbone asymétrique. Identifier B.
- 3) Préciser les alcènes (formules et noms) qui permettent de préparer B par hydratation.

EXERCICE 9

L'hydrolyse d'un corps A de formule $(C_9H_{10}O_2)$ mène à un acide carboxylique C et à un alcool D.

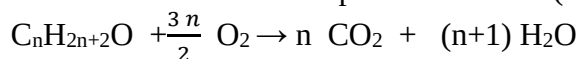
- 1) Quelle est la fonction chimique de A ?
- 2) La formule brute de C est $C_2H_4O_2$. Ecrire sa formule semi -développée et donner son nom.
- 3) Quelles sont les caractéristiques de la réaction ci-dessus ?
- 4) Déterminer la formule brute de D sachant qu'il s'agit de l'alcool benzylique.
Ecrire sa formule développée
- 5) Ecrire la formule semi-développée de A.

D-CORRIGE DES EXERCICES

EXERCICE 2 :

La combustion complète de 7,4 g d'un alcool (A) donne 17,6 g de dioxyde de carbone.

- 1) Ecrivons l'équation de combustion complète de l'alcool (A). Ecrire le bilan molaire.



- 2) Déterminons la formule brute de l'alcool (A).

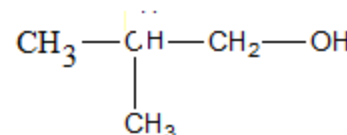
$$\frac{n_{alcool}}{1} = \frac{n_{CO_2}}{n} = \frac{m_{alcool}}{M_{alcool}} = \frac{7,4}{14n + 18} = \frac{17,6}{44n}$$

La résolution de l'équation donne $n = 4$; la formule brute est $C_4H_{10}O$

- 3) Donnons les formules semi-développées, les noms et les classes de tous les alcools isomères correspondant à cette formule brute.

Formules semi développées	Nom	Classe
$H_3C - H_2C - CH_2 - CH_2 - OH$	butan-1-ol	Primaire
$ \begin{array}{c} H \\ \\ CH_3 - C - CH_2 - CH_3 \\ \\ OH \end{array} $	butan-2-ol	Secondaire
$ \begin{array}{c} CH_3 \\ \\ H_3C - C - OH \\ \\ CH_3 \end{array} $	2-méthylpropan-2-ol	Tertiaire
$ \begin{array}{c} CH_3 - CH - CH_2 - OH \\ \\ CH_3 \end{array} $	2-méthylpropan-1-ol	Primaire

- 4) L'oxydation ménagée de (A) donne un composé (B) qui réagit avec la 2-4-DNPH réagit avec le réactif de Schiff.
- c) Identifions la classe de l'alcool (A) en justifiant la réponse.
L'oxydation d'un alcool primaire donne un aldéhyde. L'oxydation d'un alcool secondaire donne une cétone. L'aldéhyde, contrairement à la cétone réagit avec le réactif de Schiff. Donc B est un aldéhyde et l'alcool A est primaire
- d) Donnons la formule semi-développée de (A) sachant que l'alcool est ramifié. La formule de l'alcool est



EXERCICE 3 :

L'analyse élémentaire d'un composé (A) a donné 62 % de carbone, 27,6 % d'oxygène et 10,4 % d'hydrogène.

- 1) Sachant que la masse molaire de (A) est égale à 58 g.mol^{-1} , déterminons la formule brute de (A). La formule du composé est $C_xH_yO_z$

$$\frac{12x}{62} = \frac{y}{10,4} = \frac{16z}{27,6} = \frac{M}{100} = \frac{58}{100}$$

Le calcul donne $x = 3$; $y = 6$ et $z = 1$ la formule du composé (A) est C_3H_6O

- 2) Donnons la formule semi-développée et le nom de chaque isomère répondant à la formule brute de (A).

formule semi-développée	Nom
$CH_3 - \overset{H_2}{\underset{\cdot\cdot}{C}} - COH$	Propanal

$\begin{array}{c} \text{CH}_3 - \text{C} - \text{CH}_3 \\ \\ \text{O} \end{array}$	Propanone
---	-----------

- 3) Le composé (A) ne réagit pas avec le réactif de schiff. Identifier (A).

A est un aldéhyde donc A est la propanal

- 4) Comment peut-on préparer (A) à partir d'un alcool (B) ?

Pour préparer l'aldéhyde (A) à partir de l'alcool (B) il faut faire une oxydation ménagée à l'aide d'une solution acidifiée de dichromate de potassium. L'alcool B doit un alcool primaire.

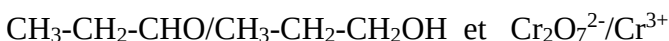
- 5) L'isomère (B') de (B) subit une oxydation ménagée dans le dioxygène de l'air en excès.

- a) Décrivons cette expérience et identifier les produits obtenus.

B' est un alcool secondaire. En fait il s'agit du propan-2-ol. On mélange B' avec quelques millilitres d'une solution acidifiée de dichromate de potassium. On observe que la couleur du mélange passe de jaune-orangée à verte. Il se forme une cétone ; c'est la propanone

- b) Ecrire les équations des réactions qui se déroulent durant cette expérience.

Les deux couples qui interviennent dans cette expérience sont



EXERCICE 4

On réalise l'oxydation ménagée d'un alcool (A) dont la chaîne carbonée compte quatre atomes de carbone par une solution de dichromate en milieu acide. On obtient un composé (B) qui donne un précipité jaune avec la D.N.P.H mais ne réagit pas avec le réactif de schiff.

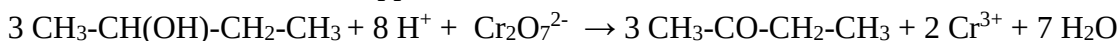
- 1) Donnons la formule brute de (A). $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$

Donnons sa formule semi-développée et son nom.

Le produit obtenu après oxydation est une cétone donc l'alcool est de classe secondaire

$\text{CH}_3\text{-CH(OH)-CH}_2\text{-CH}_3$ l'alcool (A) son nom est butan-2-ol

- 2) Ecrivons l'équation de cette réaction et donnons le nom du produit (B) formé en utilisant les formules semi-développées



- 3) On réalise la combustion complète du composé (A) dans un volume $V = 0,4 \text{ L}$ de dioxygène pris dans les conditions normales de température et de pression.

- a) Ecrivons l'équation de la réaction $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O} + 6 \text{ O}_2 \rightarrow 4 \text{ CO}_2 + 5 \text{ H}_2\text{O}$

- b) Calculons la masse de l'alcool (A) consommée par cette réaction.

$$\frac{m_{\text{alcool}}}{M_{\text{alcool}}} = \frac{V_{\text{O}_2}}{6 V_M} \text{ la masse est } m_{\text{alcool}} = \frac{0,4 \times 74}{22,4 \times 6} = 0,22 \text{ g}$$

CHAPITRE 2 LES AMINES

A - OBJECTIFS

Nommer une amine à partir de sa formule développée ou semi-développée

Différencier les trois classes d'amine

Donner les caractéristiques de l'ionisation d'une amine dans l'eau.

Mettre en évidence les propriétés basiques des amines.

B – L'ESSENTIEL DU COURS

Les amines sont des composés azotés qui dérivent formellement de l'ammoniac NH_3 par remplacement d'un ou plusieurs atomes d'hydrogène par des groupes carbonés.

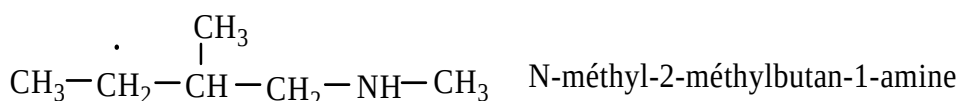
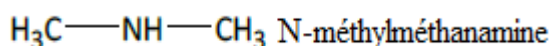
La formule générale des amines est $\text{C}_n\text{H}_{2n+3}\text{N}$.

Selon le nombre de carbones liés à l'atome d'azote, on distingue trois classes d'amine :

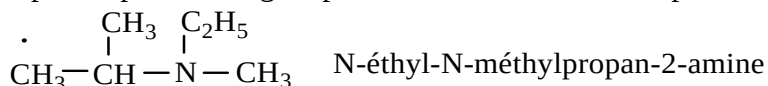
- la classe des amines primaires $\text{R}-\text{NH}_2$ où R- est un radical alkyle
- la classe des amines secondaires $\text{R}-\text{NH}-\text{R}'$
- la classe des amines tertiaires $\begin{array}{c} \text{R}-\text{N}-\text{R}'' \\ | \\ \text{R}' \end{array}$

On forme le nom d'une amine primaire à l'aide d'un préfixe qui est le nom de l'alcane (sans le "e" final) correspondant à la chaîne carbonée, suivi de l'indice de position du groupe amine sur cette chaîne et on termine par "amine".

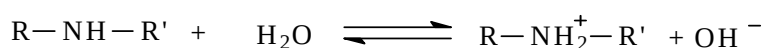
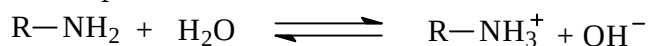
Dans le cas d'une amine secondaire, on forme le nom à partir du nom de l'amine primaire correspondant au groupe carboné ayant le plus d'atomes de carbone que l'on fait précéder par la lettre "N" suivie d'un tiret et du nom de l'autre groupe carboné lié à l'atome d'azote.



Pour l'amine tertiaire, on forme le nom à partir du nom de l'amine primaire correspondant au groupe carboné ayant le plus d'atomes de carbone que l'on fait précéder par la lettre "N" suivie d'un tiret et du nom d'un des deux autres groupes carbonés liés à l'atome d'azote, suivi d'une virgule et à nouveau de la lettre "N" suivie d'un tiret et du nom du deuxième groupe carboné lié à l'atome d'azote (dans le cas de groupes identiques on écrit deux lettres "N" séparées par une virgule puis un tiret et on utilise le préfixe "di" suivi du nom du groupe).

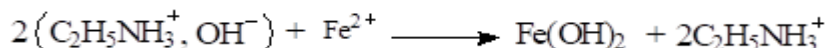


Les amines s'ionisent dans l'eau. La réaction produit des ions hydroxyde OH^- ; elle est limitée par la réaction inverse :



Les amines ont un caractère basique dans l'eau.

Les solutions d'ammoniac et d'amines aliphatiques donnent des précipités d'hydroxyde avec certains ions métalliques tels que Cu^{2+} , Fe^{3+} , Fe^{2+} , Al^{3+} , etc.

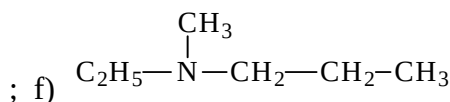
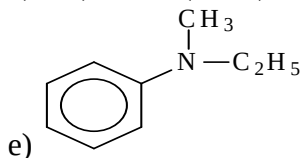


Les solutions d'amines réagissent avec les acides et ont une action sur les indicateurs colorés

C - EXERCICES

EXERCICE 1

- 1) Ecrire les formules semi-développées des amines dont les noms sont donnés ci-après. Indiquer la classe de chacune d'elle.
 - a) N-éthyl, N-méthylbutanamine ; b) N-méthyl, 1-méthylpropanamine ;
 - c) N-méthylisopropylamine ; d) 3-éthyl-2,3-diméthylheptanamine ;
 - e) 1-méthyl-2-phényléthanamine ; f) 1,3-propanediamine ; g) N, N-diéthylbutanamine.
- 2) Nommer les composés dont les formules sont écrites ci-dessous et préciser la classe de chacune d'elle.
 - a) $(\text{CH}_3)_3\text{C}-\text{NH}(\text{C}_2\text{H}_5)$; b) $\text{H}_2\text{N}-\text{CH}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$; c) $(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{NH}$; d) $\text{CH}_3-\text{NH}-\text{CH}(\text{CH}_3)_2$



EXERCICE 2

Une amine aliphatique (A) saturée présente un pourcentage pondéral en azote égal à 19,18%

- 1) Déterminer sa formule brute.
- 2) Ecrire toutes les formules semi-développées possibles correspondant à cette formule brute.
- 3) Nommer chacune de ces amines et indiquer sa classe.

Données : masse molaire atomiques : N : 14 g.mol^{-1} ; C : 12 g.mol^{-1} ; H : 1 g.mol^{-1}

EXERCICE 3

L'analyse de 0,59 g d'une substance organique renfermant du carbone, de l'hydrogène et de l'azote a donné les résultats suivants : 132 g de dioxyde de carbone ; 0,821 g d'eau et 0,17 g d'ammoniac.

La densité de vapeur de la substance est de $d = 2,03$.

- 1) Déterminer la formule brute du composé.
- 2) Ecrire les formules semi-développées des amines répondant à cette formule.

EXERCICE 4

On considère une amine saturée (B) contenant 23,76 % en masse d'azote.

- 1) Ecrire la formule générale d'une amine saturée comportant x atomes de carbone ; puis la mettre sous la forme $\text{C}_x\text{H}_y\text{N}$.
- 2) Exprimer y en fonction de x .
- 3) Déterminer la formule brute de (B). Ecrire les différentes formules semi-développées possibles et nommer les composés correspondant.
- 4) Identifier (B) sachant que l'atome de carbone lié à N est lié à deux autres atomes de carbones.

EXERCICE 5

On considère la diéthylamine $(C_2H_5)_2NH$.

- 1) Quel acide obtient on en faisant réagir la diéthylamine avec de l'eau ?
- 2) On fait réagir la diéthylamine avec une solution aqueuse d'acide chlorhydrique. On observe un précipité blanc. Quel est ce corps ? Ecrire l'équation-bilan de la réaction.

EXERCICE 6

On considère un composé organique (A) essentiellement formé de carbone, d'hydrogène et d'azote de formule brute $C_xH_yN_z$. La combustion d'une masse $m = 0,2500g$ de (A), donne une masse $m' = 0,5592g$ de dioxyde de carbone. La destruction d'une même masse de A, libère un volume $V = 0,00474L$ d'ammoniac ; volume mesuré dans les conditions normales. Par ailleurs la densité de vapeur de A est voisine de $d = 2,03$.

- 1) Déterminer la composition centésimale massique du composé
- 2) Calculer sa masse molaire.
- 3) Déterminer sa formule brute. En déduire que (A) est une amine aliphatique.
- 4) Pour confirmer les résultats de la question 9.3., on dissout une masse $m = 14,75 g$ de A dans 500 mL d'eau.

On prélève 20 mL de cette solution que l'on dose en présence de Bleu de Bromothymol, par une solution d'acide chlorhydrique de concentration molaire $C_a = 1 \text{ mol/L}$. Le virage de l'indicateur coloré est obtenu pour un volume $V_a = 10 \text{ cm}^3$ d'acide versé.

- 4.1) Déterminer la concentration molaire de la solution de (A).
- 4.2) Déterminer la masse molaire de (A) et en déduire sa formule brute.
- 4.3) Ecrire les différentes formules semi-développées possibles de A et les nommer. On précisera leur classe.
- 4.4) Identifier le composé (A) sachant qu'il est de classe tertiaire.
- 4.5) Ecrire l'équation bilan de la dissolution de (A) dans l'eau. Quel caractère des amines cette réaction met-elle en évidence ?
- 4.6) Quelle teinte a pris la solution de A en présence du B.B.T ?

Données : Masse molaire atomique en g/mol : $H = 1$; $C = 12$; $N = 14$. Volume molaire : $V_0 = 22,4L/mol$

EXERCICE 7

On considère une amine primaire à chaîne carbonée saturée possédant n atomes de carbone.

- 1) Exprimer en fonction de n le pourcentage en masse d'azote qu'elle contient.
- 2) Une masse $m = 15 g$ d'une telle amine contient 2,9 g d'azote.
 - 2.1) Déterminer la formule brute de l'amine.
 - 2.2) Ecrire les formules développées des isomères possibles des monoamines primaires compatibles avec la formule brute trouvée.
- 3) On considère la monoamine à chaîne carbonée linéaire non ramifiée.
 - 3.1) Ecrire l'équation de la réaction de cette monoamine primaire avec l'eau.
 - 3.2) On verse quelques gouttes de phénolphthaléine dans un échantillon de la solution préparée. Quelle est la coloration prise par la solution ?

(On rappelle que la phénolphthaléine est incolore en milieu acide et rose violacée en milieu basique)

EXERCICE 8

On considère une amine aromatique de formule générale C_xH_yN ne comportant qu'un seul cycle.

- 1) Exprimer x et y en fonction du nombre n d'atomes de carbone qui ne font pas partie du cycle.

2) La microanalyse d'une telle amine fournit, pour l'azote, un pourcentage en masse de 13,08 %.

2.1) Déterminer n.

2.2) Ecrire les formules développées des différents isomères et donner leurs noms.

D - CORRIGE DES EXERCICES

EXERCICE 2

1) Déterminons la formule brute correspondante.

$$M = 12n + 2n + 3 + 14 = 14n + 17 ;$$

$$\text{On a alors : } 0,1918 = \frac{14}{14n+17} \Rightarrow 2,6852n = 14 - 17 \times 0,1918 = 10,7394 \Rightarrow n = 4$$

D'où la formule : $C_4H_{11}N$

Formules noms et classes

$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-NH_2$	butanamine	amine primaire
$CH_3-CH_2-CH_2-NH-CH_3$	N-méthylpropan-1-amine	amine secondaire
$CH_3-CH_2-NH-CH_2-CH_3$	N,N-diéthylamine	amine secondaire
$CH_3-\underset{\substack{ \\ CH_3}}{CH}-CH_2-NH_2$	2-méthylpropan-1-amine	amine primaire
$CH_3-CH_2-\underset{\substack{ \\ CH_3}}{CH}-NH_2$	1-méthylpropan-1-amine	amine primaire
$CH_3-\underset{\substack{ \\ CH_3}}{CH}-NH-CH_3$	N-méthylisopropylamine	amine secondaire
$CH_3-CH_2-\underset{\substack{ \\ CH_3}}{N}-CH_3$	N,N-diméthylétanamine	amine tertiaire

EXERCICE 4

1) $C_xH_{2x+3}N$; ce qu'on peut mettre sous la forme C_xH_yN

$$2) y = 2x + 3$$

3) Formule brute et semi-développées possibles de (B)

$$M = 12x + 2x + 17$$

$$\% N = \frac{14}{14x + 17} = 0,2376 \Rightarrow 3,3264x + 4,0392 = 14 \Rightarrow x = \frac{14 - 4,0392}{3,3263} = 3$$

Formule brute : C_3H_9N

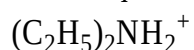
4) Identifions B



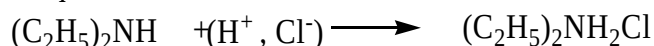
EXERCICE 5

On considère la diéthylamine $(C_2H_5)_2NH$.

1) L'acide que l'on obtient on en faisant réagir la diéthylamine avec de l'eau.



2) Le corps qui précipite est le chlorure de diéthylammonium $(C_2H_5)_2NH_2Cl$
L'équation-bilan de la réaction



EXERCICE 6

1) Déterminons la composition centésimale massique du composé

$$n(CO_2) = \frac{0,5592}{44} = 0,0127 \text{ mole}$$

$$m(C) = \frac{0,5592}{44} \times 12 = 0,1525 \text{ g}$$

$$\%(C) = \frac{0,1525}{0,2500} \times 100 = 61 \%$$

$$n(N_2) = \frac{0,00474}{22,4} = 0,0042 \text{ mole}$$

$$m(N_2) = \frac{0,00474}{22,4} \times 28 = 0,05925 \text{ g}$$

$$\%(N_2) = \frac{0,05925}{0,2500} \times 100 = 23,7 \%$$

$$\%H = 100 - (24 + 61) = 15 \%$$

2) Calculons sa masse molaire

$$M = 29 \text{ d} = 29 \times 2,03 = 59 \text{ g. mol}^{-1}$$

6) Déterminer. En déduire que (A) est une amine aliphatique.

3) Déterminons sa formule brute

$$\frac{12x}{\%C} = \frac{y}{\%H} = \frac{14z}{\%N} = \frac{M}{100}; y = \frac{59 \times 15}{100} = 9; x = \frac{59 \times 61}{12 \times 100} = 3; z = \frac{59 \times 23,7}{14 \times 100} = 1$$

Formule : C_3H_9N

4.1) Concentration de la solution C =

$$\text{On a : } C_b \cdot V_b = C_a \cdot V_a \Rightarrow C_b = \frac{1 \times 10 \cdot 10^{-3}}{20 \cdot 10^{-3}} = 0,5 \text{ mol. L}^{-1}$$

Nombre de moles de A contenu dans 20 mL de la solution préparée

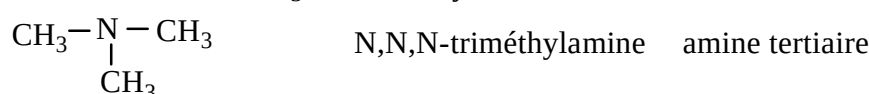
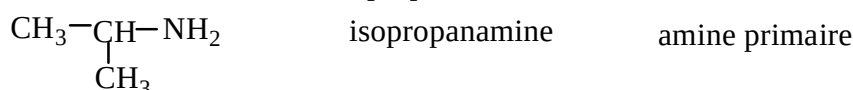
$$n = C_a \cdot V_a = 1 \times 10 \cdot 10^{-3} \text{ mole} = 10^{-2} \text{ mole}$$

4.2) Masse molaire de (A)

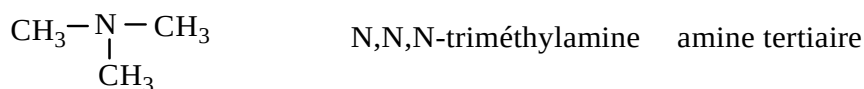
$$M = \frac{m}{V \cdot C_b} = \frac{14,75}{500 \cdot 10^{-3} \times 0,5} = 59 \text{ g. mol}^{-1}$$

Formule brute C_3H_9N

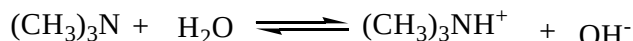
4.3) les différentes formules semi-développées et les noms des composés correspondant



4.3) Identifions le composé



4.5 Réaction avec l'eau



4.6) Cette réaction met en évidence le caractère basique des amines.

La solution de A en présence du B.B prend une teinte bleue

CHAPITRE C3 ACIDES CARBOXYLIQUES ET DERIVES

A-OBJECTIFS

Ecrire les formules brutes et les formules semi-développées des acides carboxyliques et des fonctions dérivées.

Nommer les acides carboxyliques et les fonctions dérivées.

Rappeler les propriétés des acides carboxyliques et des fonctions dérivées.

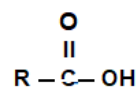
Ecrire les équations des réactions étudiées.

Donner quelques applications des acides carboxyliques et des fonctions dérivées dans la vie courante

B-L'ESSENTIEL DU COURS

La formule générale d'un acide carboxylique s'écrit :

R est un atome d'hydrogène ou un groupe alkyle, comporte un noyau aromatique, R peut être une chaîne carbonée non saturée



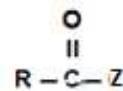
Les acides carboxyliques réagissent avec l'eau : la réaction est limitée par la réaction inverse

Les solutions aqueuses d'acides carboxyliques réagissent avec les bases, certains métaux, les indicateurs colorés.

La formule d'un dérivé d'acide s'obtient formellement à partir de celle d'un acide carboxylique par remplacement du groupe -OH par un groupe monovalent -Z

Les dérivés des acides carboxyliques ont pour formule générale :

Le groupe monovalent Z peut être : un atome de chlore, un groupe carboxylate, un groupe alcoxy, un groupe azoté....

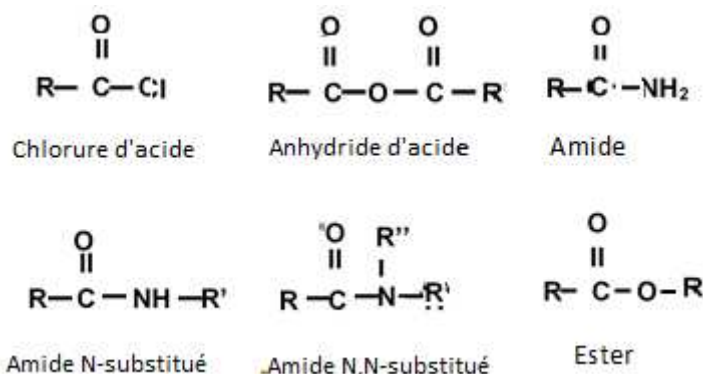


Les dérivés d'acide carboxyliques sont :

- les chlorures d'acyle : sont obtenus en traitant les acides carboxyliques par du pentachlorure de phosphore PCl_5 , du trichlorure de phosphore PCl_3 ; du chlorure de thionyle SOCl_2
- les anhydrides d'acide : peuvent être obtenus par élimination d'eau à partir de deux fonctions carboxyliques, par action d'un chlorure d'acyle sur un acide ou un ion carboxylate :
- Un ester peut être obtenu par action d'un acide carboxylique sur alcool (estérification directe), par action d'un chlorure d'acyle ou d'un anhydride d'acide sur un alcool (estérification indirecte). L'estérification directe est lente athermique et limitée. L'estérification indirecte est une réaction rapide et totale.

Les esters réagissent sur les bases fortes telles que l'hydroxyde de sodium, l'hydroxyde de potassium. La réaction porte le nom de saponification. La réaction donne un alcool et un carboxylate de sodium ou de potassium. Avec certains esters la saponification conduit à la fabrication de savon.

- L'amide dérive de l'action de l'ammoniac, d'une amine primaire, d'une amine secondaire sur un acide carboxylique, cela conduit à la formation d'un carboxylate d'ammonium ou d'un carboxylate d'alkylammonium. Le carboxylate porté à haute température se déshydrate avec formation d'un amide.



C- EXERCICES

EXERCICE 1

1.1. Ecrire les formules semi développées des composés suivants :

- | | |
|------------------------------------|--|
| a) acide 3,4-diméthylpentanoïque. | .g) benzoate de 2-méthyl propyle |
| b) acide butanedioïque. | .h) pentanoate de 2-méthyl butyle. |
| c) N-éthyl N-méthyl éthanamide. | i) anhydride éthanoïque et propanoïque |
| d) Chlorure de 3-phényl butanoyle. | j) Anhydride benzoïque. . |
| f) N-éthyl 2-méthyl pentanamide | k) benzoate de benzyle |

1.2. Donner les noms des corps correspondant aux formules

- | | |
|---|---|
| a) $\begin{array}{c} \text{CH}_3 - \text{CH} - \text{CH} - \text{COOH} \\ \quad \\ \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \end{array}$ | e) $\begin{array}{c} \text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_2 - \text{CH} - \text{CO} - \text{O} - \text{C OCH}_3 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$ |
| b) $\text{C}_6\text{H}_5 - \text{COO} - \text{C}_2\text{H}_5$ | f) $\begin{array}{c} \text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{C O Cl} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$ |
| c) $\begin{array}{c} \text{CH}_3 - \text{CH} - \text{COO} - \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{CH}_3 \\ \quad \\ \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \end{array}$ | g) $\text{CH}_3 (\text{CH}_2)_6 \text{CO}_2 (\text{CH}_2)_9 \text{CH}_3$ |
| d) $\begin{array}{c} \text{CH}_3 - \text{CH} - \text{C} - \text{N} - \text{CH}_3 \\ \quad \parallel \quad \\ \text{CH}_3 \quad \text{O} \quad \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$ | h) $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CONHC}_6\text{H}_5$. |
| | i) $\text{CH}_3 (\text{CH}_2)_2 \text{CO} - \text{O} - \text{CO} (\text{CH}_2)_2 \text{CH}_3$. |

EXERCICE 2

On dispose d'un mélange de propan-1-ol (noté A) et de propan-2-ol (noté B) dont la masse totale est de 18,00 g.

- 2.1. Ecrire les formules semi développées de ces deux alcools. Préciser leur classe.
- 2.2. On procède à l'oxydation ménagée, en milieu acide, de ce mélange par une solution aqueuse de dichromate de potassium en excès. On admet que A ne donne que l'acide C ; B donne D.
 - 2.2.1. Ecrire les formules semi développées de C et D. Les nommer.
 - 2.2.2. Quels tests permettent de caractériser la fonction chimique de D sans ambiguïté ?
 - 2.2.3. Ecrire l'équation bilan de la réaction d'oxydoréduction de A en C sachant que l'un des couples oxydant/réducteur mis en jeu est $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} / \text{Cr}^{3+}$.
- 2.3. On sépare C et D par un procédé convenable. On dissout C dans de l'eau et on complète le volume à 100 ml. On prélève 10 ml de la solution obtenue que l'on dose par une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium, à 1 mol.l^{-1} . L'équivalence acido-basique est obtenue quand on a versé 11,3 ml de solution d'hydroxyde de sodium. Calculer les masses de A et B contenues dans le mélange initial. On admettra que les réactions d'oxydation de A et B sont totales.

EXERCICE 3

Soit un corps A, à chaîne carbonée saturée, ne possédant qu'une seule fonction organique, dont on veut déterminer la formule développée.

- 3.1. Sur 3,7 g de A, on fait réagir du chlorure d'éthanoyle en excès. Il se forme un ester et du chlorure d'hydrogène.
 - 3.1.2. **Préciser la fonction chimique de A**
 - 3.1.3. **Ecrire l'équation-bilan de la réaction ; on utilisera une formule générale pour le composé A**
 - 3.1.4. Le chlorure d'hydrogène formé est recueilli en totalité dans 5 litres d'eau, la concentration molaire de la solution obtenue vaut 2 mol/L . Déterminer la masse molaire et la formule brute de A.
 - 3.1.5. **Ecrire** les formules semi développées envisageables pour A.
- 3.2. Sur une autre part de A, on fait à présent agir une petite quantité de dichromate de potassium en milieu acide. Il se forme un produit B qui donne avec la liqueur de Fehling à chaud, un précipité rouge brique.
 - 3.2.1. **Préciser la fonction chimique de B**
 - 3.2.2. Ces expériences ont-elles permis **d'identifier** précisément le composé A ?

EXERCICE 4

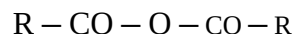
On dissout $m = 3,11 \text{ g}$ d'un acide carboxylique A à chaîne carbonée saturée dans de l'eau pure. La solution obtenue a un volume $V = 1 \text{ litre}$. On prélève un volume $V_A = 10 \text{ cm}^3$ que l'on dose à l'aide d'une solution d'hydroxyde de sodium de concentration $C_B = 5 \cdot 10^{-2} \text{ mol.l}^{-1}$. L'équivalence est atteinte quand on a versé un volume $V_B = 8,5 \text{ cm}^3$ de la solution d'hydroxyde de sodium.

- 4.1. Calculer la concentration C_A de la solution d'acide.
- 4.2. En déduire la formule brute de l'acide A, sa formule semi développée et son nom.
- 4.3. On fait réagir sur A le pentachlorure de phosphore. Donner la formule semi développée et le nom du composé obtenu. Donner une autre méthode de préparation de ce composé.
- 4.4. On fait réagir sur A le décaoxyde de tétraphosphore. Ecrire la formule semi développée et nommer le composé obtenu.

- 4.4.1. On fait réagir sur A le butan-1-ol. Ecrire la formule semi développée et nommer le composé obtenu.
- 4.4.2. Préciser les caractéristiques de cette réaction

EXERCICE 5

On considère l'anhydride d'acide de formule générale :



R étant une chaîne carbonée saturée

5.1. Ecrire l'équation-bilan de sa réaction d'hydrolyse.

5.2. Partant d'une masse de 1,02 g de cet anhydride on obtient à la fin de l'hydrolyse, un composé X intégralement recueilli dans un certain volume d'eau distillée. La solution obtenue est dosée en présence d'un indicateur coloré approprié. Il faut alors verser 20 cm³ d'une solution de soude à 1 nmol.L⁻¹ pour atteindre l'équivalence.

5.2.1. Déterminer la formule développée de X ; préciser sa fonction et la nommer.

5.2.2. En déduire la masse molaire de l'anhydride d'acide, préciser sa formule développée et le nommer.

EXERCICE 6

On chauffe un mélange équimolaire d'acide éthanoïque et d'acide propanoïque avec de l'oxyde de phosphore P₄O₁₀. La distillation fractionnée des produits de la réaction permet d'isoler trois composés organiques A, B et C. Tous réagissent vivement avec l'eau et conduisent aux produits indiqués ci-après

- A engendre l'acide éthanoïque ;
- B conduit à l'acide propanoïque ;
- C donne naissance à un mélange équimolaire des deux acides éthanoïque et propanoïque.

6.1. Identifier les composés A et B. Ecrire leurs formules semi développées et les nommer. Ecrire les équations-bilans de leurs réactions de formation.

6.2. Identifier le corps C. Ecrire sa formule semi développée. Ecrire l'équation bilan de sa réaction de formation.

6.3. A et B réagissent avec l'ammoniac en engendrant, respectivement, les amides A' et B'. Ecrire les équations-bilans et nommer A' et B'.

6.4. Le composé C réagit aussi avec l'ammoniac et forme un mélange équimolaire de deux amides A' et B'. Interpréter les réactions conduisant à A' et B' par des équations bilan.

EXERCICE 7

On fait réagir un acide organique X sur un alcool primaire ; on obtient un produit de formule brute C₄H₈O₂.

7.1. Ecrire les formules semi-développées possibles de ce produit. Nommer les composés correspondants.

7.2. En faisant réagir l'ammoniac sur l'acide organique X, on obtient un carboxylate d'ammonium Y. Celui-ci par chauffage, se déshydrate ; on obtient un composé Z de formule C₃H₇ON.

- 7.2.1. Ecrire les formules semi-développées et donner les noms de X, Y et Z.
- 7.2.2. Ecrire l'équation-bilan de la transformation de l'acide organique en carboxylate d'ammonium, puis celle correspondant à la formation de Z.
- 7.3. On a obtenu 14,6 g du composé Z de formule C_3H_7ON . Sachant que le rendement de la réaction de déshydratation est de 85%, déterminer la masse de carboxylate d'ammonium utilisée.

EXERCICE 8

On considère les acides gras distincts $R_1 - COOH$; $R_2 - COOH$; $R_3 - COOH$.

- 8.1. Combien existe-t-il de triglycérides différents dont l'hydrolyse fournit simultanément les trois acides précédents ? Ecrire leurs formules semi développées.
Même question, mais l'hydrolyse conduit, cette fois, à un mélange des deux premiers acides.
- 8.2 Déterminer la formule brute $C_xH_yO_z$ d'un ester d'acide carboxylique à chaîne saturée linéaire non cyclique et d'alcool dérivé d'un alcane linéaire.
- 8.3 Un ester E contient une masse de carbone égale à 2,25 fois la masse de l'oxygène qu'il renferme. Déterminer la formule brute de E.
- 8.4 Ecrire les formules semi développées de tous les esters isomères de E.
- 8.5 On chauffe l'ester E avec une solution aqueuse concentrée d'hydroxyde de sodium puis on ajoute, après refroidissement, de l'acide chlorhydrique avec précaution jusqu'à ce que le pH devienne égal à 2.
- 8.1.1. En écrivant la formule de l'ester sous la forme $R - COOR'$, écrire les équations bilan des deux réactions précédentes.
- 8.1.2. Soient A et B les produits formés. On chauffe leur mélange avec une solution sulfurique de dichromate de potassium ; B est alors complètement transformé en A. En déduire les formules semi-développées et les noms des composés A, B et C.

EXERCICE 9

Le paracétamol est un principe actif de formule semi-développée : $HO-C_6H_5-NH-CO-CH_3$

- 9.1. Retrouver les formules semi développées de l'acide carboxylique et du composé azoté dont il est issu.
- 9.2. Pourquoi utilise-t-on de l'anhydride 4- hydroxybenzoïque plutôt que l'acide 4-hydroxybenzoïque pour synthétiser le paracétamol ? Ecrire l'équation bilan correspondante en considérant que l'amine utilisée ne réagit pas avec l'acide formé au cours de la réaction.
- 9.3. Le rendement de cette synthèse par rapport au paraminophénol est égal à $\rho = 79,7 \%$. Déterminer la quantité de para-aminophénol nécessaire à la synthèse de $m(P) = 3,00$ g de paracétamol, masse globale de principe actif contenue dans une boîte de Doliprane pour enfant.
- 9.4. Quelle réaction supplémentaire pourrait-on prévoir entre le paracétamol et l'anhydride 4-hydroxybenzoïque ? En fait, dans les conditions expérimentales utilisées, cette réaction n'a pas lieu.

D – CORRIGE DES EXERCICES

EXERCICE 2

Formules semi développées et noms de A et B



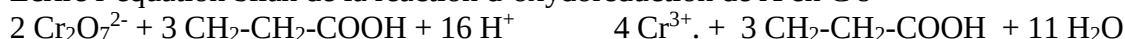
2.4.**2.4.1.** Formules semi développées et noms de C et D

Le composé C est un acide $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-COOH}$

Le composé D est une cétone $\text{CH}_3\text{-CO-CH}_3$

2.4.2. Action d'un indicateur coloré

Ecrire l'équation bilan de la réaction d'oxydoréduction de A en C s

**2.5.**

A l'équivalence : $n(\text{C}) = n(\text{OH}^-) = C_B V_B = 0,0113 \text{ mol}$ de dans 10 mL de solution

Dans les 100 mL on aura $n'(\text{C}) = 10 n(\text{C}) = 0,113 \text{ mol}$

Quantité de matière de A : $n(\text{A}) = n'(\text{C})$

Masse de A : $m = n(\text{A}) \cdot M(\text{A}) = 0,113 \times 60 = 6,78 \text{ g}$

Masse de B : $m(\text{B}) = m - m(\text{A}) = 11,22 \text{ g}$

EXERCICE 7**7.4.** Formules semi-développées possibles du produit X

Le produit de formule brute $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$ obtenu est un ester dont la formule semi-développée peut être $\text{CH}_3\text{-COOCH}_2\text{-CH}_3$; $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-COOCH}_3$; $\text{HCOO-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_3$

D'où on tire les formules semi-développées possibles de X :

CH_3COOH acide éthanique ; $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-COOH}$ acide propanoïque ; HCOOH acide méthanoïque

7.5..**7.5.1.** Formules semi-développées et noms de X, Y et Z.

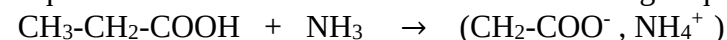
Z est un amide non substitué puis qu'on l'obtient à partir d'acide et d'ammoniac ; sa formule est : $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CO-NH}_2$ propanamide

Formule semi-développée de Y :

$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CO-NH}_2$ Propanamide

$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-COONH}_4$ Propanoate d'ammonium

Formule et nom de X : $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-COOH}$ acide propanoïque

7.5.2. Equation-bilan de la transformation de l'acide organique en carboxylate d'ammonium,

Equation de la formation de Z.

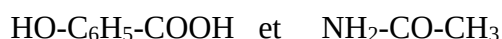
**7.6.** La masse de carboxylate d'ammonium utilisée.

Le rendement en quantité de matière est $r = \frac{n(\text{exp})}{n(\text{théor})} \times 100$ d'où $n(\text{théor}) = \frac{n(\text{exp})}{r} \times 100$

$n(\text{exp}) = \frac{m_{\text{exp}}}{M} = \frac{14,6}{M}$ avec M = masse molaire de Z ; $n(\text{exp}) = 0,2 \text{ mol}$.

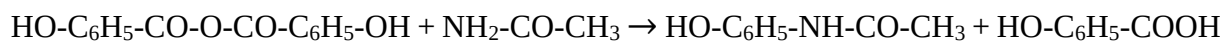
D'où l'on déduit : $n(\text{theo}) = 0,23 \text{ mol}$

Masse de carboxylate d'ammonium : $m = n(\text{théor}) \times M(\text{carboxylate}) = 21 \text{ g}$

EXERCICE 9**9.1** Formules semi développées de l'acide carboxylique et du composé azoté

9.2 Avec l'anhydride 4-hydroxybenzoïque la réaction est rapide et totale, permettant d'avoir un bon rendement alors qu'avec l'acide 4-hydroxybenzoïque la réaction est limitée

Equation bilan de la réaction



9.3 Quantité de para-aminophénol nécessaire

$$n(A) = n(\text{Pthéor}) \text{ or } n(\text{Pthéor}) = r \, n(\text{Pexp}) = r \, m(P) / M(P)$$

$$m(A) = n(A) \times M(A) = r \, \frac{m(P)M(A)}{M(P)}$$

9.4 Réaction supplémentaire qu'on pourrait prévoir :

Réaction d'estérification du fait du groupement hydroxyle du paracétamol

CHAPITRE 4 CINETIQUE CHIMIQUE

A – OBJECTIFS

Définir la vitesse de formation d'un produit et/ou de disparition d'un réactif à volume constant.

Rappeler l'influence des facteurs cinétiques sur la vitesse de réaction

Utiliser l'influence des facteurs cinétiques sur la vitesse.

Donner quelques applications de la cinétique chimique.

B - L'ESSENTIEL DU COURS

La vitesse moyenne de formation d'un produit D pendant la durée $\Delta t = t_2 - t_1$ est :

$$\overline{\mathcal{V}_{fD}}(t_1, t_1 + \Delta t) = \frac{n(D)[t_1, t_1 + \Delta t] - n(D)[t_1,]}{\Delta t}$$

La vitesse instantanée de formation d'un produit D à l'instant de date t_1 est la valeur à la date t_1 , de la fonction dérivée de $n(D)(t)$: $\mathcal{V}_{fD} = \left(\frac{dn(D)}{dt} \right)_{t=t_1}$

La vitesse de formation d'un corps D à l'instant de date t_1 est égale au coefficient directeur (ou pente) de la tangente à la courbe $n(D)(t)$ au point d'abscisse t_1

La vitesse moyenne de disparition d'un réactif A pendant la durée $\Delta t = t_2 - t_1$ est :

$$\overline{\mathcal{V}_{dA}}(t_1, t_1 + \Delta t) = - \frac{n(A)[t_1, t_1 + \Delta t] - n(A)[t_1,]}{\Delta t}$$

La vitesse instantanée de disparition d'un réactif A à l'instant de date t_1 est la valeur à la date t_1 , de la fonction dérivée de $n(A)(t)$: $\mathcal{V}_{dA} = - \left(\frac{dn(A)}{dt} \right)_{t=t_1}$

Pour une réaction totale, on appelle temps de demi-réaction $\tau_{1/2}$ la durée nécessaire pour consommer la moitié du réactif limitant initialement présent.

Pour une réaction se déroulant dans une solution de volume V, on définit la vitesse volumique de formation d'un produit D (ou de disparition d'un réactif A) comme le quotient de la vitesse de formation de D (ou de disparition d'un réactif A) par le volume V

$$\mathbb{V}_{fD} = \frac{1}{V} \mathcal{V}_{fD} = \frac{1}{V} \left(\frac{dn(D)}{dt} \right)_{t=t_1} \text{ et } \mathbb{V}_{dA} = \frac{1}{V} \mathcal{V}_{dA} = - \frac{1}{V} \left(\frac{dn(A)}{dt} \right)_{t=t_1}$$

La vitesse volumique est homogène à une quantité de matière divisée par le produit d'un volume et d'un temps : on donc l'exprimer en $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$ ou plus fréquemment en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$

Si le volume est constant et si le réactif A et le produit D sont dissous :

$$v_{fD} = \frac{1}{V} \mathcal{V}_{fD} = \left(\frac{d\left(\frac{n(D)}{V}\right)}{dt} \right)_{t=t_1} = \frac{d[D]}{dt} \quad \text{et} \quad v_{dA} = \frac{1}{V} \mathcal{V}_{dA} = - \left(\frac{d\left(\frac{n(A)}{V}\right)}{dt} \right)_{t=t_1} = - \frac{d[A]}{dt}$$

En général, les vitesses de disparition des réactifs et de formation des produits d'une réaction augmentent quand les concentrations en réactifs augmentent

Au cours des réactions chimiques, les concentrations en réactifs diminuent ; c'est la raison pour laquelle les vitesses de disparition des réactifs et de formation des produits décroissent généralement au fur et à mesure de l'avancement des réactions.

La vitesse d'une réaction mettant en jeu un réactif solide dépend de l'étendue de la surface : la réaction est d'autant plus rapide que cette surface est plus grande.

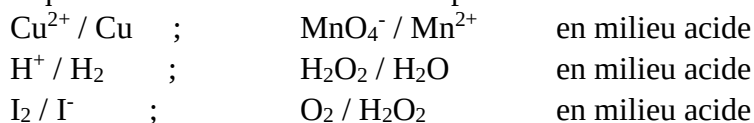
D'une manière générale, la vitesse d'évolution d'un système chimique croît avec la température.

C-EXERCICES

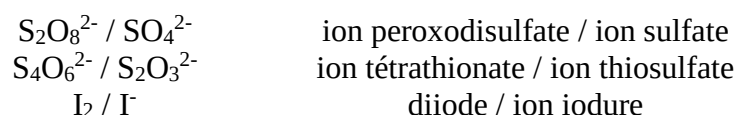
EXERCICE 1 :

Les espèces en solution devraient être notées avec l'indication (aq). Les espèces gazeuses devraient être notées (g) et les espèces solides devraient être notées (s). Pour simplifier les notations nous les noterons sans les indices respectifs (aq), (g) et (s).

1) Ecrire les demi-équations rédox relatives aux couples suivants



2) On considère les couples suivants



2. a- On verse une solution aqueuse de diiode (coloration brune) dans une solution aqueuse de thiosulfate de sodium (incolore). Ecrire l'équation de la réaction et expliquer la décoloration observée.

2. b- On verse une solution de peroxodisulfate de potassium (incolore) dans une solution d'iodure de potassium (incolore). Ecrire l'équation de la réaction. Qu'observe-t-on?

EXERCICE 2

On étudie la cinétique de la réaction d'oxydation des ions iodures par l'eau oxygénée.

Pour ce faire, à la date $t = 0$, on introduit dans un erlenmeyer 5 mL d'iodure de potassium de concentration $C_1 = 5 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ et 5 mL d'une solution d'eau oxygénée de concentration $C_2 = 0,25 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ préalablement acidifiée par de l'acide sulfurique en excès. On donne les potentiels standard d'oxydoréduction : $E_1 (\text{H}_2\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}) = 1,76 \text{ V}$ et $E_2 (\text{I}_2 / \text{I}^-) = 0,54 \text{ V}$.

1) Etablir l'équation de la réaction.

2) Calculer les concentrations initiales en ion iodure et en eau oxygénée. Quel est le réactif

limitant ?

3) Le diiode formé colore en brun la solution. Sa concentration est donnée dans le tableau suivant :

t en min	1	2	3	4	5	6	7
[I ₂] en mmol.L ⁻¹	0,28	0,51	0,70	0,82	0,93	1,00	1,05

Tracer la courbe [I₂] = f (t).

4) Déterminer la concentration [I₂]_∞ du diiode au bout d'un temps infini.

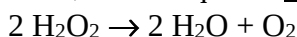
5) Déterminer le temps de demi-réaction $\tau_{1/2}$.

6) Calculer la vitesse volumique moyenne de formation du diiode I₂ entre les dates t₁ = 0 min et t₂ = 4 min.

7) Calculer la vitesse volumique instantanée de formation du diiode I₂ à la date t₂ = 4 min. En déduire, à la même date, les vitesses de disparition V (H₂O₂) et V (I⁻).

EXERCICE 3

On étudie, à température constante, la cinétique de dismutation de l'eau oxygénée



1) A la date t = 0, la solution contient 0,060 mole d'eau oxygénée. Son volume, constant, est V_S = 1 L.

On mesure, à pression constante, le volume V(O₂) de gaz dégagé au cours du temps.

1.a- Calculer, en mole, la quantité de dioxygène N (O₂) formé à la date t en fonction de V (O₂) et de V_m = 24 L.mol⁻¹ (volume molaire d'un gaz à la température de l'expérience).

1 b- En déduire, à la même date t, la quantité de H₂O₂ disparu, puis la concentration C en eau oxygénée restante.

1 c- Les résultats de l'expérience sont dans le tableau suivant :

t en min	0	5	10	15	20	25	30	35	40	80
V(O ₂) en L	0	0,16	0,27	0,36	0,44	0,50	0,54	0,59	0,61	0,68
C en mol.L ⁻¹	0,08									

Compléter la tableau et tracer le graphe C = f (t).

1 .d- Définir la vitesse volumique v (t) de disparition de H₂O₂ à la date t.

- Calculer cette vitesse à la date t₁ = 10 min puis à la date t₂ = 30 min.
- Quel facteur cinétique explique la variation de la vitesse de disparition de H₂O₂ ?

2) Une étude complète montre que v(t) est liée à la concentration C par une relation de type :

$$v = k.C \text{ avec } k = 7,9 \cdot 10^{-4} \text{ S.I.}$$

2 a- Cette relation permet-elle de retrouver v (30 min) de la question 1.d ?

2 b- Prévoir d'après les résultats du cours comment évolue la constante k en fonction de la température.

2.c-

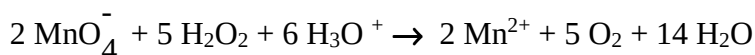
Tracer l'allure du graphe si on opérait en présence du catalyseur Fe²⁺ ? (Définir un catalyseur).

EXERCICE 4

A la date $t = 0$, on mélange, dans un bécher, 50 mL d'une solution acidifiée de permanganate de potassium

($\text{K}^+ + \text{MnO}_4^-$), de concentration $C_1 = 1,00 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$ avec 50 mL d'une solution d'eau oxygénée H_2O_2 de concentration $C_2 = 1,00 \cdot 10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$.

1) L'équation-bilan de la réaction s'écrit :



Ecrire les demi-équations d'oxydoréduction correspondant à l'équation-bilan ci-dessus.

Comparer les forces des espèces oxydantes et représenter les deux couples $\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}$ et $\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}_2$ sur l'échelle des potentiels standard d'oxydoréduction.

2) Calculer la quantité de matière des ions MnO_4^- présents dans le mélange à la date $t = 0$, ainsi que la concentration correspondante $[\text{MnO}_4^-]$ en mol.L^{-1} .

En déduire la quantité de matière d'eau oxygénée nécessaire pour réduire tout le permanganate.

En a-t-on suffisamment dans le mélange initial ? Y a-t-il un réactif limitant ?

3) La courbe ci-dessous représente les variations de la concentration $[\text{Mn}^{2+}]$ en fonction du temps. Définir la vitesse moyenne de formation de l'ion Mn^{2+} et déterminer graphiquement sa valeur entre les dates $t_0 = 0 \text{ s}$ et $t_2 = 4,5 \text{ s}$.

4) Définir la vitesse instantanée de formation de l'ion Mn^{2+} et déterminer graphiquement sa valeur aux dates

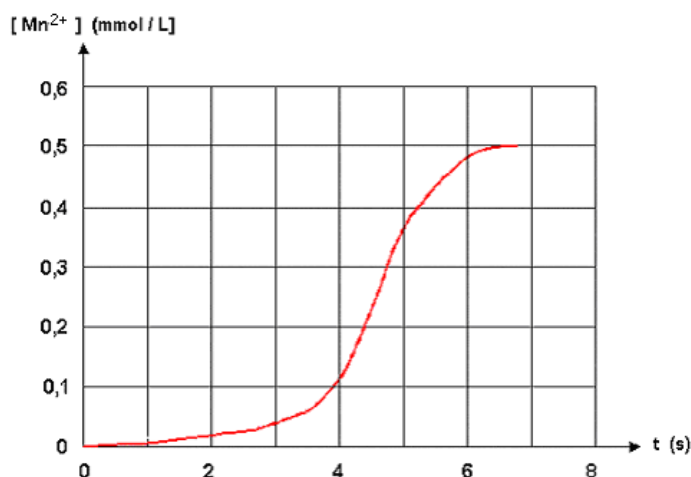
$t_1 = 2 \text{ s}$, $t_2 = 4,5 \text{ s}$ et $t_3 = 5,5 \text{ s}$.

Comment varie la vitesse de formation de l'ion Mn^{2+} au cours du temps ?

Quel phénomène physique met-on en évidence ? Interpréter l'allure de la courbe.

5) Définir la vitesse instantanée de disparition des molécules H_2O_2 .

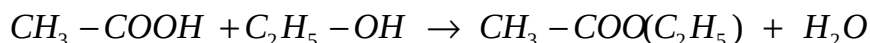
Calculer sa valeur à la date $t_2 = 4,5 \text{ s}$ en la comparant à la vitesse de formation de Mn^{2+}



6) Calculer, après l'avoir défini, le temps de demi-réaction. Citer deux facteurs cinétiques, autres que la catalyse, qui permettraient de diminuer ce temps de demi-réaction.

EXERCICE 5

On étudie la cinétique de la réaction d'estérification entre l'acide acétique (acide éthanóïque) et l'éthanol conduisant à l'acétate d'éthyle et à de l'eau selon l'équation-bilan :



On réalise, à la date $t = 0$, un mélange de 9 moles d'acide acétique et de 9 moles d'éthanol.

- Déterminer le volume de ce mélange sachant que la masse volumique de l'acide acétique est $\rho_1 = 1080 \text{ kg.m}^{-3}$ et celle de l'éthanol $\rho_2 = 790 \text{ kg.m}^{-3}$. Masses molaires atomiques en g.mol^{-1} : $M(H) = 1$; $M(C) = 12$; $M(O) = 16$.
- On considère dans la suite de l'exercice que ce volume est égal à 1 litre et demeure invariant. Le mélange étant maintenu à température constante, on dose d'heure en heure l'acide restant (sur des prélèvements de volume négligeable). Les résultats obtenus sont rassemblés dans le tableau suivant.

Dates t (h)	0	1	2	4	6	8	10	15	20	25
$[CH_3COOH] (\text{mol.l}^{-1})$	9,00	7,38	6,3	4,95	4,14	3,69	3,42	3,15	3,06	3,01
$[CH_3 - COO(C_2H_5)] (\text{mol.l}^{-1})$										

Compléter le tableau en déterminant la concentration de l'acétate d'éthyle formé C, au cours du temps.

- Représenter graphiquement les représentations de C, en fonction du temps t (Echelle : 2 cm pour 1 mol.l^{-1} . 1 cm pour 2 h).
- Définir la vitesse de formation de l'acétate d'éthyle
- Déterminer le temps au bout duquel la moitié de l'acide initialement présent a réagi, et calculer la vitesse de formation de l'acétate à cet instant.

EXERCICE 6

Pour étudier une réaction d'estérification on mélange 1 mol d'acide propanoïque, 2 cm^3 d'acide sulfurique concentré et on complète le volume du mélange à 100 cm^3 avec de l'éthanol. On chauffe à reflux, à une date t donnée on prélève 10 cm^3 du mélange réactionnel. On refroidit et on dose par une solution de soude de concentration $C_b = 4 \text{ mol/L}$

Soit V_b le volume de soude versé à l'équivalence

- Quel est le but du refroidissement de chaque prélèvement avant dosage.
- Ecrire l'équation bilan de la réaction entre l'acide propanoïque avec la soude
- Sachant que les 2 cm^3 d'acide sulfurique sont neutralisés par 1,8 mL de soude ;
Montrer que la concentration C_a de l'acide propanoïque présent dans le mélange à la date t a pour expression $C_a = 400(V_b - 1,8 \cdot 10^{-3})$ avec V_b exprimé en cm^3 . En déduire que la concentration de l'ester est $C = 40(26,8 \cdot 10^{-2} - 10V_b)$
- Le tableau ci-dessous donne le volume de soude versé à différentes dates

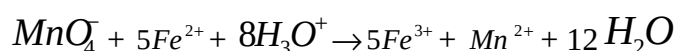
T (min)	10	20	30	40	50	60	70	80	100	120
V_b	21,8	19,3	17,3	16	14,8	14,1	13,6	12,8	12,1	11,8

 - Tracer la courbe représentant la concentration de l'ester en fonction du temps
 - Déterminer graphiquement la vitesse de formation de l'ester à la date $t = 30 \text{ min}$
- On reprend l'expérience précédente avec le prélèvement au lieu de refroidir on chauffe légèrement avant de doser par la soude, les volumes de soude utilisés seront-ils plus grands ou plus faibles que dans le premier cas ? justifier.

Donner l'allure de la courbe obtenue dans le même système d'axe utilisé plus haut.

EXERCICE 7

L'étiquette d'une boîte de médicament utilisé pour traiter l'anémie par carence de fer, indique qu'un comprimé contient 160 mg d'élément fer sous forme d'ions fer (II). Pour vérifier cette indication, on dissout un comprimé de ce médicament dans l'eau et on ajoute, en excès, une solution de permanganate de potassium et un peu d'acide sulfurique concentré. On obtient ainsi une solution S de volume $V = 200$ ml. Avec cette solution on remplit une série de tubes qu'on scelle et qu'on maintient à une température égale à 37°C . Dans chaque tube il se produit une réaction d'équation bilan :



A des dates données, on dose les ions formés dans ces tubes. On obtient alors le tableau suivant :

t (min)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
$[\text{Mn}^{2+}]$ ($10^{-3} \text{ mol.l}^{-1}$)	0	0,99	1,53	1,98	2,25	2,46	2,61	2,67	2,76	2,82	2,82	2,82

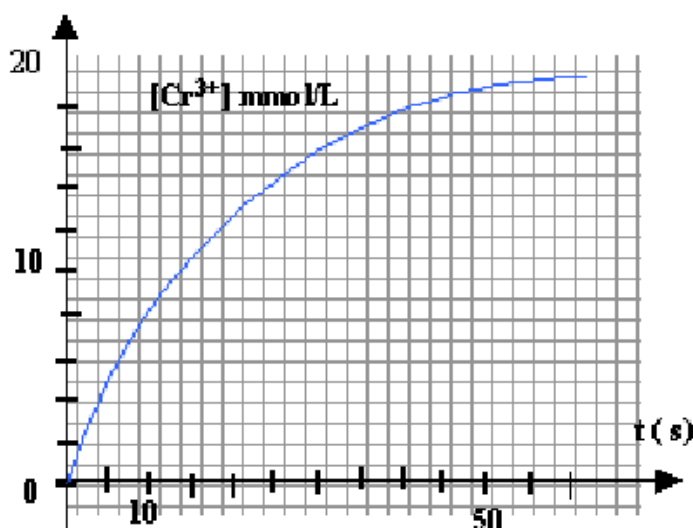
1. Préciser le rôle de l'acide sulfurique concentré ajouté au contenu de chaque tube.
2. Tracer la courbe représentant les variations de la concentration des ions manganèse au cours du temps. Echelle : $1 \text{ cm} \rightarrow 2 \text{ min}$ et $1 \text{ cm} \rightarrow 0,3 \cdot 10^{-3} \text{ mol.l}^{-1}$.
3. Déterminer, graphiquement, la valeur de la vitesse instantanée de formation des ions manganèse à la date $t = 9 \text{ min}$.
4. Etablir la relation entre les vitesses instantanées de formation des ions manganèse et de disparition des ions fer (II). En déduire la vitesse de disparition des ions fer (II) à la date $t = 9 \text{ min}$.
5. Calculer la concentration initiale des ions fer (II) dans la solution S. En déduire la masse de fer dans un comprimé du médicament considéré. A votre avis l'indication de l'étiquette de la boîte du médicament est-elle correcte ?

On donne : $M(\text{Fe}) = 56 \text{ g.mol}^{-1}$.

EXERCICE 8

On étudie en fonction du temps l'évolution d'un mélange de 100 mL de solution d'acide oxalique (Acide ethan-1,2-dioïque) de concentration $C_1 = 0,08 \text{ mol/L}$ et de 100 mL de dichromate de potassium de concentration $C_2 = 0,02 \text{ mol/L}$. Les couples d'oxydoréduction intervenant dans cette réaction sont : $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} / \text{Cr}^{3+}$; $\text{CO}_2 / \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$.

1. Ecrire l'équation bilan de cette réaction (en faisant apparaître l'ion hydronium ou oxonium H_3O^+).
2. Les réactifs sont-ils dans les proportions stœchiométriques ?
3. La température étant maintenue constante, on suit la concentration des ions Cr^{3+} formés au cours de la réaction : Déterminer graphiquement la vitesse de formation des ions Cr^{3+} (en mol/L.s) à la date 40 s.
4. Déterminer par le calcul la valeur limite de la concentration des ions Cr^{3+} en mol/L .
5. En déduire le temps de demi-réaction (durée au bout de laquelle la moitié du réactif limitant a disparu)



EXERCICE 9

9.1 A l'aide des formules générales écrire l'équation-bilan de la réaction entre un acide carboxylique et un alcool.

9.2 Préciser les caractères de cette réaction.

9.3 Pour réaliser l'étude cinétique de ce type de réaction on part d'éthanol et d'acide méthanoïque de même concentration : $0,6 \text{ mol.L}^{-1}$. On en mélange des volumes égaux et l'on fait deux parts égales A et B

- à A on ajoute $0,5 \text{ mL}$ d'acide sulfurique à $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$

- à B on ajoute $0,5 \text{ mL}$ d'acide sulfurique à $0,2 \text{ mol.L}^{-1}$

A différentes dates (t) on détermine la concentration de l'ester formé. Les courbes (1) et (2) représentent, en fonction du temps, les variations de la concentration de l'ester formé respectivement pour A et B.

9.3. 1- Pour chaque cas envisagé déterminer la vitesse instantanée de formation de l'ester à la date $t = 200$;

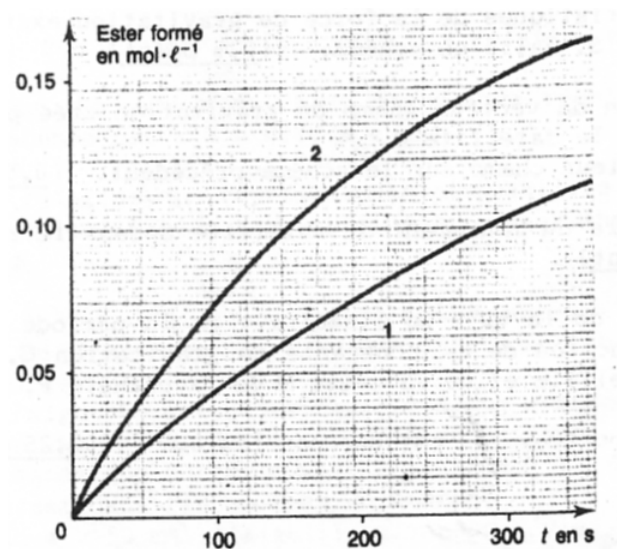
On expliquera la méthode utilisée.

9.3.2 - Comparer ces valeurs et indiquer le rôle joué par l'acide sulfurique.

9.3.3 - Déterminer les concentrations, en mol.L^{-1} de l'acide méthanoïque, de l'alcool et de l'ester à la date $t = 300 \text{ s}$ pour chaque cas.

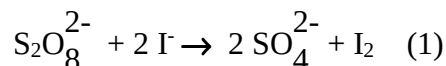
9.3.4- Les deux essais tendent-ils vers la même limite ? Justifier la réponse.

NB : Le volume de l'acide sulfurique ajouté est négligeable par rapport à celui des échantillons A et B

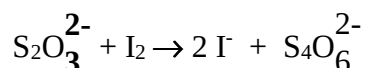


EXERCICE 10

Les ions peroxodisulfate sont lentement réduits par les ions iodures selon l'équation-bilan :



Si on verse à l'avance une quantité de thiosulfate de sodium $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ dans le milieu réactionnel, il réagit avec le diiode formé selon l'équation-bilan :



Cette réaction empêche l'apparition de la couleur brune du diiode et régénère les ions iodures instantanément. On peut déterminer, alors, le temps nécessaire pour qu'il se forme n mole(s) de diiode dans la réaction (1). On prépare pour cela une solution contenant :

- 10 mL de solution d'iodure de potassium de concentration molaire volumique 1 mol.L^{-1}
- Assez d'eau pour considérer le volume constant.
- 2 mL de thiosulfate de sodium de même concentration molaire volumique que la solution d'iodure de potassium.

A l'instant de date $t = 0$, on ajoute 2 mL de peroxodisulfate à 5 mol.L^{-1} ; à l'instant de date $t_1 = 52 \text{ s}$ apparaît la coloration du diiode, on ajoute alors 2 mL de thiosulfate qui fait disparaître la coloration brune ; elle réapparaît à la date $t_2 = 147 \text{ s}$. On ajoute encore 2 mL de solution de thiosulfate ; ainsi de suite. Ce qui permet de dresser le tableau de mesures ci-dessous :

Temps t (s)	0	52	147	246	355	494	650	852	1082	1508
n ($10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

10.1 - Expliquer comment cette méthode permet d'obtenir n et tracer le graphe représentant les variations de n en fonction de t .

Echelles : $1 \text{ cm} \leftrightarrow 100 \text{ s}$; $1 \text{ cm} \leftrightarrow 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$

10.2 - Déterminer la vitesse de formation v du diiode au cours de la réaction (1), aux dates $t = 200 \text{ s}$ et $t = 1000 \text{ s}$.

Comment varie la vitesse ? Quel est le facteur cinétique qui fait varier v ?

10.3 - Quelle sera la quantité de diiode formé par la réaction au bout d'un temps infini ?

EXERCICE 11

Potentils normaux des couples rédox : $E^\circ (\text{Zn}^{2+} / \text{Zn}) = 0,76 \text{ V}$ et $E^\circ (\text{H}_3\text{O}^+ / \text{H}_2) = 0,00 \text{ V}$

Volume molaire dans les conditions de l'expérience : $V_0 = 24 \text{ L.mol}^{-1}$

Masses molaires en g.mol^{-1} : Cl : 35,5 ; H : 1 ; O : 16 ; Zn : 65,4

On étudie la cinétique de la réaction naturelle entre 2 couples. A $t = 0$, on introduit une masse $m = 1 \text{ g}$ de zinc en poudre dans un ballon contenant $V = 40 \text{ mL}$ d'une solution d'acide chlorhydrique de concentration $C_a = 0,5 \text{ mol.L}^{-1}$. On recueille le gaz dihydrogène formé au cours du temps et on mesure son volume $V(\text{H}_2)$. A chaque instant, on désigne par x le nombre de mole d'acide disparu et par C_R sa concentration molaire résiduelle.

11.1) Ecrire l'équation-bilan de la réaction.

11. 2)

11.2.1- Tenant compte des données numériques de l'énoncé et de l'équation précédemment

écrite, établir les relations : $x = \frac{V(H_2)}{12}$ et $C_R = 0,5 - 25x$ (x est en mol, $V(H_2)$ en L et C_R en mol.L⁻¹)11.2.2- Compléter le tableau de mesures ci-dessous et tracer la courbe $C_R = f(t)$. Le candidat choisira une échelle judicieuse qu'il précisera.

t (min)	0	100	200	300	400	500	600	700	800
V(H ₂) (mL)	0	57,6	96	124,8	144	1631,2	177,6	187,2	201,6
x (mol)									
C _R (mol.L ⁻¹)									

11.3)

11.3.1- Déterminer la vitesse moyenne de disparition des ions H₃O⁺ entre les dates t₁ = 200 min et t₂ = 500 min.11.3.2- Déterminer graphiquement la vitesse instantanée de disparition des ions hydronium V(H₃O⁺) à la date t₁ = 200 min.

11.4.

11.4.1- Déterminer la concentration C₁ de la solution en ion Zn²⁺ à t = 300 min.11.4.2- Déterminer la concentration C₂ de la solution en ion Zn²⁺ en fin de réaction et calculer la masse m_r de zinc restant.

11.5.

11.5.1- Établir une relation entre les vitesses instantanées de disparition de H₃O⁺ et de formation de Zn²⁺.11.5.2 - En déduire la vitesse instantanée de formation de Zn²⁺ à t₁ = 200 min.**EXERCICE 12***Le butanoate de méthyle, CH₃ – CH₂ – CH₂ – COO – CH₃, est utilisé comme arôme dans l'industrie alimentaire et dans la parfumerie pour son odeur de pomme.*

On se propose d'étudier une réaction de préparation du butanoate de méthyle et la cinétique de cette réaction.

12.1. Préparation du butanoate de méthyle.

12.1.1. Recopier la formule, entourer puis nommer le groupe fonctionnel présent dans la molécule du butanoate de méthyle.

12.1.2. Le butanoate de méthyle est obtenu en faisant réagir deux composés organiques

A et B. Le réactif A est un acide carboxylique. Préciser la famille du réactif B.

12.1.3. Ecrire les formules semi-développées puis donner les noms des réactifs A et B.

12.1.4. Ecrire l'équation-bilan de la réaction entre les composés A et B.

Donner le nom de cette réaction ; préciser ses caractéristiques.

12.1.5. Calculer les quantités de matière minimales de A et B à utiliser pour obtenir 1 mol de butanoate de méthyle à partir d'un mélange équimolaire, le rendement de la réaction étant égal à 67%.

12.2. Etude cinétique de la réaction chimique.

Dans cette partie, l'équation-bilan de la réaction chimique est écrite sous la forme :

 $A + B \rightarrow D + H_2O$ où D est le butanoate de méthyle.A la date t₀ = 0, on réalise un mélange équimolaire des réactifs A et B : n_{0A} = n_{0B} = 1 mol.Des mesures ont permis de déterminer les quantités de matière d'acide carboxylique présent dans le mélange réactionnel au cours de la synthèse et de tracer la courbe n_A = f (t) (voir courbe ci-dessous). Par exploitation de cette courbe :

12.2.1. Retrouver la date t_1 a laquelle la quantité d'acide carboxylique (n_A) présent dans le milieu,

représente 42 % de la quantité initiale (n_{0A}) de A.

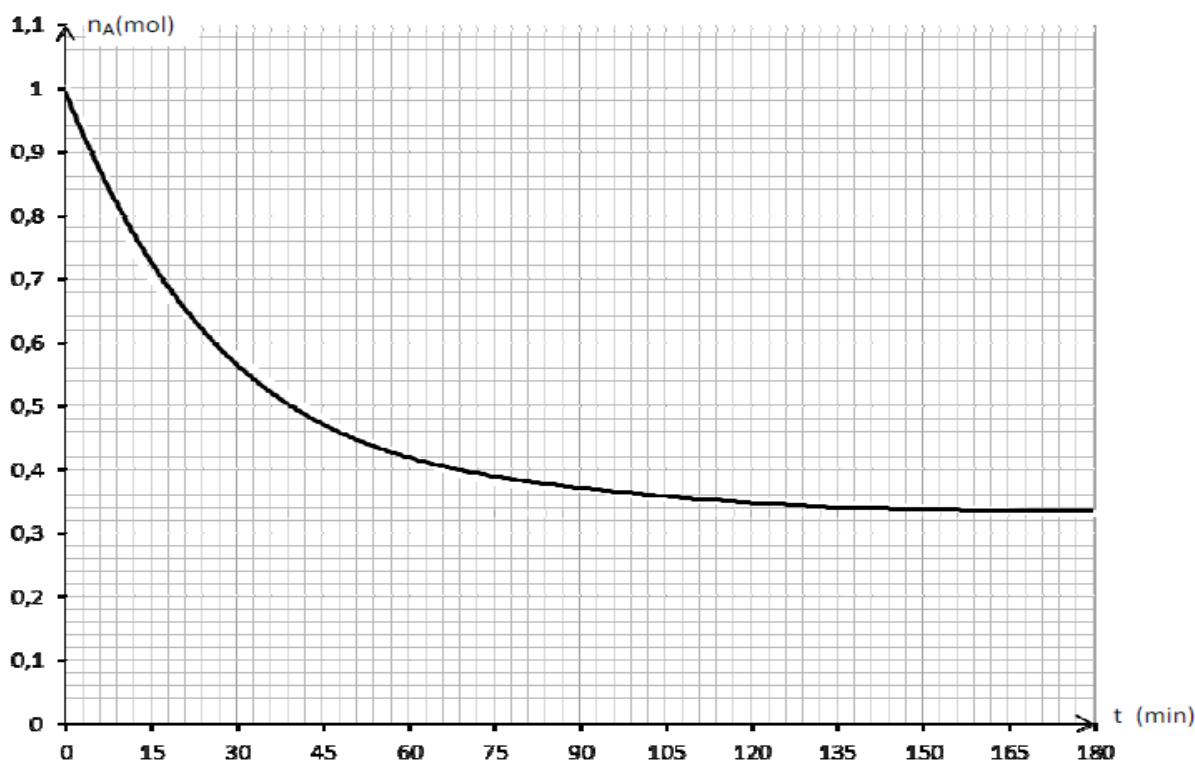
12.2.2. Dédurre, a cette date t_1 , la quantité de matière de butanoate de méthyle forme.

12.2.3. Calculer la vitesse moyenne de disparition de l'acide carboxylique entre le début de la réaction et la date t_1 .

12.2.4. Déterminer la vitesse instantanée de disparition de l'acide carboxylique a la date $t = 45$ min.

12.2.5. Déterminer, sans faire de calcul, la vitesse moyenne de disparition de l'acide carboxylique A entre les dates $t_2 = 165$ min et $t_3 = 180$ min. Interpréter cette valeur.

12.2.6. Définir le temps de demi-réaction ; déterminer sa valeur.



D-CORRIGE DES EXERCICES

EXERCICE 4

4-1 – les couples $\text{MnO}_4^- / \text{Mn}^{2+}$:demi-équation : $\text{MnO}_4^- + 8\text{H}_3\text{O}^+ + 5\text{e}^- \rightarrow \text{Mn}^{2+} + 12\text{H}_2\text{O}$

- Le couple $\text{O}_2 / \text{H}_2\text{O}_2$: demi-équation : $\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 2\text{H}_3\text{O}^+ + 2\text{e}^-$

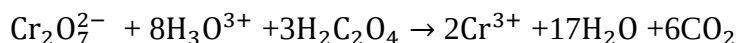
4-2 n_{initiale} de $(\text{MnO}_4^-) = 5 \cdot 10^{-5} \text{ mol}$ et n_{initiale} de $(\text{H}_2\text{O}_2) = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$

Le nombre de moles de H_2O_2 nécessaires pour neutraliser tous les ions MnO_4^- = $12,5 \cdot 10^{-5} \text{ mole}$

Le nombre de moles de H_2O_2 présent = $5 \cdot 10^{-5} \text{ mol} < 12,5 \cdot 10^{-5} \text{ mole}$ et H_2O_2 est le réactif limitant.

EXERCICE 8

1-Equation bilan de la réaction :



2-le nombre de moles d'acide ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$) utilisé $n_A = 0,008\text{mol}$

-le nombre de moles $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ($=0,002\text{mol}$)

Les réactifs ne sont pas dans la proportion stœchiométrique

CHAPITRE 5

pH D'UNE SOLUTION AQUEUSE - AUTOPROTOLYSE DE L'EAU, PRODUIT IONIQUE INDICATEURS COLORES

A – OBJECTIFS

Mesurer le pH d'une solution à l'aide du pH-mètre

Déterminer l'acidité, la basicité et la neutralité d'un milieu par la mesure du pH ou l'emploi d'un indicateur coloré.

Ecrire l'équation de la réaction d'autoprotolyse de l'eau.

Donner la valeur du produit ionique de l'eau à 25° et établir un lien entre la valeur du produit ionique et la température.

Donner les valeurs des concentrations en ions HO^- et H_3O^+ dans l'eau pure à 25°C (10^{-7}mol/L)

Déduire le pH de la concentration en ions H_3O^+ et HO^- et inversement

Utiliser un indicateur coloré

Prendre conscience de l'importance du pH dans la vie courante : valeur du pH sanguin, des sols, des produits alimentaires.

B – L'ESSENTIEL DU COURS

L'eau pure est constituée :

- d'une espèce ultra-majoritaire, la molécule d'eau H_2O ;
- de deux espèces ultra-minoritaires, les ions hydroniums H_3O^+ et hydroxyde OH^- .

L'eau pure et les solutions aqueuses sont le siège de la réaction d'équilibre d'autoprotolyse de l'eau représenté par l'équation – bilan :



La mesure électrique du pH d'une solution aqueuse à l'aide d'un pH – mètre permet d'accéder à la valeur de la concentration molaire en ions H_3O^+ (en mol.L^{-1}) et, indirectement, à celle des ions OH^- (en mol.L^{-1}) avec une précision relativement limitée.

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

L'utilisation d'indicateurs colorés ou de papier pH ne conduit qu'à une estimation du pH.

Pour toutes les solutions aqueuses, à l'état d'équilibre, le produit des concentrations molaires des ions H_3O^+ et OH^- est constant à une température donnée.

$K_e = [\text{H}_3\text{O}^+]. [\text{OH}^-]$, produit ionique

Par analogie $\text{p}K_e = -\log K_e$: A 25°C, $K_e = 10^{-14}$ d'où $\text{p}K_e = 14$

Une solution aqueuse est soit neutre, soit acide, soit basique. A température de 25°C :

- Solution aqueuse neutre : $\text{pH} = 7$; $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-] = 10^{-7} \text{ mol.L}^{-1}$
- Solution aqueuse acide : $\text{pH} < 7$; $[\text{H}_3\text{O}^+] > [\text{OH}^-]$
- Solution aqueuse basique : $\text{pH} > 7$; $[\text{H}_3\text{O}^+] < [\text{OH}^-]$

C – EXERCICES

EXERCICE 1 :

- 1) Ecrire l'équation de la réaction d'autoprotolyse de l'eau. Ecrire les deux couples acide – base mise en jeu. Comment appelle-t-on le caractère acido – basique particulier de l'eau ?
- 2) Définir le produit ionique.
- 3) L'étude du pH de l'eau pure en fonction de la température a donné les résultats ci consignés dans le tableau :

Température (C)	10	20	25	30	40	50	60
pH	7,27	7,08	7,00	6,92	6,77	6,63	6,5
$[\text{H}_3\text{O}^+](\text{mol/L})$							
$[\text{OH}^-](\text{mol/L})$							
Produit ionique							

- a) Dans le cas de l'eau pure, donner la relation qui doit toujours exister entre les concentrations en H_3O^+ et HO^- en.
- b) Compléter le tableau précédent et indiquer, à partir des résultats, le rôle que joue la température sur l'autoprotolyse de l'eau.

EXERCICE 2

- 1°) Pour quelles valeurs du rapport des concentrations $\frac{[\text{A}]}{[\text{B}]}$ peut-on dire que l'espèce chimique A est ultra minoritaire par rapport à l'espèce chimique B ?
- 2°) Dans quelles conditions le produit ionique de l'eau prend la valeur $K_e = 10^{-14}$?
- 3°) Une solution aqueuse a été réalisée par dissolution de chlorure de sodium NaCl et de chlorure de calcium CaCl_2 dans l'eau. Ecrire l'équation traduisant l'électro neutralité de la solution.
- 4°) Répondre par vrai (V) ou faux (F) puis justifier.

Une solution est dite neutre si :

V	F
---	---

a) la quantité de charges positives contenues dans la solution est égal à la quantité de charges négatives.		
b) Le pH de cette solution est égal à 7.		
c) le nombre d'ions hydronium H_3O^+ est égal au nombre d'ions hydroxyde OH^- contenus dans la solution.		

EXERCICE 3 :

Le sulfate de sodium du commerce est un solide ionique hydraté de formule $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$.

1) Quelle masse de ce composé faut-il placer dans une fiole jaugée de 250 mL pour que la solution aqueuse obtenue après la dilution ait une concentration $C = 0,20 \text{ mol.L}^{-1}$?

2) Quelles sont alors les concentrations des ions Na^+ et SO_4^{2-} qu'elle contient, sachant que la dissolution du sulfate de sodium s'accompagne d'une dispersion totale de ces ions ?

3) La solution de sulfate de sodium est-elle électriquement neutre ?

4) Quelle masse de chlorure de sodium pur faudrait-il peser pour obtenir 100 mL d'une solution aqueuse de même concentration en ion Na^+ ?

EXERCICE 4 :

1) On donne le pH de l'eau pure pour différentes températures exprimées en kelvin (K).

T (K)	273	288	298	303	333
pH	7,5	7,2	7,0	6,9	6,5

a) Tracer la courbe $\text{pH} = f(1/T)$ et déterminer son équation.

La réaction de dissociation de l'eau est-elle exothermique ou endothermique ?

b) Pour quelle valeur de la température le pH est-il égal 7,3 ? Calculer le produit ionique de l'eau K_e puis $\text{p}K_e$ à cette température.

c) Déterminer le pH de l'eau pure à 80°C .

2) A 37°C , le produit ionique de l'eau pure est tel que $\text{p}K_e = 13,6$.

a) Définir à cette température ce qu'est une solution neutre, acide et basique.

b) La salive a un pH de 6,85 à 37°C . Est-elle acide, basique ou neutre ?

EXERCICE 5 :

1) On dispose d'une solution de chlorure d'hydrogène de concentration molaire $C = 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$, son pH est égal à 2.

Faire l'inventaire des espèces chimiques en solution et calculer leur concentration

2) Le chlorure d'hydrogène est-il un acide fort ? Justifier la réponse et écrire l'équation d'ionisation du chlorure d'hydrogène dans l'eau.

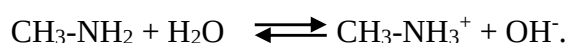
3) Une solution d'acide benzoïque C_6H_5COOH de concentration $C=10^{-2}mol.L^{-1}$, son pH est 3,1

Répondre aux mêmes questions que précédemment pour C_6H_5COOH .

EXERCICE 6 :

1) On dispose d'une solution aqueuse de méthylamine de concentration molaire

$C=10^{-2} mol.L^{-1}$ et de $pH=11,3$. La réaction entre la méthylamine et l'eau est limitée :



Faire l'inventaire des espèces en solution et calculer leur concentration.

2) On dispose d'une solution aqueuse d'acide sulfurique H_2SO_4 de concentration

$C=6,7.10^{-3}mol.L^{-1}$ et de $pH=2$. On considérera que l'acide sulfurique a réagi totalement avec l'eau.

EXERCICE 7 :

1) Une solution S_1 possède une concentration $C_1 = 0,10 mol.L^{-1}$. On prélève 50 mL de S_1 auxquels on ajoute 450 mL d'eau distillée. On obtient une solution S_2 de concentration C_2 .

On dilue 25 fois la solution S_2 . On obtient une solution S_3 de concentration C_3 .

Calculer les concentrations C_2 et C_3 des solutions diluées.

2) A $25^\circ C$, une solution S est telle que $\frac{[H_3O^+]}{[OH^-]} = 6,5.10^2$

Calculer les concentrations molaires des ions hydronium H_3O^+ et hydroxyde OH^- .

3) Calculer le pH de la solution S.

EXERCICE 8 :

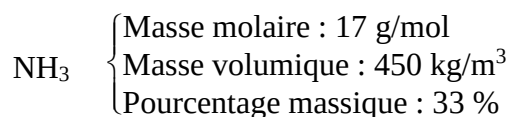
Une solution d'acide chlorhydrique a un $pH=2,4$.

1) Dans un volume $V_1=10 cm^3$ de cette solution chlorhydrique, on ajoute un volume $V_2=5 cm^3$ d'eau pure. Quel est le pH final ?

2) Quel volume d'eau V faudrait il verser dans un volume $V_1=10 cm^3$ de la solution initiale pour que le pH augmente de 1 unité ?

EXERCICE 9 :

Sur l'étiquette d'une bouteille commerciale d'ammoniac, on peut lire :



- 1) Quel volume V faut-il prélever pour préparer 500 mL d'une solution S de concentration $C = 0,10 \text{ mol.L}^{-1}$?
- 2) Décrire le mode opératoire pour préparer les 500 mL de S . (quelques schémas clairs et annotés sont suffisants).
- 3) La solution a un $\text{pH} = 11,1$ à 25°C . Calculer les concentrations et les quantités de matière des ions H_3O^+ et OH^- présents dans S .

EXERCICE 10 :

On dispose d'une bouteille d'acide méthanoïque titrant 98 % en masse. La masse volumique de l'acide est $1,22 \text{ g.cm}^{-3}$. Avec une pipette, on prélève $11,5 \text{ cm}^3$ de l'acide que l'on verse dans une fiole jaugée de 1 L. On verse ensuite de l'eau pure pour obtenir 1 L de solution que l'on note S_3 .

- 1) Déterminer la masse m d'acide méthanoïque prélevée.
- 2) Déterminer la concentration C_1 de la solution S_1 .
- 3) Quel volume d'eau pure faut il verser sur les 20 mL de la solution S_1 pour avoir une solution S_2 de concentration $C_2 = 0,10 \text{ mol.L}^{-1}$?
- 4) On dilue 10 fois la solution S_2 . Calculer le volume d'eau pure nécessaire à cette dilution et la concentration C_3 de la solution S_3 obtenue.

EXERCICE 11 :

Pour évaluer le pH d'une solution aqueuse (S), on effectue divers prélèvements à l'aide de béchers.

On ajoute ensuite dans chacun des béchers un indicateur coloré. On obtient les résultats suivants :

	Hélianthine	Bleu de bromocrésol	Bleu de bromothymol	rouge de méthyle
couleur de la solution	orange	vert	Jaune	orange

- 1) Evaluer le pH de la solution (S) en utilisant les résultats ci-dessus et le tableau suivant :

Indicateur	Teinte	Zone de virage	Teinte
Hélianthine	Rouge	3,1 - 4,4	Jaune
Bleu de bromocrésol	Jaune	3,8 - 5,4	Bleu
Bleu de bromothymol	Jaune	6,0 - 7,6	Bleu
rouge de méthyle	Rouge	4,2 - 6,2	Jaune

- 2) L'utilisation de l'un des indicateurs colorés est superflue. Quel est cet indicateur ? Expliquer.

3) Après détermination du pH de la solution à l'aide d'un pH-mètre, on calcule la valeur de la concentration en ions hydroxyde. On trouve $[\text{OH}^-] = 2.10^{-10} \text{ mol.L}^{-1}$.
 Quelle est la valeur mesurée du pH de la solution (S). Cette valeur est-elle en accord avec le résultat obtenu à l'aide des indicateurs colorés ?

D – CORRIGE DES EXERCICES

EXERCICE 5 :

1) Espèces présentes : H_2O , H_3O^+ , Cl^- , HO^- , HCl ?

Concentrations molaires des espèces :

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1} ; [\text{HO}^-] = 10^{-12} \text{ mol/L}$$

Electroneutralité entraine : $[\text{Cl}^-] = [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1} = C = 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$, son pH est égal

Conservation de la matière : $[\text{HCl}] \approx 0$

2) Le chlorure d'hydrogène est un acide fort puis que dans la solution obtenue par dissolution de HCl dans l'eau est telle que : $[\text{HCl}] \approx 0$ toutes les molécules de HCl introduites dans l'eau sont ionisées

Equation de dissolution : $\text{HCl} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{O}^+ + \text{Cl}^-$.

3) On applique la même démarche que ci-dessus.

En utilisant l'équation d'électroneutralité et l'équation de conservation de la matière.

On en déduit que l'acide benzoïque est un acide faible

La réaction entre l'eau et l'acide benzoïque est limitée par la réaction inverse :



EXERCICE 11

1) Les résultats des tests montrent que le pH de S est compris entre 3,1 et 4,2

2) L'utilisation du BBT est superflu dans la mesure où la zone de virage du BBT est en dehors du domaine du pH de S

3) Valeur mesurée du pH :

$$\text{On a } \text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+] = -\log K_e / [\text{OH}^-] = -\log 5.10^{-5}$$

CHAPITRE 6

NOTIONS D'ACIDE FORT ET DE BASE FORTE REACTION ENTRE ACIDE FORT ET BASE FORTE

A – OBJECTIFS

Définir un acide fort

Définir une base forte

Ecrire les équations des réactions des acides forts et des bases fortes avec l'eau.

Ecrire les équations d'électroneutralité et de conservation de la matière.

Utiliser les expressions des pH des monoacides forts et des monobases fortes.

Calculer le pH du mélange d'un acide fort et d'une base forte.

Rappeler les caractéristiques de la réaction entre un acide fort et une base forte.

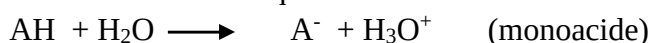
Utiliser la méthode des tangentes pour déterminer le point équivalent.

Retenir que le pH à l'équivalence d'un mélange d'acide fort et de base forte égale à 7 (à 25°C).

Connaître l'allure de la courbe $\text{pH} = f(\text{VB})$ et interpréter ses différentes parties.

B - L'ESSENTIEL DU COURS

Un acide AH est dit fort lorsque sa dissociation dans l'eau est totale selon l'équation – bilan :

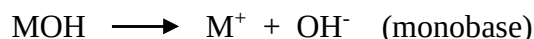


Les espèces en présence à l'état final peuvent être classées comme suit :

- Espèces majoritaires : H_3O^+ et A^-
- $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{A}^-] = C_o$ concentration de la solution d'acide.
- Espèce ultra minoritaire : OH^-
- $[\text{OH}^-] = \frac{K_e}{C_o}$

Le pH de la solution d'un monoacide fort de concentration C_o est donné par : $\text{pH} = -\log C_o$

Une base MOH (M métal) est dite forte lorsque sa dissociation dans l'eau est totale selon l'équation – bilan :



Les espèces en présence à la fin de la dissociation peuvent être classées comme suit :

- Espèces majoritaires : OH^- et M^+
- $[\text{OH}^-] = [\text{M}^+] = C_b$ concentration de la base.
- Espèce ultra – minoritaire : H_3O^+
- $[\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{K_e}{C_b}$

Le pH de la solution d'une monobase forte de concentration molaire C_b est donné par :

$$\text{pH} = \text{p}K_e + \log C_b = 14 + \log C_b$$

La réaction entre un acide fort et une base forte se traduit par l'action des ions hydroniums H_3O^+ sur les ions hydroxydes OH^- . La réaction est totale et exothermique.

L'équation de la réaction est : $\text{H}_3\text{O}^+ + \text{OH}^- \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}$

Les ions A^- provenant de l'acide et M^+ de la base sont des ions spectateurs. Ils ne participent pas à la réaction.

Doser une solution d'acide fort revient à doser les ions H_3O^+ qu'elle contient.

Doser une solution de base forte revient à doser les ions OH^- qu'elle contient.

A l'équivalence d'une réaction entre un monoacide fort et une monobase forte on a :

$$n_{\text{acide}} = n_{\text{base}} \text{ ou } C_a V_a = C_b V_b$$

Lors d'un dosage d'un acide fort de Concentration C_a et de volume V_a , par une base forte de concentration C_b , le pH augmente et tend vers le pH de la solution basique.

Avant l'équivalence, l'acide est majoritaire, le pH du mélange est $\text{pH} = -\log \frac{C_a V_a - C_b V_b}{V_a + V_b}$

Après l'équivalence la base est majoritaire le pH du mélange est $\text{pH} = 14 + \log \frac{C_b V_b - C_a V_a}{V_a + V_b}$

A l'équivalence le pH est égal à 7. La solution obtenue est neutre

Lors d'un dosage d'une base forte par un acide fort, le pH diminue et tend vers le pH de la solution d'acide.

C - EXERCICES

EXERCICE 1

Les questions sont indépendantes :

- 1) Exprimer en fonction de pH et pK_e le rapport $\left[\frac{H_3O^+}{OH^-} \right]$
- 2) Exprimer en fonction de pH et pK_e la concentration C d'une monobase forte.
- 3) On dilue 20 fois une solution d'acide fort. Quelle est la variation de pH ?
- 4) Déterminer le pH d'une eau distillée pour laquelle $[H_3O^+] = 10 [OH^-]$,
- 5) On verse 10 mL d'une solution d'hydroxyde de sodium à $2 \cdot 10^{-2}$ mol/L dans 15 mL d'une solution chlorhydrique à 0,012 mol/L. Calculer le pH du mélange ?
- 6) On obtient une solution S en mélangeant S₁ et S₂ d'acide chlorhydrique.

S₁: C₁ = $1,5 \cdot 10^{-2}$ mol/L ; V₁ = 100 mL

S₂: C₂ = $2,5 \cdot 10^{-2}$ mol/L ; V₂ = 150 mL

 - a) Exprimer la concentration de la solution finale en fonction de C₁, C₂, V₁ et V₂. Calculer sa valeur numérique.
 - b) En déduire la valeur du pH de S.
- 7) a) Une solution d'hydroxyde de potassium KOH (base forte) a un pH = 12,3 à 25°C. Quelle masse d'hydroxyde de sodium a-t-on dissout dans 500 mL d'eau distillée pour préparer cette solution ?
- b) On prélève 5 mL de la solution précédente que l'on verse dans une fiole jaugée de 200 mL puis on complète avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge.
 - Quel sera le pH de la solution obtenue ?
 - On ajoute 0,1 g d'hydroxyde de sodium solide sans variation de volume appréciable de la solution. Quel est son nouveau pH ?
- 8) Une solution d'acide nitrique de concentration $2 \cdot 10^{-3}$ mol/L a un pH = 2,7. Est-ce un acide fort ?
- Ecrire l'équation-bilan de sa réaction avec l'eau.
- 9) On dispose de V = 10 mL d'une solution d'acide iodhydrique de concentration C = $6 \cdot 10^{-3}$ mol/L. On lui ajoute un volume V' = 90 mL d'eau pure. Déterminer la valeur de son pH

EXERCICE 2 :

On désire préparer une solution d'hydroxyde de sodium de pH égal à 12,5.

- 1) Calculer la concentration des ions hydroxyde dans la solution.

- 2) Calculer la masse d'hydroxyde de sodium qu'il faut utiliser pour préparer 1L de solution.
- 3) Déterminer le pH de la solution obtenue en diluant la solution préparée avec un égal volume d'eau pure. On donne $M(\text{NaOH}) = 40 \text{ g/mol}$.

EXERCICE 3 :

On dispose d'une solution d'acide chlorhydrique commercial à 30%. Sa densité par rapport à l'eau est $d = 1,15$.

- 1) Déterminer la concentration de cette solution commerciale.
- 2) On veut préparer 1L d'une solution d'acide chlorhydrique de concentration $1,0 \text{ mol/L}$. Déterminer le volume de la solution commerciale qu'on doit utiliser
 $M_{\text{HCl}} = 36,5 \text{ g/mol}$.

EXERCICE 4:

On mélange 200 mL d'une solution S_1 d'hydroxyde de sodium de $\text{pH} = 10,7$ avec 300 mL d'une solution S_2 d'hydroxyde de sodium de pH inconnu. On obtient une solution dont le pH est égal à 11,3.

- 1) Déterminer le pH de la solution S_2 .
- 2) On mélange 400mL de la solution S_1 avec 100mL d'une solution S_3 d'hydroxyde de sodium de pH égal à 12,3. Déterminer le pH de la solution obtenue.

EXERCICE 5

On dissout 0,1g d'hydroxyde de sodium dans 200mL d'eau pure. A cette solution, on ajoute 800mL d'une solution d'hydroxyde de sodium de concentration $C = 0,2 \text{ g.L}^{-1}$.

- 1) Déterminer le pH de la solution obtenue.

On donne les masses molaires atomiques en g.mol^{-1} : H:1 ; O:16 ; Na:23.

- 2) On mélange 180mL d'une solution d'éthanolate de sodium de pH inconnu et 20mL d'une solution d'hydroxyde de sodium de pH égal à 10. Le pH de la solution obtenue est 9,3. Quel est le pH inconnu ?

EXERCICE 6 :

On a dissous 1,12 L de chlorure d'hydrogène (à 0°C et sous 1 atmosphère) dans de l'eau distillée de manière à obtenir 1L de solution.

- 1) Déterminer le pH de cette solution.
- 2) On ajoute 5 mL d'une solution d'hydroxyde de sodium de concentration $0,10 \text{ mol/L}$ à 20 mL de la solution d'acide précédente. Déterminer la nouvelle valeur du pH.
- 3) On ajoute 10mL d'une solution d'hydroxyde de sodium de concentration $0,10 \text{ mol/L}$ à 20 mL de la solution d'acide. Déterminer le pH de la solution obtenue.

EXERCICE 7 :

L'acide nitrique est un acide fort. On dispose d'une solution commerciale d'acide nitrique dont le titre massique vaut 65% Sa densité est égal à 1,4.

- 1) Ecrire l'équation de la réaction de l'acide nitrique avec l'eau.
- 2) Déterminer le volume de la solution commerciale qu'il faut utiliser pour obtenir 1L d'une solution de concentration $C_a = 0,20 \text{ mol/L}$.
- 3) Déterminer le volume d'une solution d'hydroxyde de sodium de concentration $0,10 \text{ mol/L}$ qu'il faut ajouter à 10mL de la solution préparée pour obtenir une solution de $\text{pH} = 7,0$ $M(\text{HNO}_3) = 63 \text{ g/mol}$

EXERCICE 8

L'iodure d'hydrogène est un acide fort. On dispose d'une solution commerciale de titre massique 28% et de densité $d = 1,26$

- 1) Ecrire l'équation de la réaction de l'iodure d'hydrogène avec l'eau.
- Déterminer le volume de la solution commerciale qu'il faut utiliser pour obtenir 1L d'une solution d'acide d'iodhydrique de concentration $C_a = 5,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$
- 2) Calculer le pH de la solution ainsi préparée ?
- 3) On ajoute 25mL d'une solution d'hydroxyde de sodium de concentration $2,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ à 20mL de la solution d'acide iodhydrique préparée. Déterminer le pH de la solution obtenue. $M(\text{HI}) = 128 \text{ g/mol}$

EXERCICE 9

On se propose d'effectuer le dosage d'une solution d'acide sulfurique de concentration molaire inconnue C_a et de volume $V_a = 500 \text{ cm}^3$ par une solution d'hydroxyde de sodium de concentration C_b également inconnue.

On relève le pH du mélange pour différentes valeurs de volume V de solution basique versé.

Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau ci-dessous.

V (cm ³)	5	10	25	35	45	50	60
pH	2,04	2,12	2,42	2,67	3,16	4,03	10,77
n(H ₃ O ⁺)							

- 1) Ecrire l'équation bilan de la réaction du dosage et exprimer les concentrations molaires des espèces $[\text{Na}^+]$, $[\text{SO}_4^{2-}]$ et $[\text{H}_3\text{O}^+]$ du mélange en fonction de C_a , C_b , V et V_a . On se limitera à la partie de dosage avant l'équivalence.
- 2) Définir l'équivalence acido-basique. Exprimer le volume à l'équivalence V_e en fonction de C_a , C_b , et V_a . Déduire des résultats précédents la relation $[\text{H}_3\text{O}^+] (V_a + V) = C_b (V_e - V)$
- 3) On pose $n(\text{H}_3\text{O}^+) = [\text{H}_3\text{O}^+] (V_a + V) = 10^{-\text{pH}} (V_a + V)$.

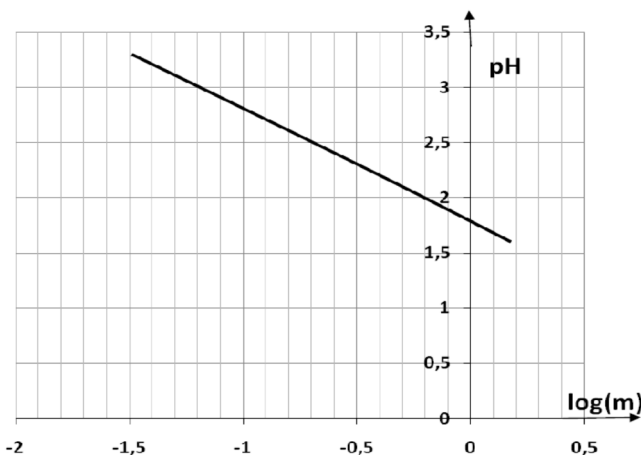
- a) Compléter le tableau ci-dessus et tracer la courbe $n(\text{H}_3\text{O}^+) = f(V)$.
Échelles: 1 cm $\rightarrow$ 0,0041 mol ; 2 cm $\rightarrow$ 5 cm³.
- b) Déterminer graphiquement la concentration C_b de la solution d'hydroxyde de sodium utilisée et le volume à l'équivalence V_e . Puis calculer la concentration C_a de la solution sulfurique.

EXERCICE 10 :

On prépare une solution en dissolvant une masse m d'un monoacide fort de masse molaire M dans un volume V d'eau pure. On négligera la variation de volume consécutive à la dissolution de l'acide.

1) Exprimer le pH de la solution en fonction de m , M et V .

On mesure les pH de plusieurs solutions obtenues chacune par dissolution d'une masse m de cet acide dans un volume $V = 1\text{L}$ d'eau. Le graphe $\text{pH} = f(\log m)$ est reproduit ci-contre.



2) Montrer, à partir du graphe, que le pH peut se mettre sous la forme : $\text{pH} = a \log m + b$ ou a et b sont des constantes dont on déterminera les valeurs.

3) Dédurre des résultats précédents la masse molaire M de l'acide et l'identifier parmi les acides de formules: HCl ; HNO_3 ; H_2SO_4 ; HClO_3

Masses molaires en g.mol^{-1} : $M(\text{H}) = 1$; $M(\text{O}) = 16$; $M(\text{S}) = 32$; $M(\text{N}) = 14$; $M(\text{Cl}) = 35,5$

- 4) On prélève un volume $V_a = 20\text{ mL}$ d'une des solutions de l'acide de $\text{pH} = 2,1$ et on y ajoute un volume $V_b = 30\text{ mL}$ d'une solution d'hydroxyde sodium de concentration molaire $C_b = 5.10^{-2}\text{mol.L}^{-1}$.

a) Le mélange obtenu est-il acide, basique, ou neutre ? Justifier la réponse.

b) Déterminer le pH de ce mélange.

c) Déterminer le volume de la solution d'hydroxyde sodium qu'il faut ajouter pour neutraliser exactement le volume d'acide prélevé

EXERCICE 11:

La mesure du pH d'une solution d'hydroxyde de calcium $\text{Ca}(\text{OH})_2$, de concentration

$C = 0,25.10^{-3}\text{mol.L}^{-1}$ donne la valeur $\text{pH} = 10,7$.

- 1) Sachant que la réaction de dissociation dans l'eau est totale, dire s'il s'agit d'une monobase ou non. Ecrire l'équation de la réaction de dissociation.

On dissout 100mg de Ca(OH)_2 solide dans 800mL d'eau pure.

- 2) Déterminer le pH de la solution.

On prélève 20mL de cette solution et on lui ajoute 20mL d'hydroxyde de potassium de concentration $2 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$, 20 mL d'éthanolate de sodium de concentration $10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$ et 40mL de chlorure de sodium de concentration $10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$.

- 3)-Déterminer les concentrations des différentes espèces présentes en solution. En déduire le pH du mélange.

- 4) Déterminer la quantité d'hydroxyde de calcium qu'il faut dissoudre dans 1 L d'eau pure afin d'obtenir une solution de même pH

Données : $M(\text{Ca}) = 40 \text{ g.mol}^{-1}$.

EXERCICE 12 :

On lit sur l'étiquette d'une bouteille d'acide chlorhydrique les données suivantes : « masse volumique : 1190 kg.m^{-3} ; pourcentage en masse d'acide pur : 37% ».

On extrait de cette bouteille 3,23mL de solution, qu'on complète à 400mL avec de l'eau pure.

- 1) Déterminer la concentration C_A de la solution ainsi préparée.
 2) Afin de vérifier ce titre, on dose cet acide par 200mL d'éthanolate de sodium de concentration $C_B = 3 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$. Exceptionnellement la solution à titrer est placée dans la burette. Pour chaque volume V_A d'acide versé, on relève la valeur du pH et on obtient le tableau suivant :

$V_A(\text{mL})$	0	1	2	3	4	4,5	5	5,2	5,4	5,6	5,8	6	6,2
pH	11,5	11,4	11,3	11,2	11	10,9	10,7	10,6	10,5	10,3	10	7	4,0

$V_A(\text{mL})$	6,4	6,6	6,8	7	7,5	8	9	10	11	12
pH	3,7	3,5	3,4	3,3	3,1	3,0	2,8	2,7	2,6	2,5

- a) Construire la courbe $\text{pH} = f(V_A)$.

- b) Déterminer le volume d'acide V_{Aeq} à l'équivalence ainsi que la concentration C_A de la solution d'acide. Conclure.

- 3) On remplace l'acide chlorhydrique initial par un même volume d'acide nitrique, de même concentration. La courbe précédente est-elle modifiée ? Justifier la réponse.

4) Parmi les trois indicateurs colorés ci-dessous, quels sont ceux qui pourraient servir à un dosage colorimétrique ? Comment repérerait-on l'équivalence ?

Indicateur coloré	Zone de virage
Hélianthine	(rouge) 3,1-4,4 (jaune)
Bleu de bromothymol	(jaune) 6,0-7,6 (bleu)
Thymolphthaléine	(incolore) 9,4-10,6 (bleu)

EXERCICE 13 :

La solution commerciale Desktop, vendue pour déboucher les canalisations, contient essentiellement de l'hydroxyde de sodium. Sa densité (par rapport à l'eau) est 1,23 et le pourcentage en masse de soude est 29%.

1) Déterminer la concentration C_B en soude de la solution de Desktop.

On veut doser cette solution commerciale par une solution d'acide sulfurique de concentration $C_A = 0,05 \text{ mol.L}^{-1}$ (l'acide sulfurique est considéré ici comme un diacide fort). On prélève 20 mL de Desktop.

2) Déterminer le volume d'acide sulfurique à verser pour doser la solution 0

3) On veut que le volume d'acide sulfurique nécessaire soit de l'ordre de 20 mL.

a) Proposer un mode opératoire précis sachant que l'on dispose de pipettes de 5, 10, 20 mL et de fioles jaugées de 50, 100, 250, 1000 mL. Quelles précautions doit-on prendre ?

b) Déterminer les concentrations des espèces en solution lorsqu'on a versé 15 mL d'acide sulfurique. En déduire le pH de ce mélange.

EXERCICE 14

Dans un laboratoire, on dispose des solutions suivantes :

- Une solution S d'hydroxyde de sodium de masse volumique $\rho = 1,2 \text{ kg/L}$ de pourcentage massique en hydroxyde de sodium pur 16,7 %.
- Une solution d'acide sulfurique de concentration molaire C_A .
- De l'eau distillée.

1) Montrer que la concentration volumique C_B de la solution S peut s'écrire : $C_B = \frac{167}{40} \rho$ (avec ρ en kg/L).

2) On prélève 10 mL de la solution qu'on dilue pour obtenir une solution S' de concentration molaire volumique

$C'_B = 0,1 \text{ mol/L}$. Déterminer le volume d'eau distillée nécessaire à la préparation.

- 3) Afin de déterminer la concentration C_A de l'acide sulfurique, on dose 10 mL de celle-ci par la solution S' d'hydroxyde de sodium.
- Ecrire l'équation-bilan de la réaction.
 - A l'équivalence, le volume de la solution S' d'hydroxyde de sodium utilisé est 20 mL.
- Définir l'équivalence acido-basique et évaluer qualitativement le pH du mélange à l'équivalence.
 - Calculer C_A .
 - Calculer les concentrations molaires des espèces chimiques présentes dans le mélange à l'équivalence.

Masses molaires en g.mol^{-1} : Na : 23 ; O : 16 ; H : 1

EXERCICE 15 :

Masses molaires en g.mol^{-1} : $M(\text{H}) = 1$; $M(\text{C}) = 12$; $M(\text{N}) = 14$; $M(\text{O}) = 16$; $M(\text{Na}) = 23$. Toutes les expériences sont à 25°C . Masse molaire de l'acide sulfurique: 98g.mol^{-1} .

Un laborantin a reçu une solution S_0 de mono base forte dont il veut déterminer la concentration molaire volumique C_0 . Il en prélève un volume $V_0 = 5\text{cm}^3$ qu'il place dans une fiole jaugée de 500mL et le complète avec de l'eau distillée. Il obtient ainsi une solution S_1 de concentration C_1 qu'il va doser.

Il prélève un volume $V_1 = 20\text{mL}$ de S_1 qu'il place dans un bécher ; il y verse progressivement une solution S_4 d'acide sulfurique de concentration C_A , en relevant à chaque fois le pH du mélange.

La solution S_4 provient de dilution au centième d'une solution commerciale S_3 de concentration C_3 et de densité $d = 1,15$.

- Comment procéder pour préparer 1L de la solution S_4 à partir de la solution S_3 ?
- Faire un schéma du dispositif de dosage.
- Ecrire l'équation bilan de la réaction du dosage.
- Quelques jours après, le laborantin exploite les mesures. Il s'aperçoit qu'il a oublié de noter la valeur du pourcentage massique d'acide sulfurique pur de la solution commerciale S_3 , en plus il a perdu une des feuilles de mesures. Il dispose seulement des valeurs suivantes : avec V_A : volume de la solution S_4 versé ans le bécher.

$V_A(\text{mL})$	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0
pH	12,60	12,50	12,45	12,40	12,30	12,20	12,15	12,05	11,90		11,70
pOH											
$n_{\text{OH}^-}(\text{mmol})$											

- A partir de la relation $\text{pOH} = -\log[\text{OH}^-]$, trouver la relation entre pOH et pH.
- Compléter le tableau en y ajoutant les valeurs du pOH correspondant.

c) Représenter $pOH = f(V_A)$; Échelles : 1cm pour 1mL et 1cm pour 1 unité de pOH.

d) Par extrapolation trouver la valeur de pOH pour $V_A = 0\text{mL}$. En déduire une valeur approchée de la concentration C'_o de la solution S_o .

5) Montrer qu'avant l'équivalence acido-basique, on a : $n_{OH^-} = \frac{C_o}{5000} - 2C_A V_A$, avec C_A : concentration molaire de S_4 en mol.L^{-1} ; V_A : volume de S_4 versé en Litre ; C_o : concentration de S_o en mol.L^{-1} et n_{OH^-} : nombre de mol d'ions OH^- dans le mélange à cet instant.

6)

a) Exprimer n_{OH^-} en fonction du pOH, de V_1 et de V_A , puis compléter le tableau en y ajoutant les valeurs de n_{OH^-} correspondants.

b) Tracer la courbe $n_{OH^-} = f(V_A)$; Échelles 1cm pour 0,1mmol et 1cm pour 1mL.

7)

a) Déterminer les valeurs de C_o , V_{AE} et C_A , avec V_{AE} étant le volume d'acide à verser pour atteindre l'équivalence.

b) Déterminer le pourcentage massique d'acide sulfurique pur dans la solution commerciale S_3

c)-Déterminer l'erreur relative qu'on commet en utilisant la valeur de C'_o

D-CORRIGE DES EXERCICES

EXERCICE 2 :

On désire préparer une solution d'hydroxyde de sodium de pH égal à 12,5.

1) Calculons la concentration des ions hydroxyde dans la solution

$$pH=14+\log C_b \text{ alors } C_b=10^{(pH-14)}=10^{(12,5-14)} \quad C_b= 3,16.10^{-2} M$$

2) Calculons la masse d'hydroxyde de sodium qu'il faut utiliser pour préparer 1L de solution

$$m= CVM = 3,16.10^{-2} \times 1 \times 40 = 1,26 \text{ g}$$

Déterminons le pH de la solution obtenue en diluant la solution préparée avec un égal volume d'eau pure

En diluant avec un égal volume d'eau on dilue deux fois, la concentration est divisée par deux $C_b' = \frac{C_b}{2} = 0,0158 M$

Le pH de la solution dilué est $pH = 14 + \log 0,0158 = 12,2$

Remarque la dilution diminue le pH d'une base

EXERCICE 3 :

On dispose d'une solution d'acide chlorhydrique commercial à 30%. Sa densité par rapport à l'eau est $d= 1,15$.

1) Déterminons la concentration de cette solution commerciale.

$$C = \frac{x d \rho e}{M} = \frac{0,30 \times 1,15 \times 1000}{36,5} = 9,45 \text{ M}$$

2) On veut préparer 1L d'une solution d'acide chlorhydrique de concentration 1,0 mol/L. Déterminons le volume de la solution commerciale qu'on doit utiliser

$$\text{D'après la loi de la dilution } C_i V_i = C_f V_f \quad V_i = \frac{C_f V_f}{C_i} = \frac{1 \times 1}{9,45} = 0,1 \text{ L}$$

EXERCICE 4:

On mélange 200 mL d'une solution S₁ d'hydroxyde de sodium de pH = 10,7 avec 300 mL d'une solution S₂ d'hydroxyde de sodium de pH inconnu. On obtient une solution dont le pH est égal à 11,3.

1) Déterminons le pH de la solution S₂.

$$[OH^-]_f = \frac{C_1 V_1 + C_2 V_2}{V_1 + V_2} = \frac{10^{-3,3} \times 0,2 + 10^{(pH-14)} \times 0,3}{0,5} = 10^{(pH_f-14)}$$

La résolution de cette équation donne une valeur du pH égale à 11,5

2) On mélange 400 mL de la solution S₁ avec 100 mL d'une solution S₃ d'hydroxyde de sodium de pH égal à 12,3.

Déterminons le pH de la solution obtenue.

$$pH = 14 + \log \frac{C_1 V_1 + C_2 V_2}{V_1 + V_2} = 14 + \log \frac{10^{-3,3} \times 0,4 + 10^{-1,7} \times 0,1}{0,5} = 11,64$$

CHAPITRE 7

ACIDES ET BASES FAIBLES, COUPLES ACIDE-BASE- CONSTANTE D'ACIDITE ET CLASSIFICATION DES COUPLES ACIDE – BASE

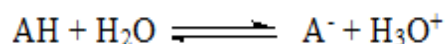
A - OBJECTIFS

Se rappeler que les acides et les bases faibles sont partiellement dissociés en ions dans l'eau.

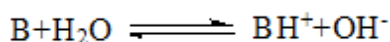
- Calculer le coefficient d'ionisation d'un acide, d'une base.
- Montrer l'augmentation du coefficient d'ionisation lorsque la dilution augmente.
- Ecrire les demi-équations protoniques d'un couple acide-base.
- Calculer une constante de réaction (acido-basique)
- Calculer le K_A et le pK_A d'un couple acide-base.
- Comparer les forces de deux acides, de deux bases.
- Classer des couples acide-base

B – L'ESSENTIEL DU COURS

Un acide AH est dit faible si sa dissociation dans l'eau est partielle selon l'équation équilibrée :



Une base B est dite faible si sa dissociation dans l'eau est partielle selon l'équation équilibrée :



Pour acide faible ou une base faible, le coefficient de dissociation α est défini par le rapport entre le nombre de mole dissocié et le nombre de mole initial. A volume constant on a :

$$\alpha = \frac{[\text{Acide ou Base dissociée}]}{[\text{Acide ou Base initiale}]}$$

Pour un acide ou base faible $\alpha < 1$ (ou $< 100\%$)

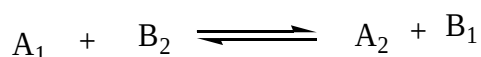
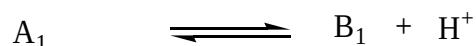
Pour acide fort ou base forte $\alpha = 1$ (ou $= 100\%$)

Selon Bronsted :

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

A tout acide est associée une base conjuguée, et à toute base est associé un acide conjugué. Ils forment un couple acide/base.

Une réaction acido – basique est une réaction de transfert de protons entre un couple A_1/B_1 et un autre couple A_2/B_2 :



Tout couple acide/base est caractérisé en solution aqueuse et à une température T par sa constante d'acidité K_A donnée par : $K_A = \frac{[base].[H_3O^+]}{[acide]}$ et son pK_A donnée par $pK_A = -\log K_A$

Un acide est d'autant plus fort que sa constante d'acidité K_A est grande (pK_A plus faible)

Une base est d'autant plus forte que la constante d'acidité de son acide conjugué est faible (pK_A plus grand)

Plus un acide est fort, plus sa base conjuguée est faible.

Plus une base est forte, plus son acide conjugué est faible.

Domaines de prédominance :

- L'acide est de plus en plus prédominant dans le sens des valeurs décroissantes du pH,
- La base est de plus en plus prédominante dans le sens des valeurs croissantes du pH.

Si le $pH = pK_A$ du couple acide/base alors aucune espèce ne prédomine entre l'acide et la base : $[acide] = [base]$

C - EXERCICES

EXERCICE 1

Les solutions sont prises à 25°C.

- 1) Définir un acide de Brönsted, une base de Brönsted. Citer quelques exemples courants.
- 2) Qu'appelle-t-on acide faible ? Ecrire l'équation-bilan de sa réaction avec l'eau.
- 3) L'éthylamine ($C_2H_5NH_2$) a un $pK_a = 10,7$. Quelle est l'espèce chimique prédominante dans une solution de pH : 2,7 ? 10,7 ? 12,8 ?
- 4) Comparer l'acidité de l'acide fluorhydrique HF ($pK_a = 3,2$) à de l'acide cyanhydrique HCN ($pK_a = 9,2$). Que dire de la basicité de leurs bases conjuguées ?
- 5) Quels sont les couples de l'eau ? Quels sont les pK_a associés ?
- 6) Qu'est-ce qu'un indicateur coloré ?
- 7) Une solution aqueuse de base, de concentration $C_b = 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$, a un pH = 11, 7. S'agit-il d'une base forte ou faible ?

EXERCICE 2

Une solution aqueuse d'acide d'acide 2-bromopropanoïque noté A_1H de concentration molaire $C_1 = 0,05 \text{ mol.L}^{-1}$ a un pH = 2,2.

Une solution aqueuse d'acide d'acide 3-bromopropanoïque noté A_2H de même concentration molaire que la solution précédente a un pH = 2,7.

1. Ecrire les équations –bilan relatives aux actions des deux acides sur l'eau.
2. Calculer les concentrations molaires des espèces chimiques présentes dans chaque solution.
3. La comparaison des valeurs de α_1 et α_2 suffit-elle pour classer les acides A_1H et A_2H suivant leur force ? Justifier.
4. Calculer pK_{a1} et pK_{a2} relatifs aux deux couples acide/base
5. On donne le tableau ci-dessous à compléter

Classer ces acides par force croissante. En déduire l'influence sur leur force :

- Du nombre d'atomes de brome dans la molécule.
- De la position des atomes de brome dans la molécule.

Acide	Acide propanoïque	Acide 2,2 dibromopropanoïque	Acide 2,3 dibromopropanoïque	A_1H	A_2H
pK_a	4,9	1,5	2,2		

EXERCICE 3 :

Répondre par Vrai (V) ou Faux (F) en mettant une croix dans la bonne case

EXERCICE 4 :

- 1) Le pH d'une solution d'acide fluorhydrique de concentration $C_A = 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ est égal à 2,6. Calculer la constante d'acidité K_a du couple HF/F^- , ainsi que son pK_a .

2) Le pH d'une solution de méthanoate de sodium de concentration $C_b = 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ est égal à 7,9. Calculer les concentrations des espèces chimiques présentes dans la solution. En déduire la constante d'acidité K_a du couple $\text{HCOO}^-/\text{HCOOH}$, ainsi que son $\text{p}K_a$.

3) Une solution d'acide éthanoïque de concentration C_a a un $\text{pH} = 3,9$. Calculer la

	V	F
a) Plus un acide faible est dilué, plus il se comporte comme un acide fort.		
b) Les espèces présentes dans une solution d'acide éthanoïque sont seulement CH_3COO^- , H_3O^+ et OH^- .		
c) Une solution aqueuse d'un acide AH de concentration $C_a = 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$ a un $\text{pH} = 3,8$. Il s'agit donc d'un acide faible.		
d) Plus un acide est fort, plus son $\text{p}K_a$ est grand.		
e) Plus une base est forte, plus elle est dissociée en solution aqueuse.		
f) Une solution pour laquelle $\text{pH} = \text{p}K_a$ contient autant de moles de l'espèce HA (resp. BH^+) que de moles de l'espèce A^- (resp. HA_{aq})		
g) Une base est d'autant plus forte que le $\text{p}K_a$ du couple considéré est petit.		
h) L'aniline, dont le $\text{p}K_a$ du couple est 4,6 est une base plus faible que l'ammoniaque ($\text{p}K_a = 9,2$).		

concentration C_a de cette solution.

Donnée $\text{p}K_a (\text{CH}_3\text{COO}^-/\text{CH}_3\text{COOH}) = 4,8$

EXERCICE 5 :

On mélange 20 mL d'une solution d'acide éthanoïque de concentration $C_a = 10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$ avec un volume $V_a = 30 \text{ mL}$ d'une solution d'éthanoate de sodium obtenue en dissolvant une masse $m = 656 \text{ mg}$ d'éthanoate de sodium dans un volume $V = 100 \text{ mL}$ d'eau pure.

Calculer le pH de la solution.

EXERCICE 6 :

Données : Les $\text{p}K_a$ des couples acido-basiques

$\text{CH}_3\text{-NH}_3^+ / \text{CH}_3\text{-NH}_2$ $\text{CH}_3\text{-COOH} / \text{CH}_3\text{-COO}^-$ sont respectivement de 10,8 et 4,8.

Ion méthylammonium / méthylamine et acide éthanoïque / ion éthanoate .

On dispose de cinq béchers contenant chacun une solution aqueuse d'un des composés cités ci-dessous. Les solutions sont de même concentration molaire.

Numéro du bécher	1	2	3	4	5

Nom du composé	Acide nitrique	Chlorure de méthylammonium	Ethanoate de sodium	Hydroxyde de sodium	Acide éthanoïque
----------------	----------------	----------------------------	---------------------	---------------------	------------------

1) Ecrire les équations bilans des réactions de chacun de ces composés avec l'eau. Indiquer les solutions qui sont acides et celles qui sont basiques.

2) Classer, par ordre de pH croissant, les cinq solutions. Justifier ce classement, sans calcul.

EXERCICE 7 :

Donnée : $pK_a (\text{CH}_3\text{COO}^- / \text{CH}_3\text{COOH}) = 4,8$

On considère une solution d'acide éthanoïque de concentration $C_a = 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$.

1) Ecrire l'équation-bilan de la réaction de l'acide éthanoïque avec l'eau.

2) Montrer que le pH de cette solution peut se mettre sous la forme : $\text{pH} = \frac{1}{2} (pK_a - \log C_a)$. Calculer sa valeur. On admettra que la solution d'acide n'est ni trop diluée ni trop concentrée.

3) Calculer le coefficient d'ionisation α de l'acide éthanoïque dans cette solution.

EXERCICE 8 :

Donnée : $pK_a (\text{NH}_4^+ / \text{NH}_3) = 9,2$

On considère une solution d'ammoniac de concentration $C_b = 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$.

1) Ecrire l'équation-bilan de la réaction de l'ammoniac avec l'eau.

2) Montrer que le pH de cette solution peut se mettre sous la forme : $\text{pH} = 7 + \frac{1}{2} (pK_a + \log C_b)$.

Calculer sa valeur. On admettra que la solution d'ammoniac n'est ni trop diluée ni trop concentrée.

3) Calculer le coefficient d'ionisation α de l'ammoniac dans cette solution.

EXERCICE 9 :

On souhaite étudier le couple acido-basique ion éthylammonium/éthylamine

$(\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_3^+ / \text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2)$ noté ensuite BH^+/B .

1) Ecrire l'équation-bilan de la réaction de l'eau sur le chlorure d'éthylammonium.

On place dans un bécher un volume $V_a = 50 \text{ mL}$ d'une solution de chlorure d'éthylammonium de concentration $C_a = 4 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$. On ajoute à l'aide d'une burette un volume V_b d'une solution aqueuse d'éthylamine de concentration $C_b = 10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$. On relève à chaque fois le pH.

V (mL)	5	10	15	20	25	30	35
Ph	10,1	10,4	10,5	10,7	10,8	10,9	11,0

2.1) Tracer la courbe $\text{pH} = f \left(\log \frac{[\text{B}]}{[\text{BH}^+]} \right)$ et déterminer son équation.

2.2) En déduire la valeur du pK_a du couple BH^+/B .

EXERCICE 10 :

Une solution aqueuse d'acide benzoïque de concentration $1,6 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ et une solution aqueuse d'acide éthanóïque à $5,6 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ ont le même pH, égal à 3,0.

- 1) Ecrire pour chaque acide l'équation-bilan de sa réaction de dissociation dans l'eau.
- 2) Dire qualitativement lequel de ces deux acides est le plus dissocié.
- 3) Calculer le coefficient de dissociation de chaque acide.

EXERCICE 11 :

Donnée : Acide éthanóïque $K_a = 1,8 \cdot 10^{-5}$.

On considère une solution d'acide éthanóïque de concentration $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$. On en prélève 10 mL et on complète à 100 mL avec de l'eau pure. On obtient ainsi une solution S'. On prélève 50 mL de S' et on complète à 500 mL toujours avec de l'eau pure. On obtient la solution S''.

- 1) Calculer la concentration de chaque solution S' et S''.
- 2) Ecrire l'équation-bilan de la réaction de l'acide avec l'eau.
- 3) Calculer pour les trois solutions le coefficient de dissociation. Conclure.

EXERCICE 12 :

Un indicateur coloré est un acide faible ou une base faible d'un couple acide base dont les formes acide et bases conjuguées ont des couleurs ou teintes différentes.

L'hélianthine est, en solution aqueuse, un indicateur coloré qui peut être considéré comme un acide faible dont le couple acide/ base sera noté en abrégé HIn/In^- et a un pK_a égal à 3,8.

- 1) Ecrire l'équation chimique traduisant la réaction de l'hélianthine avec l'eau.
- 2) Définir la constante K_a et le pK_a de cet indicateur.
- 3) La couleur d'une solution contenant quelques gouttes d'hélianthine apparaît :
 - rouge, couleur de sa forme acide, si $[\text{HIn}] > 10 [\text{In}^-]$
 - jaune, couleur de sa forme basique, si $[\text{In}^-] > 10 [\text{HIn}]$.

Déterminer les valeurs du pH qui délimitent la zone de virage de l'indicateur coloré.

- 4) Dans quel type de dosage l'utilisation de cet indicateur est-elle la plus appropriée :
 - dosage d'une solution d'acide faible par une solution de base forte ?
 - dosage d'une solution de base faible par une solution d'acide fort ?

Justifier la réponse à l'aide d'un exemple.

- 5) Pourquoi, lors d'un dosage acide/base colorimétrique, utilise-t-on seulement quelques gouttes d'indicateur coloré ?

EXERCICE 13 :

On prélève $V_0 = 10 \text{ mL}$ d'une solution d'acide éthanóïque de concentration $C_0 = 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$; on ajoute un volume variable V d'eau distillée.

- 1) Proposer un montage pour réaliser cette expérience.
- 2) Ecrire l'équation-bilan de la réaction.
- 3) Soit C la nouvelle concentration de la solution. Etablir la relation entre C , C_0 , V_0 et V .
- 4) On mesure le pH des solutions obtenues pour différentes valeurs de V . Compléter le tableau et tracer la courbe $\text{pH} = f(-\log C)$.

V(mL)	0	10	20	40	60	90
-------	---	----	----	----	----	----

pH	3,37	3,52	3,61	3,72	3,80	3,87
C						
pC = -logC						

4.1) Déterminer l'équation de la courbe obtenue.

4.2) Mettre cette équation sous la forme : $\text{pH} = \frac{1}{2} (\text{constante} + \text{pC})$.

En déduire la valeur de la constante d'acidité K_a de l'acide éthanoïque et son $\text{p}K_a$.

EXERCICE 14 :

Couples acide/base :

Acide benzoïque/ion benzoate : $\text{p}K_a = 4,2$

Couples de l'eau : $\text{H}_3\text{O}^+ / \text{H}_2\text{O}$: $\text{p}K_a = 0$; $\text{H}_2\text{O} / \text{OH}^-$: $\text{p}K_a = 14$

- 1) On mesure le pH d'une solution S_1 d'acide benzoïque de concentration $C_a = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$. Le pH-mètre indique 3,1.
 - 1.1) Pourquoi cette mesure permet-elle d'affirmer que l'acide benzoïque est un acide faible dans l'eau ? Justifier.
 - 1.2) Ecrire l'équation-bilan de la réaction de l'acide benzoïque avec l'eau.
Ecrire l'expression de la constante d'acidité K_a du couple considéré.
- 2) On mesure ensuite le pH d'une solution S_2 de benzoate de sodium de concentration $C_b = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$.
On trouve $\text{pH} = 8,1$. Le benzoate de sodium ($\text{C}_6\text{H}_5\text{COONa}$) est un corps pur ionique dont les ions se dispersent totalement en solution.
 - 2.1) Pourquoi la mesure du pH réalisée permet-elle d'affirmer que l'ion benzoate est une base faible dans l'eau ? Justifier.
 - 2.2) Ecrire l'équation-bilan de la réaction de l'ion benzoate avec l'eau. Exprimer la constante de cette réaction et calculer sa valeur.
- 3) On ajoute à la solution S_1 quelques gouttes d'une solution de soude. Le pH prend alors la valeur 5,2.
 - 3.1) Indiquer, sans calcul, en utilisant une échelle de pH, quelle est l'espèce du couple qui prédomine dans la solution obtenue.
 - 3.2) Noter, sur une échelle des $\text{p}K_a$ les différents couples acide/base qui interviennent dans la solution S_1 et dans la solution de soude.
 - 3.3) Ecrire l'équation-bilan de la réaction acide base qui se produit lors du mélange de la solution S_1 et de la solution de soude.
 - 3.4) Calculer la constante de cette réaction.
 - 3.5) -Dire si la réaction peut être considérée ou non comme totale.
- 4) On réalise une solution S en mélangeant 20 cm^3 de solution S_1 et 20 cm^3 de solution S_2 .
A partir de la réaction se produisant lors du mélange, déduire, sans calcul, que la concentration l'acide benzoïque, dans la solution S , est égale à celle de sa base conjuguée. En déduire la valeur du pH de la solution S .

EXERCICE 15 :

On étudie le comportement de deux acides, l'acide éthanoïque CH_3COOH et l'acide méthanoïque HCOOH .

On donne : $\text{pK}_1 = \text{pK}_a$ pour le couple $\text{CH}_3\text{COOH}/\text{CH}_3\text{COO}^-$: $\text{pK}_1 = 4,8$;
 $\text{pK}_2 = \text{pK}_a$ pour le couple $\text{HCOOH}/\text{HCOO}^-$: $\text{pK}_2 = 3,8$.

On mélange une solution aqueuse d'acide méthanoïque et une solution aqueuse d'acide éthanoïque.

1) Préciser, en justifiant, lequel des deux acides est le plus fort.

2) Montrer que, quels que soient les mélanges considérés, on a : $\frac{[\text{HCOO}^-]}{[\text{HCOOH}]} = k \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$

k étant une constante que l'on déterminera. Montrer que la valeur de cette constante est en accord avec la réponse à la question précédente.

3 On mélange, 0, 10 mol d'acide méthanoïque et 0,30 mol d'acide éthanoïque ; on complète à 1,0 L avec de l'eau pure. Le pH du mélange est 2,35. En écrivant les équations de conservation de la matière pour HCOOH , d'une part, et CH_3COOH , d'autre part, calculer la concentration molaire volumique de chacune des espèces, sauf de l'eau, présentes dans la solution.

4 En utilisant les résultats précédents, montrer que la solution est électriquement neutre.

EXERCICE 16 :

Solutions	Acides	Formules	Constantes d'acidité	pK	Concentrations
S ₁	éthanoïque	CH_3COOH	$K_1 = 1,8 \cdot 10^{-5}$	$\text{pK}_1 = 4,8$	Dans le mélange S ₁ + S ₂
S ₂	benzoïque	$\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$	$K_2 = 6,3 \cdot 10^{-5}$	$\text{pK}_2 = 4,2$	

Remarques préliminaires : $\Delta \text{pK} < 3$, S₁ et S₂ sont des acides faibles de forces comparables.

Ainsi, les ions H_3O^+ en provenance de S₁ et S₂ seront en quantités comparables dans le mélange. Par ailleurs, on négligera la dissociation de l'eau ; ce qui permettra de négliger $[\text{OH}^-]$ devant les autres concentrations dans l'expression de l'électroneutralité.

$\frac{\bar{C}_1}{K_1} > 10^2$ et $\frac{\bar{C}_2}{K_2} > 10^2$, les acides sont faiblement dissociés et on fera les approximations

suivantes : $\bar{C}_1 \approx [\text{CH}_3\text{COOH}]$ et $\bar{C}_2 \approx [\text{CH}_3\text{COO}^-]$

$\bar{C}_1 = 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ et $\bar{C}_2 = 2 \bar{C}_1$ sont les concentrations molaires volumiques respectives dans le mélange de S₁ et S₂.

1) Tenant compte de ces remarques préliminaires, démontrer que : $[\text{H}_3\text{O}^+] = \sqrt{K_1 \bar{C}_1 + K_2 \bar{C}_2}$

2) Dédire le pH du mélange. Le fait d'avoir négligé $[\text{OH}^-]$ devant les autres concentrations se justifie-t-il posteriori ? **(Bac 97)**

EXERCICE 17 :

On considère une solution aqueuse d'acide benzoïque C_6H_5COOH de concentration molaire volumique $C_a = 5,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$. (On posera $pC_a = -\log C_a$ et $C_a = 10^{-pC_a}$). La constante d'acidité de cet acide est $K_a = 6,31 \cdot 10^{-5}$.

- 1) Calculer le pK_a de cet acide ainsi que le pC_a .
- 2) En considérant que la quantité de matière d'ions OH^- présents est négligeable devant celle des ions H_3O^+ d'une part et puis d'autre part C_a très grande devant $[H_3O^+]$, Montrer que $[H_3O^+] = \sqrt{K_a C_a}$; en déduire l'expression du pH de la solution et le calculer.
- 3) Définir le degré d'ionisation d'un acide. Le calculer pour la solution benzoïque.
- 4) On considère, de façon plus générale, un acide de formule AH , de concentration molaire volumique C_a et de constante d'acidité K_a .
 - 4.1) En posant $x = [H_3O^+]$, établir l'équation : $x^2 + K_a x - K_a C_a = 0$
 - 4.2) Dans le cas où la concentration est très inférieure à K_a ($\frac{C_a}{K_a} \ll 1$), montrer que $[H_3O^+] = C_a$ et en déduire une expression simple du pH. Que vous suggère ce résultat ?

Exercice 18 :

Afin de mesurer le pK_a du couple acide éthanoïque/ion éthanoate, on détermine le pH du mélange de deux solutions S_1 d'acide éthanoïque et S_2 d'éthanoate de sodium. S_1 et S_2 ont même concentration $C_1 = C_2 = 0,1 \text{ mol/L}$.

- 1) On mélange $V_1 = 10 \text{ mL}$ de S_1 avec $V_2 = 40 \text{ mL}$ de S_2 . Le pH est de 3,4.
 - 1.1) Déterminer les concentrations molaires de toutes les espèces chimiques dans le mélange.
 - 1.2) Vérifier l'égalité : $\frac{[CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]} = \frac{V_2}{V_1}$.
- 2) On considère que le résultat 1-b) est vérifié. On effectue les mesures de pH pour les mélanges de S_1 et S_2 correspondant à différentes valeurs de V_1 et V_2 . Les résultats sont consignés dans le tableau suivant :

Mélange	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆	M ₇	M ₈	M ₉
V ₂ (mL)	4	10	20	30	40	40	40	40	40
V ₁ (mL)	40	40	40	40	40	30	20	10	4
Ph	3,6	4,0	4,3	4,5	4,6	4,7	4,9	5,2	5,6
Log $\frac{V_2}{V_1}$									

- 2.1) Compléter le tableau puis tracer la courbe $pH = f(\text{Log } \frac{V_2}{V_1})$.

En abscisse : 10 cm ↔ 1 unité et en ordonnées : 2 cm ↔ 1 unité pH.

- 2.2) En déduire la relation entre pH et le rapport $\frac{[CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]}$.
- 2.3) Ecrire le bilan de la réaction entre l'acide éthanoïque et l'eau.

- 2.4) Après avoir rappelé la définition du K_a , en déduire la relation entre le pH d'une solution contenant à la fois CH_3COOH et CH_3COO^- .
- 2.5) Déduire des questions précédentes la valeur approchée du pK_a du couple étudié.

EXERCICE 19 :

- 1) Soit une solution aqueuse d'acide nitreux HNO_2 ; de concentration $C = 10^{-2} \text{ mol/L}$; de volume $V = 50 \text{ mL}$. L'acide nitreux est un acide faible.
- 1.1) Ecrire l'équation de dissolution de l'acide nitreux dans l'eau.
- 1.2) Ecrire les relations d'électroneutralité de la solution et de conservation de la matière.
- 1.3) Quelle est l'expression de la constante d'acidité K_a du couple acide nitreux / ion nitreux. L'exprimer en fonction de $[\text{H}_3\text{O}^+]$ et C . Quelle (s) approximation est-il légitime de faire ?
- 1.4) Le pK_a du couple $\text{HNO}_2 / \text{HNO}_2^-$ vaut 3,4. Déterminer est le pH de la solution ?
- 2) On dissout sans que le volume ne soit affecté, $2,5 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$ de chlorure d'hydrogène HCl dans la solution d'acide nitreux.
- 2.1) Ecrire l'équation de dissolution du chlorure d'hydrogène.
- 2.2) Quelle influence cette dissolution a-t-elle sur la dissociation de l'acide nitreux ?
- 2.3) Le pH de la solution vaut 2,3 après dissolution du chlorure d'hydrogène. Montrer que cette valeur confirme la réponse à la question précédente.

EXERCICE 20 :

- 1) Ecrire la formule brute d'une monoamine primaire saturée dont la molécule contient n atomes de carbone. Exprimer en fonction de n le pourcentage en masse d'azote.
- 2) L'analyse de 4,5 g de l'amine montre qu'elle renferme 1,4 g d'azote.
- 1) En déduire sa formule moléculaire.
- 2) Déterminer sa formule développée et nommer-la. Possède-t-elle un isomère de classe différente ? Justifier.
- 3) On dissout dans un litre d'eau pure 0,1 mol de l'amine primaire, le pH de la solution est égale à 11,8. Calculer les concentrations des différentes espèces présentes dans la solution et en déduire le pK_{a1} du couple acido-basique étudié.
- 4) Le diéthylamine est une monobase faible.
- 4.1) Donner sa formule semi-développée et écrire l'équation de son interaction avec l'eau.
- 4.2) On donne les pK_a des couples suivants :
- Couple diéthylamonium / diéthylamine : $\text{pK}_{a2} = 11,8$;
- Couple ammonium / ammoniac : $\text{pK}_{a3} = 9,2$.
- Classer les différentes bases selon les basicités croissantes et expliquer dans quelle mesure le radical alkyle influe-t-il sur la force des bases.

EXERCICE 21 :

- 1) On considère le couple acide / base noté AH / A^- de pK_a connu. Montrer que le pH d'une solution de AH de concentration C_a peut s'écrire sous la forme : $\text{pH} = \frac{1}{2} (\text{pK}_a - \log C_a)$.

- 2) Soit une base faible B en solution aqueuse, de concentration C_b ; on suppose que le pK_a du couple BH^+ / B est connu. Montrer que le pH de cette solution de base faible peut s'écrire sous la forme : $pH = 7 + \frac{1}{2} (pK_a + \log C_b)$
- 3) Cinq bécher contiennent un volume V de solutions différentes mais de concentration égale à $C = 10^{-2}$ mol/L. Pour identifier chaque solution, on mesure le pH en numérotant le bécher correspondant.

N °bécher	1	2	3	4	5
pH	5,6	7	10,6	11,3	12

Les solutions sont préparées à partir des produit suivants : chlorure de sodium (NaCl) ; chlorure d'ammonium (NH_4Cl) ; méthanimine (CH_3NH_2) ; hydroxyde de sodium (NaOH) ; ammoniac (NH_3). Identifier le contenu de chaque bécher.

$$K_{a1} (NH_4^+ / NH_3) = 6,3 \cdot 10^{-10} \text{ et } K_{a2} (CH_3NH_3^+ / CH_3NH_2) = 2,6 \cdot 10^{-11}$$

On mélange le contenu de deux béchers, l'un contenant le chlorure d'ammonium et l'autre, l'ammoniac. Le pH final est 9,2. Retrouver à partir de l'étude du mélange, la valeur du pK_a du couple NH_4^+ / NH_3 .

EXERCICE 22 :

L'acide benzoïque, de formule C_6H_5-COOH , est un solide blanc peu soluble dans l'eau; c'est un conservateur utilisé dans l'industrie alimentaire, en particulier dans les boissons, où il est désigné par son code européen "E210".

- 1) On dispose d'une solution A d'acide benzoïque de concentration $c_a = 1,0 \cdot 10^{-2}$ mol.L⁻¹.
 - 1.1) Calculer la masse d'acide benzoïque utilisée pour préparer 500 mL de solution A.
 - 1.2) Rappeler les définitions d'un acide et d'une base.
 - 1.3) Ecrire la formule de l'ion benzoate, base conjuguée de l'acide benzoïque.
 - 1.4) Le pH de la solution A est égal 3,1. S'agit-il d'un acide fort ou u acide faible ? Justifier.
 - 1.5) Le pK_a du couple acide benzoïque / ion benzoate est : $pK_a = 4,20$ à 25° C.
 - 1.5.1) Ecrire l'équation bilan de la réaction entre l'acide benzoïque et l'eau.
 - 1.5.2) Déterminer la valeur de la constante de réaction K_1 correspondante. Conclure.
 - 1.5.3) Quelle est l'espèce chimique prédominante (acide benzoïque ou ion benzoate) dans la solution étudiée (pH = 3,1).
- 2) On verse une solution de soude (ou hydroxyde de sodium) dans la solution d'acide benzoïque.
 - 2.1) Ecrire l'équation bilan de la réaction entre l'acide benzoïque et l'ion hydroxyde.
 - 2.2) Cette réaction est- elle totale ?
- 3) On mélange un volume $v_a = 20,0$ mL de solution A et $v_b = 8,0$ mL de solution B d'éthylamine de concentration $C_b = 2,0 \cdot 10^{-2}$ mol.L⁻¹.

L'éthylamine, de formule $C_2H_5-NH_2$, est une base faible dont l'acide conjugué est l'ion éthylammonium de formule $C_2H_5-NH_3^+$. Le pK_a du couple $C_2H_5-NH_3^+ / C_2H_5-NH_2$ est :

$$pK_a = 10,7$$

- 3.1) Placer sur une échelle de pK_a les couples acide/base présents dans le mélange. .

3.2) Identifier, à la lecture de ce classement, la réaction qui a la plus grande constante et écrire son équation bilan. .

3.3) Cette réaction est-elle totale ? Justifier.

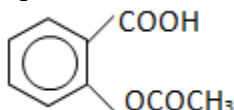
3.4) En déduire la concentration des ions benzoate dans le mélange.

Données : Produit ionique de l'eau : $K_e = 10^{-14}$ à 25 °C.

Masses molaires atomiques (g.mol^{-1}) : $M(\text{H}) = 1$; $M(\text{C}) = 12$; $M(\text{O}) = 16$.

EXERCICE 23 :

L'aspirine, ou acide acétylsalicylique, a pour formule :



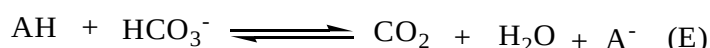
On la désignera par la suite par HA.

pK_a des couples acide/base : HA/A^- : 3,5 ; $\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}/\text{HCO}_3^-$: 6,4

Les nombreuses formulations d'un même médicament sont le résultat de la recherche pharmaceutique visant à améliorer ses effets. L'aspirine tamponnée effervescent en est un exemple.

Le comprimé d'aspirine simple est constitué par des particules de taille importante d'acide acétylsalicylique agglomérées par un excipient, l'amidon. Cette forme HA liposoluble est la seule capable de traverser la paroi de l'estomac. Lorsqu'on place un comprimé en milieu aqueux, on obtient une suspension buvable, de consistance désagréable, de la forme acide de l'aspirine qui est très peu soluble dans l'eau. Au niveau de la paroi stomacale, ces grosses particules ne sont absorbées que très lentement par le système sanguin. Il en résulte une action corrosive douloureuse vis-à-vis de la muqueuse gastrique pouvant aller jusqu'au saignement.

Le comprimé d'aspirine tamponnée effervescente est un agglomérat d'acide acétylsalicylique et d'hydrogénocarbonate de sodium (NaHCO_3). Inertes en milieu anhydre, ces deux espèces chimiques réagissent en solution aqueuse suivant l'équation bilan (E):



L'élimination du dioxyde de carbone CO_2 de la solution sous forme de bulles (effervescence) participe à la désagrégation du comprimé mais provoque le déplacement de l'équilibre (E) vers la formation de la forme A^- . La solution obtenue est alors parfaitement homogène et présente un pH voisin de 6.

Dans l'estomac, milieu fortement acide (pH voisin de 1), l'ion A^- se retrouve sous la forme acide HA ; les particules solides qui apparaissent sont de très petite taille et seront rapidement absorbées au niveau de l'estomac.

QUESTIONS :

1) Reproduire la formule développée de l'aspirine et encadrer les deux fonctions que l'on nommera.

- 2) Citer les inconvénients résultants de l'utilisation des comprimés d'aspirine simple.
- 3.1) En utilisant une échelle des pK_2 sur laquelle, on placera les deux couples acide/base, montrer que l'équilibre (E) est avancé dans le sens (1).
- 3.2) Calculer la constante de cet équilibre ; la réaction peut-elle être considérée comme totale ?
- 4.1) Pour quelle raison le dégagement de dioxyde de carbone permet-il la disparition totale de la forme HA ?
- 4.2) Pour quelle raison la solution obtenue est-elle homogène ?
- 5.1) Calculer le rapport $\frac{[HA]}{[A^-]}$ dans l'estomac, à $pH = 1,0$.
- 5.2) Expliquer pourquoi l'aspirine peut « précipiter » sous la forme HA dans l'estomac, en écrivant une équation bilan.
- 6.1) Pour quelles raisons est-il nécessaire que l'aspirine soit sous la forme HA dans l'estomac ?
- 6.2) Où se situe l'avantage de cette précipitation par rapport à l'absorption d'aspirine simple

EXERCICE 24:

Données : $pK_a(CH_3COOH/CH_3COO^-) = 4,8$; $pK_a(NH_4^+/NH_3) = 9,2$.

- 1) On considère une solution S_1 d'acide éthanóïque de concentration $C_a = 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$.
 - 1.1) Montrer que le pH de cette solution peut se mettre sous la forme $pH = \frac{1}{2}(pK_a - \log C_a)$. Calculer sa valeur. On admettra que la solution n'est ni trop diluée ni trop concentrée.
 - 1.2) Calculer le coefficient d'ionisation α de l'acide éthanóïque dans cette solution.
- 4) On considère une solution S_2 d'ammoniac de concentration $C_b = 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$
 - 2.1) Montrer que le pH de cette solution peut s'écrire $pH = 7 + \frac{1}{2}(pK_a + \log C_b)$. Calculer sa valeur. On admettra que la solution n'est ni trop diluée ni trop concentrée.
 - 2.2) calculer le coefficient d'ionisation β de l'ammoniac dans cette solution.
- 5) On mélange un volume V de S_1 et un égal volume V de S_2 ; la réaction spontanée qui se réalise est-elle totale ? Ecrire l'équation-bilan de cette réaction.

D – CORRIGE DES EXERCICES

EXERCICE 1 :

Les solutions sont prises à 25°C .

- 1) Voir cours
- 2) Voir cours
- 3) L'espèce chimique prédominante dans une solution de $pH : 2,7 ? 10,7 ? 12,8$

pH	2,7	10,7	12,8
Espèce dominante	$C_2H_5NH_3^+$	$[C_2H_5NH_2] = [C_2H_5NH_3^+]$	$C_2H_5NH_2$

- 4) Un acide est d'autant plus fort que sa constante d'acidité K_A est grande (pK_A plus faible) donc l'acide fluorhydrique HF est plus fort que de l'acide cyanhydrique HCN.

La base conjuguée de de l'acide cyanhydrique HCN est plus forte que la vase conjuguée de l'acide fluorhydrique HF.

- 5) Les couples de l'eau sont H_3O^+ / H_2O et H_2O / OH^-

$$pK_a (H_3O^+ / H_2O) = 1 \text{ et } pK_a (H_2O / OH^-) = 0$$

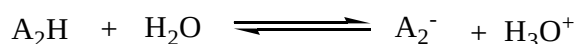
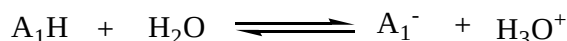
6) Voir cours

7) Pour une base forte on a la relation $pH = pK_e + \log C_b$

Or $14 + \log 10^{-2} = 12 > 11,7$ il s'agit d'une base faible

EXERCICE 2

1) Ecrivons les équations –bilan relatives aux réactions entre ces deux acides et l'eau.



2) Calculons les concentrations molaires des espèces chimiques présentes dans la solution d'acide 2-bromopropanoïque.

$$[H_3O^+] = 10^{-pH} = 10^{-2,2} = 6,31 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$$

$$[OH^-] = \frac{K_e}{[H_3O^+]} = \frac{10^{-14}}{6,31 \cdot 10^{-3}} = 1,6 \cdot 10^{-12} \text{ mol.L}^{-1}$$

$$\text{Electroneutralité } [H_3O^+] = [OH^-] + [A_1^-] \Rightarrow [H_3O^+] = [A_1^-] = 6,31 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$$

Conservation de la quantité de matière de A_1H

$$[A_1H]_i = [A_1^-] + [A_1H]_f$$

$$[A_1H]_f = 0,05 - 6,31 \cdot 10^{-3} = 4,37 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$$

Calculons les concentrations molaires des espèces chimiques présentes dans chaque solution d'acide 3-bromopropanoïque.

$$[H_3O^+] = 10^{-pH} = 10^{-2,7} = 1,995 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$$

$$[OH^-] = \frac{K_e}{[H_3O^+]} = \frac{10^{-14}}{1,995 \cdot 10^{-3}} = 5 \cdot 10^{-12} \text{ mol.L}^{-1}$$

$$\text{Electroneutralité } [H_3O^+] = [OH^-] + [A_1^-] \Rightarrow [H_3O^+] = [A_2^-] = 1,995 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$$

Conservation de la quantité de matière de A_2H

$$[A_2H]_i = [A_2^-] + [A_2H]_f$$

$$[A_2H]_f = 0,05 - 1,995 \cdot 10^{-3} = 4,8 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$$

3) Puisque que les deux solutions ont la même concentration, la comparaison des valeurs de α_1 et α_2 suffit pour classer les acides A_1H et A_2H suivant leur force. En effet, un acide est d'autant plus fort que son coefficient d'ionisation est élevé

$$\alpha_1 = \frac{[A_1^-]}{C} = \frac{6,31 \cdot 10^{-3}}{0,05} \times 100 = 12,62 \%$$

$$\alpha_2 = \frac{[A_2^-]}{C} = \frac{1,995 \cdot 10^{-3}}{0,05} \times 100 = 3,99 \%$$

A_1H est plus fort que A_2H

4) Calculons pK_{a1} et pK_{a2} relatifs au deux couples acide/base

$$pK_{a1} = -\log \frac{[A_1^-][H_3O^+]}{[A_1H]} = -\log \frac{6,31 \cdot 10^{-3} \times 6,31 \cdot 10^{-3}}{4,37 \cdot 10^{-2}} = 3,04$$

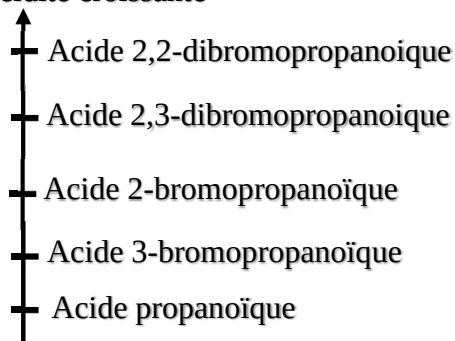
$$pK_{a2} = -\log \frac{[A_2^-][H_3O^+]}{[A_2H]} = -\log \frac{1,995 \cdot 10^{-3} \times 1,995 \cdot 10^{-3}}{4,8 \cdot 10^{-2}} = 4,08$$

$pK_{a1} < pK_{a2}$ Ce résultat confirme le A_1H est plus fort que A_2H

5) Complétons le tableau et précisons l'influence des atomes de brome

Acide	Acide propanoïque	Acide 2,2 dibromopropanoïque	Acide 2,3 dibromopropanoïque	A ₁ H	A ₂ H
pK _a	4,9	1,5	2,2	3	4

Ordre d'acidité croissante



Le nombre d'atomes de brome dans la molécule augmente son acidité
Plus les atomes de brome sont proches de la fonction acide, plus l'acidité est élevée.

EXERCICE 14 :

1.1) $-\log C_a = -\log(10^{-2}) = 2 < 3,1$

Cette mesure permet d'affirmer que l'acide benzoïque est un acide faible dans l'eau car la valeur obtenue est supérieure à celle qu'elle serait si c'était un acide fort.

1.2) l'équation-bilan de la réaction de l'acide benzoïque avec l'eau



L'expression de la constante d'acidité K_a du couple considéré.

$$K_a = \frac{[\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-] [\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}]}$$

2.1) Cette mesure du pH réalisée permet-elle d'affirmer que l'ion benzoate est une base faible dans l'eau. Si l'ion benzoate était une base forte son pH serait égal à :

pH = 14 + log10⁻² = 12. Ce qui n'est pas le cas.

2.2) Ecrivons l'équation-bilan de la réaction de l'ion benzoate avec l'eau



L'expression de la constante d'acidité K_a du couple considéré.

$$K_b = \frac{[\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}] [\text{OH}^-]}{[\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-]}$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-8,1} = 7,943 \cdot 10^{-9} \text{ mol. L}^{-1}$$

$$[\text{OH}^-] = \frac{10^{-14}}{7,943 \cdot 10^{-9}} = 1,259 \cdot 10^{-6} \text{ mol. L}^{-1}$$

$$\text{Electroneutralité : } [\text{H}_3\text{O}^+] + [\text{Na}^+] = [\text{OH}^-] + [\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-]$$

$$7,943 \cdot 10^{-9} + C_b = 1,259 \cdot 10^{-6} + [\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-]$$

$$7,943 \cdot 10^{-9} + 10^{-2} = 1,259 \cdot 10^{-6} + [\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-]$$

$$\Rightarrow [\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-] = 9,999 \cdot 10^{-3} \text{ mol. L}^{-1} \approx 10^{-2} \text{ mol. L}^{-1}$$

Conservation de la matière

$$[C_6H_5COOH]_i = [C_6H_5COO^-] + C_6H_5COOH]_f$$

$$10^{-2} = 9,999 \cdot 10^{-3} + C_6H_5COOH]_f \Rightarrow C_6H_5COOH]_f = 10^{-6} \text{ mol.L}^{-1}$$

$$K_b = \frac{[C_6H_5COOH] [OH^-]}{[C_6H_5COO^-]} = \frac{10^{-6} \times 1,259 \cdot 10^{-6}}{10^{-2}} = 1,259 \cdot 10^{-10}$$

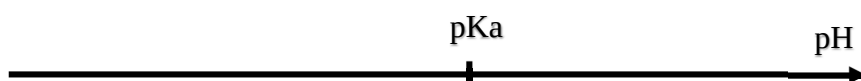
$$K_b = 1,259 \cdot 10^{-10}$$

3.1) l'espèce prédominante

$$K_a = \frac{10^{-14}}{1,259 \cdot 10^{-10}} = 7,943 \cdot 10^{-5} = 8 \cdot 10^{-5}$$

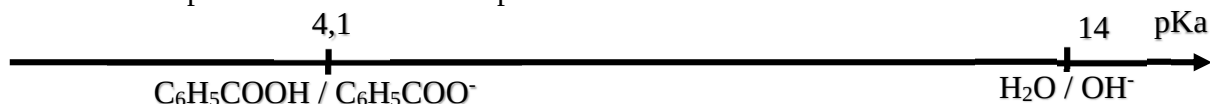
$$pK_a = 4,1$$

pH = 5,2 > pK_a on en déduit que l'espèce majoritaire est la forme basique C₆H₅COO⁻



3.2) les différents couples acide/base qui interviennent dans la solution S₁ et dans la solution de soude sont : C₆H₅COOH / C₆H₅COO⁻ et H₂O / OH⁻

Notons ces couples sur une échelle des pK_a.



3.3) Ecrivons l'équation-bilan de la réaction acide base qui se produit lors du mélange de la solution S₁ et de la solution de soude.

3.4) Calculons la constante de cette réaction

$$K_r = \frac{K_a(C_6H_5COOH/C_6H_5COO^-)}{K_a(H_2O/OH^-)} = \frac{8 \cdot 10^{-5}}{10^{-14}} = 8 \cdot 10^9$$

La réaction peut être considérée totale car K_r > 10³

4) la solution S est une solution tampon. Il s'en suit que son pH est égal à son pK_a

$$pH = 4,1$$

EXERCICE 15 :

3) Précisons, en justifiant, lequel des deux acides est le plus fort.

Un acide est d'autant plus fort que sa constante d'acidité K_A est grande (pK_A plus faible)

Une base est d'autant plus forte que la constante d'acidité de son acide conjugué est faible (pK_A plus grand)

HCOOH est l'acide le plus fort

4) Montrons que, quels que soient les mélanges considérés, on a :

$$\frac{[HCOO^-]}{[HCOOH]} = k \frac{[CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]} \quad k \text{ étant une constante}$$

$$K_1 = \frac{[H_3O^+][CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]} : \quad K_2 = \frac{[H_3O^+][HCOO^-]}{[HCOOH]}$$

$$\frac{K_1}{[H_3O^+]} = \frac{[CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]} \quad (1) \quad \text{et} \quad \frac{K_2}{[H_3O^+]} = \frac{[HCOO^-]}{[HCOOH]} \quad (2) \quad \text{d'où}$$

$$\frac{(2)}{(1)} = \frac{K_2}{K_1} = \frac{\frac{[\text{HCOO}^-]}{[\text{HCOOH}]}]}{\frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}} = k \quad ; \quad \frac{[\text{HCOO}^-]}{[\text{HCOOH}]} = k \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} \quad ; \quad k = \frac{K_2}{K_1} = \frac{10^{-3,8}}{10^{-4,8}} = 10 ;$$

$$\text{d'où} \quad \frac{[\text{HCOO}^-]}{[\text{HCOOH}]} > \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$$

On en déduit que l'acide méthanoïque se dissocie plus que l'acide éthanoïque ; ce qui confirme la réponse à la question 1.

5 Calculons la concentration molaire volumique de chacune des espèces, sauf de l'eau, présentes dans la solution.

Equations de conservation de la matière

$$0,10 = [\text{HCOOH}] + [\text{HCOO}^-] \quad (1)$$

$$0,30 = [\text{CH}_3\text{COOH}] + [\text{CH}_3\text{COO}^-] \quad (2)$$

$$\text{pH} = \text{p}K_1 + \log \left(\frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} \right)$$

$$\frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} = 10^{(\text{pH} - \text{p}K_1)} = 10^{(2,35 - 4,8)} = 3,55 \cdot 10^{-3} \quad (3)$$

En combinant (2) et (3) on obtient :

$$0,30 = [\text{CH}_3\text{COOH}] + 3,55 \cdot 10^{-3} [\text{CH}_3\text{COOH}] \Rightarrow [\text{CH}_3\text{COOH}] = 0,299 \text{ mol. L}^{-1}$$

$$[\text{CH}_3\text{COO}^-] = 10^{-3} \text{ mol. L}^{-1}$$

$$\text{pH} = \text{p}K_2 + \log \left(\frac{[\text{HCOO}^-]}{[\text{HCOOH}]} \right)$$

$$\frac{[\text{HCOO}^-]}{[\text{HCOOH}]} = 10^{(2,35 - 3,8)} = 3,55 \cdot 10^{-2}$$

$$0,10 = [\text{HCOOH}] + 3,548 \cdot 10^{-2} [\text{HCOOH}] \Rightarrow [\text{HCOOH}] = 9,66 \cdot 10^{-2} \text{ mol. L}^{-1}$$

$$[\text{HCOO}^-] = 3,43 \cdot 10^{-3} \text{ mol. L}^{-1}$$

$$[\text{CH}_3\text{COOH}] = 0,299 \text{ mol. L}^{-1}$$

$$[\text{CH}_3\text{COO}^-] = 10^{-3} \text{ mol. L}^{-1}$$

$$[\text{HCOOH}] = 9,66 \cdot 10^{-2} \text{ mol. L}^{-1}$$

$$[\text{HCOO}^-] = 3,43 \cdot 10^{-3} \text{ mol. L}^{-1}$$

6 En utilisant les résultats précédents, montrons que la solution est électriquement neutre.

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 4,46 \cdot 10^{-3} \text{ mol. L}^{-1}$$

$$[\text{OH}^-] = \frac{10^{-14}}{4,467 \cdot 10^{-3}} = 2,238 \cdot 10^{-12} \text{ mol. L}^{-1}$$

$$[\text{CH}_3\text{COO}^-] + [\text{HCOO}^-] + [\text{OH}^-] = 10^{-3} + 3,43 \cdot 10^{-3} + 2,238 \cdot 10^{-12} = 4,43 \cdot 10^{-3} +$$

$$[\text{CH}_3\text{COO}^-] + [\text{HCOO}^-] + [\text{OH}^-] \approx \text{H}_3\text{O}^+$$

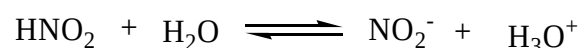
La solution est donc électriquement neutre.

EXERCICE 19 :

3) Soit une solution aqueuse d'acide nitreux HNO_2 ; de concentration $C = 10^{-2} \text{ mol/L}$; de volume $V = 50 \text{ mL}$. L'acide nitreux est un acide faible.

1.5) Ecrire l'équation de dissolution de l'acide nitreux dans l'eau.

1.1) Ecrivons l'équation de dissolution de l'acide nitreux dans l'eau.



1.2) Ecrivons les relations d'électroneutralité de la solution et de conservation de la matière.

$$[\text{NO}_2^-] + [\text{OH}^-] = [\text{H}_3\text{O}^+]$$

$$[\text{NO}_2^-] + [\text{HNO}_2]_f = [\text{HNO}_2]_i$$

1.3) L'expression de la constante d'acidité K_a du couple acide nitreux / ion nitreux est :

$$K_a = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+] \times [\text{NO}_2^-]}{[\text{HNO}_2]}$$

1.4) Calculons le pH de la solution

$$[\text{NO}_2^-] + [\text{OH}^-] = [\text{H}_3\text{O}^+] \Rightarrow [\text{NO}_2^-] = [\text{H}_3\text{O}^+] - [\text{OH}^-]$$

La solution étant acide alors $[\text{H}_3\text{O}^+] \gg [\text{OH}^-]$

$$[\text{NO}_2^-] \approx [\text{H}_3\text{O}^+]$$

$$[\text{NO}_2^-] + [\text{HNO}_2]_f = [\text{HNO}_2]_i = 10^{-2} \Rightarrow [\text{HNO}_2]_f = 10^{-2} - [\text{NO}_2^-]$$

$$K_a = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+] \times [\text{H}_3\text{O}^+]}{10^{-2} - [\text{H}_3\text{O}^+]} \Rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+]^2 = 10^{-2} K_a - K_a \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+]^2 + K_a \cdot [\text{H}_3\text{O}^+] - 10^{-2} K_a = 0$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+]^2 + 10^{-3,1} \cdot [\text{H}_3\text{O}^+] - 10^{-2} \times 10^{-3,1} = 0$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+]^2 + 7,94 \cdot 10^{-4} [\text{H}_3\text{O}^+] - 7,94 \cdot 10^{-6} = 0$$

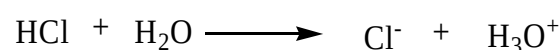
$$\Delta = \sqrt{(7,94 \cdot 10^{-4})^2 + 4 \times 7,94 \cdot 10^{-6}}$$

$$\Delta = \sqrt{6,30436 \cdot 10^{-7} + 3,176 \cdot 10^{-5}} = 3,239 \cdot 10^{-3}$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{-7,94 \cdot 10^{-4} + 3,239 \cdot 10^{-3}}{2} = 1,222 \cdot 10^{-3} \text{ mol. L}^{-1}$$

$$\text{pH} = 2,9$$

2.1) Ecrivons l'équation de dissolution du chlorure d'hydrogène.



2.2) La dissociation de l'acide nitreux diminue

2.3) Montrons que cette valeur du pH confirme la réponse précédente

$$\text{pH} = \text{p}K_a + \log\left(\frac{[\text{NO}_2^-]}{[\text{HNO}_2]}\right)$$

$$\frac{[\text{NO}_2^-]}{[\text{HNO}_2]} = 10^{(\text{pH} - \text{p}K_a)}$$

Solution 1

$$\frac{[\text{NO}_2^-]}{[\text{HNO}_2]} = 10^{(2,9-3,4)} = 0,316$$

Solution 2

$$\frac{[\text{NO}_2^-]}{[\text{HNO}_2]} = 10^{(2,3-3,4)} = 0,08$$

$$\frac{[\text{NO}_2^-]}{[\text{HNO}_2]} < \frac{[\text{NO}_2^-]}{[\text{HNO}_2]} \text{ la dissociation de l'acide nitreux est plus faible dans la deuxième solution.}$$

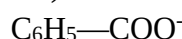
EXERCICE 22 :

1.1) Calculons la masse d'acide benzoïque utilisée pour préparer 500 mL de solution A ?

$$m = M C_a V_a = (7 \times 12 + 6 + 2 \times 16) \times 10^{-2} \times 500 \cdot 10^{-3} = 6,1 \cdot 10^{-3} \text{ g}$$

1.2) Pour les définitions d'un acide et d'une base, voir cours.

1.3) Ecrivons la formule de l'ion benzoate, base conjuguée de l'acide benzoïque ?

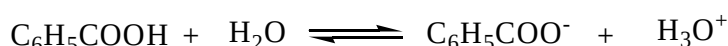


1.4) Le pH de la solution A est égal 3,1. S'agit-il d'un acide fort ou d'un acide faible ? Justifier.

$$\text{pH} = 3,1 < -\log C_a = -\log 10^{-2} = 2. \text{ Il s'agit d'un acide faible.}$$

1.5) Le pKa du couple acide benzoïque / ion benzoate est : pKa = 4,20 à 25° C.

1.5.1) Ecrivons l'équation bilan de la réaction entre l'acide benzoïque et l'eau.



1.5.2) Déterminons la valeur de la constante de réaction K_1 correspondante

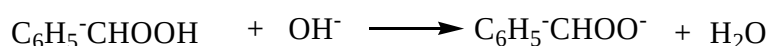
$$K_1 = \frac{K_a(\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}/\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-)}{K_a(\text{H}_3\text{O}^+/\text{H}_2\text{O})} = \frac{10^{-4,2}}{1} = 6,31 \cdot 10^{-5}$$

Conclusion : La réaction peut être considérée partielle car $K_1 \ll 10^3$

1.5.3) L'espèce chimique prédominante (acide benzoïque ou ion benzoate) dans la solution étudiée (pH = 3,1).

pH < pKa l'espèce majoritaire est la forme acide $\text{C}_6\text{H}_5\text{---COOH}$

2.1) Ecrivons l'équation bilan de la réaction entre l'acide benzoïque et l'ion hydroxyde.



2.2) Cette réaction est-elle totale ?

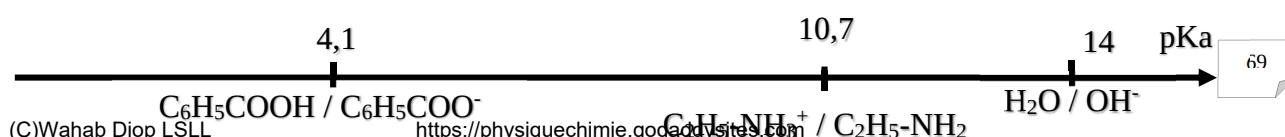
$$K_r = \frac{K_a(\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}/\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-)}{K_a(\text{H}_2\text{O}/\text{OH}^-)} = \frac{10^{-4,2}}{10^{-14}} = 6,31 \cdot 10^9$$

1) On mélange un volume $v_a = 20,0 \text{ mL}$ de solution A et $v_b = 8,0 \text{ mL}$ de solution B d'éthylamine de concentration $C_b = 2,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$.

L'éthylamine, de formule $\text{C}_2\text{H}_5\text{---NH}_2$, est une base faible dont l'acide conjugué est l'ion éthylammonium de formule $\text{C}_2\text{H}_5\text{---NH}_3^+$. Le pKa du couple $\text{C}_2\text{H}_5\text{---NH}_3^+ / \text{C}_2\text{H}_5\text{---NH}_2$ est :

pKa = 10,7

3.1) Plaçons sur une échelle de pKa les couples acide/base présents dans le mélange. .



3.2) La réaction qui a la plus grande constante et son équation bilan. .

Une réaction acide-base met en jeu deux couples acide-base et spontanément elle a lieu entre l'acide le fort et la base la plus forte pour donner l'acide le plus faible et la base la plus faible

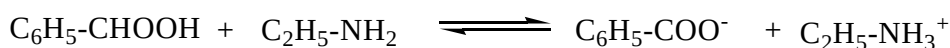


3.3) Cette réaction est-elle totale ? Justifier.

$$K_r = \frac{K_{a1}}{K_{a2}} = \frac{10^{-4,2}}{10^{-10,7}} = 10^{6,5} = 3,16 \approx 10^6$$

La réaction peut être considérée totale car $K_r > 10^3$

3.4) Déterminons la concentration des ions benzoate dans le mélange.



état initial n_0 $C_b V_b$
n

$$n = C_a V_a - C_b V_b = 20 \cdot 10^{-3} \times 10^{-2} - 8 \cdot 10^{-3} \times 2 \cdot 10^{-2} = 20 \cdot 10^{-5} - 16 \cdot 10^{-5}$$

$$n = 4 \cdot 10^{-5} \text{ mol}$$

$$[\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-] + [\text{OH}^-] = [\text{C}_2\text{H}_5\text{-NH}_3^+]$$

$$[\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-] \approx [\text{C}_2\text{H}_5\text{-NH}_3^+] = \frac{C_b V_b}{V_a + V_b}$$

$$[\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-] = \frac{C_b V_b}{V_a + V_b} = \frac{16 \cdot 10^{-5}}{28 \cdot 10^{-3}} = 5,7 \cdot 10^{-3} \text{ mol. L}^{-1}$$

EXERCICE 24:

1.1) On a : $C_a = 10^{-2} \text{ mol. L}^{-1} > 10^{-3}$: on néglige la dissociation de l'eau c'est-à-dire que l'on ne tient pas compte des ions provenant de l'autoprotolyse de l'eau :

$$[\text{CH}_3\text{COO}^-] = [\text{H}_3\text{O}^+] - [\text{OH}^-] \approx [\text{H}_3\text{O}^+] \text{ car les ions OH}^- \text{ viennent de l'eau.}$$

$$\frac{C_a}{K_a} = C_a \cdot 10^{\text{p}K_a} = 630,9 > 10^2 : \text{on néglige la dissociation de l'acide acétique c'est-à-dire que}$$

$$[\text{CH}_3\text{COOH}] = C_a - [\text{CH}_3\text{COO}^-] \approx C_a \text{ car les ions éthanoate sont donnés par l'acide.}$$

Ainsi

$$K_a = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{HCOO}^-]}{[\text{HCOOH}]} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]^2}{C_a} \Rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+] = C_a K_a$$

$$\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+] = -\log(C_a \cdot K_a)^{1/2} = \frac{1}{2}(-\log K_a - \log C_a) \rightarrow \text{pH} = \frac{1}{2}(\text{p}K_a - \log C_a).$$

$$1.2) \alpha = [\text{CH}_3\text{COO}^-]/C_a \text{ avec } [\text{CH}_3\text{COO}^-] \approx [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}} \text{ et } \text{pH} = \frac{1}{2}(\text{p}K_a - \log C_a) = 3,4$$

$$\Rightarrow \alpha = \frac{10^{-3,4}}{10^{-2}} = 3,98\% \text{ (c'est-à-dire sur 100 molécules CH}_3\text{COOH environ 4 se sont dissociées, cela montre que la dissociation de l'acide est négligeable).}$$

2.1) On a : $C_b = 10^{-2} \text{ mol. L}^{-1} > 10^{-3}$: on néglige les ions apportés par la dissociation de l'eau, donc $[\text{NH}_4^+] = [\text{OH}^-] - [\text{H}_3\text{O}^+] \approx [\text{OH}^-]$

$\frac{C_b}{K_b} = \frac{C_b \cdot K_a}{K_e} = 630,9 > 10^2$: on néglige la quantité des ions NH_4^+ devant celle des molécules NH_3 , donc $C_b = [\text{NH}_3] + [\text{NH}_4^+] \approx [\text{NH}_3]$.

$$\text{Ainsi } K_a = \frac{[\text{NH}_3][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{NH}_4^+]} = \frac{C_b[\text{H}_3\text{O}^+]}{\frac{K_e}{[\text{H}_3\text{O}^+]}} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]^2 \cdot C_b}{K_e} \Rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+] = \left(\frac{K_a K_e}{C_b} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+] = -\log \left(\frac{K_a K_e}{C_b} \right)^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{2} (-\log K_a - \log K_e + \log C_b)$$

$$\text{pH} = \frac{1}{2} \text{p}K_e + \frac{1}{2} (\text{p}K_a + \log C_b) = 7 + \frac{1}{2} (\text{p}K_a + \log C_b) \text{ à } 25^\circ\text{C}$$

$$\text{pH} = 7 + \frac{1}{2} (\text{p}K_a + \log C_b) \text{ à } 25^\circ\text{C}$$

2.2) Calculons le coefficient d'ionisation α de l'acide éthanóïque dans cette solution

$$\beta = \frac{[\text{NH}_4^+]}{C_b}$$

$$\text{avec } [\text{NH}_4^+] = [\text{OH}^-] = \frac{K_e}{10^{-\text{pH}}} = K_e \cdot 10^{\text{pH}} \text{ et } \text{pH} = 7 + \frac{1}{2} (\text{p}K_a + \log C_b) = 10,6$$

$$\beta = \frac{K_e 10^{\text{pH}}}{C_b} = 3,98\%$$

(Sur 100 molécules NH_3 environ 4 ont réagi avec l'eau, cela montre que la quantité des ions NH_4^+ est bien négligeable devant celle des molécules NH_3).

3) On a $\text{p}K_{\text{A}}(\text{CH}_3\text{COOH}/\text{CH}_3\text{COO}^-) = \text{p}K_{\text{a}1} = 4,8 < \text{p}K_{\text{A}}(\text{NH}_4^+/\text{NH}_3) = \text{p}K_{\text{a}2} = 9,2$, donc la réaction qui a lieu est celle qui se produit entre CH_3COOH et NH_3 pour donner CH_3COO^- et NH_4^+ . La constante de réaction est $K_r = K_{\text{a}1}/K_{\text{a}2} = 10^{(\text{p}K_{\text{a}2} - \text{p}K_{\text{a}1})} = 10^{4,4} > 10^3$: donc la réaction est totale : $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{NH}_3 \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{NH}_4^+$.

CHAPITRE 8 : REACTIONS ACIDE FAIBLE – BASE FORTE ET ACIDE FORT – BASE FAIBLE, DOSAGES, EFFET TAMPON

A – OBJECTIFS

- Donner le pH à l'équivalence lors d'un dosage acide faible-base forte ($\text{pH} > 7$).
- Donner la valeur du pH à l'équivalence lors d'un dosage acide fort -base faible ($\text{pH} < 7$).
- Utiliser une courbe de dosage pour déterminer une concentration.
- Déterminer le $\text{p}K_a$ d'un couple
- Choisir un indicateur coloré approprié pour réaliser un dosage
- Préparer une solution tampon.
- Donner les propriétés d'une solution tampon.

B - L'ESSENTIEL DU COURS

Réactions acide faible / base forte et acide fort / base faible

La réaction entre un acide faible AH et une base forte OH⁻ est totale et exothermique ; elle se traduit de façon générale par l'équation – bilan : $AH + OH^- \rightarrow A^- + H_2O$

La réaction entre un acide fort H₃O⁺ et une base faible B est totale et exothermique ; elle se traduit de façon générale par l'équation – bilan $B + H_3O^+ \rightarrow BH^+ + H_2O$

Dosage acido-basique

Lors d'un dosage d'un acide faible par une base forte, à l'équivalence le pH est basique (pH_E > 7) à cause des ions A⁻ provenant de l'acide faible.

Lors d'un dosage d'une base faible par un acide fort, à l'équivalence le pH est acide (pH_E < 7) à cause des ions BH⁺ provenant de la base faible.

Equivalence et demi-équivalence

A l'équivalence d'un mélange de solutions de monoacide et de monobase on : $n_{acide} = n_{base}$ ou $C_a V_a = C_b V_b$

Toute méthode expérimentale de dosage repose sur la détermination précise du point d'équivalence (pH – métrique, utilisation d'indicateurs colorés).

Au point demi – équivalence E_{1/2} d'un dosage acide faible base forte (vice – versa), le pH est égale au pK_A du couple acide/base.

Solution tampon

Une solution tampon est une solution aqueuse contenant un acide et sa base conjuguée (vice – versa) en quantité équimolaire.

Le pH d'une solution tampon est pK_A du couple acide/base.

Le pH des ces solutions est :

- Insensibles à la dilution modérée,
- Très peu sensible à l'apport, en quantité modérée, d'une solution acide ou basique.

Une solution tampon peut être préparée a partir :

- d'un dosage d'un acide faible par une base forte jusqu'à la demi – équivalence (vice – versa),
- d'un mélange équimolaire d'un acide et de sa base conjuguée (vice – versa)

Les milieux tampons ont une grande importance en biologie.

C- EXERCICES

EXERCICE 1 : (BAC)

1- Une solution aqueuse d'acide carboxylique C_nH_{2n+1}-COOH de concentration molaire volumique C_A = 0,1 mol/L a un pH = 2,9.

- a) Après avoir précisé la force de l'acide (justification à l'appui), calculer le pK_a de C_nH_{2n+1}-COOH/ C_nH_{2n+1}-COO⁻.
- b) Pour préparer 125 cm³ de cette solution acide, il a fallu dissoudre dans l'eau pure 0,75 g d'acide pur. Après avoir déterminé le nombre de moles d'acide en déduire sa formule semi-développée et son nom.

2- A partir de l'acide qu'on écrira R-COOH, on se propose de préparer une solution tampon.

- a) Déterminer les volumes V_A et V_B de solution d'acide et de solution saline R-COONa de concentration

C_B = 0,1 mol/L nécessaire à la préparation de 260 cm³ de solution tampon de pH = 5.

- b) On remplace la solution R-COONa par une solution d'hydroxyde de sodium de concentration $C_B = 0,1 \text{ mol/L}$. Quel volume V'_B faut-il ajouter à $V'_A = 50 \text{ cm}^3$ de la solution acide pour préparer la solution tampon $\text{pH} = 5$.

EXERCICE 2

- 1) Le pH d'une solution aqueuse d'ammoniac NH_3 de concentration 10^{-2} mol/L , est 10,6.
 - a) Ecrire l'équation ayant lieu entre l'ammoniac et l'eau et calculer la concentration des espèces présentes dans la solution (à l'exception de l'eau).
 - b) En déduire la valeur de la constante K_a du couple acide/base mis en jeu lors de la réaction de l'ammoniac avec l'eau.
- 2) Le pH d'une solution de monoéthylamine $\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2$ de concentration 10^{-2} mol/L est 11,4.
 - a) Répondre aux mêmes questions 1-a) et 1-b).
 - b) Dans les deux couples acide/base cités, entre l'ammoniac et la monoéthylamine, quelle est la base la plus forte ? Justifier.

Dans 20 cm^3 de la solution de monoéthylamine précédente, on verse progressivement une solution d'acide chlorhydrique obtenue en dissolvant 1,85 g de chlorure d'hydrogène gazeux dans 1 litre d'eau (on néglige la variation de volume)

- a) Quel sera le volume de l'acide chlorhydrique versé à l'équivalence ? Vous rappelez la définition de l'équivalence.

On donne les masses molaires atomiques : $M(\text{H}) = 1 \text{ g/mol}$; $M(\text{Cl}) = 35,5 \text{ g/mol}$.

- b) Tracer l'allure de la courbe de variation du pH en fonction du volume de solution d'acide chlorhydrique versé. Il ne sera fait aucun calcul, mais on choisira judicieusement quelques points de référence pour justifier le tracé.

EXERCICE 3

Données : masses molaires atomiques en g/mol : $M(\text{H}) = 1$; $M(\text{C}) = 12$; $M(\text{O}) = 16$.

Un fournisseur d'acide éthanoïque garantit sur facture que son produit a une teneur supérieure à 76 % c'est-à-dire que dans 100 g de solution aqueuse d'acide éthanoïque il y a, au moins, 76 g d'acide éthanoïque pur.

Afin d'effectuer un dosage de contrôle, on introduit, dans une fiole jaugée, 10,0 mL de la solution commerciale. On complète le volume à un litre avec de l'eau distillée ; on obtient une solution diluée.

On place un bécher contenant un volume $V_a = 50 \text{ mL}$ de la solution diluée sous une burette graduée remplie d'une solution d'hydroxyde de sodium (soude) de concentration $0,1 \text{ mol/L}$. Le tableau ci-dessous indique le pH de la solution en fonction du volume V (en mL) de soude versée.

V(mL)	0	5	10	20	30	40	50	60	65	68	69	70	71	72	75	80
Ph	2,8	3,6	3,9	4,3	4,6	4,8	5,1	5,5	5,8	6,2	6,4	8,7	10,9	11,2	11,6	11,9

- 1) En utilisant les échelles suivantes : Abscisse : 2 cm pour un volume de 10 mL
Ordonnées : 1 cm pour une unité de pH

- a) Représenter graphiquement la variation du pH en fonction du volume V de la solution de soude versée.
- b) Déterminer le volume V_b d'hydroxyde de sodium au point d'équivalence.
- 2) Dédire d'un point particulier de la courbe le pK_a du couple acide éthanoïque/ion éthanoate.
- 3) Calculer la concentration, en mol/L, de la solution diluée ; en déduire la concentration de la solution commerciale.
- 4) La masse d'un litre de la solution commerciale est $m = 1,068$ kg. Calculer le pourcentage massique de l'acide éthanoïque commercial et le comparer à l'indication donnée sur la facture.

EXERCICE N° 4 BAC 2009

Sur l'étiquette d'un flacon contenant une solution S_2 d'une monoamine primaire d'un laboratoire, les indications relatives à la densité d et à la formule chimique sont illisibles. Seul le pourcentage en masse d'amine pure de la solution S_0 est lisible, soit $P = 63\%$. Cette indication signifie qu'il y a 63g d'amine pure dans 100g de la solution S_0 .

Un groupe d'élèves, sous supervision de leur professeur, entreprend de déterminer les informations illisibles sur l'étiquette de ce flacon. Ils sont trois expériences décrites ci-après :

Expérience 1 : avec une balance de précision, ils mesurent la masse m_0 d'un volume $V_0 = 10\text{cm}^3$ de la solution S_0 et trouvent $m_0 = 7,5\text{g}$.

Expérience 2 : Ils diluent un volume $V_p = 10\text{cm}^3$ de la solution S_0 dans une fiole jaugée de 1L et obtiennent ainsi une solution S_1 .

Expérience 3 : Ils dosent un volume $V_1 = 10\text{cm}^3$ de la solution S_1 par une solution d'acide chlorhydrique de concentration molaire volumique $C_a = 0,040.\text{L}^{-1}$ en présence d'un indicateur coloré. Pour atteindre l'équivalence, ils ont versé un volume $V_a = 20\text{cm}^3$ d'acide.

2.1 A partir des résultats de l'expérience 1, calculer la masse volumique ρ_0 de la solution S_0 ; le résultat sera exprimé en g.cm^{-3} puis en g.L^{-1} . En déduire la valeur de la densité d .

2.2 On s'intéresse à l'expérience 3.

2.2.1 Faire un schéma légendé du dispositif de dosage.

2.2.2 En notant l'amine par la formule $\text{R}-\text{NH}_2$, écrire l'équation-bilan de la réaction chimique support du dosage.

2.2.3 Calculer la constante K de cette réaction. En déduire le caractère total ou partiel de la réaction.

2.2.4 Calculer la concentration C_1 de la solution S_1 , puis en déduire la concentration C_0 de la solution S_0 .

2.2.5 Expliquer pourquoi les élèves ont eu besoin de réaliser l'expérience 2 au lieu de doser directement la solution S_0 .

2.3

2.3.1 Montrer que la concentration C_0 de la solution S_0 est donnée par : $C_0 = \frac{63\rho_0}{100 M}$, relation où M est la masse molaire de l'amine.

2.3.2 : En déduire la masse molaire de l'amine en g.mol^{-1}

2.3.3 Déterminer la formule semi-développée et le nom de la monoamine primaire sachant que sa molécule est telle que l'atome de carbone lié à l'atome d'azote est également lié à deux autres atomes de carbone.

Données :

Constante d'acidité : $K_a(\text{RNH}_3/\text{RNH}_2 = 2,0 \cdot 10^{-11}$; masse volumique de l'eau $\rho_0 = 1 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3} = 10^3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$

EXERCICE 5 BAC 2010

Un professeur de lycée cherche à faire identifier un acide carboxylique par un groupe d'élèves de son établissement. Pour cela il fait dissoudre 7,43g de l'acide, noté AH, dans 1L d'eau pure de la solution ainsi préparée, les élèves prélèvent un volume $V = 20 \text{ mL}$, qu'ils dosent avec une solution d'hydroxyde de sodium de concentration $C_b = 0,1 \text{ mol L}^{-1}$. En notant V_b le volume de la solution d'hydroxyde de sodium versé dans la solution d'acide, ils obtiennent le tableau de mesures suivant, dans les conditions standard :

$V_b \text{ (ml)}$	0	1	2	3	6	10	12	15	17	19
Ph	3,0	3,7	4,0	4,2	4,5	4,9	5,1	5,3	5,6	6,2

$V_b \text{ (ML)}$	19,5	20	20,5	21	23	25	27	30
Ph	6,5	8,7	11,0	11,3	11,8	12,0	12,1	12,2

- 1.1 Faire le schéma annoté du dispositif expérimental permettant de réaliser le dosage de la solution d'acide.
- 1.2 Ecrire l'équation de la réaction entre l'acide AH et la solution d'hydroxyde de sodium
- 1.3 Tracez la courbe $\text{pH} = f(V_b)$.
Echelles : en abscisses 1cm pour 2ml ; en ordonnées 1cm pour 1 unité de pH.
- 1.4 Déterminer la concentration de la solution de l'acide carboxylique AH et la pK_a du couple AH/A
- 1.5 En déduire la masse molaire et la formule brute de l'acide AH.
- 1.6 Le professeur donne aux élèves un extrait d'une liste d'acides avec les pK_a des couples correspondants.

Noms	pK_a du couple
Acide chloroéthanoïque	2,87
Acide benzoïque	4,20
Acide propanoïque	4,90
Acide méthanoïque	3,80

Identifier l'acide AH à partir des informations du tableau. Ce résultat est-il en accord avec la formule brute trouvée à la question 1,5 ?

EXERCICE 6 : (Bac 2001 TS2)

Données : Masses molaires en g/mol : $M(\text{H}) = 1$; $M(\text{C}) = 12$; $M(\text{N}) = 14$

On prépare une solution aqueuse d'une monoamine saturée B en versant une masse $m = 5,9$ g de cette amine dans de l'eau pure afin d'obtenir un volume $V = 2$ litres de solution.

On dose ensuite un volume $V_B = 20$ mL de cette solution (B) à l'aide d'une solution (A) d'acide sulfurique (diacide fort) de concentration $C_A = 5 \cdot 10^{-2}$ mol/L.

Le pH-mètre permet de suivre l'évolution du pH du mélange au cours de ce dosage.

I- 1) Donner l'allure de la courbe $\text{pH} = f(V_A)$ avec V_A le volume de la solution (A) versé.

2) Cette courbe présente deux points remarquables :

- le point D de coordonnées $V_D = 5$ mL et $\text{pH}_D = 9,8$;

- le point équivalent E de coordonnées $V_E = 10$ mL et $\text{pH}_E = 6,0$

a) Définir l'équivalence acido-basique. Déterminer la concentration molaire volumique C_B de la solution (B).

b) Déterminer alors la formule brute de l'amine B.

3) On note BH^+ l'acide conjugué de l'amine B. En justifiant brièvement, donner la valeur du pK_a de ce couple acide/base. Expliquer la valeur du pH à l'équivalence (pH_E)

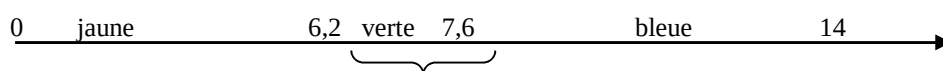
4) On donne le tableau suivant :

Amine	NH_3	$(\text{CH}_3)_2\text{NH}$	$(\text{CH}_3)_3\text{N}$	$(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{NH}$	$(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{N}$	$\text{C}_2\text{H}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$
pKa	9,2	10,8	9,8	11,1	10,6	10,6

En déduire la formule semi-développée de l'amine B et son nom.

II- On revient au dosage de la question I. Calculer les concentrations molaires volumiques des différentes espèces chimiques présentes dans la solution lorsqu'on se trouve au point D ($V_D = 5$ mL). Quelles sont les propriétés de cette solution ?

III- On donne la zone de virage du bleu de bromothymol (BBT) :



Le bleu de bromothymol aurait-il pu être utilisé lors du dosage pour repérer l'équivalence ?

EXERCICE 7 :

On souhaite déterminer la concentration d'un vinaigre (solution aqueuse d'acide éthanoïque). Pour cela, on prépare une solution de soude (hydroxyde de sodium) en dissolvant 0,2 g de pastilles anhydres dans 150 mL d'eau distillée.

1) Quelle est la concentration, en mol/L, de la solution basique ? Quel peut être son pH : 2 ; 3,1 ; 6,8 ; 7 ; 8,5 ; 12,5.

Cette solution placée, dans une burette, permet de faire un dosage. A l'équivalence, on a versé 14,5 mL de soude dans 20 mL de vinaigre.

- 2) Préciser le mode opératoire de ce dosage.
- 3) Calculer la concentration, en mol/L, du vinaigre. Quel est son degré ? On appelle degré d'un vinaigre la masse d'acide éthanóïque contenue dans 100 g de vinaigre, soit sensiblement dans 100 mL de solution.

Parmi les valeurs citées en 1), quelle peut être du pH du vinaigre ? $pK_a = 4,8$ pour le couple CH_3COOH/CH_3COO^- (aucun calcul n'est demandé)

EXERCICE 8 :

Le vinaigre est une solution d'acide éthanóïque dans l'eau. Son degré d'acidité représente le pourcentage massique d'acide contenu dans la solution. On lit sur l'étiquette du vinaigre étudié « vinaigre de vin 7° ». On veut vérifier cette indication.

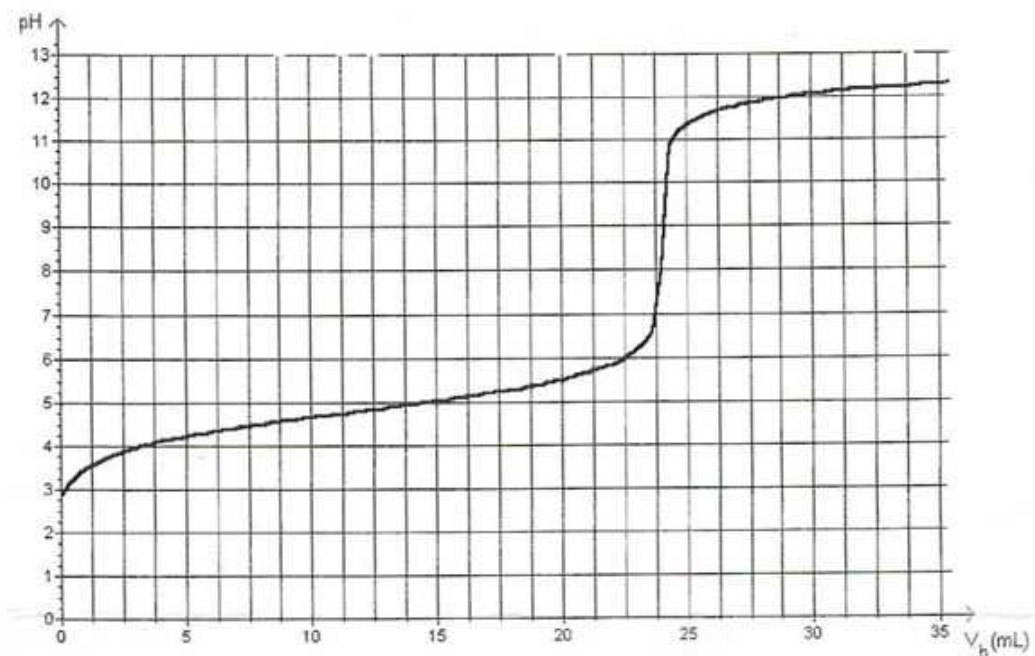
On donne : Masse volumique du vinaigre : $\rho = 1,02 \text{ g/mL}$

$pK_a (CH_3COOH/CH_3COO^-) = 4,8$.

Dans le but de réaliser le dosage du vinaigre on procède d'abord à une dilution de 1/10 du vinaigre étudié.

Soit S_1 la solution obtenue.

On prélève $V_1 = 20 \text{ mL}$ de cette solution S_1 et on réalise le dosage pH-métrique avec une solution de soude de concentration molaire $C_b = 0,10 \text{ mol/L}$. Les mesures ont permis de tracer la courbe de la figure ci- dessous.



1. Faire un schéma annoté du montage utilisé pour réaliser ce dosage.
2. Ecrire l'équation bilan du dosage.
3. Définir l'équivalence dans le cas de la réaction entre l'acide éthanóïque et la soude. Déterminer graphiquement le point d'équivalence E en faisant figurer sur le graphe la méthode utilisée.

Donner les coordonnées du point E.

4. Retrouver graphiquement la valeur du pK_A du couple acide éthanoïque / ion éthanoate.

5. Calculer la concentration C_1 de la solution S_1 puis la concentration C_a du vinaigre.

4) 6. Calculer le degré d'acidité du vinaigre. Comparer avec la valeur donnée sur l'étiquette

EXERCICE 9

On place dans un bécher 20 cm³ d'une solution d'acide carboxylique R-COOH dans laquelle on verse progressivement une solution d'hydroxyde de sodium de concentration 0,1 mol/L. Au cours de l'addition, on mesure les valeurs du pH du mélange. On appelle V le volume de solution d'hydroxyde de sodium versé. Les résultats sont groupés dans le tableau ci-dessous.

V(cm ³)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	17	17,5	18	18,5	19	20	22
pH	2,4	2,8	3,1	3,3	3,5	3,7	3,9	4,2	4,5	5,0	5,7	9,7	11,5	12,0	12,2	12,4

1. Tracer la courbe représentant les variations du pH du mélange en fonction de V.

Echelle: 1 cm sur l'axe des abscisses représente 1 cm³

1 cm sur l'axe des ordonnées représente 1 unité pH

2. Déterminer sur la courbe les coordonnées du point d'équivalence. Quelle est la concentration de la solution initiale d'acide ?

2. Déterminer sur la courbe les coordonnées du point de demi-équivalence. En déduire la constante d'acidité K_a du couple dont la forme acide est R-COOH.

3. Recenser les espèces chimiques présentes dans le mélange et calculer leurs concentrations lorsque le pH est 3,6.

EXERCICE 10 :

On introduit 4,83g d'un monoacide carboxylique saturé dans de l'eau pour obtenir 1 litre de solution. Dans un bécher contenant 30mL de cette solution on verse progressivement une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium de concentration molaire $C_b=10^{-1}\text{mol.L}^{-1}$. A chaque volume d'hydroxyde de sodium versé, on mesure le pH du mélange. On obtient alors le tableau ci-dessous :

V _b (mL)	0	5	10	15	20	24	28	30	32	34	36	40
pH	2,4	3,4	3,6	3,7	3,9	4,3	5,0	5,5	10,9	11,4	11,5	11,7

1) Tracer la courbe donnant les variations du pH en fonction du volume V_b de base versé.

Échelles : 1cm pour 5mL d'hydroxyde de sodium versé et 1cm pour 1 unité de pH.

2) Déduire graphiquement

a) Une valeur approchée de la concentration molaire volumique C_a de la solution aqueuse d'acide. En déduire la formule semi-développée et le nom de l'acide.

b) Le pK_a du couple acide-base correspondant à l'acide carboxylique considéré.

Retrouver ce pK_a en montrant que K_a peut s'écrire à l'équivalence sous : $K_a = \frac{[H_3O^+]^2 C_b V_{be}}{K_e (V_a + V_{be})}$

3) Calculer les concentrations molaires des diverses espèces chimiques présentes dans le bécher lorsqu'on a ajouté un volume $V_b=28\text{mL}$ de solution d'hydroxyde de sodium.

4) On désire réaliser une solution-tampon de $\text{pH}=4$ et de volume $V=266\text{mL}$ à partir de l'acide considéré et de la solution de soude de concentration molaire volumique $C_b=10^{-1}\text{mol.L}^{-1}$.

a) Rappeler les caractéristiques d'une solution-tampon.
Proposer une méthode pour obtenir cette solution-tampon

EXERCICE 11

1 On fabrique 100 mL d'une solution d'acide chlorhydrique $0,05\text{ mol.L}^{-1}$ par dilution d'un volume V , de solution chlorhydrique de concentration molaire 1 mol.L^{-1} . Déterminer le volume V_1 et expliquer brièvement comment on réalise pratiquement cette opération.

2 La solution d'acide chlorhydrique $0,05\text{ mol.L}^{-1}$ est ajoutée progressivement à 20 mL d'une solution aqueuse de monoéthylamine ($\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2$) dans le but de doser celle-ci.

Un pH-mètre permet de suivre l'évolution du pH du mélange au cours de cette manipulation. Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau ci-après où V_a représente le volume d'acide versé

V_a (mL)	0	5	10	15	20	25	30	35	36	38	40	43	45	50
pH	11,8	11,4	11,1	10,9	10,7	10,5	10,2	9,8	9,7	9,3	6,1	2,7	2,4	2,1

2.1 Ecrire l'équation de la réaction de dosage.

2.2 Tracer la courbe $\text{pH} = f(V_a)$.

Échelles : en abscisses 1cm pour 4 mL, en ordonnées 1 cm pour une unité de pH.

2.3 Déterminer les coordonnées du point équivalent par une méthode que l'on précisera.

2.4 En déduire :

a) La concentration molaire C_b de la solution de monoéthylamine.

b) Le pK_a du couple associé à la mono éthylamine.

3 Calculer les concentrations molaires volumiques des espèces présentes dans le mélange lorsque le volume d'acide versé est de 30 mL. Retrouver la valeur du pK_a à l'aide des valeurs trouvées.

4 On désire préparer une solution tampon.

4.1 Qu'est-ce qu'une solution tampon ? Quelles sont ses propriétés caractéristiques ?

4.2 Préciser la manière d'obtenir 100 mL d'une solution tampon à partir de la solution de monoéthylamine précédente et de la solution d'acide chlorhydrique $0,05\text{ mol.L}^{-1}$.

Données : H : 1 g.mol^{-1} ; C : 12 g.mol^{-1} ; N : 14 g.mol^{-1} ; O : 16 g.mol^{-1} .

D- CORRIGE DES EXERCICES

EXERCICE 1

1-a – acide faible car $\text{pH} > -\log c$ et $\text{pk} \approx 4,8$

1-b- acide acétique , CH_3COOH

2-a- $V_A \approx 100\text{m}^3$ et $V_A \approx 160\text{cm}^3$

EXERCICE 7

7-1 : $C_b = 0,033\text{mol/L}$ et $\text{pH} = 12,5$

7-3- degré $\approx 14,5$

CHAPITRE 9 ACIDES A AMINES

A - OBJECTIFS

Construire des modèles moléculaires

Donner la formule semi -développée générale d'un acide α -aminé

Nommer un acide α -aminé

Donner la représentation de Fischer d'un acide α aminé

Distinguer configuration et conformation.

Citer les espèces majoritaires entre (amphion, acide conjugué, base conjuguée) selon le pH du milieu.

Ecrire les demi-équation protoniques des deux couples acide-base.

Connaître comment bloquer, comment activer un groupement carboxylique.

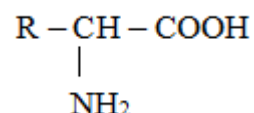
Ecrire l'équation de la réaction entre deux acides α -aminés.

Expliquer la formation d'une liaison peptidique.

B- L'ESSENTIEL DU COURS

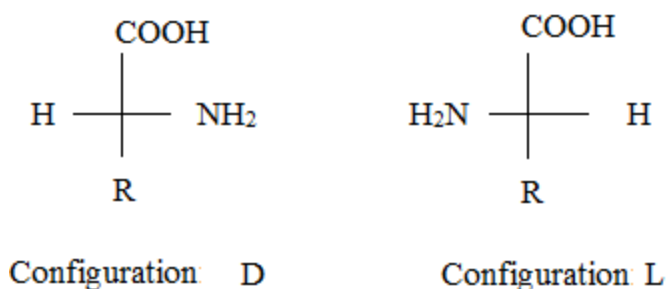
Les acides α – aminés possèdent un groupement fonctionnel acide carboxylique

– COOH et un groupement fonctionnel amine – NH₂, portés par le même atome de carbone en position 2 ou α :

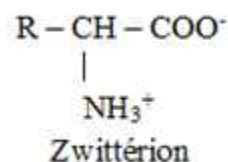


Le carbone en α est un atome de carbone asymétrique (à l'exception de la glycine). Les molécules d'acide α – aminés sont donc chirales,

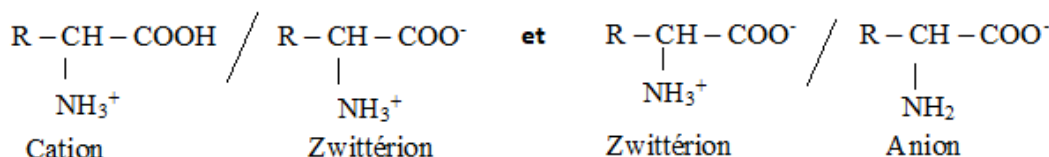
impliquant l'existence de deux énantiomères que la représentation de Fischer permet de distinguer.



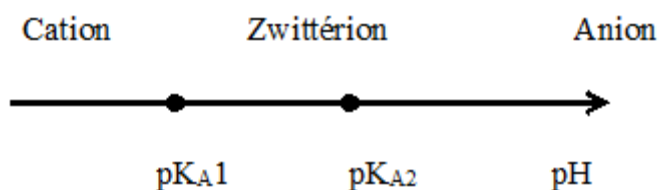
Dans l'eau, la molécule d'un acide α - aminé est généralement sous la forme d'un ion dipolaire appelé zwitterion ou amphion.



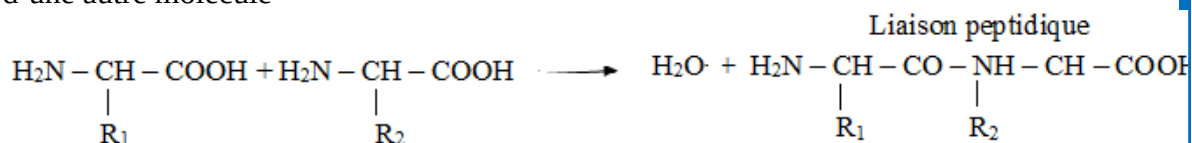
A toute molécule d'acide α - aminé correspond deux couples acide/base :



L'espèce prédominante dépend du pH comme tout couple acide/base



Les acides α - aminés se lient entre eux suivant une liaison peptidique (groupe $-\text{CO}-\text{NH}-$) en éliminant une molécule d'eau (réaction de condensation) entre un groupement fonctionnel acide $-\text{COOH}$ d'une molécule et un groupement fonctionnel amine $-\text{NH}_2$ d'une autre molécule



Il est nécessaire de bloquer les groupes $-\text{NH}_2$ et $-\text{COOH}$ qui n'interviennent pas dans la formation de la liaison peptidique et d'activer en revanche les groupes fonctionnels $-\text{COOH}$ et $-\text{NH}_2$ qui sont à l'origine

C - EXERCICES

EXERCICE 1 :

a) Ecrire la formule semi-développée de l'alanine ou acide 2-amino propanoïque.

- b) Les acides α -aminés, à une exception près, sont des molécules chirales. Justifier cette affirmation. Quelle est l'exception ?
- c) Donner la projection de Fischer des deux énantiomères de l'alanine, en précisant leurs noms respectifs.
- d) Donner la formule générale et le nom de l'ion dipolaire contenu dans les solutions aqueuses d'acide α -aminé. Ecrire les deux couples acide/base caractérisant cet ion dipolaire et préciser dans chaque cas, le rôle joué par celui-ci (acide ou base).
- e) Ecrire la formule de l'espèce chimique majoritaire de la glycine $\text{H}_2\text{N} - \text{CH}_2 - \text{COOH}$ en solution aqueuse, dans les trois cas suivants : $\text{pH} = 1,8$; $\text{pH} = 8$; $\text{pH} = 11$.

On donne : $\text{pK}_1 = 2,3$ pour le couple : acide conjugué du zwitterion/zwitterion
et $\text{pK}_2 = 9,7$ pour le couple : zwitterion/base conjuguée du zwitterion.

- f) Ecrire les formules semi-développées des deux dipeptides que l'on peut obtenir à partir des deux acides α aminés : $\text{R}_1 - \underset{\text{NH}_2}{\text{CH}} - \text{COOH}$ et $\text{R}_2 - \underset{\text{NH}_2}{\text{CH}} - \text{COOH}$.

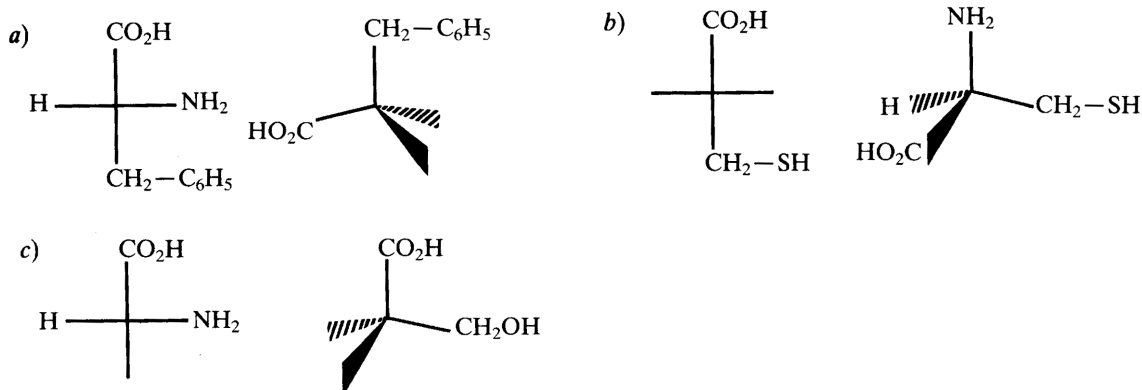
- i) Qu'appelle-t-on liaison peptidique ? Par quels groupes d'atomes est-elle représentée ? A quelle fonction chimique correspond-elle ?

- j) Ecrire la formule semi-développée du dipeptide Gly $\rightarrow$ Ala.

Comment doit-on procéder pour l'obtenir, à partir de la glycine et de l'alanine ? Si l'on ne prend pas de précautions, quel autre dipeptide se forme-t-il ?

EXERCICE 2 :

A chaque formule en perspective est associée sa représentation de Fischer. Compléter les formules incomplètes suivantes :



EXERCICE 3 :

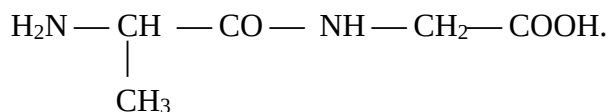
PARTIE A

Combien existe-t-il de dipeptides ayant une masse molaire $M = 146 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$?

Combien de configurations différentes ces dipeptides présentent-ils ?

PARTIE B

On désire synthétiser le dipeptide P₁, de formule :



a) Quels acides α -aminés faut-il utiliser ?

2) Décrire le principe de la synthèse de ce dipeptide, si l'on désire obtenir sans ambiguïté celui-ci, à l'exclusion de tout autre.

3) Ecrire la formule semi-développée du dipeptide P₂, isomère de constitution de P₁.

EXERCICE 4 :

Pour déterminer la formule brute d'un acide α -aminé X, on réalise les expériences suivantes :

On prépare une solution aqueuse S de X en dissolvant dans 100mL d'eau 0,111g de l'acide α -aminé X

On dose 20mL de la solution S par une solution d'acide chlorhydrique de concentration molaire 0,05mol/L

On constate que l'équivalence acido-basique est atteinte pour un volume d'acide chlorhydrique égal à 5cm³

Par ailleurs, l'acide α -aminé possède une chaîne carbonée saturée non cyclique et non ramifiée

1°) a) Déterminer la formule semi-développée de l'acide α aminé X et le nommer en nomenclature officielle

b) Montrer que la molécule de l'acide α -aminé est chirale et donner la représentation de Fischer de ses énantiomères

2°) La solution aqueuse de cet acide α -aminé X contient trois espèces ioniques conduisant à deux couples acide/base dont les pKa sont pKa₁=2,3 et pKa₂=9,7

Identifier les trois espèces ioniques

Ecrire les formules des couples acide/base et attribuer à chacun d'eux son pKa

3°) La décarboxylation de l'acide α -aminé X donne une amine B. On prépare une solution aqueuse de concentration molaire 2,5 10⁻³mol/L. Le pH de cette solution est 11

Calculer les concentrations molaires des espèces chimiques présentes dans cette solution

En déduire le pKa du couple acide-base auquel appartient l'amine B

Calculer le volume d'acide sulfurique de concentration molaire 0,01 mol/L qu'il faut verser dans 20mL de la solution aqueuse de B pour avoir un pH de 10,8

EXERCICE 5 :

On considère un dipeptide obtenu par condensation d'une molécule de glycine et d'une molécule d'un autre acide α -aminé A. La molécule de A ne comporte que des atomes C, O, H et N et possède un seul atome de carbone asymétrique.

1) Le dipeptide a une masse molaire qui vaut M = 146 g.mol⁻¹.

1.a- Déterminer les formules semi-développées possibles du dipeptide, donner la formule de A et son nom dans la nomenclature officielle. (Envisager les deux isomères.)

1.b- Représenter les deux énantiomères de A à l'aide de la représentation de Fischer.

2) On désire obtenir uniquement le dipeptide P_1 dans lequel la glycine est l'acide aminé N-terminal.

2.a- Comment doit-on procéder ? Décrire schématiquement les grandes étapes de la synthèse. De quelle façon peut-on activer la fonction acide carboxylique ? Quel est l'intérêt de cette activation ?

2.b- Combien d'atomes de carbone asymétrique possède le dipeptide P_1 ? Les représenter par une astérisque * sur la formule de P_1 .

3) Si la synthèse de P_1 est réalisée à partir de glycine et d'un mélange racémique de A, combien de stéréoisomères de P_1 obtiendra-t-on ?

EXERCICE 6 : BAC 2012

Les acides α aminés jouent un rôle important dans la vie, en particulier en biochimie. Ce sont les éléments constitutifs des protéines.

2.1 L'acide α aminé A, de formule semi-développée $\text{CH}_3\text{—CH}(\text{CH}_3)\text{—CH}(\text{NH}_2)\text{—CO}_2\text{H}$ fait partie des vingt principaux acides α aminés des organismes vivants.

2.1.1 Donner, dans la nomenclature officielle, le nom de l'acide α aminé A.

2.1.2 Donner la représentation de Fischer des deux énantiomères de cet acide α aminé.

2.2 On réalise la réaction de condensation d'un acide α aminé B de formule semi-développée $\text{R—CH}(\text{NH}_2)\text{—CO}_2\text{H}$ sur l'acide α aminé A (R est un radical alkyl ou un atome d'hydrogène). On ne tiendra pas compte, dans cette réaction, de l'isomère optique et on ne considèrera que les réactions possibles entre A et B.

2.2.1 Combien de dipeptides peut-on alors obtenir ? Ecrire les équations des réactions mises en jeu.

2.2.2 Encadrer la liaison peptidique pour chaque dipeptide obtenu.

2.2.3 Sachant que chaque dipeptide a une masse molaire $M = 174\text{g.mol}^{-1}$, déterminer la formule semi-développée et le nom de l'acide α aminé B.

2.3 L'acide α aminé B ressemble beaucoup, quand il est pur, à un corps à structure ionique. Il se présente en effet sous la forme d'un ion bipolaire (amphion ou zwitterion).

2.3.1 Ecrire la formule semi-développée de cet ion bipolaire

2.3.2 Justifier son caractère amphotère.

2.3.3 En déduire les couples acide/base qui lui sont associés

2.3.4 Les pK_a de ces couples acide/base ont pour valeur $\text{pK}_{a1} = 2,3$ et $\text{pK}_{a2} = 9,6$.

a) Associer à chaque couple acide/base un pK_a .

b) Compléter le diagramme ci-dessous en y indiquant les espèces acido-basiques majoritaires de l'acide α aminé B pour chaque domaine de pH.

—|—|—→ pH

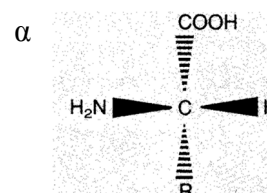
EXERCICE 7 :

2,3

2,4

On forme un dipeptide en faisant agir la valine sur un autre acide aminé A de formule :

où R- est un groupe alkyle C_nH_{2n+1} — .



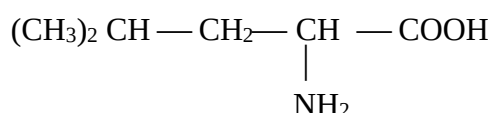
1) Donner la représentation de Fischer de l'acide α -aminé A. A quelle série, D ou L, appartient-il ?

2) Déterminer R— sachant que la masse molaire du dipeptide est $M = 188 \text{ g.mol}^{-1}$.

3) Ecrire la formule semi-développée du dipeptide, sachant que pour l'obtenir, on a réalisé la synthèse en bloquant la fonction amine de A et la fonction acide carboxylique de la valine. Comment peut-on procéder pour bloquer une fonction acide carboxylique ?

EXERCICE 8 : BAC 2002

La leucine est un composé organique de formule semi-développée :



1) Préciser la nature de ce composé et donner son nom en nomenclature systématique.

2) La molécule de la leucine est-elle chirale ? Si oui, donner et nommer les représentations de Fischer de la leucine.

3) On fait réagir la leucine avec un acide α aminé $\text{R} \text{---} \text{CH} \text{---} \text{COOH}$.

$$\begin{array}{c} | \\ \text{NH}_2 \end{array}$$

On obtient un dipeptide dont la masse molaire est égale à 202 g.mol.

3.a-Déterminer la formule semi développée et donner le nom systématique de cet acide α aminé.

3.b- Préciser, en justifiant, le nombre de dipeptides que le mélange des acides, ci-dessus cités, permet d'obtenir (les formules ne sont pas demandées).

4) On veut synthétiser uniquement le dipeptide pour lequel la leucine est l'acide N-Terminal. Préciser les différentes étapes de cette synthèse et nommer le dipeptide obtenu.

EXERCICE 9 : BAC C

La valine (val) est un acide α aminé de formule $\text{H}_3\text{C} \text{---} \text{CH} \text{---} \text{CH} \text{---} \text{COOH}$

$$\begin{array}{cc} | & | \\ \text{CH}_3 & \text{NH}_2 \end{array}$$

1) Montrer que la molécule est chirale. Donner la représentation de Fischer des deux énantiomères de la valine et les nommer.

2) En solution aqueuse la valine donne trois formes ionisées dont un ion dipolaire, appelé zwitterion.

2. a Ecrire les équations de deux réactions du zwitterion sur l'eau en mettant en évidence les couples acido-basiques de pK_A 2,4 et 9,8.

2. b Après avoir attribué à chacun des couples le pK_A qui lui correspond, justification à l'appui, indiquer sur une échelle des pH les domaines de prédominance de chaque forme ionisée.

3) On désire synthétiser le dipeptide $H_3C - \underset{\substack{| \\ NH_2}}{CH} - CO - NH - \underset{\substack{| \\ COOH}}{CH} - \underset{\substack{| \\ CH_3}}{CH} - CH_3$ par condensation de la Valine avec un autre acide α -aminé.

3. a Ecrire l'équation-bilan de la réaction de condensation.

.b Donner le nom systématique de l'autre acide α -amine

D – CORRIGES DES EXERCICES

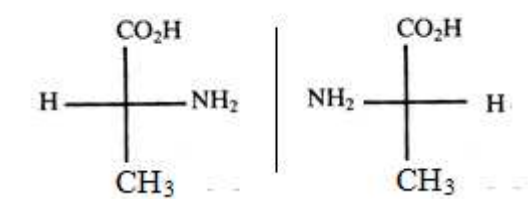
EXERCICE 1

a) Formule semi-développée de l'alanine ou acide 2-amino propanoïque. $CH_3 - CH(NH_2) - COOH$

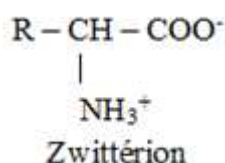
b) Les acides α -aminés, à une exception près, sont des molécules chirales du fait que leur molécules possèdent un carbone asymétrique.

L'exception est la glycine de formule $H_2N - CH_2 - COOH$

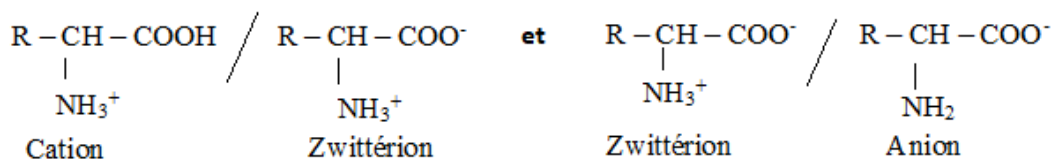
c) Projection de Fischer des deux énantiomères de l'alanine,



d) Formule générale et le nom de l'ion dipolaire contenu dans les solutions aqueuses d'acide α -aminé.



Les deux couples acide/base caractérisant cet ion dipolaire et préciser et rôle joué par celui-ci



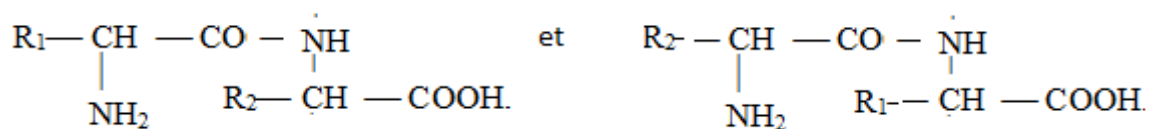
Dans le premier couple le zwitterion joue le rôle de base et dans le second le rôle d'acide

e) Ecrire la formule de l'espèce chimique majoritaire de la glycine $\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{COOH}$



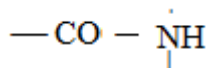
f) Formules semi-développées des deux dipeptides que l'on peut obtenir à partir des deux acides

α aminés : $\text{R}_1-\text{CH}-\text{COOH}$ et $\text{R}_2-\text{CH}-\text{COOH}$.



Liaison peptidique :

Elle correspond à une fonction amide



DEUXIEME PARTIE : EXERCICES CORRIGES DE PHYSIQUE

CHAPITRE P1

CINEMATIQUE DU POINT MATERIEL

A - OBJECTIFS

Donner des exemples référentiels.

Utiliser les coordonnées cartésiennes, polaires et l'abscisse curviligne

Utiliser les expressions du vecteur position, vecteur vitesse instantanée et du vecteur accélération instantanée.

Utiliser les expressions des accélérations tangentielle et normale.

Utiliser les lois horaires de quelques mouvements : mouvements rectilignes(uniforme, uniformément varié, sinusoïdal) et mouvements circulaires (uniforme, uniformément varié, sinusoïdal).

Réaliser quelques expériences en cinématique : banc et table à coussin d'air, chute libre, plan incliné

B - L'ESSENTIEL DU COURS

L'étude d'un mouvement nécessite le choix d'un référentiel du fait de la relativité de la notion mouvement.

Au référentiel on attache un repère permettant de connaître la position du mobile à l'aide ses coordonnées/

Dans le repère tri orthonormé (OX,OY, OZ), la position du point mobile M est repérée ses coordonnées x, y et z ou par son vecteur position $\overrightarrow{OM}$ donné par $\overrightarrow{OM} = x \vec{i} + y \vec{j} + z \vec{k}$

Les coordonnées du mobile varient en fonction du temps : les lois de variation x(t), y(t) et z(t) sont appelées équations horaires ou équations paramétriques du mouvement.

L'équation cartésienne de la trajectoire est une relation indépendante du temps entre les différentes coordonnées du point

La vitesse moyenne du mobile entre deux instants t_1 et t_2 est $\vec{V}_{moy} = \frac{\overrightarrow{OM_2} - \overrightarrow{OM_1}}{t_2 - t_1}$

Le vecteur vitesse $\vec{V}$ instantané est la dérivée première du vecteur position $\overrightarrow{OM}$ par rapport au temps :

$$\vec{V} = \frac{d\overrightarrow{OM}}{dt} = \frac{dx}{dt} \vec{i} + \frac{dy}{dt} \vec{j} + \frac{dz}{dt} \vec{k} = V_x \vec{i} + V_y \vec{j} + V_z \vec{k} \quad \text{avec}$$

$$V_x = \frac{dx}{dt} = \dot{x}; \quad V_y = \frac{dy}{dt} = \dot{y}; \quad V_z = \frac{dz}{dt} = \dot{z}$$

Les caractéristiques du vecteur vitesse sont:

-Point d'application : point M

-Direction: tangente à la trajectoire au point M

-Sens: celui du mouvement

_Norme: $V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2} \quad (\text{m/s})$

Le vecteur accélération moyenne entre deux instants t_1 et t_2 est $\vec{a}_{moy} = \frac{\vec{V}_2 - \vec{V}_1}{t_2 - t_1}$

L'accélération est le vecteur dérivé par rapport au temps du vecteur vitesse.

$$\vec{a} = \frac{d\vec{V}}{dt} = \frac{dV_x}{dt}\vec{i} + \frac{dV_y}{dt}\vec{j} + \frac{dV_z}{dt}\vec{k} = a_x\vec{i} + a_y\vec{j} + a_z\vec{k}$$

$$a_x = \frac{dV_x}{dt} = \ddot{x}; a_y = \frac{dV_y}{dt} = \ddot{y}; a_z = \frac{dV_z}{dt} = \ddot{z}$$

Norme : $a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$ (m/s²)

En coordonnées curvilignes

$$\vec{V} = V \vec{T} \text{ et } \vec{a} = a_t \vec{T} + a_n \vec{N} = \frac{dV}{dt} \vec{T} + \frac{V^2}{R} \vec{N}$$

a_t est l'accélération tangentielle $a_t = \frac{dV}{dt}$

a_n est l'accélération normale $a_n = \frac{V^2}{R}$ où R est le rayon de courbure

Un mouvement est dit accéléré si la norme v de la vitesse augmente, retardé si elle diminue, uniforme si elle est constante.

Un mobile est animé d'un mouvement rectiligne uniforme (MRU) lorsque sa trajectoire est une droite et le vecteur vitesse constant

L'équation horaire d'un MRU sont $x = V_0 t + x_0$ où V_0 est la vitesse initiale et x_0 la position initiale

Un mobile est animé d'un mouvement rectiligne uniformément varié (MRUV) si sa trajectoire est une droite et son vecteur accélération constant

Les équations d'un MRUV sont :

$$x = \frac{1}{2} a t^2 + V_0 t + x_0 ; V = a t + V_0 \text{ et } (V^2 - V_0^2) = 2 a (x - x_0)$$

Les espaces parcourus pendant des intervalles de temps réguliers θ sont en progression arithmétique de raison $a\theta^2$

Un mobile M est animé d'un mouvement rectiligne sinusoïdal si son équation horaire peut s'écrire sous la forme : $x = X_m \sin(\omega t + \varphi)$

x: élongation ou abscisse ; X_m : amplitude maximale (toujours positive); ω (rad/s): pulsation; (φ : phase à l'instant initial

Le mouvement rectiligne sinusoïdal est un mouvement périodique de période $T = \frac{2\pi}{\omega}$

L'abscisse du mouvement vérifie l'équation différentielle $x + \frac{1}{\omega^2} \ddot{x} = 0$

C -EXERCICES

EXERCICE 1 :

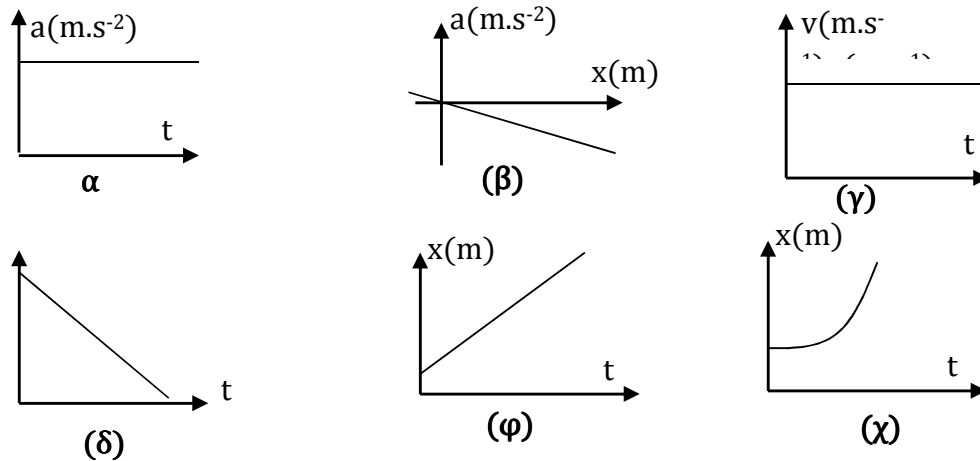
A. Répondre par vrai ou faux en justifiant la réponse :

- 1) Le vecteur vitesse $\vec{V}$ d'un point matériel, à la date t, varie au cours du temps si ce point est animé d'un mouvement :
 - a. rectiligne et varié.
 - b. rectiligne uniformément varié.
 - c. rectiligne uniforme.
 - d. circulaire et uniforme.
 - e. circulaire uniformément accéléré.
- 2) Un mouvement rectiligne sinusoïdal est un mouvement au cours duquel :
 - a. Le mobile décrit, autour d'une position centrale et dans un seul sens, un segment de droite de longueur égale au double de l'amplitude du mouvement.

- b. L'équation différentielle caractéristique de l'élongation $x(t)$ est: $\ddot{x} - \omega^2 x = 0$.
- c. L'équation différentielle caractéristique de l'élongation $x(t)$ est: $\ddot{x} + \omega^2 x = c$; c étant une constante positive.
- d. L'accélération et la vitesse sont en opposition de phase.
- e. L'accélération est centripète.

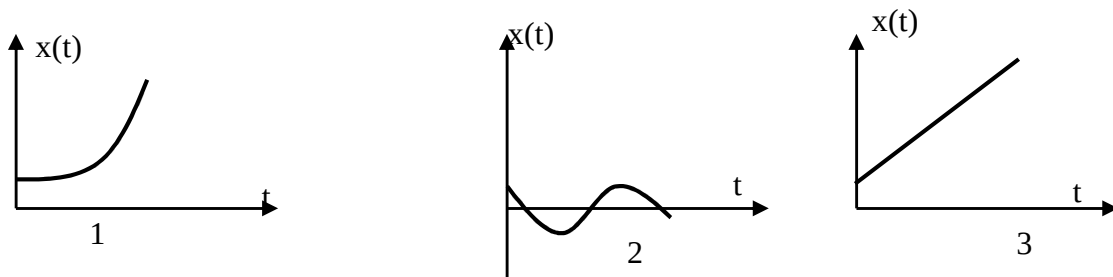
B. Faire correspondre, à chacun des mouvements cités ci-dessous, le (ou les) diagramme(s) pouvant le caractériser.

- 1) Mouvement rectiligne uniformément varié (M.R.U.V).
- 2) Mouvement rectiligne uniforme (M.R.U).
- 3) Mouvement rectiligne sinusoïdal (M.R.S).

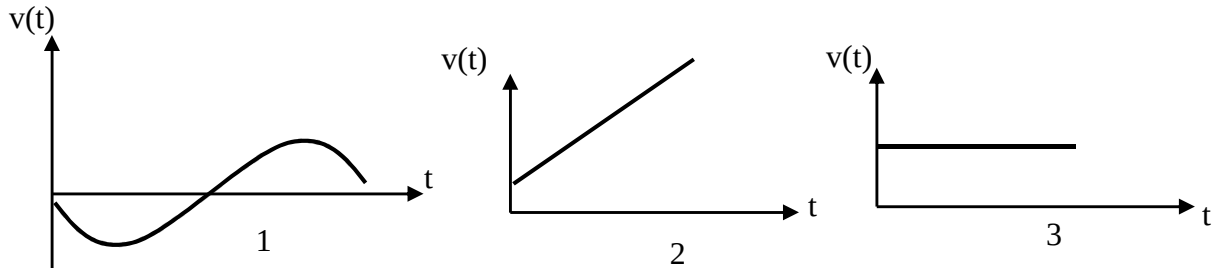


C. Associer à chaque diagramme $x = f(t)$ les diagrammes de vitesse et d'accélération correspondants.

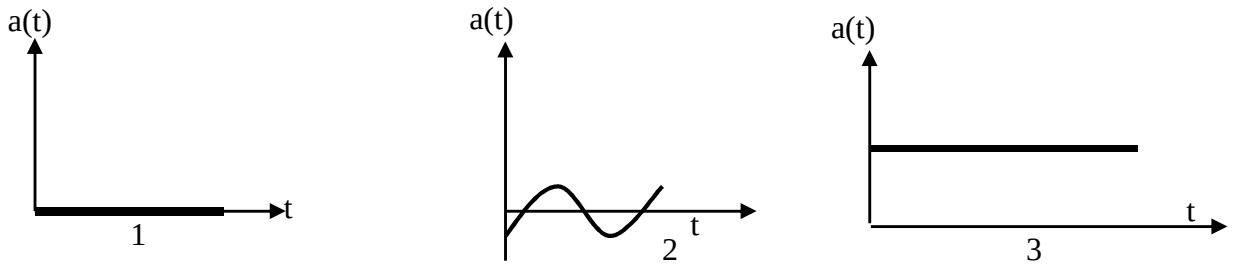
Courbes de variations de la position



Courbes de variations de la vitesse



Courbes de variations de l'accélération



EXERCICE 2 :

Les équations horaires du mouvement d'un point matériel A dans un repère $(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ sont :

$$\begin{cases} x = 2t \\ y = -t^2 + 2t - 1 ; t \text{ en seconde ; } x, y, z \text{ en mètre ; } t \geq 1s \\ z = 2 \end{cases}$$

1) Donner la position de (A) :

a. à l'instant initial.

b. 2 s après l'instant initial.

2) A quelle date, le mobile (A) passe-t-il par l'ordonnée $y = -10$?

En déduire alors la distance parcourue.

3) Etablir l'équation cartésienne de la trajectoire de (A) et préciser sa nature.

4) Déterminer les vecteurs vitesses moyenne entre les instants $t_1=2s$ et $t_2=6s$ et instantanée à tout instant. En déduire leur norme.

5) Exprimer les composantes des vecteurs accélérations moyenne entre les instants $t_1=2s$ et $t_2=6s$ et instantanée à tout instant. En déduire leur norme.

EXERCICE 3 :

Les équations horaires du mouvement d'un mobile M dans un repère $(O, \vec{i}, \vec{j})$ sont :

$$\begin{cases} x = t \\ y = t^2 - 4t + 3 \end{cases} \quad x \text{ et } y \text{ en mètre et } t \text{ en seconde.}$$

1) Déterminer l'équation cartésienne de la trajectoire du mobile M.

2) Donner les composantes et l'intensité du vecteur vitesse à chaque instant.

- 3) Déterminer les valeurs de l'accélération tangentielle puis de l'accélération normale à l'instant de date $t = 0$ s.
- 4) Déterminer les intervalles de temps pour lesquels le mouvement est accéléré, retardé

EXERCICE 4 :

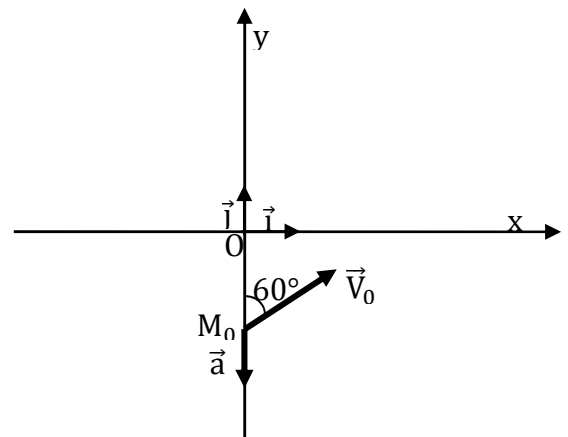
Un mobile effectue un mouvement rectiligne uniforme suivant l'axe $x'ox$ avec un vecteur vitesse $\vec{V} = V_x \vec{i}$. A l'instant $t_1 = 4$ s, il occupe la position M_1 d'abscisse $x_1 = 10$ m et 2s plus tard il occupe la position M_2 d'abscisse $x_2 = 2$ m.

- 1) Déterminer l'abscisse de sa position initiale et la valeur V_x de sa vitesse. Préciser le sens du mouvement.
- 2) Ecrire l'équation horaire $x(t)$ du mouvement et en déduire la distance parcourue au bout de 10s.

EXERCICE 5 :

Dans un espace muni d'un repère $(O, \vec{i}, \vec{j})$, un mobile (A) est animé d'un mouvement d'accélération constante de module 2 m.s^{-2} . A l'instant initial $t = 0$, il passe par la position M_0 telle que $OM_0 = 2 \text{ m}$ avec un vecteur vitesse $\vec{V}_0$ de module 10 m.s^{-1} faisant un angle de 60° avec la verticale (voir figure ci-dessous).

- 1) Déterminer les coordonnées des vecteurs position, vitesse et accélération du mobile à l'instant initial.
- 2) Exprimer les vecteurs vitesse et position du mobile à tout instant.
- 3) Etablir l'équation cartésienne de la trajectoire du mobile (A). Préciser sa nature.
- 4) A quelles dates le mobile (A) rencontre-t-il l'axe des abscisses?
- 5) Un autre mobile (B) est lancé à la date $t = 0$ à partir d'un point N_0 de coordonnées $(39,5 \text{ m} ; -39 \text{ m})$ avec une vitesse initiale $\vec{V}_0 = 4 \vec{j}$. Quelle doit être son accélération pour que sa rencontre avec A se fasse au point d'abscisse 39,5m?



EXERCICE 6 :

Un mobile M supposé ponctuel se déplace dans un plan muni d'un repère orthonormé $(O, \vec{i}, \vec{j})$. A chaque instant le vecteur accélération est $\vec{a} = 2\vec{j}$. A la date $t_1 = 1$ s, le vecteur vitesse est $\vec{v} = \vec{i} - 3\vec{j}$ et le vecteur position est $\vec{OM} = 3\vec{i} - 4\vec{j}$

- 1) Donner les coordonnées du vecteur position. $\vec{OM}$.
- 2) Déterminer l'équation de la trajectoire.
- 3) A quel instant le vecteur vitesse aura une direction perpendiculaire au vecteur accélération ?
- 4) A l'instant $t_2 = 4$ s, le mobile passe par le point M_2 avec une vitesse $\vec{v}_2$
 - a) Déterminer les coordonnées du point M_2 .

- b) Donner les caractéristiques du vecteur. $\vec{v}_2$
- c) Représenter au point M_2 les vecteurs $\vec{v}_2$ et $\vec{a}$
- d) Déterminer les valeurs des composantes tangentielle et normales de l'accélération ainsi que le rayon de courbure de la trajectoire au point M_2
- 5) Un deuxième mobile N part à $t = 0$ du point B (4 ; 1) avec une vitesse $\vec{v}_B = -8 \vec{j}$ et est soumis à une accélération constante $\vec{a}_B = 4 \vec{j}$
 - a) Montrer que le mobile N ne peut pas rencontrer le mobile M
 - b) A quelle(s) date(s) le mobile N devrait-il partir dans les mêmes conditions pour rencontrer le mobile M ?

EXERCICE 7

1) Un mobile M effectue un mouvement parabolique dans un plan vertical, muni

d'un repère espace (O, $\vec{i}, \vec{j}$). L'origine du temps est l'instant du début du mouvement. Le vecteur espace du mobile dans le repère espace (O, $\vec{i}, \vec{j}$) est donné par :

$$\vec{OM} = (\omega t + \beta) \vec{i} + (\alpha t^2 + \delta t + \theta) \vec{j}, \beta, \alpha, \delta \text{ et } \theta \text{ sont des constantes.}$$

- a) Déterminer l'expression du vecteur vitesse $\vec{v}(t)$.
 - b) Sachant qu'à l'instant $t_1 = 1s$ le vecteur vitesse est donné par l'expression $\vec{v}(t) = 10 \vec{i} + 10 \vec{j}$ et qu'à l'instant $t_2 = 2s$ le mobile atteint le point d'ordonnée maximale, déterminer les valeurs des constantes ω, α et δ .
 - c) Sachant qu'à l'instant $t_3 = 5s$ le mobile passe par le point M_3 définie par le vecteur espace $\vec{OM}_3 = 50 \vec{i}$, déterminer les valeurs des constantes β et θ .
 - d) Etablir l'équation cartésienne de la trajectoire $y = f(x)$.
 - e) Représenter la trajectoire du mobile pour $t \in [0 ; 5s]$ en adoptant l'échelle suivante $10s^{-1} \rightarrow 2cm$.
- 3)a) Déterminer les caractéristiques du vecteur vitesse $\vec{v}(t)$ au point M_3 sachant que le mobile passe au point M_3 à $t_3 = 5s$.

b) Représenter au point M_3 le vecteur accélération $\vec{a}$ et les composantes normale $\vec{a}_N$ et tangentielle $\vec{a}_T$.

- c) Déterminer les valeurs $\|\vec{a}_N\|$ et $\|\vec{a}_T\|$.
 - d) En déduire le rayon R_C de courbure de la trajectoire au point M_3 .
- 4) A la même date $t = 0s$ que dans 1) une bille B est lancée verticalement vers le haut à partir d'un point A(20, 20) du même repère R avec une vitesse initiale $v_0 = 20 ms^{-1}$.
- a) Déterminer suivant (O, $\vec{j}$) l'équation horaire $y = f(t)$ de la bille B.
 - b) Montrer, en le justifiant, qu'il y'a deux phases dans le mouvement de la bille et préciser leurs natures, ainsi que Les coordonnées du point N qui correspondent au début de la deuxième phase.
 - c) Au bout de combien de temps la bille repasse-t-elle par sa position initiale ?
 - d) Montrer que la bille B ne peut pas toucher le point mobile M de la question 1)
 - e) Pour quelle valeur de la vitesse initiale v_0 la bille B peut-elle arriver à toucher le mobile M ?

EXERCICE 8 :

Un automobiliste effectue une liaison entre deux stations A et B sur un tronçon d'autoroute rectiligne X'OX. Les deux stations sont séparées par la distance $AB = d = 900 \text{ m}$. L'automobiliste démarre de la station A avec une accélération constante $a_1 = 0,4 \text{ m.s}^{-2}$.

Au bout d'une durée t_1 , jugeant sa vitesse suffisante pour pouvoir atteindre la station B, l'automobiliste coupe définitivement le moteur. Différents frottements ralentissent le mouvement qui s'effectue avec une décélération constante de valeur absolue $a_2 = 0,1 \text{ m/s}^2$.

1. Déterminer les durées t_1 et t_2 des deux phases du parcours.
2. Déterminer les distances d_1 et d_2 parcourues au cours de ces deux phases.
3. Déterminer la vitesse maximale de l'automobiliste et sa vitesse moyenne entre les deux stations.
4. Représenter graphiquement la fonction $V_x = f(t)$.

EXERCICE 9 :

Un mobile A est animé d'un mouvement rectiligne uniformément varié. Les diagrammes de l'abscisse $x(t)$ et de la vitesse $v(t)$ sont donnés ci-dessous :

- 1) Déterminer l'accélération du mouvement ? En déduire l'équation horaire du mouvement.
- 2) Déterminer la distance parcourue par le mobile pendant les 40 premières secondes ?
- 3) Un second mobile B animé d'un mouvement rectiligne uniforme de vitesse $v = 6 \text{ m.s}^{-1}$ va à la rencontre de A. Les deux mobiles quittent au même instant $t = 0$ leur position respective sont distantes de $d = 80 \text{ m}$.

a) Etablir l'équation horaire du mouvement de B.

b) Déterminer la date et le point où A rattrape B.

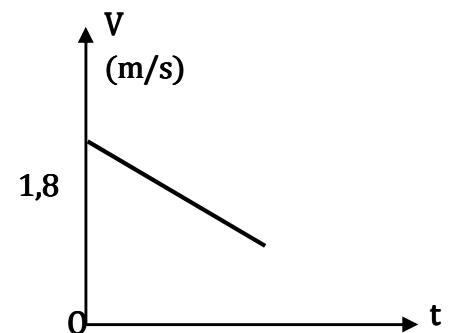
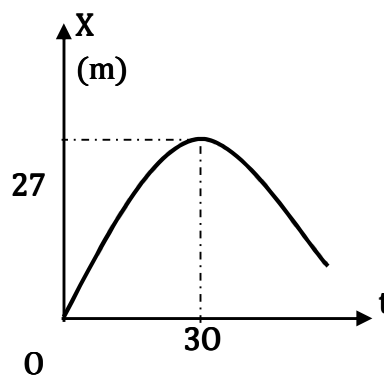
EXERCICE 10 :

Sur une autoroute, deux voitures roulent sur la même file avec une vitesse de 40 m.s^{-1} . Le pare-chocs avant A de la seconde voiture est à 40 m derrière le pare-chocs arrière B de la première voiture.

Le conducteur de la première voiture freine, soumettant son véhicule B à une décélération constante de 5 m.s^{-2} .

Le deuxième conducteur, distrait, commence à freiner deux secondes après le premier et son véhicule A subit la même décélération.

- 1) Déterminer la distance parcourue par le deuxième véhicule avant de commencer à freiner ?
- 2) Déterminer la distance parcourue par le premier véhicule pendant ce même temps ?
- 3) Déterminer la distance séparant A et B lorsque le second véhicule commence à freiner ?
- 4) Déterminer la vitesse du premier véhicule à ce moment ?
- 5) En prenant comme origine des dates l'instant où débute le freinage du second et comme origine des espaces la position où il se trouve, établir les équations horaires des mouvements de A et B.
- 6) Un choc aura-t-il lieu ? Si oui, à quelle date ?



EXERCICE 11 :

a. Une automobile décrit une trajectoire rectiligne dans un repère $(O, \vec{i})$. Son accélération est constante. A l'instant $t_0=0s$, l'automobiliste part d'un point M_0 ; à l'instant $t_1=3s$, l'automobile passe par le point M_1 d'abscisse $x_1=59m$ à la vitesse algébrique $V_{1x}=6m.s^{-1}$. Elle arrive ensuite au point M_2 d'abscisse $x_2=150m$ à la vitesse algébrique $V_{2x}=20m.s^{-1}$.

- Etablir l'équation horaire du mouvement de l'automobile.
- A quel instant t_2 l'automobile passe-t-elle au point M_2 ?
- Calculer la longueur L du trajet effectué par l'automobile pendant la phase d'accélération dont la durée est fixée à $20s$.

b. A la date $t=1s$, une moto se déplaçant sur la même droite à la vitesse constante $V'_x=20m.s^{-1}$ passe par le point M' d'abscisse $x'=-5m$. Pendant toute la durée du mouvement fixée à $20s$, la moto va d'abord dépasser l'automobile ; ensuite l'automobile va rattraper la moto.

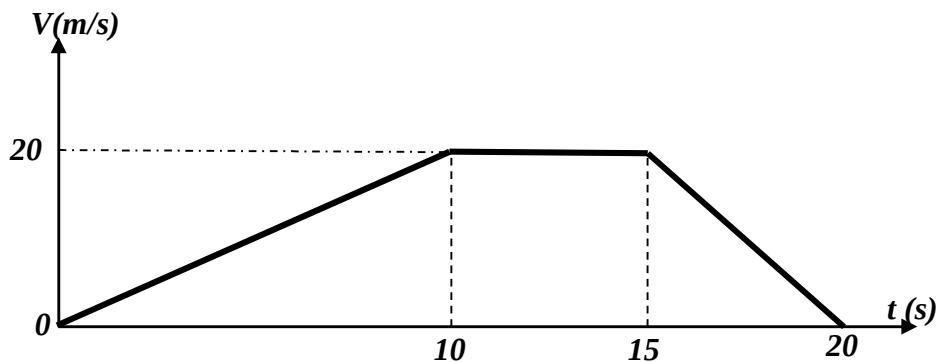
Déterminer :

- l'équation horaire du mouvement de la moto dans le repère $(O, \vec{i})$;
- les dates de dépassements ;
- les abscisses des dépassements ;
- la vitesse de l'automobile au moment où elle rattrape la moto ;
- la distance d parcourue par la moto entre les dates $t=1s$ et la date où elle dépasse l'automobile.

EXERCICE 12 :

Le document ci-dessous représente le diagramme des vitesses d'une automobile qui décrit une trajectoire rectiligne. A la date $t=0$, l'automobile est à l'origine des abscisses.

- Déterminer les équations horaires de la vitesse et de l'abscisse du mouvement de l'automobile pendant les différentes phases.
- Faire le diagramme des accélérations en fonction du temps.
- Déterminer la distance parcourue par l'automobile pendant chaque phase.



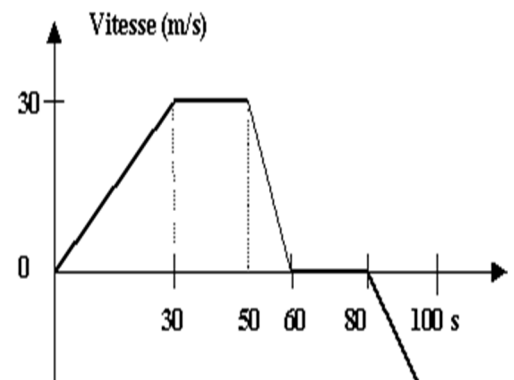
EXERCICE 13 :

Un véhicule supposé comme ponctuel se déplace sur un trajet rectiligne.

Sa vitesse est caractérisée par le diagramme ci-contre.

Déterminer sur les 5 intervalles de temps :

- 1) la valeur algébrique de l'accélération a ;
- 2) l'expression de la vitesse v en fonction du temps ;
- 3) le sens et la nature du mouvement ;
- 4) l'équation horaire de l'abscisse x du véhicule si l'origine des abscisses est prise au début du mouvement ;
- 5) l'équation horaire de l'abscisse x du véhicule si l'origine des abscisses est prise au début de la troisième phase du mouvement.

**EXERCICE 14 :**

Un piéton court vers un bus « Dakar Dem Dikk » à la vitesse de 6m.s^{-1} . Quand il est à 25m du bus, celui-ci démarre avec une accélération constante $a = 1\text{m.s}^{-2}$.

- 1) Ecrire les équations horaires des mouvements du piéton et du bus en prenant comme origine des espaces la position initiale du bus .
- 2) Tracer dans le même système d'axe, les diagrammes des espaces $x=f(t)$.
Echelle : $1\text{cm} \rightarrow 25\text{m}$; $1\text{cm} \rightarrow 2\text{s}$ et $0 \leq t \leq 14\text{s}$.
 - a) Le piéton rattrapera-t-il le bus ? Justifier graphiquement.
 - b) Déterminer graphiquement avec quelle vitesse minimale devrait courir le piéton pour rattraper le bus ?
- 3) Trouver la distance minimale séparant le bus et le piéton, On fera d'abord un raisonnement physique (vitesse du piéton étant égal 6m.s^{-1}).
- 4) Au bout de 100m, le bus s'arrête à un feu rouge.
 - a) Déterminer le temps de parcours du bus avant le feu.
 - b) Pendant combien de temps le bus doit-il s'arrêter au feu pour que le piéton le rattrape (vitesse du piéton étant 6m.s^{-1}) ?

EXERCICE 15

1) Une voiture roule sur une route rectiligne à la vitesse constante de 108km.h^{-1} .

Soudain, le chauffeur perçoit à 150m devant lui un panneau de limitation de vitesse à 60km.h^{-1} . Il actionne le frein et atteint le panneau avec une vitesse de 45km.h^{-1} .

- a) Donner les caractéristiques (sens et intensité) du vecteur accélération supposé constant de la voiture durant la phase de ralentissement.
- b) Déterminer le temps mis par le chauffeur pour atteindre le panneau à partir du début du freinage.
- c) Déterminer l'accélération algébrique de la voiture et la durée du freinage pour que le chauffeur atteigne le panneau à la vitesse de 60km.h^{-1} ?

3) En réalité, le chauffeur commence à freiner 0,8s après avoir vu le panneau. Il impose alors à sa voiture l'accélération calculée au 1) a. Déterminer la vitesse avec laquelle la voiture arrive au panneau Est-il en infraction ?

4) Après le panneau le chauffeur maintient constante la vitesse précédemment calculée ; il aborde avec cette vitesse un virage de rayon $R=150\text{m}$.

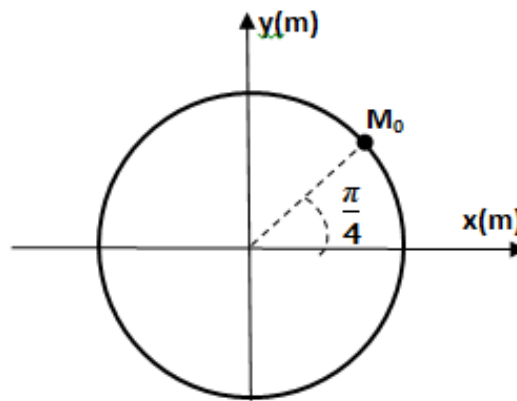
- a) Déterminer les caractéristiques (sens et intensité) du vecteur accélération pendant le virage.
- b) Déterminer la durée du virage ; on assimilera le virage à un quart de cercle.

EXERCICE 16 :

Un mobile ponctuel décrit d'un mouvement circulaire et uniforme, de vitesse

$V=0,5\pi \text{ m.s}^{-1}$, une trajectoire de rayon $R = 2\text{m}$; à la date $t=0$, il se trouve au point M_0 (voir schéma).

1. Déterminer son abscisse curviligne $s(t)$ à tout instant.
2. Déterminer ses équations horaires $x(t)$ et $y(t)$ à tout instant.
3. Déterminer les coordonnées du vecteur position et du vecteur vitesse du mobile aux dates $t_1=1\text{s}$ et $t_2=4\text{s}$? On représentera ces deux vecteurs vitesses sur le schéma.



Echelle : $1\text{cm} \rightarrow 1\text{m.s}^{-1}$

EXERCICE 17 :

Les équations horaires des mouvements de deux mobiles M_1 et M_2 sont :

$$M_1 \begin{cases} x = 1 + 2 \sin 2\pi t \\ y = 4 + 2 \cos 2\pi t \end{cases} \quad \text{et} \quad M_2 \begin{cases} x = 1 + \sin 2\pi t \\ y = -2 - 3 \cos 4\pi t \end{cases}$$

- 1) Pour chaque mobile, déterminer l'équation cartésienne de sa trajectoire et préciser sa nature.
- 2) Déterminer les coordonnées des vecteurs vitesse et accélération des deux mobiles à chaque instant et en déduire leur norme.
- 3) Quelle est la nature du mouvement de M_1 ?
- 4)
 - a) Calculer à la date $t = 0,5\text{s}$, la norme des vecteurs vitesse et accélération de M_2 .
 - b) En déduire le rayon de courbure de la trajectoire de M_2 à la même date.

EXERCICE 18 :

Les équations horaires des mouvements circulaires de deux mobiles M_1 et M_2 sont :

$$M_1 \begin{cases} x = 1 + 2 \sin 2\pi t \\ y = 2 + 2 \cos 2\pi t \end{cases} \quad M_2 \begin{cases} x = 1 + 2 \cos 2\pi t \\ y = 2 + 2 \sin 2\pi t \end{cases}$$

- 1) Pour chaque mobile, déterminer l'équation cartésienne de la trajectoire .
- 2) Déterminer les coordonnées des vecteurs vitesse et accélération des deux mobiles à tout instant et en déduire leur norme.
- 3) Préciser le sens de déplacement de chaque mobile.
- 4) A quelles dates les mobiles passent-ils par les mêmes points ?

EXERCICE 19 :

Les équations horaires du mouvement d'un mobile M sont : $M \begin{cases} x = 2 \cos 4t \\ y = 3 \sin 4t \end{cases}$

1. Déterminer l'équation cartésienne de la trajectoire et préciser sa nature.
2. Déterminer les coordonnées des vecteurs vitesse et accélération.
3. Montrer que le mouvement est à accélération centrale.

EXERCICE 20 :

Un point matériel est animé d'un mouvement circulaire de rayon $R=20$ cm. Son élongation angulaire en fonction du temps est : $\alpha(t) = \frac{2}{3}t^3 - t + 2$.

Déterminer à la date $t=1,5$ s :

- 1) le module v de la vitesse . S'agit-il d'un mouvement uniforme ?
- 2) les valeurs des accélérations normale et tangentielle ainsi que les caractéristiques du vecteur accélération.

EXERCICE 21

Un point mobile M est animé d'un mouvement rectiligne sinusoïdal de période $T=0,20$ s.

A $t = 0$ s, M passe par l'origine des élongations avec une vitesse $V_x=0,4\pi$ m/s.

- 1) Déterminer la pulsation ω et l'amplitude x_m du mouvement ?
- 2) Ecrire l'équation horaire $x(t)$ de M.
- 3) Déterminer-la date à laquelle M passe, pour la première fois par l'abscisse $x = 2$ cm en allant dans le sens positif ?
- 4) En déduire la vitesse V_x et l'accélération a_x du mobile à cette date.
- 5) Préciser si le mouvement est accéléré ou freiné à cette date.

EXERCICE 22

Un mobile est animé d'un mouvement rectiligne sinusoïdal. Il se déplace sur un segment de droite de longueur 6cm et met 0,10s pour parcourir ce segment.

- 1) Ecrire l'équation horaire du mouvement sachant qu'à la date $t = 0$, le mobile passe par son abscisse maximale.
- 2) A quelles dates le mobile passe-t-il par le point d'abscisse -1 cm ?

3) A une date t_1 , le mobile passe par l'abscisse 1cm en allant dans le sens positif, trouver son abscisse 0,075s plus tard.

EXERCICE 23 :

Un mobile est animé d'un mouvement rectiligne sinusoïdal d'équation horaire

$$x = 0,04 \sin\left(\frac{\pi}{2}t + \varphi\right) ; x(\text{m}) \text{ et } t(\text{s}).$$

1. Déterminer la période et l'amplitude du mouvement.
2. Quelle est la valeur de φ sachant que le mobile passe par l'origine des abscisses à la date $t = 0$ en allant dans le sens négatif.
3. Ecrire l'équation horaire en vraies grandeurs.
4. Déterminer les premières dates de passage du mobile aux abscisses $x=4\text{cm}$ et $x = -4\text{cm}$.
5. Déterminer la position, la vitesse et l'accélération du mobile à la date $t = 0,5\text{s}$; en déduire alors la nature du mouvement à cette date.
6. Représenter qualitativement $x=f(t)$, $v = g(t)$ et $a = h(t)$ sur le même graphe en choisissant une échelle convenable pour les grandeurs x , v et a ; et pour t , $1\text{cm} \rightarrow 0,5\text{s}$.

EXERCICE 24 :

Un mobile est animé d'un mouvement rectiligne sinusoïdal de période $T = 0,20 \text{ s}$. A la date $t = 0$, le mobile passe par l'origine des abscisses avec une vitesse de mesure algébrique $v = 0,4\pi \text{ m.s}^{-1}$

1. Dans quel sens se déplace le mobile à partir de l'instant $t = 0$?
2. Trouver la pulsation ω et en déduire l'amplitude X_m du mouvement.
3. Ecrire l'équation horaire du mouvement du mobile en vraies grandeurs.
4. A quelle date le mobile passe-t-il pour la première fois par l'abscisse 2cm en allant dans le sens positif ?
5. Trouver la vitesse et l'accélération du mobile à cet instant ; en déduire la nature accélérée ou décélérée du mouvement à cette date.

EXERCICE 25 :

Un mobile est animé d'un mouvement rectiligne sinusoïdal sur un axe $x'Ox$.

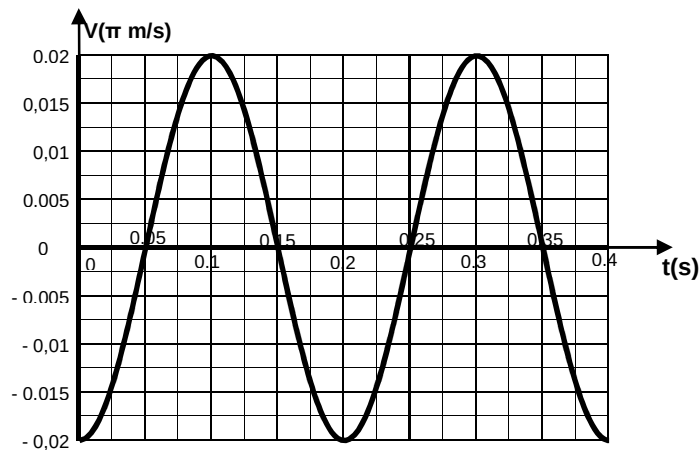
La variation de sa position à tout instant est représentée par le diagramme ci-dessous.

1. En déduire la période T et la pulsation ω .
2. Préciser les conditions initiales (x_0 , v_0 , a_0).
3. Etablir l'équation horaire $x(t)$.
4. Calculer la date de passage pour la première fois à l'abscisse $x = 0$, le mobile allant vers les abscisses négatives. Retrouver cette date à partir de la courbe $x = f(t)$ représentée par le diagramme précédent.

EXERCICE 26 :

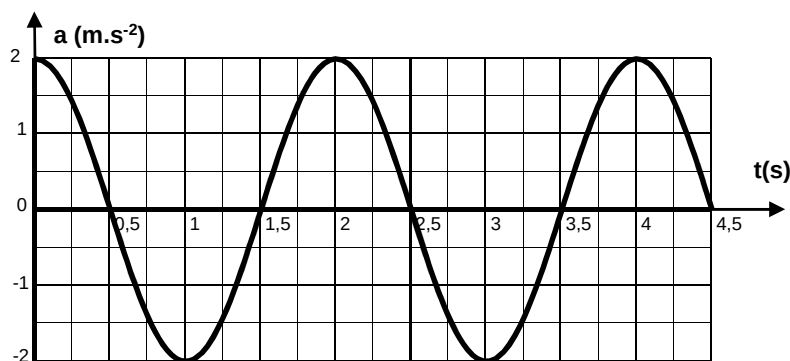
Un mobile est animé d'un mouvement rectiligne sinusoïdal sur un axe $x'Ox$. La variation de sa vitesse à tout instant est représentée par le diagramme ci-dessous.

1. Etablir l'équation horaire de la vitesse.
2. En déduire les équations horaires de l'abscisse et de l'accélération.
3. Préciser les premières dates de passage du mobile aux points d'abscisse 2mm et -2mm.

**EXERCICE 27 :**

On donne ci-dessous le diagramme de l'accélération $a = g(t)$ d'un mobile en mouvement rectiligne.

- 1) Quelle est la nature du mouvement de ce mobile ?
- 2) Donner les expressions des autres grandeurs cinématiques du mobile.
- 3) Déterminer les dates pour lesquelles la position du mobile est nulle.
- 4) Déterminer la valeur de la vitesse du mobile aux dates où la position est nulle.-En déduire la valeur de l'accélération à ces dates.

**EXERCICE 28 :**

On considère un mobile qui effectue un mouvement rectiligne sur un axe OX défini par l'équation horaire : $x = \cos 3t + \sqrt{3} \sin 3t$, x est exprimé en cm, t en s, les angles en rad.

- 1) Mettre l'équation sous la forme $x=A \cos (\omega t+\Phi)$ A une étant constante positive ; on donne $-\pi \leq \Phi \leq \pi$.
- 2) Construire le diagramme des espaces pour $0 \leq t \leq T$; T étant la période.
- 3) Déterminer l'instant où l'élongation vaut 1cm pour la première fois après la date $t=0$.

EXERCICE 29 :

Un mobile est animé d'un mouvement rectiligne sinusoïdal suivant l'axe $x'x$. Son élongation à la date t est donnée par : $x(t) = A \cos(\omega t) + B \sin(\omega t)$, x est en m et t en s.

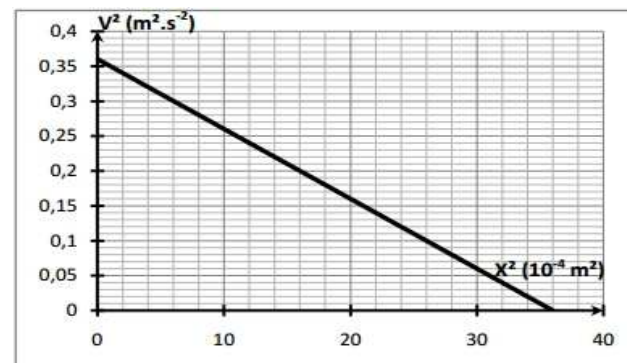
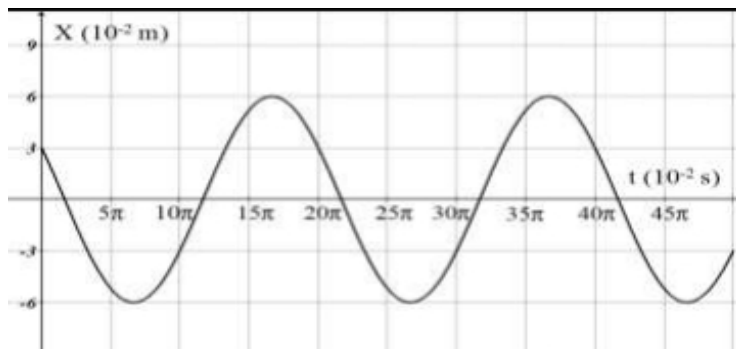
A la date $t = 0$ le mobile passe par l'élongation $x = 4 \text{ cm}$ avec la vitesse $V_0 = 6 \pi \text{ cm.s}^{-1}$ et se déplace dans le sens positif ; l'accélération du mobile à cette date est : $a = -16\pi^2 \text{ cm.s}^{-2}$.

- 1) Déterminer les valeurs de A, B et ω .
- 2) Mettre l'équation horaire du mouvement sous la forme : $x(t) = X_m \cos(\omega t + \varphi)$. Donner son expression numérique.
- 3) Déterminer l'accélération a du mobile à la date $t = 1 \text{ s}$.

EXERCICE 30 :

La courbe de la figure ci dessous représente les variations de l'élongation x du centre d'inertie G d'un solide (S) en mouvement rectiligne.

- 1°) Quelle est la nature du mouvement du centre d'inertie G de (S) ? Justifier la réponse.
- 2°) Déterminer graphiquement l'amplitude $X_{\max}$ des oscillations, la période T des oscillations et la phase initiale φ_x du mouvement.
- 3°) Ecrire l'équation horaire du mouvement. Déterminer la distance parcourue par le mobile entre les instants $t_0 = 0 \text{ s}$ et $t_1 = 0,45\pi \text{ s}$
- 4°) Déterminer théoriquement l'instant du 3ème passage de G par l'élongation $x = -3 \text{ cm}$ avec une vitesse négative.
- 5°) Exprimer alors la vitesse instantanée $v(t)$ du centre d'inertie G en fonction du temps.
- 6°) La courbe 2 représente les variations de $v^2 = f(x^2)$. Justifier théoriquement l'allure de cette courbe. Retrouver la valeur de la pulsation ω_0 du mouvement.



EXERCICE 31 :

Un mobile en mouvement rectiligne sinusoïdal. On écrira :

$$x = X_{\max} \sin(\omega t + \varphi_x) \text{ et } v = V_{\max} \sin(\omega t + \varphi_v)$$

1°) Montrer que la vitesse v est en quadrature avance sur l'élongation x

2°) La figure ci contre correspond à la courbe $V=f(t)$.

Déduire de la courbe :

a) L'amplitude $V_{\max}$ de la vitesse et l'amplitude $X_{\max}$

b) La pulsation ω du mouvement.

c) La phase initiale φ_v de la vitesse et la phase φ_x de l'élongation.

3°) Ecrire l'expression de la vitesse instantanée en fonction du temps.

4°)

a) Ecrire la loi horaire du mouvement.

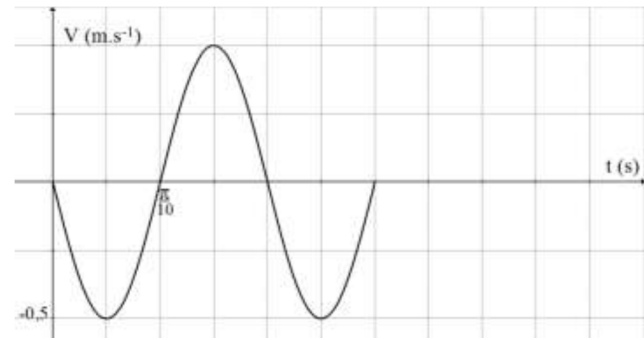
b) Représenter sur la figure, la courbe $x = g(t)$ sans préciser l'échelle.

c) Déterminer la date t' du premier passage par la position d'abscisse $x = \frac{X_{\max}}{2}$

5°)

a) Montrer qu'à chaque instant on a : $x + \omega^2 x = 0$; a étant l'accélération instantanée.

b) Déduire l'élongation x_1 du mobile lorsque son accélération a_1 vaut 5 ms^{-2} .

**D-CORRIGE DES EXERCICES****EXERCICE 1****PARTIE A**

1.

- Vrai : la norme peut croître ou décroître.
- Vrai : c'est la norme qui croît ou décroît ($a = \text{cste}$).
- Faux : la direction, le sens et la vitesse instantanée demeurent constants.
- Vrai : la direction varie.
- Vrai : la direction change et la vitesse croît ($a_t = \text{cste}$).
- Vrai : la direction change et la vitesse croît et décroît alternativement.

2.

- Faux : il décrit le segment de droite dans un sens puis dans l'autre.
- Faux: $\ddot{x} + \omega^2 x = 0$.
- Vrai : $c = 0$ nous avons 2-b. $C \neq 0$ si le centre du mouvement ne coïncide pas avec l'origine du repère.
- Faux : en quadrature de phase.
- Vrai : $\vec{a} = -\omega^2 \vec{OM}$

PARTIE B

1. Mouvement rectiligne uniformément accéléré : (α) et (χ) ; mouvement uniformément décéléré : (δ).

2. Mouvement rectiligne uniforme : (γ) et (φ).

3. Mouvement rectiligne sinusoïdal : (β).

PARTIE C : $(x_1, v_2, a_3) ; (x_2, v_1, a_2) ; (x_3, v_3, a_1)$.

EXERCICE 2

$$x=2t; y=-t^2+2t-1; z=2.$$

1.a L'instant initial correspond à $t=1s$ d'où $x=2m$, $y=0$ et $z=2m$.

1.b Deux secondes après l'instant initial, c'est-à-dire $t=3s$. A est au point de coordonnées $x=6$, $y=-4$ et $z=2$ (en m).

2.

$$y = 10 \Rightarrow t_1 = 1 + \sqrt{10} > 0 \text{ et } t_2 = 1 - \sqrt{10} < 0 \text{ donc } t = 4,16 \text{ s}$$

$$d = \sqrt{(6,32)^2 + (-10)^2} \Rightarrow d = 11,83 \text{ m}$$

3. $y = -\frac{x^2}{4} + x - 1$ branche de parabole dont la concavité est orientée vers les ordonnées négatives.

$$4. \vec{V}_{\text{moy}} = 2\vec{i} - 6\vec{j} \text{ et } \vec{V} = 2\vec{i} + (-2t+2)\vec{j} \text{ et } V_{\text{moy}} = 2\sqrt{10} \text{ m/s}; V = \sqrt{4t^2 - 8t + 8}$$

$$5. \vec{a}_{\text{moy}} = \begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = -2 \\ a_z = 0 \end{cases} \Rightarrow \vec{a} = \begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = -2 \\ a_z = 0 \end{cases} \Rightarrow a_{\text{moy}} = 2 \text{ m/s}^2 = a$$

EXERCICE 3 :

$$x=t \text{ et } y=t^2-4t+3$$

1. $y=x^2-4x+3$ (parabole)

$$2. \vec{V} = \frac{dx}{dt} \vec{i} + \frac{dy}{dt} \vec{j} \Rightarrow \vec{V} = \vec{i} + (2t-4)\vec{j} \quad V = \sqrt{1+(2t-4)^2}$$

$$3. a_t = \frac{d\|\vec{V}\|}{dt} = \frac{2(2t-4)}{[1+(2t-4)^2]^{\frac{1}{2}}} \Rightarrow \text{à } t=0 \quad a_t = -1,94 \text{ m.s}^{-2}; a^2 = a_t^2 + a_n^2 = a_x^2 + a_y^2 \Rightarrow a_n = 0,49 \text{ m.s}^{-2}$$

4. Etudions le produit scalaire $\vec{V} \cdot \vec{a}$: s'il est positif on a un mouvement accéléré et s'il est négatif, le mouvement sera décéléré. Ainsi pour $t > 2s$ mouvement accéléré et pour $0 < t < 2s$, le mouvement est décéléré.

EXERCICE 4

1. Le mouvement étant rectiligne uniforme alors $x = V_x t + x_0 \quad x_1 = V_x t_1 + x_0$

$x_2 = V_x t_2 + x_0 \Rightarrow x_0 = 26 \text{ m et } V_x = -4 \text{ m/s} \quad V_x \text{ négative donc ce mobile évolue vers les } x \text{ négatifs.}$

$$2. x = -4t + 26 \quad d = |x - x_0| \Rightarrow d = |-4t + 26 - 26| = |-4 \cdot 10| \Rightarrow d = 40 \text{ m}$$

EXERCICE 5 :

$$1. \text{ à } t = 0 \quad \vec{OM}_0 = -2 \vec{j} \Rightarrow x_0 = 0 ; y_0 = -2 \quad \vec{V}_0 = V_{0x} \vec{i} + V_{0y} \vec{j} \Rightarrow V_{0x} = 8,66 \text{ m/s et } V_{0y} = 5 \text{ m/s}$$

$$\vec{a}_0 = a_{0x} \vec{i} + a_{0y} \vec{j} \Rightarrow a_{0x} = 0 \text{ et } a_{0y} = -2 \text{ m/s}^2$$

$$2. \vec{V} = 8,66\vec{i} + (5-2t)\vec{j} \quad \vec{OM} = 8,66t\vec{i} + (-t^2 + 5t - 2)\vec{j}$$

$$3. y = -\frac{1}{(8,66)^2}x^2 + \frac{5}{8,66}x - 2 \quad (\text{parabole})$$

$$4. -t^2 + 5t - 2 = 0 \Rightarrow t_1 = 0,44\text{s et } t_2 = 4,56\text{s}$$

5. Rencontre au point d'abscisse $x=39,5$ la date de cette rencontre est $t=t_2=4,56\text{s}$.

Le mouvement de B est supposé uniformément accéléré donc : $x = \frac{1}{2}a_x t^2 + V_{0x}t + x_0$

$$\text{et } y = \frac{1}{2}a_y t^2 + V_{0y}t + y_0.$$

Les coordonnées du point de rencontre sont : $x=39,5$ et $y=0$ d'où le système d'équations

$$\left\{ \begin{array}{l} 39,5 = \frac{1}{2}a_x(4,56)^2 + 39,5 \\ 0 = \frac{1}{2}a_y(4,56)^2 + 4,456 - 39 \end{array} \right\} \text{ nous trouvons } \left\{ \begin{array}{l} a_x = 0 \\ a_y = 2 \text{ m.s}^{-2} \end{array} \right\} \Rightarrow \vec{a}_B = 2 \vec{j}$$

EXERCICE 9 :

$$1. a = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{0-1,8}{30-0} \Rightarrow a = -6 \cdot 10^{-2} \text{ m.s}^{-2} \quad V_0 = 1,8 \quad \text{et } x_0 = 0 \Rightarrow x_A(t) = -3 \cdot 10^{-2} t^2 + 1,8 t$$

$$2. d = 30 \text{ m}$$



3.

$$a. X_B = -6t + 80$$

$$b. \begin{cases} x_A(t_R) = x_B(t_R) \\ V_{xA}(t_R) \text{ et } V_{xB}(t_R) \text{ meme signe} \end{cases} \quad 3 \cdot 10^{-2} t^2 + 1,8 t = -6t + 80 \Rightarrow -3 \cdot 10^{-2} t^2 - 7,8 t + 80 = 0$$

$t_1 = 249,3 \text{ s et } t_2 = 10,7 \text{ s}$; $V_{xA} = -6t + 1,8$ si $t=249,3 \text{ s}$ on trouve V_{xA} est négative ; si $t=10,7 \text{ s}$ V_{xA} est positive : d'où $t_R=249,3\text{s}$.

L'abscisse du point de rattrapage $x_R = -6(256) + 80 \quad x_R = -1415 \text{ m}$.

EXERCICE 10

- 1) $d = 80 \text{ m}$; 2) $d_A = 70 \text{ m}$; 3) $d_{AB} = 30 \text{ m}$; 4) $V_B = 30 \text{ m.s}^{-1}$;
5) $x_A = -2,5t^2 + 30t + 10$ et $x_B = -2,5t^2 + 40t$; 6) oui choc à $t = 3 \text{ s}$.

EXERCICE 13 :

$$1. a_1 = 1 \text{ m.s}^{-2} ; a_2 = 0 ; a_3 = -3 \text{ m.s}^{-2} ; a_4 = 0 ; a_5 = -1,5 \text{ m.s}^{-2}.$$

2. $V_1=t$; $V_2=30m.s^{-1}$; $V_3=-3t+180$; $V_4=0$; $V_5=-1,5t+120$
3. Accéléré et sens positif ; uniforme et sens positif ; décéléré et sens positif ; arrêt ; accéléré et sens négatif.
4. $x_1=0,5t^2$; $x_2=30t-450$; $x_3=-1,5t^2+180t-4200$; $x_4=1200m$; $x_5=-0,75t^2+120t+3600$.
5. $x_1=0,5t^2-1050$; $x_2=30t-1500$; $x_3=-1,5t^2+180t-5250$; $x_4=150m$; $x_5=-0,75t^2+120t-4650$.

EXERCICE 14 :

- 1) $x_P=6t-25$ $x_B=0,5t^2$
- 2) a) non : pas d'intersection entre les courbes 2) b) $v_m=7m.s^{-1}$
- 3) $d=7m$
- 4) a) $t_1=14,14s$ b) $\Delta t=6,7s$

EXERCICE 16

- 1) $s(t) = 0,5\pi.t + \frac{\pi}{2}$;
- 2)
$$\begin{cases} x(t) = 2 \cos(0,25\pi.t + \frac{\pi}{4}) ; \\ y(t) = 2 \sin(0,25\pi.t + \frac{\pi}{4}) \end{cases}$$
- 3) $\vec{OM}(t_1) \begin{cases} x_1 = 0m. \\ y_1 = 2m \end{cases} \xrightarrow{OM(t_2)} \begin{cases} x_2 = -1,42m \\ y_2 = -1,42m \end{cases} \xrightarrow{V(t_1)} \begin{cases} V_{1x} = -0,5\pi.m.s^{-1} \\ V_{1y} = 0m.s^{-1} \end{cases} \xrightarrow{V(t_2)} \begin{cases} V_{2x} = 1,11m.s^{-1} \\ V_{2y} = -1,11m.s^{-1} \end{cases}$

EXERCICE: 17

- 1) Pour $M_1 : (y-4)^2 + (x-1)^2 = 4$ cercle de centre C (1 ; 4) et rayon 2m. Pour $M_2 : y = 6x^2 - 12x + 1$ parabole.
- 2) $V_1=4\pi m.s^{-1}$; $a_1=8\pi^2 m.s^{-2}$
- 3) $V_1=cste$ M.C.U
- 4) a) $t=0,5s$ $V_2=2\pi m.s^{-1}$; $a_2=48\pi^2 m.s^{-2}$ b) $a_T=0$; $a_N=a$
 $\rho=8,33cm$

EXERCICE 20

- a) $V = R \dot{\alpha} \Rightarrow V(t = 1,5s) = 0,7m.s^{-1}$. Le mouvement n'est pas uniforme car V varie
- b) $a_N=2,45m.s^{-2}$; $a_T=1,2m.s^{-2}$; $a=2,73m.s^{-2}$ $\tan \theta = \frac{a_T}{a_N} \Rightarrow \theta = 26,1^\circ$.

EXERCICE 21

- 1) $\omega=10\pi$ rad/s ; $X_m=0,04m$.
- 2) $x = 0,04 \cos(10\pi t - \frac{\pi}{2}) = 0,04 \sin(10\pi t)$; 3) $t = \frac{1}{60}s$; 4) $v_x(t_1) = 0,2\pi\sqrt{3}m.s^{-1}$ et $a_x = -2\pi^2 m.s^{-2}$; 5) $a_x \times v_x < 0$: mouvement décéléré

EXERCICE 25

- 1) $T=0,2s$; $\omega=10\pi \text{ rad/s}$
- 2) $x_0=-6\text{cm}$; $v_0=-0,6\pi\text{m/s}$; $a_0=6\pi^2\text{m/s}^2$.
- 3) $x(t) = 0,06 \cos(10\pi.t + \pi)$
- 4) $t_1=0,15s$.

EXERCICE 29

- 1) $A=4\text{cm}$; $B=3\text{cm}$; $\omega=2\pi\text{rad/s}$;
- 2) $x(t) = 0,05 \cos(2\pi.t - 0,64)$ 3) $a=-16\pi^2\text{cm/s}^2$.

CHAPITRES 2 ET 3

BASES DE LA DYNAMIQUE APPLICATION DES BASES DE LA DYNAMIQUE

A – OBJECTIFS

Choisir le référentiel adapté au mouvement.
 Mettre en évidence le centre d'inertie.
 Appliquer la relation barycentrique pour déterminer le centre d'inertie (cas simples)
 Exploiter des enregistrements (pour déterminer le centre d'inertie, vérifier le principe de l'inertie)
 Enoncer et formuler les lois de Newton.
 Calculer des moments d'inertie de divers solides par utilisation du théorème de Huygens.
 Résoudre des problèmes de dynamique
 Appliquer les théorèmes fondamentaux à des mouvements particuliers.
 Exploiter, interpréter des enregistrements de mouvements.

B-L'ESSENTIEL DU COURS

Le centre d'inertie d'un solide effectue un mouvement rectiligne uniforme (M.R.U) lorsque le solide évolue en étant pseudo-isolé.

Relation barycentrique :

Un système de masse m peut être décomposé en n solides élémentaires ayant chacun une masse m_i et un centre d'inertie G_i .

Le centre d'inertie G du système est alors donné par la relation :

$$\sum_{i=1}^n m_i \cdot \overrightarrow{OG_i} = m \cdot \overrightarrow{OG}$$

La quantité de mouvement d'un solide ponctuel, de masse m_i , ayant la vitesse $\vec{v}_i$ à la date t est donnée par le vecteur $\vec{p}_i = m_i \cdot \vec{v}_i$

Le vecteur $\vec{p}_i$ a même direction et même sens que le vecteur $\vec{v}_i$

Pour un solide, considéré comme constitué de n solides élémentaires, sa quantité de mouvement $\vec{p}_i$ est la somme vectorielle des quantités de mouvement de ses solides élémentaire :

$$\vec{p} = \sum_1^n \vec{P}_i = \sum_1^n m_i \cdot \vec{v}_i$$

La quantité de mouvement d'un solide est le produit de sa masse par le vecteur-vitesse de son centre d'inertie. $\vec{p} = m \cdot \vec{v}_G$

Première loi de Newton ou principe d'inertie

Lorsque les forces qui s'exerce sur un système se compensent (système pseudo-isolé), son centre d'inertie est soit au repos, soit en mouvement rectiligne uniforme. $\sum \vec{F} = \vec{0}$

Deuxième loi de Newton (relation fondamentale de la dynamique ou théorème du centre d'inertie)

la somme vectorielle des forces s'exerçant sur un solide est égale au dérivée par rapport au temps de la quantité de mouvement du solide.

$$\sum_1^n \vec{F} = \frac{d}{dt}(\vec{P}) = m \frac{d}{dt}(\vec{V}_G) = m \times \vec{a}_G$$

Troisième loi de Newton (loi des actions réciproques)

Lorsqu'un solide (S1) exerce sur un solide (S2) une action mécanique représentée par une force $\vec{F}_1$, le solide (S2) exerce sur le solide (S1) une action mécanique représenté par une force $\vec{F}_2$. Ces deux forces sont directement opposées : $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \vec{0}$

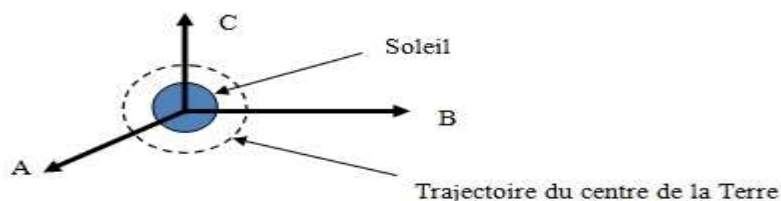
Référentiels galiléens

C'est un référentiel dans lequel le principe d'inertie est vérifié et la RFD est applicable.

Tout référentiel animé d'un mouvement de translation rectiligne et uniforme par rapport à un référentiel galiléen est lui-même galiléen

Référentiel de Copernic ou héliocentrique

Un repère du référentiel de Copernic a, pour origine le centre d'inertie du système solaire et trois axes dirigés vers trois étoiles fixes.

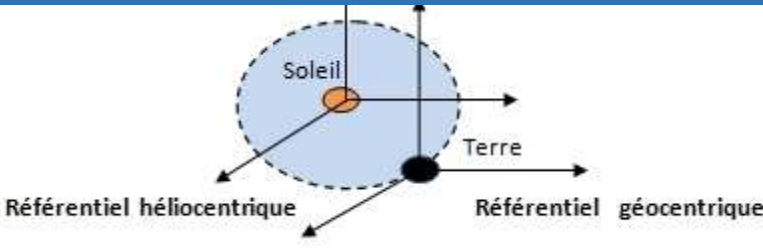


Référentiel géocentrique :

Un repère du référentiel géocentrique a pour origine le centre d'inertie de la terre et trois axes dirigés vers trois étoiles fixes du référentiel de Copernic.

Dans un repère géocentrique, si on se limite à des régions de l'espace voisines de la terre, on peut considérer, avec une très bonne

Approximations, ce repère comme galiléen à condition de ne pas prendre en compte les forces exercées par les axes autres que la terre. Cette approximation convient ainsi pour étudier le mouvement des satellites artificiels.



Référentiel terrestre ou du laboratoire

Un repère terrestre est lié à la terre et est entraîné par cette dernière dans son mouvement de rotation sur elle-même. Si on ne demande pas une trop grande précision et si les expériences n'ont pas une trop grande durée, on peut également assimiler ce repère à un repère galiléen.

Théorème de l'accélération angulaire

Dans un référentiel galiléen, lorsqu'un solide de moment d'inertie J_{Δ} est en rotation autour d'un axe fixe Δ , le moment par rapport à cet axe de la résultante des forces appliquées au solide est tel que : $\sum M_{\Delta}(\vec{F}) = J\ddot{\theta}$

Théorème de l'énergie cinétique :

La variation de l'énergie cinétique d'un solide entre deux instants est égale à la somme des travaux des forces extérieures appliquées au solide.

$$\sum W_{\vec{F}(1,2)} = E_{c1} - E_{c2}$$

Théorème de Huygens :

Le moment d'inertie d'un solide de masse M par rapport à un axe (D) est égal à son moment d'inertie par rapport à un axe (Δ) parallèle à (D) et passant par son centre de gravité augmenté du produit Md^2 , d est la distance entre les deux axes

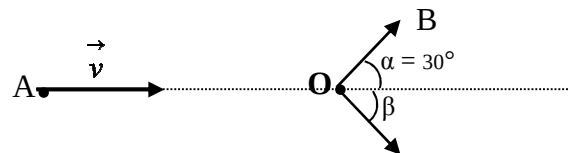
On note :

$$J(D) = J(\Delta) + Md^2$$

C - EXERCICES

EXERCICE 1 :

1) Un noyau d'hélium (particule α) animé d'une vitesse $\vec{v}$ rencontre un atome d'hydrogène immobile dans le référentiel du laboratoire. Montrer que l'atome d'hydrogène part dans la direction de $\vec{v}$ avec une vitesse de $1,6v$.



2) Un noyau d'hélium rencontre un autre noyau d'hélium immobile. Le noyau incident arrivant suivant AO est dévié suivant OB (voir figure).

a) Calculer l'angle β que fait, avec AO, la direction suivant laquelle part le noyau d'hélium initialement immobile.

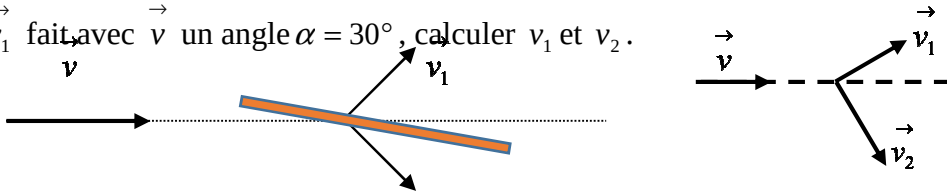
b) Calculer le rapport des énergies des particules après le choc.

EXERCICE 2

Un objet A de masse m animé d'une vitesse $\vec{v}$ heurte un objet B de masse identique au repos. On suppose le choc est parfaitement élastique.

1) Montrer que les vecteurs $\vec{v}_1$ et $\vec{v}_2$ sont perpendiculaires.

2) $\vec{v}_1$ fait avec $\vec{v}$ un angle $\alpha = 30^\circ$, calculer v_1 et v_2 .



On donne $v = 2\text{ m.s}^{-1}$.

EXERCICE 3 :

1) **Choc mou** : deux palets A et B de masses respectives m_1 et m_2 sont lancés sur une table à coussin d'air horizontale avec des vitesses respectives $\vec{v}_1$ et $\vec{v}_2$ non colinéaires. Au moment du choc les palets s'accrochent et le centre d'inertie de l'ensemble a alors une vitesse $\vec{v}$.

1.1) Déterminer le vecteur vitesse $\vec{v}$ (application numérique : $m_1 = 635\text{ g}$; $m_2 = 1100\text{ g}$;

$v_1 = 50\text{ cm.s}^{-1}$; $v_2 = 40\text{ cm.s}^{-1}$ et $(\vec{v}_1, \vec{v}_2) = 45^\circ$.

1.1) Calculer la variation d'énergie cinétique de translation du système, en supposant qu'avant le choc les palets ne tournent pas sur eux-mêmes. Montrer qu'elle est toujours négative. Pourquoi ?

2) **Choc élastique** : un choc est dit élastique lorsque l'énergie cinétique totale du système se conserve ; il n'y a pas de dissipation d'énergie thermique au cours du choc ni de déformation irréversible. On se limitera à un choc frontal des deux palets A et B pouvant se déplacer sur un axe horizontal sans frottement en translation rectiligne. Leurs vitesses initiales sont $\vec{v}_1$ et $\vec{v}_2$.

1.1) Déterminer leurs vitesses $\vec{v}_1'$ et $\vec{v}_2'$ après le choc supposé élastique ; $\vec{v}_1'$ et $\vec{v}_2'$ sont portés par l'axe du mouvement. AN : $\vec{v}_1$ et $\vec{v}_2$ sont opposés, $v_1 = 50\text{ cm.s}^{-1}$; $v_2 = 40\text{ cm.s}^{-1}$.

2.1) Examiner les cas particuliers suivants :

$m_1 = m_2 = m$ et $v_2 = 0$; m_2 très grand devant m_1 et $v_2 = 0$. Illustrer chaque cas.

3) Soient deux points matériels de masses m identiques dont l'un est cible immobile et l'autre est animé d'une vitesse de vecteur vitesse $\vec{v}_1$. Montrer que leur vecteur vitesse après un choc élastique sont orthogonales.

EXERCICE 4 :

Dans un repère $(O, \vec{i}, \vec{j})$ on place en $A_1(2\text{ cm}, 1\text{ cm})$ un objet ponctuel de masse $m_1 = 1\text{ g}$, en $A_2(9\text{ cm}, 4\text{ cm})$ un objet ponctuel de masse $m_2 = 2\text{ g}$.

1) Déterminer la position du centre d'inertie G de l'ensemble ?

2) On place en $A_3(0, 7\text{ cm})$ un objet de masse $m_3 = 1\text{ g}$; quelle est la position du centre d'inertie G' de l'ensemble ?

EXERCICE 5 :

Un solide de masse m_1 est lancé avec une vitesse v_1 ; il heurte un solide de masse m_2 animé de la vitesse v_2 . Les deux solides supposés ponctuels se déplacent sur le même plan horizontal, leurs vecteurs vitesses sont colinéaires mais de sens contraires.

On donne : $m_1 = 200\text{g}$; $m_2 = 400\text{g}$; $v_1 = 1,2\text{m.s}^{-1}$; $v_2 = 0,75\text{m.s}^{-1}$.

1) Le choc est parfaitement élastique.

- 1.1) Trouver les valeurs et les sens des vecteurs vitesses après le choc.
- 1.2) On appelle G le centre d'inertie du système constitué par les deux solides. Quelle est la vitesse de G avant le choc ? Quelle est sa vitesse après le choc ?
- 1.3) On considère le repère R_G défini par le centre de gravité G du système et l'axe Gx orienté positivement dans le sens du mouvement de S_1 . Déterminer dans ce repère les vitesses des solides avant et après le choc.

2) Le choc mou.

Les deux solides se heurtent maintenant avec les mêmes vitesses que précédemment mais restent collés après le choc. Déterminer la vitesse V de l'ensemble après le choc.

- 2.1) Comparer ce résultat à celui de la question 1.2). Conclure.
- 2.2) Comparer les énergies cinétiques du système avant et après le choc.

EXERCICE 6 :

Deux projectiles (A) et (B) sont lancés verticalement, de bas en haut, à partir de deux points voisins situés dans un même plan horizontal d'altitude notée zéro. Le premier (A) part à la date $t = 0\text{ s}$, avec la vitesse initiale de module $v_0 = 49\text{m.s}^{-1}$. Le deuxième (B) part 2 s plus tard avec la vitesse initiale de module $v'_0 = 53,9\text{m.s}^{-1}$.

L'action de l'air est négligée et $g = 9,8\text{ m.s}^{-2}$. L'origine des dates est prise à l'instant de départ de (A).

- 1) Faire l'étude dynamique du mouvement de chaque projectile.
- 2) A quelle date (A) atteint-il son altitude maximale ? Quelle est, à cet instant, l'altitude de (B) ?
- 3) Déterminer la date t' de leur croisement et l'altitude correspondante.
- 4) Déterminer les caractéristiques des vecteurs vitesses $\vec{v}_A$ et $\vec{v}_B$ de chacun des corps à l'instant t' .

EXERCICE 7 :

Un ascenseur de masse $m = 2000\text{ kg}$, effectue un déplacement vertical sur une hauteur h. La trajectoire $z'z$ de son centre d'inertie est munie du repère $(O, \vec{k})$.

1) La montée : A partir du repos la montée comporte trois phases :

Première phase : mouvement uniformément accéléré de durée $t_1 = 3\text{s}$.

Deuxième phase : mouvement uniforme sur une distance de 36 m et de durée $t_2 = 6\text{s}$.

Troisième phase : mouvement uniformément retardé de durée $t_3 = 4\text{ s}$ jusqu'à l'arrêt.

- 1.1) Déterminer la hauteur h.
- 1.2) Le mécanisme de commande du mouvement exerce, sur le câble relié à l'ascenseur,

une force verticale $\vec{T}$. Déterminer son module dans chacune des phases précédentes.

On donne : $g = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$.

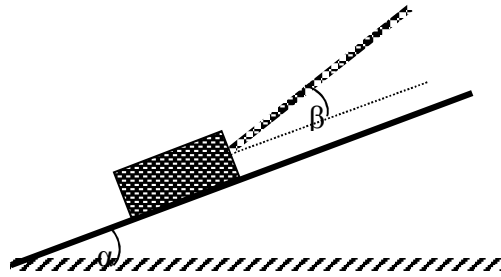
2) La descente : L'ascenseur partant du repos, on retrouve lors de la descente la même phase de mouvement uniforme (soit 36 m parcourus en $t_2' = 6 \text{ s}$), encadrée dans le temps, par deux phases de mouvement uniformément varié qui ont même durée $t_1' = t_3'$.

2.1) Déterminer la durée t de la descente ?

2.2) Répondre à la même question qu'en 1.2).

EXERCICE 8 :

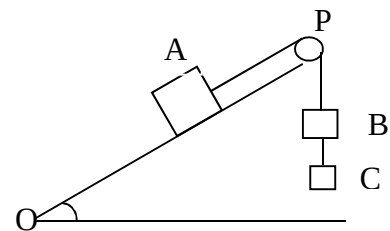
Un traîneau de masse $m = 200 \text{ kg}$ est tiré, suivant une ligne de plus grande pente d'un plan incliné d'un angle α par rapport à l'horizontal, par l'intermédiaire d'un câble faisant un angle β avec celle-ci. $\alpha = 20^\circ$; $\beta = 30^\circ$; $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$.



- 1) La tension du câble vaut $T = 1000 \text{ N}$. Le mouvement étant uniforme de vitesse $V = 10 \text{ km.h}^{-1}$, déterminer la réaction, somme des forces de contact exercées par le sol sur le traîneau.
- 2) On augmente la tension, et le mouvement du traîneau devient uniformément accéléré.
 - 2.1) Les forces de frottement exercées par le sol restent identiques, la réaction est-elle modifiée ?
 - 2.2) La vitesse du traîneau passe de 10 km.h^{-1} à 20 km.h^{-1} sur une distance de 10 m. Calculer la puissance exercée par la tension du câble lorsque la vitesse est 15 km.h^{-1} .

EXERCICE 9 :

Un corps A de masse $m = 1 \text{ kg}$ peut glisser sans frottement sur un plan OP incliné d'un angle $\alpha = 30^\circ$ sur le plan horizontal. Ce corps est relié par un fil inextensible et de masse négligeable, passant par la gorge d'une poulie P d'inertie négligeable, à un corps B de masse $m_1 = 400 \text{ g}$, auquel est suspendu un autre corps C de masse $m_2 = 200 \text{ g}$.



- 1) Le système est abandonné à lui-même, A se trouve en O, à la base du plan incliné.
 - 1.1) Quelle est l'accélération prise par l'ensemble ?
 - 1.2) Quel est le temps mis par A pour parcourir 1,25 m ?
 - 1.3) Quelle est la vitesse à cet instant ?
 - 1.4) Quelles sont les tensions des fils liant A à B et B à C ?
- 2) Après ce parcours de 1,25 m, C bute sur un obstacle et se décroche.
 - 2.1) Calculer la nouvelle accélération du système.
 - 2.2) Calculer la distance parcourue par A depuis le départ.
 - 2.3) Déterminer la nouvelle tension du fil.
 - 2.4) Au bout de combien de temps, mesuré depuis le départ de O, A sera-t-il de retour en bas du plan incliné ?

EXERCICE 10 :

Une automobile, en panne de moteur, assimilable à un solide en translation, a une masse $m = 1200 \text{ kg}$. Elle est poussée par un véhicule de secours.

- 1) Le démarrage de l'automobile en panne sur une route rectiligne horizontale commence par une phase d'accélération pendant laquelle le véhicule qui la pousse exerce une force constante $\vec{F}$ parallèle au déplacement et dirigé vers l'avant. On admettra qu'aucune force ne s'oppose à l'avancement de l'automobile pendant cette phase. On se propose d'étudier le mouvement du centre d'inertie G de l'automobile. A la date $t = 0$, instant du démarrage, G se trouve à l'origine de l'axe O avec une vitesse nulle. (Figure 1)

Les vecteurs accélérations, vitesse et position peuvent respectivement s'écrire :

$$\vec{a} = a\vec{i}; \quad \vec{v} = V\vec{i}; \quad \vec{OG} = x\vec{i}$$

- 1.1) Faire le bilan des forces extérieures agissant sur l'automobile et les représenter appliquées en G.
- 1.2) L'automobile atteint une vitesse $V = 120 \text{ km.h}^{-1}$ après un parcours de 600 m.
- 1.2.1) Etablir l'expression de l'accélération a de l'automobile en fonction des données du texte.
- 1.2.2) En déduire les expressions de V et de x en fonction du temps.
- 1.2.3) Etablir, à partir de ces expressions, celle reliant x , V^2 et a .
- 1.2.4) En déduire la valeur de a , puis calculer l'intensité de la force $\vec{F}$.

- 2) Suite au parcours précédemment à la suite duquel la voiture avait atteint la vitesse de 120 km.h^{-1} , celle-ci est libérée de l'action de pousser au point A. Elle arrive alors sur une portion de route schématisée ci-après. (Figure 2)

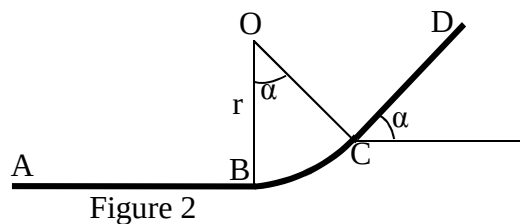
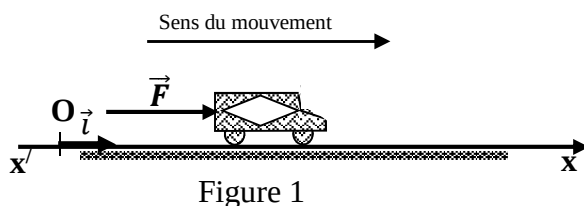
- AB est rectiligne et horizontal de longueur L_1 .
- BC est circulaire de centre O de rayon $r = 100 \text{ m}$. OC fait un angle $\alpha = 15^\circ$ avec la verticale.
- CD est rectiligne de longueur L_2 et fait un angle $\alpha = 15^\circ$ avec l'horizontale.

Dans toute cette partie, les frottements sont négligés, sauf sur la partie CD pour laquelle ils sont équivalents à une force unique $\vec{f}$ de valeur constante.

- 2.1) L'automobile arrive en B. Justifier, sans calcul, que $V_B = 120 \text{ km.h}^{-1}$.
- 2.2) Etablir l'expression de la vitesse V_C de l'automobile au point C en fonction de V_B , r , g et α .
- 2.3) Etablir l'expression de la réaction R de la route au point C en fonction de V_B , r , g , m et α .
- 2.4) L'automobile s'arrête sur le tronçon CD après avoir parcouru la distance $L_3 = 150 \text{ m}$.

Calculer la valeur de la force de frottement s'exerçant sur le tronçon CD.

On donne $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$.



EXERCICE 11 :

Une fusée à décollage vertical a une masse au sol m_0 . Elle décolle à la date $t = 0$.

- 1) Les gaz sortant d'une tuyère servent à la propulsion de la fusée. La vitesse d'éjection des gaz par rapport à la fusée est $\vec{V}_e$, le débit massique des gaz est K . Soit m la masse de la fusée à l'instant t et $\vec{v}$ sa vitesse par rapport à un repère terrestre (supposé galiléen).

En appliquant le théorème de la quantité de mouvement, exprimer l'accélération $\vec{a}$ de la fusée à l'instant t , en fonction de m , $\vec{V}_e$ et $\vec{g}$ (accélération de la pesanteur supposée constante). On négligera la résistance de l'air.

- 2) Le débit massique K est constant, on étudie le mouvement vertical ascendant de la fusée.

2.1) Soit m_0 la masse initiale de la fusée. Exprimer le module a de l'accélération en fonction du temps.

2.2) Sachant qu'au départ $a = 0$ pour $m_0 = 10$ tonnes, $V_e = 2450 \text{ m.s}^{-1}$, calculer K .

On prendra $g = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$

- 3) La masse de combustible représente les $\frac{4}{5}$ de la masse totale initiale m_0 .

2.1) Au bout de combien de temps le carburant est-il épuisé ?

2.2) Quelle est la vitesse atteinte à cet instant ?

2.3) Quelle est alors l'altitude de la fusée ?

EXERCICE 12 :

On étudie le mouvement d'une bille B en verre de rayon r , de masse m , tombant sans vitesse initiale dans le glycérol. Sur la bille en mouvement s'exercent son poids $\vec{P}$ ou force de pesanteur, la force de résistance du fluide $\vec{f}$ et la poussée d'Archimède $\vec{F}$ due également au fluide :

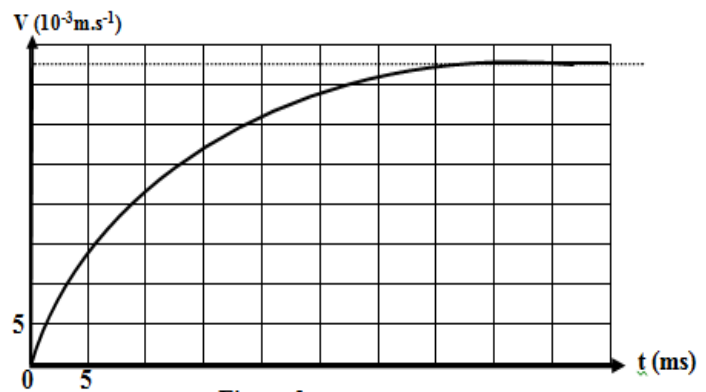


Figure 3

✓ La résistance $\vec{f}$ est une force colinéaire et de sens opposé au vecteur vitesse instantanée de la bille, et de valeur $f = 6\pi\eta r.V$; relation où V représente la valeur de la vitesse instantanée de la bille, r son rayon et η est une constante caractéristique du fluide (viscosité).

✓ La poussée d'Archimède $\vec{F}$ est une force verticale dirigée de bas en haut dont l'intensité est égale au poids du fluide déplacé par la bille ; soit $F = \rho.g.V_{ol}$.

On donne : $g = 9.8 \text{ m.s}^{-2}$; masse volumique du verre $\rho_{\text{ver}} = 2,45 \text{ g.cm}^{-3}$; masse volumique du glycérol $\rho = 1,26 \text{ g.cm}^{-3}$; viscosité du glycérol $\eta = 1,49 \text{ Pa.s}$;

volume d'une sphère $V_{ol} = \frac{4\pi}{3}r^3$.

- 1) Représenter sur un schéma les forces appliquées à la bille à un instant où sa vitesse est $\vec{V}$.
- 2) Montrer, par application de la deuxième loi de Newton dans un repère que l'on précisera, que l'équation différentielle du mouvement de la bille s'écrit: $\frac{dV}{dt} + \left(\frac{6\pi\eta r}{m}\right)V = g\left(1 - \frac{\rho}{\rho_{ver}}\right)$.
- 3) Montrer l'existence d'une vitesse limite. Préciser son expression en fonction de $\eta, r, \rho, \rho_{ver}, g$ et m puis en fonction de $\eta, r, \rho, \rho_{ver}$ et g .
- 4) Le graphique de la figure 3 représente l'évolution au cours du temps de la vitesse de la bille B abandonnée sans vitesse initiale dans le glycérol.
 - 4.1) A partir du graphique, déterminer la valeur de la vitesse limite de la bille. En déduire le rayon de la bille et sa masse.
 - 4.2) Calculer la vitesse limite qu'atteindrait une bille en verre C de rayon $2r$ abandonnée sans vitesse initiale dans le glycérol.
 - 4.3) Au bout de combien de temps peut-on estimer que la bille B a atteint sa vitesse limite?
- 5) Quelle serait la loi de variation de la vitesse de la bille B lâchée sans vitesse initiale dans le vide ?
- 6) Recopier la figure 3 et ébaucher la courbe traduisant la variation de cette vitesse en fonction du temps.

EXERCICE 13 :

Le système d'oxygénation de l'eau d'un aquarium est constitué d'une pompe à air et d'un diffuseur qui produit de petites bulles d'air sphériques qui remontent verticalement vers la surface.

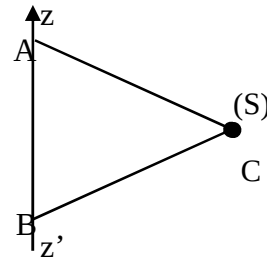
On étudie ici le mouvement d'une bulle, de rayon r et de masse volumique $\rho = 1,3 \text{ kg.m}^{-3}$. On suppose qu'elle conserve le même volume V durant toute la remontée. Elle est soumise, entre autres, à une force de frottement fluide de la forme $\vec{f} = -k.\vec{v}$ avec $k = 6\pi\eta r$ et $\eta = 1,0.10^{-5} \text{ Pa.s}$ est appelé viscosité de l'eau. La masse volumique de l'eau est $\rho_0 = 1,0.10^3 \text{ kg.m}^{-3}$.

- 1) Faire l'inventaire des forces qui s'exercent sur la bulle.
- 2) Ecrire l'équation différentielle relative à la vitesse de la bulle en utilisant un axe vertical orienté vers le haut.
- 3) Sachant que la vitesse limite est $v_l = 15 \text{ m.min}^{-1}$, calculer le rayon de la bulle.
 - 3.1) Montrer que l'équation différentielle peut se mettre sous la forme $\frac{dv}{dt} + \frac{k}{m}.v = \frac{k}{m}.v_l$, m étant la masse de la bulle d'air.
 - 3.2) Montrer que la solution de l'équation différentielle peut se mettre sous la forme : $v = A(1 - e^{-Bt})$ où A et B sont des constantes à exprimer en fonction de k , m et v_l .
- 4) Le temps caractéristique du mouvement ou constante de temps, noté τ , est la durée au bout de laquelle la vitesse atteint 63% de la valeur limite.
 - 4.1) Calculer ce temps caractéristique.
 - 4.2) Lorsque $t = 5\tau$, la vitesse limite est atteinte à moins de 1% près. Conclure.

4.3) En déduire la durée Δt nécessaire pour que la bulle remonte à la surface si la profondeur est $h = 0,6\text{m}$.

EXERCICE 14 :

Une sphère (S) assimilable à un point matériel C de masse m est reliée à deux points A et B d'un axe vertical zz' par deux fils de même longueur l inextensibles et de masse négligeable (voir figure). On pose : $AB = 2a$.



1) L'axe zz' , étant mis en rotation, est animé d'un mouvement circulaire uniforme, de vitesse angulaire ω . Les fils AC et CB étant constamment tendus.

Exprimer en fonction de m , l , a , ω et g , les intensités des tensions $\vec{T}_1$ et $\vec{T}_2$ exercées respectivement par les fils AC et CB sur la sphère (S).

2) Montrer que la tension $\vec{T}_2$ n'existe qu'au-delà d'une certaine valeur de la vitesse angulaire ω .

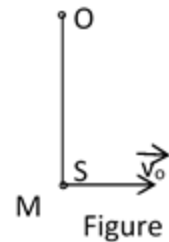
On donne : $m = 1,2\text{kg}$, $l = 0,60\text{m}$, $2a = 1,00\text{ m}$ et $g = 10\text{ m.s}^{-2}$.

3) Calculer les normes T_1 et T_2 pour $\omega = 6\text{ rad.s}^{-1}$, $4,2\text{ rad.s}^{-1}$ et $3,0\text{ rad.s}^{-1}$.

EXERCICE 15:

Tous les frottements sont négligeables ; on prendra $g = 10\text{ m.s}^{-2}$

1) Un solide ponctuel S de masse m est suspendu en un point O par 'intermédiaire d'un fil inextensible de longueur $l = 50\text{cm}$. (figure ci-contre). Le solide S étant initialement au repos en M_0 , on lui communique une vitesse horizontale $\vec{V}_0$ de telle sorte qu'il décrive un mouvement circulaire autour de O, dans le plan vertical.



La position M du solide S au cours de son mouvement est repérée par l'angle

$\alpha = (\overrightarrow{OM_0}, \overrightarrow{OM})$ Montrer que l'intensité de la tension du fil en fonction de la vitesse v du solide, de α , m , g et l vérifie la relation : $T = mg \cos \alpha + \frac{mv^2}{l}$.

1.1) Déterminer la valeur minimale de la vitesse v_H au point culminant H atteint par le solide, pour que le fil reste tendu.

1.2) Déterminer la valeur minimale de la vitesse v_0 initialement communiquée au solide.

2. La vitesse du solide S, en M_0 , vaut $v_0 = 5\text{m.s}^{-1}$, il se détache, à partir du point E tel que $\beta = (\overrightarrow{OM_0}, \overrightarrow{OE}) = 60^\circ$; sa vitesse est alors V_E .

2.1) Déterminer le module v_E de la vitesse de S en E.

2.2) En prenant comme origine des dates l'instant où le solide se détache en E, établir dans le repère $(\vec{EX}, \vec{EY})$ du plan vertical, les équations horaires du mouvement du solide S. En déduire l'équation et la nature de sa trajectoire.

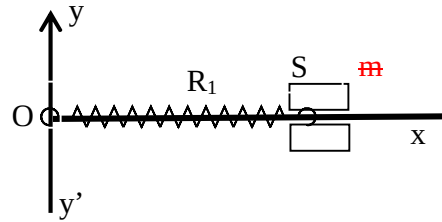
EXERCICE 16 :

1) A un axe vertical YY' est fixée une tige OX . Sur cette tige est enfilé un ressort R_1 de constante de raideur $k = 12,5\text{N.m}^{-1}$ et de longueur à vide $l_0 = 20\text{ cm}$. Une de ses extrémités est

fixée à l'axe YY' , l'autre est attachée à un solide S de masse $m = 10 \text{ g}$ qui peut glisser sans frottement le long de la tige OX .

1.1) On fait tourner l'ensemble autour de YY' avec une vitesse angulaire ω . Exprimer l'allongement x en fonction de ω , m , l_0 et k .

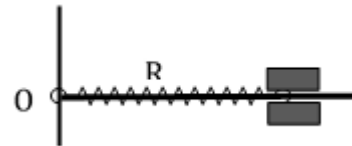
1.2) Le ressort ne pouvant, sans déformation permanente, dépasser une longueur de 1m , déterminer la plus grande vitesse angulaire permise



2) Sur la tige OX est enfilé à la suite du ressort R_1 un deuxième ressort R_2 identique ; une de ses extrémités est fixée au solide S , dont la longueur est négligeable, à l'autre extrémité est attachée un solide S' de masse $m' = m$, qui glisse également sans frottement sur OX et peut être considérée comme ponctuelle. L'ensemble tourne autour de OX avec une vitesse angulaire ω . Calculer les longueurs l et l' des deux ressorts quand le système tourne avec une vitesse angulaire $\omega = 10 \text{ rad.s}^{-1}$.

EXERCICE 17 :

On considère le montage de la figure ci-contre ; (R) est un ressort de constante de raideur K , de longueur à vide l_0 . Son extrémité A est fixée à une tige horizontale entraînée par un axe (Δ) vertical. L'extrémité B de ce ressort est fixée à un solide de masse m pouvant coulisser sur la tige AB sans frottement.



1) L'ensemble tourne à la vitesse angulaire constante ω dans le plan horizontal. Calculer l'allongement pris par le ressort en fonction de m , K , l_0 et ω .

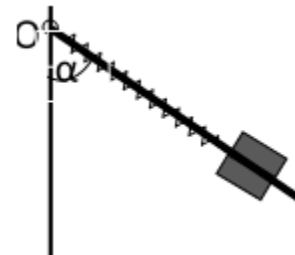
AN : $\omega = 2 \text{ tours/s}$, $K = 30 \text{ N/m}$, $m = 100 \text{ g}$, $l_0 = 20 \text{ cm}$, $\pi^2 = 10$.

2) La tige est inclinée d'un angle $\alpha = 45^\circ$ par rapport à la verticale.

2.1) Etablir l'expression de la tension T du ressort en fonction de m , g , l_0 , x (allongement), α .

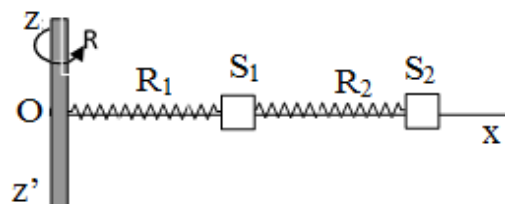
2.2) Etablir l'expression de l'allongement du ressort. Faire l'application numérique.

2.3) Calculer la vitesse linéaire du solide de masse m .



EXERCICE 18 :

Deux ressorts identiques R_1 et R_2 , de masse négligeable, ont pour longueur à vide $l_0 = 0,2 \text{ m}$, leur coefficient de raideur $k = 40 \text{ N.m}^{-1}$. Une barre $z'z$ verticale est soudée en O à une tige Ox horizontale. On enfile sur cette tige :



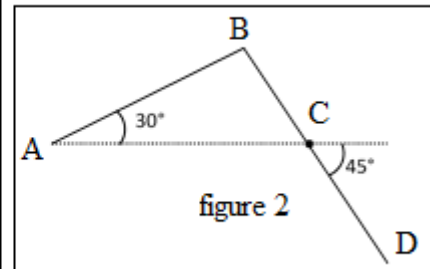
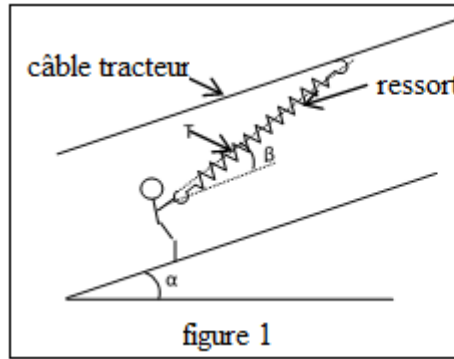
- le ressort R_1 fixé en O ;
- un solide S_1 ponctuelle de masse m_1 fixée à R_1

• le ressort R_2 fixé à S_1 d'un côté et à un autre solide ponctuelle S_2 de masse m_2 de l'autre. La barre $z'z$, en tournant sur elle-même entraîne l'ensemble dans son mouvement de rotation uniforme de vitesse angulaire $\omega = 10 \text{ rad.s}^{-1}$. Déterminer les allongements b_1 et b_2 des ressorts R_1 et R_2

Données : $m_1=50\text{g}$; $m_2=20\text{g}$; on néglige les frottements le long de Ox .

EXERCICE 19 :

Tiré par un remonte-pente, un skieur de masse $m = 80\text{kg}$ gravit une piste rectiligne, inclinée d'un angle $\alpha=30^\circ$ par rapport au plan horizontal, d'un mouvement qui



comporte deux phases : une phase uniformément accélérée, sans vitesse initiale d'accélération $\gamma = 0,25 \text{ m.s}^{-2}$ et une phase uniforme à vitesse constante $v = 2 \text{ m.s}^{-1}$.

1) Calculer les durées respectives de ces deux phases, sachant que la distance totale parcourue est $d=50\text{m}$.

2) Le skieur est relié au câble tracteur par une tige métallique, T, et par un ressort R, tous deux de masse négligeable. La tige fait un angle constant $\beta = 30^\circ$ avec la ligne de plus grande pente de la piste inclinée. Calculer, pour les deux phases du mouvement, les tensions respectives du ressort R, en admettant l'existence d'une force de frottement au contact du sol, dont l'intensité est 25 N et dont la direction est parallèle à celle de la ligne de plus grande pente de la piste.

3) Au moment où il se libère de la tige qui le tire, le skieur arrive sur une piste horizontale sur laquelle il effectue un mouvement rectiligne uniformément retardé de vitesse initiale $v = 2 \text{ m.s}^{-1}$. Au bout de combien de temps et après avoir parcouru quelle distance s'arrête-t-il, sachant que la force de frottement est alors 40 N .

4) Le skieur descend, en suivant la ligne de plus grande pente, une piste rectiligne de longueur 20 m , inclinée d'un angle $\alpha_1 = 45^\circ$ par rapport au plan horizontal. Calculer la vitesse du skieur au bas de la pente, sachant qu'il est parti sans vitesse initiale et que la force de frottement définie à la question 2 vaut alors 28 N .

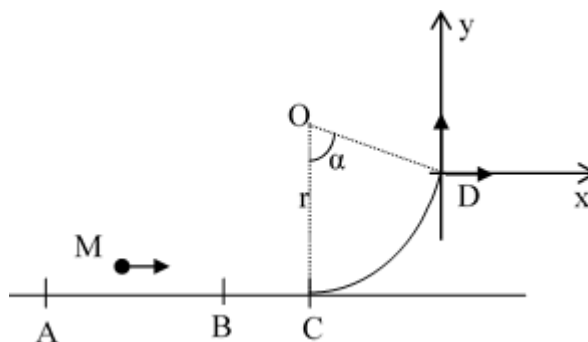
5) Lorsque sa vitesse est 7 m.s^{-1} , le skieur aborde un virage horizontal de 5 m de rayon, sur un tronçon de piste verglacée où la force de frottement précédemment définie peut être considérée comme nulle. De quel angle la piste doit-elle être relevée à cet endroit pour que le virage horizontal soit possible sans dérapage ?

6) Au cours de sa descente, le skieur rencontre un tronçon rectiligne AB qui remonte en faisant un angle constant $\alpha = 30^\circ$ avec le plan horizontal. En B se produit une brusque rupture de pente, et le tronçon rectiligne BC fait un angle constant $\alpha_1 = 45^\circ$ avec le plan horizontal (figure 2). Arrivant en B avec une vitesse de 14 m.s^{-1} , le skieur effectue un saut. Situer le point D de BC où le skieur reprend contact avec la piste et calculer sa vitesse à cet instant.

N.B : Tout au long de ce problème, on néglige la résistance de l'air et on prendra $g = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$.

EXERCICE 20

La piste de lancement d'un projectile M comprend une partie rectiligne horizontale ABC et une portion circulaire CD, centrée en O, de rayon $r = 1 \text{ m}$, d'angle au centre $\alpha = 60^\circ$ et telle que OC soit perpendiculaire à AC. Le projectile M, assimilable à un point matériel de masse $m = 0,5 \text{ kg}$, est lancé suivant AB de longueur 1 m avec une force constante $\vec{F}$, horizontale et ne s'exerçant qu'entre A et B.



- 1) Enoncer le théorème de l'énergie cinétique pour un solide assimilable à un point matériel.
- 2) En appliquant ce théorème, déterminer l'intensité minimale à donner à $\vec{F}$ pour que le projectile quitte la piste en D.
- 3) L'intensité de la force est égale à 150 N . Donner la valeur numérique de la vitesse V_D avec laquelle le projectile quitte la piste en D.
- 4) Donner l'équation de la trajectoire du solide au-delà de D dans un repère orthonormal d'origine D.
- 5) Quelle est la hauteur maximale atteinte au-dessus de l'horizontale ABC ?
- 6) Quelle est l'intensité de la force exercée par le projectile sur la piste au moment de la quitter en D avec la vitesse $\vec{v}_D$ précédente ?

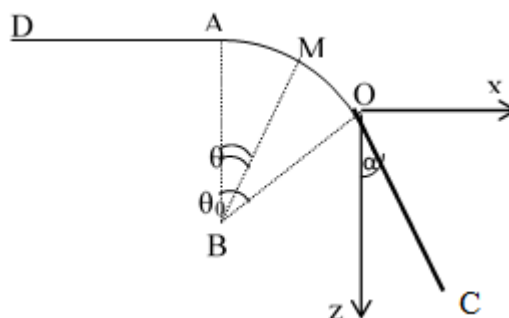
On néglige les frottements et on donne $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$.

EXERCICE 21 :

Un skieur de masse m glisse sur une piste horizontale DA à vitesse constante.

En A, commence une portion de piste circulaire de rayon $R = BA$ (B est à la verticale de A).

Les frottements sont négligés et on admet que le skieur est assimilable à un point dont la trajectoire suit la forme de la piste (voir figure).



- 1) Etablir l'expression littérale de la vitesse de M en fonction de l'angle $\theta = (\text{ABM})$ et de la vitesse V_A .
- 2) Montrer que le skieur quitte la piste circulaire en un point O pour lequel il est demandé le calcul de l'angle noté θ_0 .

Application numérique : $V_A = 10 \text{ m.s}^{-1}$; $BA = R = 20 \text{ m}$; $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$.

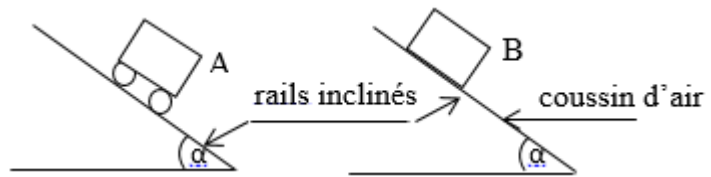
- 3) Au même point O commence une troisième portion de piste rectiligne faisant un angle $\alpha = 45^\circ$ avec la verticale. Dans le repère Oxz , établir l'équation de la trajectoire de M. Déterminer la distance OC, C correspondant au point de rencontre du skieur avec la piste de réception.

EXERCICE 23 :

Vous disposez de deux dispositifs d'étude expérimentale :

- un chariot A de masse $m = 0,20\text{kg}$ monté sur de petites roues à roulements à billes, pouvant se déplacer sur un rail incliné ; (la masse des roues est négligeables devant m) ;

- un mobile B se déplaçant sur coussin d'air sur un rail incliné. Après avoir vérifié expérimentalement que le mouvement de chacun de ces mobiles est un mouvement rectiligne uniformément accéléré pour une inclinaison donnée, vous vous proposez d'étudier l'influence de l'inclinaison sur le mouvement. Pour une même longueur x de parcours, vous mesurez les durées t du voyage du chariot A, et du mobile B, pour des inclinaisons différentes.



Vous obtenez les résultats suivants :

CHARIOT A : pour des distances $x = 1,5\text{m}$

$\sin \alpha$	$8,5 \cdot 10^{-2}$	$10 \cdot 10^{-2}$	$11,5 \cdot 10^{-2}$	$13 \cdot 10^{-2}$	$16 \cdot 10^{-2}$	$17,5 \cdot 10^{-2}$
$t \text{ (s)}$	3,0	2,5	2,2	2,0	1,7	1,6

MOBILE B : pour des distances $x' = 1,25\text{m}$

$\sin \alpha$	$2,3 \cdot 10^{-2}$	$4,5 \cdot 10^{-2}$	$6,5 \cdot 10^{-2}$	$10 \cdot 10^{-2}$	$13 \cdot 10^{-2}$	$15,5 \cdot 10^{-2}$
$t \text{ (s)}$	3,3	2,4	2,0	1,6	1,4	1,3

1) Pour chaque valeur de $\sin \alpha$, calculer l'accélération γ prise par chacun des mobiles. Faites une représentation graphique de $\gamma = f(\sin \alpha)$ pour chaque mobile, dans un même système d'axes.

Echelles : abscisse : 5 cm représentent $5 \cdot 10^{-2}$; ordonnée : 5 cm représentent $0,5\text{m.s}^{-2}$; prévoir l'intervalle $[-0,5, +1,5]\text{m.s}^{-2}$.

2) Tirer une conclusion sur la nature de l'influence de l'inclinaison du rail sur l'accélération du mobile. Déterminer la valeur de l'accélération de la pesanteur que l'on peut déduire de chaque graphe.

3) En comparant l'allure des deux graphiques, que pouvez-vous dire du mouvement du chariot par rapport au mouvement du mobile sur coussin d'air ?

4) En admettant les frottements constants (dans le domaine d'inclinaison étudié), déduire du graphique correspondant au chariot la valeur de ces frottements.

EXERCICE 23 : (BAC S₂ 2013)

Dans beaucoup de moteurs, pour diminuer l'usure des pièces mécaniques, on utilise des huiles dont l'une des caractéristiques fondamentales est la viscosité.

Dans ce qui suit, on se propose de déterminer la viscosité d'une « huile moteur ». Pour cela, on étudie la chute verticale d'une bille en acier d'abord dans l'air puis dans l'huile. Dans les deux

cas, la bille est lâchée sans vitesse initiale à partir d'un point O du fluide pris comme origine de l'axe (ox) vertical et orienté vers le bas et l'instant de lâcher est pris comme origine des dates $t = 0$. Sur la bille s'exercent les forces suivantes :

- Son poids $\vec{P}$;
- La résistance $\vec{f}$ du fluide, qui est une force colinéaire et de sens opposé au vecteur vitesse instantanée de la bille, d'intensité $f = 6\pi\eta rV$, expression où η est la viscosité du fluide supposée constante, V est la valeur de la vitesse instantanée de la bille et r son rayon ;
- La poussée d'Archimède $\vec{F}$ qui est une force verticale orientée vers le haut, d'intensité $F = \rho V_B g$ relation où ρ est la masse volumique du fluide, V_B le volume de la bille et g l'intensité de la pesanteur.

1. Etude du mouvement de la bille dans l'air :

- 1.1. Représenter les forces appliquées à la bille à une date $t > 0$.
- 1.2. Calculer l'intensité de chacune de ces forces pour $V=5\text{m/s}$. En déduire que l'on peut négliger les intensités de $\vec{F}$ et $\vec{f}$ devant celle du poids.
- 1.3. Etablir les équations horaires de la vitesse $V(t)$ et de l'abscisse $x(t)$ de la bille puis préciser la nature du mouvement de la bille dans l'air.
- 1.4. Au bout d'un parcours de 50cm depuis le point O, la bille acquiert une vitesse de 3,16m/s. Montrer que cette information confirme l'approximation faite à la question 1.2/

2. Etude du mouvement de la bille dans l'huile :

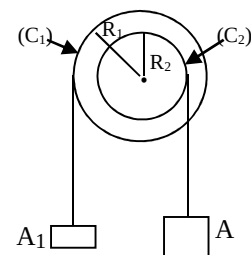
- 2.1. Les intensités de $\vec{F}$ et $\vec{f}$ ne sont plus négligeables devant celle du poids. Par application du théorème du centre d'inertie, montrer que l'équation différentielle du mouvement de la bille peut s'écrire sous la forme : $\frac{dV}{dt} + \frac{1}{\tau}V = C$ où C et τ sont des constantes.
- 2.2. Donner l'expression de C en fonction de g , ρ_{ac} (masse volumique de l'acier) et ρ_h (masse volumique de « l'huile moteur ») puis exprimer τ en fonction de ρ_{ac} , r et η (viscosité de l'huile moteur). Vérifier que $C=8,4\text{m.s}^{-2}$.
- 2.3. Au bout d'un temps suffisamment long, l'accélération de la bille s'annule. La vitesse obtenue à partir de cet instant est appelée vitesse limite de module $V_{lim} = 4,2 \text{ cm/s}$. Quelle valeur de τ peut-on en déduire ?
- 2.4. Déterminer la valeur de la viscosité η de « l'huile moteur ».

Données : Masse volumique : de l'acier : $\rho_{ac} = 7,8.10^3 \text{ kg/m}^3$; de l'air : $\rho_o = \frac{1,3 \text{ kg}}{\text{m}^3}$; de l'huile moteur : $\rho_h = 1,26.10^3 \text{ kg/m}^3$; viscosité de l'air $\eta(\text{air}) = 1,85.10^{-5} \text{ S.I}$; rayon de la bille $r = 1,5 \text{ mm}$; volume de la bille $V_B = \frac{4}{3}\pi r^3$; $g = 10 \text{ N/kg}$.

EXERCICE 24 :

Dans tout le problème on considère que les frottements sont négligeables et on prendra pour accélération de la pesanteur $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$.

Deux cylindre (C_1) et (C_2), coaxiaux, solidaires l'un de l'autre ont respectivement pour rayons $R_1 = 10 \text{ cm}$ et $R_2 = 5 \text{ cm}$. Ils constituent un système (S) pouvant tourner autour d'un axe horizontal confondu avec leur axe de révolution, sur lequel se trouve le centre de gravité. Le moment d'inertie du système (S) par rapport à cet axe de révolution vaut $J_S = 27.10^{-4} \text{ kg.m}^2$. Le cylindre (C_1) soutient un corps (A_1) de masse $m_1 = 100 \text{ g}$ par l'intermédiaire d'un fil inextensible, de masse négligeable, fixé au cylindre.

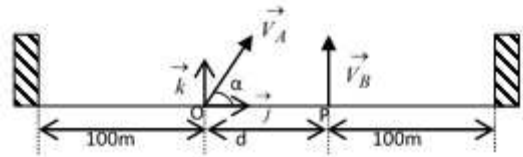


Le cylindre (C_2) soutient, de la même façon, un corps (A_2) de masse $m_2=120\text{g}$. Les fils étant verticaux et leur sens d'enroulement tels que (A_1) et (A_2) se déplacent en sens contraire, on libère ce dispositif sans vitesse initiale.

- 1) Déterminer la nature du mouvement de chaque corps, (A_1), (A_2) et du système (S).
- 2) Calculer l'accélération angulaire de (S) et l'accélération de (A_1) et de (A_2).
- 3) Calculer la valeur de la tension de chaque fil.
- 4) Calculer la variation d'énergie cinétique du système (S)-(A_1)-(A_2) entre l'instant de départ et l'instant où la vitesse de (A_1) est $V_1 = 2\text{m.s}^{-1}$. Vérifier la conservation de l'énergie mécanique.

EXERCICE 25 :

Deux fusées A et B doivent être tirées simultanément à partir de deux points O et P situés au sol et distants de $d = 30\text{ m}$. Les fusées vont exploser à la date $t_1 = 4\text{ s}$ après leur lancement. B est tirée de P avec une vitesse $\vec{v}_B$ verticale. A est tirée de O avec une vitesse

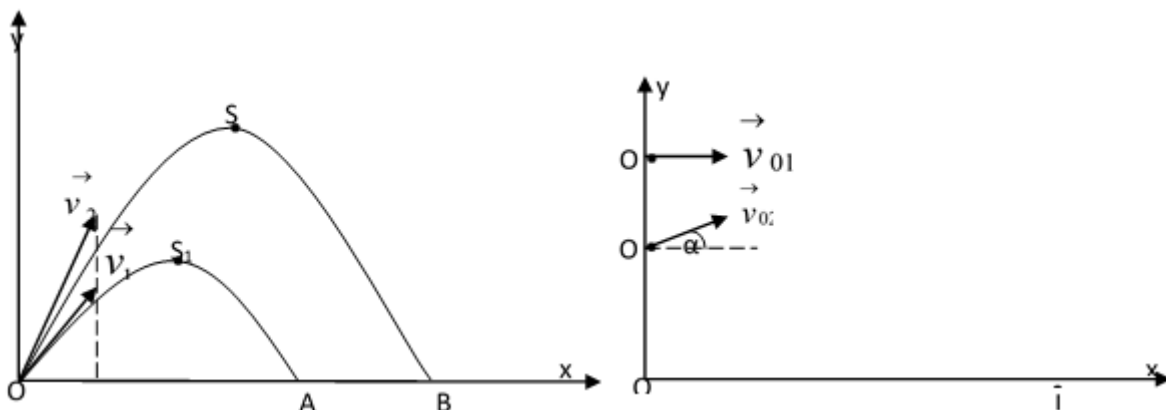


$\vec{v}_A$ inclinée de α par rapport à l'horizontale et située dans le même plan verticale que $\vec{v}_B$.

On donne : $v_A = 51,4\text{ m.s}^{-1}$; $v_B = 50\text{ m.s}^{-1}$;

- 1) Dans le repère ($O, \vec{j}, \vec{k}$) établir, sous forme littérale uniquement, les équations horaires du mouvement de chaque fusée après leur lancement, instant qui sera choisi comme instant initial. Préciser la nature de leur trajectoire ; en donner l'allure.
- 2) Déterminer l'inclinaison α de la vitesse initiale $\vec{v}_A$ de A pour que l'explosion ait lieu à la verticale de P.
- 3) Quelle est la distance qui sépare les deux fusées au moment de l'explosion ?
- 4) Les barrières de sécurité pour les spectateurs sont installées de façon à respecter la distance de 100 m des points de lancement O et P ; ces spectateurs sont-ils en sécurité lors de la retombée des fusées en cas de non explosion en altitude ?

EXERCICE 26 :



1. Deux projectile P_1 et P_2 sont lancés à partir du point O au même instant dans le champ de pesanteur avec des vecteurs vitesses instantanées respectives $\vec{v}_1$ et $\vec{v}_2$ tels que $v_{1x} = v_{2x}$ et $v_{2y} = 2v_{1y}$ voir figure 1.

- Ecrire les équations horaires du mouvement de chaque projectile et en déduire son équation cartésienne en fonction des coordonnées de sa vitesse et de l'accélération de la pesanteur.
 - A l'instant où le projectile P_1 atteint le point A au sol, le projectile P_2 est en un point A_2 de sa trajectoire ; déterminer les coordonnées du point A_2 en fonction de v_{2x} , g et v_{2y} .
 - Exprimer la distance AB entre les points d'impact des projectiles sur le sol en fonction de v_{2x} , g , et v_{2y} ou bien v_{1x} , g , et v_{1y} selon votre choix.
2. Les deux projectiles sont maintenant lancés à partir des points O_1 et O_2 avec des vitesses initiales $\vec{v}_{01}$ et $\vec{v}_{02}$ à des instants différents mais atteignent simultanément le point I sur le sol ; voir figure 2. En prenant pour origine des temps le départ du projectile P_2 et en négligeant la résistance de l'air, les équations horaires suivant l'axe des abscisses sont :
- Pour P_1 : $x_1 = 21t - 2,1$
 - Pour P_2 : $x_2 = 20t$.
- Déterminer l'instant d'arriver des deux projectiles au point I.
 - Déterminer l'intervalle de temps qui sépare les deux départs des projectiles.
- On donne : $OI = 42\text{m}$.

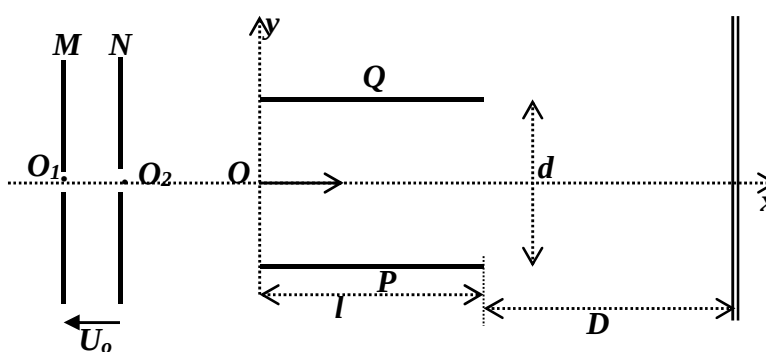
EXERCICE 27 :

Des ions $^{10}\text{B}^+$ et $^{11}\text{B}^+$ pénètrent en O_1 entre deux plaques verticales M et N entre lesquelles est appliquée une tension $U_0 = 2000\text{ V}$. La vitesse des ions en O_1 est supposée nulle.

1) Indiquer en justifiant le signe de la tension $V_N - V_M$? Préciser la nature du mouvement des ions entre M et N.

2) Comparer les énergies cinétiques des deux ions ainsi que leurs vitesses à leur arrivée en O .
On donne : charge élémentaire $e = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{C}$; masse d'un ion $m = A \cdot u$, avec A est nombre de masse de l'ion et u l'unité de masse atomique de valeur $e = 1,67 \cdot 10^{-27}\text{kg}$.

3) Les ions pénètrent ensuite en O entre deux autres plaques P et Q horizontales. La tension entre ces plaques est $U = V_P - V_Q$, la distance entre elles est d et leur longueur est l .



a) Indiquer la direction et le sens du vecteur champ

électrique $\vec{E}$ entre les plaques

P et Q pour que les ions soient déviés vers le haut. Quel est alors le signe de la tension U établit entre les plaques P et Q ?

b) Etablir dans le repère (O, x, y), l'équation cartésienne de la trajectoire d'un ion à l'intérieur de l'espace champ électrique.

c) Déterminer les coordonnées du point S, point de sortie des ions du champ.

d) Quelle est la nature du mouvement des ions entre la sortie du champ et l'écran E ?

e) Etablir l'équation de leur trajectoire.

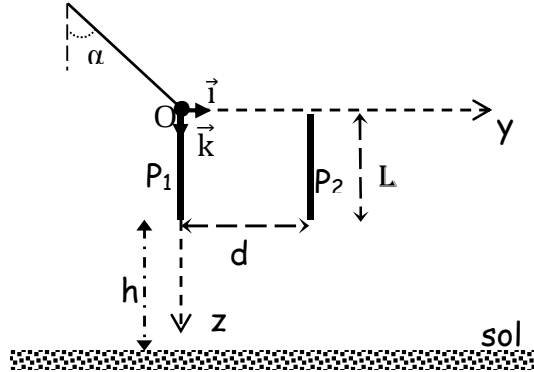
f) Déterminer les positions des points d'impact des ions sur l'écran E placé à une distance D des extrémités des plaques P et Q.

4) Ce dispositif permet-il de séparer les isotopes du bore ? Justifier.

On donne : $l = 1 \text{ cm}$; $d = 4 \text{ cm}$, $D = 40 \text{ cm}$ et $|U| = 5000 \text{ V}$.

EXERCICE 28 :

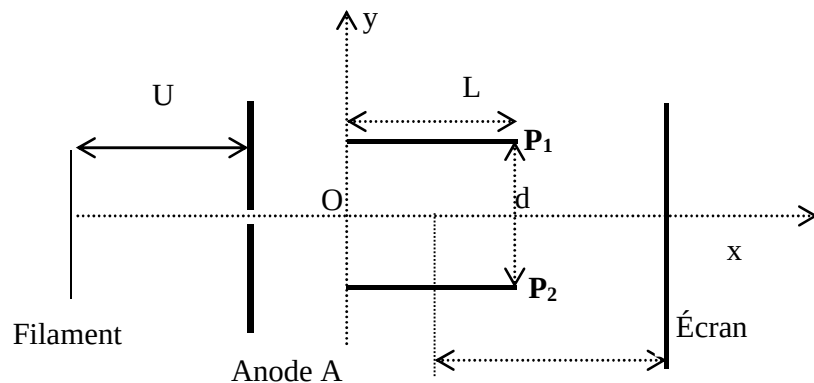
On considère un condensateur plan formé par deux plaques verticales P_1 et P_2 de longueur commune $L = 20 \text{ cm}$, placées à une distance $d = 20 \text{ cm}$ l'une de l'autre. On applique une d.d.p. entre P_1 et P_2 créant ainsi un champ électrique $\vec{E}$ uniforme, horizontal, dirigé de P_1 vers P_2 et de valeur $E = 2.10^4 \text{ V/m}$. On apporte ensuite à l'aide d'un fil isolant non chargé une boule métallisée de masse $m = 8 \text{ g}$ possédant une charge $q = +3.10^{-6} \text{ C}$ près du bord supérieur de la plaque positive P_1 en O sans toutefois la toucher.



- 1) Déterminer l'angle α que fait le fil avec la verticale dans cette position d'équilibre.
- 2) On coupe ensuite le fil, libérant ainsi la boule chargée sans vitesse initiale.
- 2.1) Indiquer en la justifiant la nature du mouvement de la boule à l'intérieur du condensateur.
- 2.2) Etablir les expressions, en fonction du temps $y = f(t)$, de la trajectoire de la boule dans l'espace plan $(O, \vec{i}, \vec{j})$ limité par les deux plateaux P_1 et P_2 . En Dédire ensuite l'équation $z = f(y)$ de la trajectoire.
- 3) Déterminer les coordonnées du point S de sortie de la boule lorsque celle-ci quitte l'espace où agit le champ électrostatique. Calculer la durée t de ce mouvement.
- 4) Par application du théorème de l'énergie cinétique, déterminer la valeur du vecteur vitesse $\vec{V}_S$ de la boule à cet endroit.
- 5) Sachant que la partie inférieure de ce condensateur se trouve à une hauteur $h = 25 \text{ cm}$ du sol, déterminer les coordonnées du point d'impact J de la boule avec le sol et la valeur de son vecteur vitesse $\vec{V}_J$ en ce point.

EXERCICE 29:

On considère un faisceau de particules homocinétiques et identiques, de charge q , émis à partir du filament d'un canon d'un oscilloscope. Ces particules sont émis avec une vitesse initiale nulle et sont accélérés par une tension U réglable établie entre le filament et la plaque A du canon.



On règle la tension U pour que les particules atteignent la plaque A avec une vitesse $v = 16000 \text{ km.s}^{-1}$

1) Montrer que la valeur absolue de la charge q de chaque particule est : $|q| = \frac{mV^2}{2U}$.

1. On donne $U=2672 \text{ kV}$; calculer le rapport massique $\frac{|q|}{m}$ et déduire du tableau les particules étudiées.

Particules	Protons	Ions Hélium (He^{2+})	Electrons
Masse (kg)	$1,6.10^{-27}$	$6,68.10^{-27}$	$9,1.10^{-31}$

2) Le faisceau de particules obtenu pénètre entre les plaques horizontales P_1 et P_2 d'un condensateur à la vitesse de 16000 km.s^{-1} . La longueur L des plaques vaut 8 cm .

La tension entre les armatures est $U_1 = V_{P_1} - V_{P_2}$; la distance entre les armatures est d .

2.1) Quel doit être le signe de U_1 pour que les particules sortent de l'espace champ par un point d'ordonnée négative ?

2.2) Etablir l'équation cartésienne du mouvement d'une particule entre les armatures du condensateur.

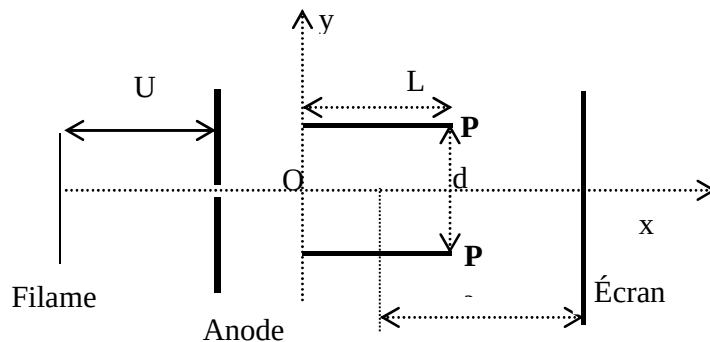
2.3) Quelle est l'ordonnée de ce point de sortie ?

EXERCICE 30 :

On considère un faisceau d'électrons émis à partir du filament d'un canon à électrons d'un oscilloscope. Ces électrons sont émis avec une vitesse initiale nulle et sont accélérés par une tension U réglable établie entre le filament et l'anode A du canon à électrons.

On règle la tension U pour que les électrons atteignent l'anode A avec une vitesse $v = 16000 \text{ km.s}^{-1}$

Calculer la valeur de U .

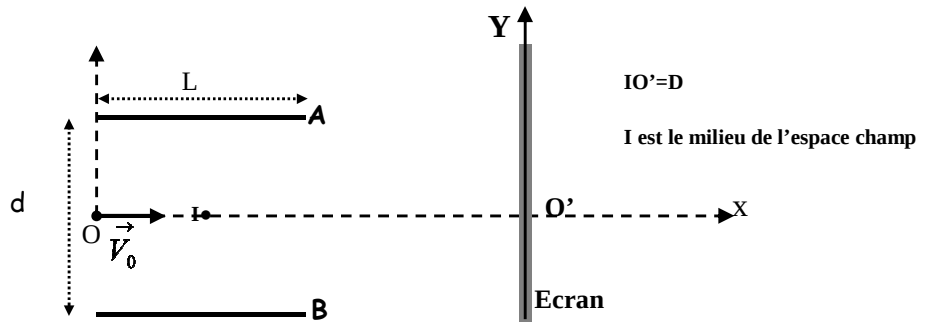


1) Le faisceau d'électrons obtenu pénètre entre les plaques horizontales P_1 et P_2 d'un condensateur à la vitesse de 16000 km.s^{-1} . La longueur L des plaques vaut 8 cm . La tension entre les armatures est U_1 .

La distance entre les armatures est d .

2.1) Etablir l'équation du mouvement d'un électron entre les armatures du condensateur.

2.2) Quelle est la condition d'émergence du faisceau d'électrons (la relation



entre v , U_1 , m , L et d pour que le faisceau ne rencontre pas l'une des armatures du condensateur) ?

- 2) Un écran est disposé à une distance D du milieu du condensateur.
- 3.1) Montrer que la déviation verticale du faisceau d'électrons sur l'écran est proportionnelle à la tension U_1 .
- 3.2) La sensibilité verticale s_V vaut $10V.cm^{-1}$. Quelle doit être la distance D sachant que $d = 2cm$?

EXERCICE 31 :

Une particule $q > 0$, pénètre en O entre les plaques d'un condensateur avec une vitesse horizontale $\vec{V}_0$ telle que $V_0 = 2.10^6 m.s^{-1}$. A la sortie du champ, la particule est reçue sur un écran E et sa position dépend de la tension U_{AB} appliquée aux bornes du condensateur. Les mesures donnent le tableau suivant :

Particule	${}^1_1H^+$	${}^4_2He^{2+}$	${}^6_3Li^+$
Charge massique en $10^6 C.kg^{-1}$	96	48	16

$U_{AB} (V)$	5000	3000	1000	0	-2000	-4000	-4500	?
$Y (cm)$	-2,41	-1,45	-0,48	0	0,96	1,93	2,17	3,18

- 1) Tracer le graphe $Y = (U_{AB})$. Echelle : 2 cm pour 1000 V et 5 cm pour 1 cm.
- 2) Ecrire les équations horaires et l'équation cartésienne de la trajectoire de la particule dans l'espace délimité par le champ.
- 3) Exprimer Y en fonction de q , m , U_{AB} , D et V_0 .
- 4) En utilisant le graphe précédant, déterminer la charge massique $\frac{q}{m}$ de la particule. Remplir la case vide du tableau.
- 5) Identifier la particule.

Données : $D = 40 cm$ et $L = D$.

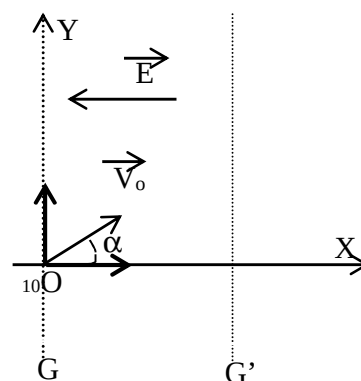
EXERCICE 32:

On considère la région de l'espace R , comprise entre deux grilles de fil métallique, planes et parallèles G et G' , distantes de $a = 5 cm$. G et G' sont supposées de longueur très grande par rapport à la distance qui les sépare. Il existe dans la région R un champ électrique uniforme $\vec{E}$ perpendiculaire à G et G' , dirigé de G' vers G . On suppose que le champ électrique est nul à l'extérieur de R .

On utilisera le repère $(O, \vec{i}, \vec{j})$ indiqué sur le schéma.

Une particule ponctuelle, de masse m et de charge q positive, arrive en O , à l'instant $t = 0$ et pénètre dans la région R .

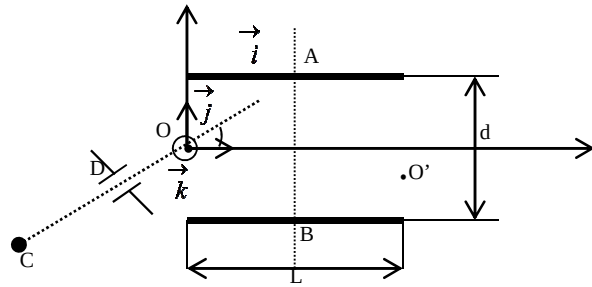
Le vecteur vitesse à $t = 0$, se trouve dans le plan XOY , a pour valeur V_0 et fait un angle α avec l'horizontale.



2.4) Calculer dans ces conditions l'ordonnée y_s et y_M sachant que $D = 0,3 \text{ m}$.

EXERCICE 35 :

Un condensateur plan est constitué de deux plaques parallèles métalliques rectangulaires horizontales A et B de longueur L, séparées par une distance d. On raisonnera dans le repère orthonormal direct $R(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$. Le point O est équidistant des deux plaques. Un faisceau homocinétique de protons, émis en C à vitesse nulle, est accéléré entre les points C et D, situés dans le plan $(O, \vec{i}, \vec{j})$; il pénètre en O, en formant l'angle α avec $\vec{i}$, dans le champ électrique $\vec{E}$, supposé uniforme, du condensateur.



1) Indiquer, en le justifiant, le signe de $V_D - V_C$. Calculer en fonction de $U = |V_D - V_C|$ la vitesse V_0 de pénétration dans le champ électrique uniforme.

A.N : $U = 1000 \text{ V}$; $m_p = 1,6 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$; $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

2) Indiquer, en le justifiant, le signe de $V_A - V_B$ tel que le faisceau de protons puisse passer par le point $O'(L, 0, 0)$.

3) Etablir l'équation des protons dans le repère $(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ en fonction de U,

$U' = |V_A - V_B|$, α et d. Quelle est la nature du mouvement des protons ? Calculer la valeur numérique de U' qui permet de réaliser la sortie en O' pour $\alpha = 30^\circ$,

$L = 20 \text{ cm}$ et $d = 7 \text{ cm}$.

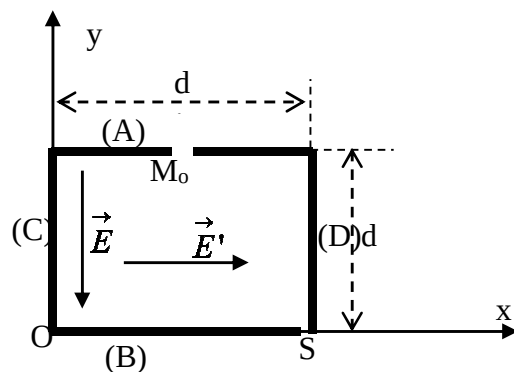
4) Dans le cas où la tension U' a la valeur précédemment calculée, déterminer à quelle distance minimale du plateau supérieur passe le faisceau de protons.

N.B : Toute l'expérience a lieu dans le vide, et on négligera les forces de pesanteur.

EXERCICE 36 :

Le dispositif ci-contre comprend :

- Deux plaques (A) et (B) horizontales placées dans le vide à une distance $d = 5 \text{ cm}$ l'une de l'autre et soumises à une tension $U_{AB} = V_A - V_B = 80 \text{ V}$. La plaque (A) est trouée en son milieu M_0 ;
- Deux plaques (C) et (D) verticales placées dans le vide à une distance $d' = 10 \text{ cm}$ l'une de l'autre et soumises à une tension $U_{CD} = V_C - V_D$ positive.

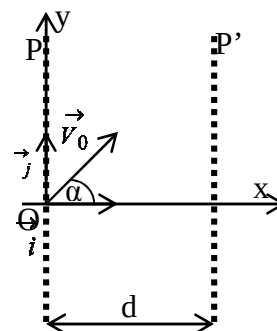


Entre les deux paires de plaques règnent les champs électriques $\vec{E}$ et $\vec{E}'$ supposés uniformes. Un proton est abandonné sans vitesse initiale à partir de M_0 à l'instant $t = 0$.

- 1) Exprimer en fonction de la charge élémentaire e , m , U_{AB} , U_{CD} , d et d' , les coordonnées du vecteur accélération du proton.
 - 2) En déduire les équations horaires $x(t)$ et $y(t)$ ainsi que l'équation cartésienne de la trajectoire du proton. Quelle est sa nature ?
 - 3) Quelle doit être la valeur U_{CD} pour que le proton sorte par le trou S.
- On donne : $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$ et $m = 1,6 \cdot 10^{-27} \text{kg}$.

EXERCICE 37 :

Dans la région d'espace R comprise entre deux plans parallèles P et P' distants de d , il existe un champ électrique $\vec{E}$ créé par des électrodes constituées de fins grillages métalliques disposés suivant P et P' : $\vec{E}$ sera considéré comme nul à l'extérieur de R . Une particule ponctuelle, de masse m et de charge électrique positive, arrive en O à $t = 0$ et pénètre dans la région R . La vitesse à $t = 0$ se trouve dans le plan $(O, \vec{i}, \vec{j})$; elle a pour valeur V_0 et fait un angle α avec l'horizontale.



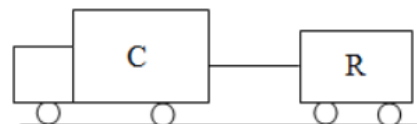
- 1) Représenter la force électrique s'exerçant sur la particule en O .
- 2) On néglige le poids de la particule devant la force électrique ; établir l'équation de la trajectoire. Quelle est sa nature ?
- 3) Déterminer la composante V_x de la vitesse en fonction de x (On pourra utiliser le théorème de l'énergie cinétique).
- 4) Calculer la valeur V_F de la norme de la vitesse de la particule et l'angle β qu'elle fait avec l'horizontale au moment où elle arrive dans le plan P' .
- 5) Quelle sera la trajectoire de la particule après la traversée du plan P' ?
- 6) Montrer que le rapport $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$ est égal à une constante k qui sera exprimée en fonction de E , d , q , m et V_0 .

Données numériques : $V_0 = 2 \cdot 10^7 \text{m.s}^{-1}$; $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{kg}$;

$q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$, $E = 5 \cdot 10^4 \text{V.m}^{-1}$, $d = 10^{-2} \text{m}$, $\alpha = 10^\circ$.

EXERCICE 38

Un camion C de masse $M = 4 \cdot 10^3 \text{kg}$ tracte par l'entremise d'une barre d'attelage rigide, une remorque R de masse $m = 2 \cdot 10^3 \text{kg}$.

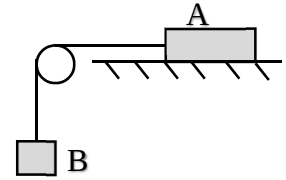


- 1) Première phase: Sur une route horizontale ce convoi (camion + remorque) passe de la vitesse $V_0 = 27 \text{ km/h}$ à $V_1 = 72 \text{ km/h}$ en 60 secondes. En supposant négligeables les divers frottements.
 - 1.1) Déterminer l'intensité de la force motrice $\vec{F}_1$?
 - 1.2) Déterminer l'intensité de la tension $\vec{T}_1$ de la barre?

- 2) Deuxième phase: Sur cette même route horizontale, le chauffeur débraye (ce qui revient à supprimer la force motrice sans freiner. Sur 600 mètres de parcours. La vitesse passe alors de $V_1 = 72 \text{ Km/h}$ à $V_2 = 54 \text{ Km/h}$
- 2.1) Quelle est l'intensité de la résultante $\vec{f}$ des forces de frottements supposées parallèles au déplacement ? En déduire alors l'intensité de la force motrice réelle $\vec{F}_2$ de la première phase.
- 2.2) Au plafond de la remorque est suspendue, par un fil électrique inextensible, une ampoule de masse m' . Déterminer le sens et la valeur de l'angle d'inclinaison α par rapport à la verticale de ce fil, lors de cette phase. Donnée: $g = 10 \text{ m/s}^2$

EXERCICE 39

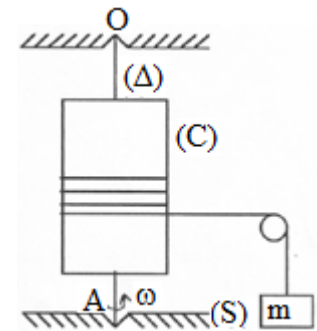
On considère l'ensemble représenté, constitué de deux corps A et B de masses respectives M et m reliés par un fil inextensible et de masse négligeable passant sur la gorge d'une poulie assimilable à un disque de masse m' et de rayon r. Les frottements s'exerçant sur la poulie équivalent à un couple dont le moment par rapport à l'axe est constant et a pour valeur C. Ceux qui s'exercent sur A équivalent à une force opposée à la vitesse et de valeur constante f. Le système, maintenu en équilibre, est abandonné. Déterminer l'accélération de B.



EXERCICE 40

Un cylindre homogène (C) de masse M et de rayon R peut tourner librement autour de son axe vertical (D).

Un fil inextensible de masse négligeable, peut tourner sans glisser autour du cylindre (C) de masse négligeable. Le fil passe ensuite par la gorge d'une poulie (P) de masse négligeable comme le montre la figure ci-contre. Un solide (S) de masse m est accroché à l'autre extrémité du fil.



On néglige tous les frottements.

On abandonne le système sans vitesse initiale et on détermine avec un chronomètre le temps mis par le cylindre pour effectuer n tours complets à partir du repos. On obtient les résultats suivants :

n(tours)	1	2	3	4
t(s)	2,7	3,9	4,8	5,6
t ² (s ²)	7,3	15,2	23,0	30,7

- 1) Tracer le graphe $n = f(t_2)$.

Echelles : 1 cm pour 2,5 s² et 2 cm pour 1 tour.

- 2) Quelle est la nature du mouvement du cylindre ? Justifier la réponse.
- 3) Déterminer la valeur expérimentale de l'accélération angulaire $\ddot{\theta}_{\text{exp}}$ du cylindre (C).
- 4) Montrer que l'expression de l'accélération angulaire théorique du cylindre (C) peut se mettre sous la forme :

$$\ddot{\theta}_{\text{th}} = \frac{mgR}{J_A + mR^2}$$

Calculer sa valeur.

- 5) Comparer la valeur expérimentale de l'accélération angulaire $\ddot{\theta}_{\text{exp}}$ du cylindre et sa valeur théorique $\ddot{\theta}_{\text{th}}$. Commenter brièvement ces résultats.

EXERCICE N°41

Les forces s'exerçant sur un avion en vol peuvent se résumer à trois forces appliquées au centre d'inertie de l'avion :

- le poids $\vec{P}$
- la force de traction $\vec{F}$ du moteur dirigé suivant l'axe longitudinal de l'avion ;
- la résistance de l'air $\vec{R}$ qui se décompose en deux forces :
 - * **la portance** $\vec{R}_N$, perpendiculaire plan des ailes et responsable de la sustentation de l'avion et
 - * **la traînée** $\vec{R}_T$, dans l'axe et qui freine le mouvement de l'avion.

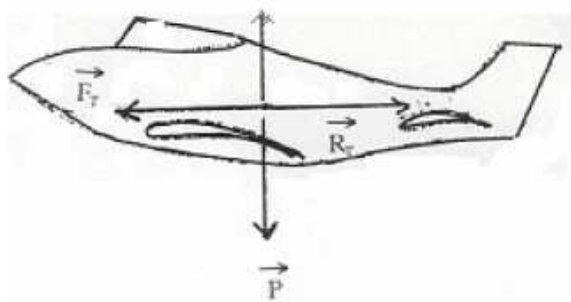


fig. 1

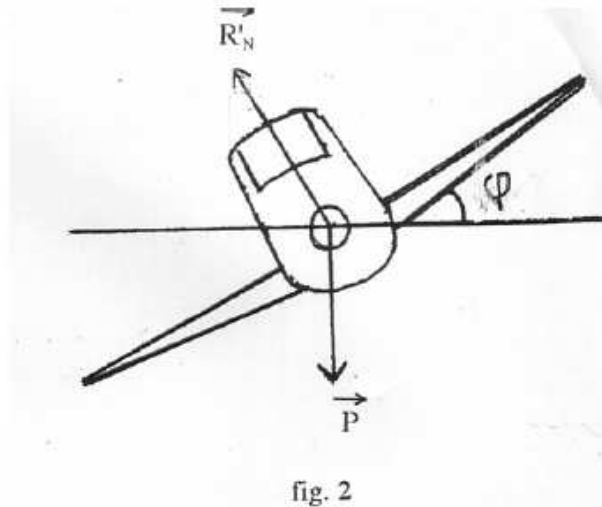


fig. 2

1) DECOLLAGE

Un avion de tourisme (quadriplace), équipage et carburant compris, a une masse $M = 1000 \text{ kg}$. L'avion, partant du repos, atteint la vitesse $V_1 = 108 \text{ km.h}^{-1}$ sur une piste horizontale en parcourant la distance $d = 300 \text{ m}$.

- 1.a- Calculer son accélération a que l'on suppose constante.
- 1.b- Calculer la durée de cette phase de roulement, avant le décollage.
- 1.c- La puissance développée par le moteur vaut $P = 225 \text{ kW}$. Calculer l'intensité de la force $\vec{F}$ motrice lorsque l'avion atteint la vitesse $V_1 = 108 \text{ km.h}^{-1}$.
- 1.d- Calculer l'intensité f des forces s'opposant à l'avancement de l'avion (traînée et résistance à l'avancement) au moment où l'avion atteint la vitesse V_1 .

2) VOL EN CROISIERE

Une fois que l'avion atteint une altitude suffisante, il se déplace en vol rectiligne, horizontale, à la vitesse $V_2 = 90 \text{ m.s}^{-1}$. La puissance effectivement utilisée par le moteur vaut alors $P_u = 180 \text{ kW}$.

- 2.a- Calculer l'intensité de la nouvelle force $\vec{F}'$ de traction du moteur.
- 2.b- Calculer, pour cette phase du vol, l'intensité de la portance $\vec{R}'_N$ et de la traînée $\vec{R}'_T$. En déduire la valeur de la résistance $\vec{R}'$ de l'air sur l'avion.
- 2.c- Calculer l'angle α que fait la résistance de l'air $\vec{R}'$ avec la verticale.

3) VIRAGE EN CROISIERE

L'avion effectue un virage horizontal de rayon r en conservant sa vitesse de croisière $V_2 = 90 \text{ m.s}^{-1}$.

3.a- Pour cette phase du vol expliquer pourquoi l'avion doit obligatoirement s'incliner.

3.b- De quel angle ϕ l'avion doit-il s'incliner par rapport à l'horizontale pour effectuer un tour complet (on dit un "360" dans le jargon des pilotes) en deux minutes ?

4) LARGAGE

L'avion, de l'altitude $h = 1500 \text{ m}$, se déplaçant en vol rectiligne, horizontal, à la vitesse constante $V_2 = 90 \text{ m.s}^{-1}$, largue, à la verticale d'un point P du sol plan et horizontal, un paquet que l'on assimilera à un point matériel.

L'instant du largage est pris comme origine des dates. **On négligera la résistance de l'air sur le paquet.**

4.a- Etablir l'équation du mouvement du paquet dans un repère judicieusement choisi.

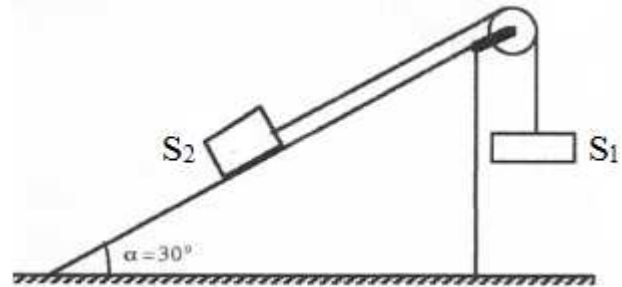
4.b- Déterminer l'équation de la trajectoire du paquet. Quelle est sa nature ?

4.c- Où se trouvera l'avion quand le paquet touchera le sol ?

(d'après Bac D 87)

EXERCICE 42

On rappelle que le moment d'inertie d'un cylindre homogène de masse m_0 et de rayon R par rapport à son axe de rotation (Δ) est $J_\Delta = \frac{1}{2}m_0R^2$. Considérons le système suivant constitué d'un treuil de masse m_0 , d'un solide (S_1) de masse m_1 , d'un solide (S_2) de masse m_2 et d'un câble inextensible et de masse négligeable entouré autour du treuil et portant à ses extrémités les solides (S_1) et (S_2).



On abandonne à l'instant initial le système sans vitesse initiale. Le solide (S_1) se déplace alors sans frottement le long de la ligne de plus grande pente du plan incliné qui fait un angle $\alpha = 0^\circ$ avec l'horizontale

On donne : $m_2 = 3 \text{ kg}$; $m_1 = 2 \text{ kg}$; $m_0 = 1,25 \text{ kg}$; $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$.

1) Déterminer la valeur de l'accélération du système.

2) En appliquant le théorème de l'énergie cinétique que, retrouver la valeur de l'accélération a du système.

D – CORRIGE DES EXERCICES

EXERCICE 2

$$\vec{v}_1 + \vec{v}_2 = \vec{v} \quad (1) \quad \text{et} \quad v_1^2 + v_2^2 = v^2 \quad (2)$$

$$(1)^2 \Rightarrow v^2 = v_1^2 + v_2^2 + 2\vec{v}_1 \cdot \vec{v}_2 \quad \text{d'où} \quad \vec{v}_1 \cdot \vec{v}_2 = 0$$

or m et m' en mouvement après le choc donc
 $\vec{v}_1 \neq 0$ et $\vec{v}_2 \neq 0 \Rightarrow \vec{v}_1 \perp \vec{v}_2$
 $v_1 = v \cos \alpha = 1,733.s^{-1}$ et $v_2 = v \sin \alpha = 1m.s^{-1}$

EXERCICE 4

- 1) $G(\frac{20}{3} \text{ cm} ; \frac{9}{3} \text{ cm})$ 2) $G'(5\text{cm};4\text{cm})$

EXERCICE 5

- 1.1) Valeurs et les sens des vecteurs vitesses après le choc

$$\vec{v}'_1 = -1,4\vec{i} \quad \vec{v}'_2 = -0,55\vec{i}$$

1.2) $\vec{v}_G = \vec{v}'_G = -0,1\vec{i}$

1.3) Avant choc : $\vec{v}_{1/G} = 1,3\vec{i}$ et $\vec{v}_{2/G} = -0,65\vec{i}$

Après choc : $\vec{v}'_{1/G} = -1,3\vec{i}$ et $\vec{v}'_{2/G} = -0,65\vec{i}$

2.1) $\vec{v} = -0,1\vec{i}$ et $\vec{v} = \vec{v}_G$ (pseudo isolé)

2.2) $E_c(\text{avant choc}) = 0,2565\text{J}$ et $E_c'(\text{après choc}) = 0,003\text{J}$. $E_c \neq E_c'$ (choc mou)

EXERCICE 6

1) $\vec{a} = \vec{g}$ M.R.U.V

$$V_A = -9,8t + 49$$

$$V_B = -9,8t + 73,5$$

2)

$$z_A = -4,9t^2 + 49t$$

$$z_B = -4,9t^2 + 73,5t - 127,4$$

$$V_A = 0 \Rightarrow t_A = 5s \Rightarrow z_B = 117,6m$$

3) croisement $z_A = z_B$ $t' = 5,2s \Rightarrow z_A = z_B = 122,3m$

4) $\vec{V}_A = -1,96\vec{k}$ et $\vec{V}_B = 22,5\vec{k}$

EXERCICE 7

1) a) $h = 57m$; b) $T_1 = 2,36.10^4\text{N}$, $T_2 = 1,96.10^4\text{N}$, $T_3 = 1,66.10^4\text{N}$.

2) a) $t = 13s$; b) $T_1' = 1,62.10^4\text{N}$, $T_2' = 1,96.10^4\text{N}$, $T_3' = 2,30.10^4\text{N}$.

EXERCICE 9

1.1) TCI :

système A $\Rightarrow -mg \sin \alpha + T = ma$; système B $\Rightarrow$

$$m_1g - T_1 + T' = m_1a ;$$

système C $\Rightarrow m_2g - T_2 = m_2a$ or $T = T_1$ et $T_1' = T_2$

$$\Rightarrow a = \frac{m_1 + m_2 - m \sin \alpha}{m_1 + m_2 + m} g = 0,625m.s^{-2} ;$$

1.2) $\Delta t = 2s$;

1.3) $v = at = 1,25m.s^{-1}$;

1.4) $T = m(g \sin \alpha + a) = 5,625\text{N}$; $T_2 = m_2(g - a) = 1,875\text{N}$

2.1) $a' = \frac{m_1 - m \sin \alpha}{m_1 + m} g = 0,714m.s^{-2}$;

2.2) $D = d - \frac{v_I^2}{2a'} = 2,34m$;

$$2.3) T_1 = m_1(g - a') = 4,3N;$$

$$2.4) A \quad t = 2s \quad v = 1,25m.s^{-1} \quad ; \quad x = 1,25m \quad ; \quad a' = -0,714m.s^{-2} \Rightarrow \\ x = -0,357t_1^2 + 1,25t_1 + 1,25 = 0 \text{ avec } t_1 = t - 2 \Rightarrow t_1 = 4,3s \Rightarrow t = 6,3s$$

EXERCICE 11

1)

$$\vec{p}_1 = \vec{0}$$

$$\vec{p}_2 = \vec{p}_{\text{fusée}} + \vec{p}_{\text{gaz}}$$

$$\text{Or } \vec{p}_{\text{fusée}} = (m - k\delta t)\vec{v}_{\text{fusée}} \text{ et } \vec{p}_{\text{gaz}} = k\delta t\vec{v}_{\text{gaz}} = k\delta t(\vec{v}_{\text{fusée}} + \vec{v}_e)$$

$$\vec{v}_{\text{gaz}} = \vec{v}_{\text{fusée}} + \vec{v}_e$$

$$\vec{p}_2 = (m - K\delta t)\vec{v}_{\text{fusée}} + K\delta t(\vec{v}_{\text{fusée}} + \vec{v}_e) = m\vec{v}_{\text{fusée}} + K\delta t\vec{v}_e$$

$$\delta\vec{p} = \vec{p}_2 - \vec{p}_1 = m\vec{v}_{\text{fusée}} + K\delta t\vec{v}_e = d\vec{p}$$

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = m \frac{d\vec{v}_{\text{fusée}}}{dt} + K\vec{v}_e = m\vec{g}$$

$$\vec{a} = \vec{g} - \frac{K}{m}\vec{v}_e$$

$$2.1) a = K \frac{v_e}{m_0 - Kt} - g.$$

$$2.2) a = 0 \text{ à } t = 0 \Rightarrow$$

$$K = \frac{m_0 g}{v_e} = 40 \text{ kg.s}^{-1}$$

$$3.1) t = \frac{4m_0}{5K} = 200 \text{ s} ;$$

$$3.2) V = -v_e \ln(1 - \frac{K}{m_0}t) - gt = 1983m.s^{-1} ;$$

$$3.3) z = \frac{m_0 v_e}{K} (1 - \frac{K}{m_0}t [\ln(1 - \frac{K}{m_0}t) - 1]) - \frac{g}{2}t^2 = 98 \text{ km}$$

EXERCICE 12

1) $\vec{F}$ et $\vec{f}$: verticales et ascendantes ; $\vec{P}$ vertical descendant.

2) T.C.I ou 2^e loi de Newton donne :

$$\vec{F} + \vec{f} + \vec{P} = m \vec{a} \Rightarrow mg - f - F = m \frac{dv}{dt}$$

$$\Rightarrow mg - 6\pi\eta r v - \rho g V_{ol} = m \frac{dv}{dt} \text{ avec } V_{ol} = \frac{4}{3}\pi r^3 \text{ et } m = \rho_{\text{ver}} V_{ol} \Rightarrow \frac{dv}{dt} + \left(\frac{6\pi\eta r}{m}\right)v = g\left(1 - \frac{4\pi r^3 \rho}{3\rho_{\text{ver}} V_{ol}}\right)$$

$$\Rightarrow \frac{dv}{dt} + \left(\frac{6\pi\eta r}{m}\right)v = g\left(1 - \frac{\rho}{\rho_{\text{ver}}}\right) ;$$

3) si $v = v_{\text{lim}}$

$$\frac{dv_{\text{lim}}}{dt} = 0 \text{ donc } v_{\text{lim}} = \frac{mg \left(1 - \frac{\rho}{\rho_{\text{ver}}} \right)}{6\pi\eta r}; \quad m = \rho_{\text{ver}} \frac{4}{3}\pi r^3 \Rightarrow v_{\text{lim}} \frac{2}{9\eta} r^2 g (\rho_{\text{ver}} - \rho)$$

$$4.1) v_{\text{lim}} = 37,5 \cdot 10^{-3} \text{ m.s}^{-1}; \quad r = \sqrt{\frac{9\eta v_{\text{lim}}}{2g(\rho_{\text{ver}} - \rho)}} = 4,46 \cdot 10^{-3} \text{ m} \Rightarrow m = 1,02 \text{ g};$$

$$4.2) r' = 2r \Rightarrow v'_{\text{lim}} = 4v_{\text{lim}} = 150 \cdot 10^{-3} \text{ m.s}^{-1};$$

$$4.3) t_1 = 35 \text{ ms.}$$

$$5) v = gt$$

EXERCICE 14

$$1) T_1 = \frac{ml}{2} \left(\dot{\alpha}^2 + \frac{g}{a} \right); \quad T_2 = \frac{ml}{2} \left(\dot{\alpha}^2 - \frac{g}{a} \right).$$

$$2) T_2 \geq 0 \Rightarrow \dot{\alpha}_{\text{lim}} = \sqrt{\frac{g}{a}} = 4,5 \text{ rad.s}^{-1} \dots$$

$$3) \omega = 6 \text{ rad.s}^{-1} \Rightarrow T_1 = 20,2 \text{ N} \text{ et } T_2 = 5,8 \text{ N}$$

$$\omega = 4,2 \text{ rad.s}^{-1} \Rightarrow T_1 = 10,7 \text{ N} \text{ et } T_2 = 0;$$

$$\omega = 3 \text{ rad.s}^{-1} \Rightarrow T_1 = 12 \text{ N} \text{ et } T_2 = 0$$

EXERCICE 15

$$1.1) \text{ T.C.I} \Rightarrow mg \cos \alpha + \frac{mV^2}{l};$$

$$1.2) \text{ le fil reste tendu si } T > 0 \Rightarrow V_H = \sqrt{gl};$$

$$V_H = 2,23 \text{ m.s}^{-1}.$$

$$1.3) \quad V_H^2 - V_0^2 = 2(-2gl) = -4gl \Rightarrow V_0 = \sqrt{5gl} = \sqrt{5 \times 10 \times 0,5} = 5 \text{ m.s}^{-1}$$

$$\Rightarrow V_0 = \sqrt{5gl} - 4gl = 5 \text{ m.s}^{-1}$$

$$2.1) \text{ T.EC entre E et } M_0 \quad V_E = \sqrt{V_0^2 - 2gl(1 - \cos \beta)} = 4,46 \text{ m.s}^{-1}$$

$$\Rightarrow V_E = \sqrt{V_0^2 - 2gl(1 - \cos \beta)} = 4,46 \text{ m.s}^{-1};$$

$$2.2) \text{ T.C.I} \Rightarrow x = (V_E \cos \beta)t \text{ et } y = -\frac{1}{2}gt^2 + (V_E \sin \beta)t = -\frac{1}{2}g \frac{x^2}{V_E^2 \cos^2 \beta} + x \tan \beta$$

$$\Rightarrow x = (V_{E \cos \beta})t \quad \text{et} \quad y = -\frac{1}{2}gt^2 + (V_{E \sin \beta})t ; y = -\frac{1}{2}g \frac{x^2}{V_E^2 \cos^2 \beta} + x \tan \beta \quad \text{c'est}$$

une parabole dont la concavité est orientée vers les ordonnées négatives.

EXERCICE 17

$$1)) \text{ T.C.I} \Rightarrow x = \frac{ml_0 \omega^2}{K - m\omega^2} ;$$

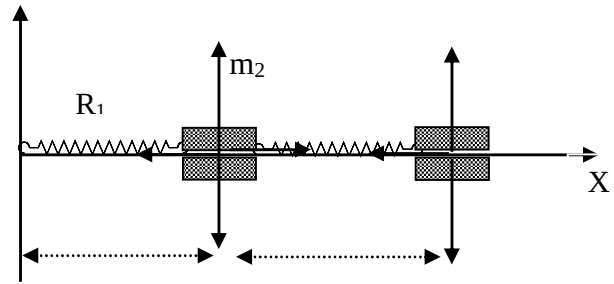
$$1.2) \quad l \leq l_{\max} \quad \text{avec} \quad l_{\max} = 1\text{m.}$$

$$\Rightarrow 1 + \frac{m\omega^2}{K - m\omega^2} \leq \frac{l_{\max}}{l_0} \Rightarrow \omega \leq \sqrt{\frac{K}{m} \left(1 - \frac{l_0}{l_{\max}}\right)}$$

d'où

$$\omega_{\max} = \sqrt{\frac{K}{m} \left(1 - \frac{l_0}{l_{\max}}\right)} = 31,6 \text{ rad.s}^{-1}.$$

$$2) l = \frac{K^2}{K^2 - 3K + 1} l_0 = 0,26\text{m} ; \quad l' = \frac{K(K-1)}{K^2 - 3K + 1} l_0 = 0,24 \text{ m}$$



EXERCICE 31

2)

$$a) y = e^{\frac{U_1}{2mdv^2} x^2} \quad b) \text{ en S : } y_s \leq \frac{d}{2} \Rightarrow U_1 \leq \frac{m(dv)^2}{el^2}$$

$$3a) \tan \alpha = \left(\frac{dy}{dx} \right)_{x=l} = \frac{Y}{D} \Rightarrow Y = k U_1 \quad \text{avec} \quad k = \frac{elD}{mdv^2}$$

$$b) s = \frac{U_1}{Y} \Rightarrow D = \frac{mdv^2}{esL} = 0,364\text{m}$$

EXERCICE 33

$$1) \text{ TCI } q\vec{E} = m\vec{a} \Rightarrow \vec{a} = \frac{q}{m} \vec{E}$$

$$x = \frac{qE}{2m} t^2 + v_0 \cos \alpha t ; y = v_0 \sin \alpha t \Rightarrow x = -\frac{qE}{2mv_0^2 \sin^2 \alpha} y^2 + (\cot \alpha) y : \text{parabole}$$

$$2) \text{ TEC} \Rightarrow \frac{1}{2} m v_x^2 - \frac{1}{2} m v_0^2 \cos^2 \alpha = -qEx \Rightarrow v_x = \sqrt{v_0^2 \cos^2 \alpha - \frac{2qEx}{m}} \quad 3) x_F = a \Rightarrow$$

$$v_{xF} = \sqrt{v_0^2 \cos^2 \alpha - \frac{2qEa}{m}} ; v_{yF} = v_0 \sin \alpha ;$$

$$\tan\beta = \frac{v_o \sin\alpha}{\sqrt{v_o^2 \cos^2\alpha - \frac{2qEa}{m}}} = 0,581 \Rightarrow \beta = 30,2^\circ \text{ et } v_F = \sqrt{v_{xF}^2 + v_{yF}^2} = \sqrt{v_o^2 - \frac{2qEa}{m}}; \quad v_{yF} =$$

$$c^{te} \Rightarrow v_o \sin\alpha = \sin\beta v_F \Rightarrow \frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = n \quad \text{avec } n = \sqrt{1 - \frac{2qEa}{mv_o^2}}$$

EXERCICE 39

Mouvement de B : $-T_3 + P_3 = ma_B$

Mouvement de la poulie de centre O :

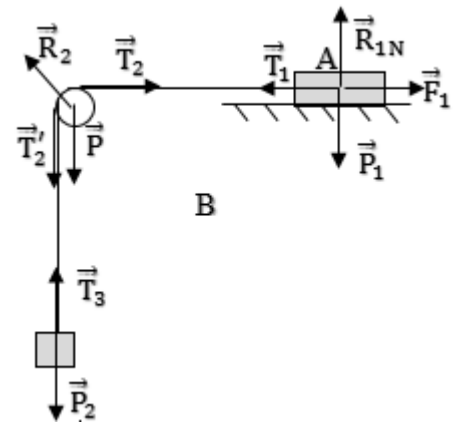
$$T_2' r - T_2 r - C = J_\Delta \ddot{\theta} = \frac{1}{2} m' r^2 \ddot{\theta}$$

Mouvement de A : $T_1 - F_1 = Ma_A$

A et B ont même vitesse ; cette vitesse est égale à la vitesse d'un point à la périphérie de la poulie. La condition de non glissement du fil sur la poulie s'écrit : $v = r\dot{\theta}$ en dérivant par rapport au temps : $a = r\ddot{\theta}$

Les fils sont inextensibles et de masses négligeables $T_1 = T_2$ et $T_2' = T_3$

$$a = \frac{2(mgr - F_1 r - C)}{r(2m + 2M + m')}$$



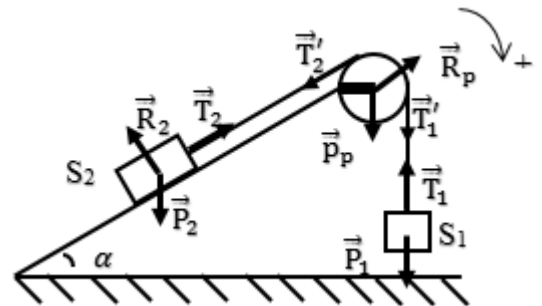
EXERCICE °40

1) Déterminons la valeur de l'accélération du système

Mouvement de S_1 : $m_1 g - T_1 = m_1 a$

Mouvement de la poulie de centre O : $T_1' R - T_2' R = J_\Delta \ddot{\theta} = \frac{1}{2} m_0 R^2 \ddot{\theta}$

Mouvement de S_2 : $-m_2 g \sin\alpha + T_2 = m_2 a$



A et B ont même vitesse ; cette vitesse est égale à la vitesse d'un point à la périphérie de la poulie. La condition de non glissement du fil sur la poulie s'écrit : $v = r\dot{\theta}$ en dérivant par rapport au temps : $a = r\ddot{\theta}$

Les fils sont inextensibles et de masses négligeables $T_1 = T_1'$ et $T_2 = T_2'$

$m_1 g - T_1 = m_1 a$ d'où $T_1 = m_1 g - m_1 a$

$$T_1' R - T_2' R = J_\Delta \ddot{\theta} = \frac{1}{2} m_0 R^2 \ddot{\theta} \Rightarrow (T_1 - T_2) R = \left(\frac{1}{2} m_0 R^2 \right) \frac{a}{R} \Rightarrow T_1 - T_2 = \frac{a}{2} m_0$$

$-m_2 g \sin\alpha + T_2 = m_2 a$ d'où $T_2 = m_2 a + m_2 g \sin\alpha$

$$m_1g - m_1a - m_2g\sin\alpha - m_2a = \frac{a}{2}m_0 \quad a(m_1 + m_2 + \frac{1}{2}m_0) = g(m_1 - m_2\sin\alpha)$$

$$a = \frac{2g(m_1 - m_2\sin\alpha)}{2m_1 + 2m_2 + m_0}$$

$$a = \frac{2 \times 10(2 - 3\sin 30^\circ)}{2 \times 2 + 2 \times 3 + 1,25} = 0,9 \text{ m.s}^2.$$

$a > 0$ il s'en suit que le sens choisi pour la résolution du problème correspond au sens du mouvement.

2) Par application du théorème de l'énergie cinétique calculons la valeur de l'accélération du système.

$$E_C = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)V^2 + \frac{1}{2}\left(\frac{1}{2}m_0R^2\right)\frac{V^2}{R^2} = \frac{1}{2}\left(m_1 + m_2 + \frac{1}{2}m_0\right)V^2$$

$$\Delta E_C = m_1gh - m_2gh\sin\alpha = \frac{1}{2}\left(m_1 + m_2 + \frac{1}{2}m_0\right)V^2 \text{ or } V^2 = 2ah$$

$$m_1gh - m_2gh\sin\alpha = \frac{1}{2}\left(m_1 + m_2 + \frac{1}{2}m_0\right)V^2 = \frac{m_1gh - m_2gh\sin\alpha}{\frac{1}{2}\left(m_1 + m_2 + \frac{1}{2}m_0\right)}$$

$$m_1gh - m_2gh\sin\alpha = \frac{1}{2}\left(m_1 + m_2 + \frac{1}{2}m_0\right)2ah$$

$$m_1g - m_2g\sin\alpha = \left(m_1 + m_2 + \frac{1}{2}m_0\right)a$$

$$m_1g - m_2g\sin\alpha = \left(m_1 + m_2 + \frac{1}{2}m_0\right)a$$

$$a = \frac{2g(m_1 - m_2\sin\alpha)}{2m_1 + 2m_2 + m_0} \text{ CQFD}$$

EXERCICE 41

1) DECOLLAGE

1.a- Calculons son accélération a que l'on suppose constante.

$$V_1^2 = 2ad \Rightarrow a = \frac{V_1^2}{2d} = \frac{(30)^2}{2 \times 300} = 1,5 \text{ m.s}^2$$

1.b- Calculons la durée de cette phase de roulement, avant le décollage.

$$d = \frac{1}{2}at^2 \Rightarrow t = \sqrt{\frac{2d}{a}} = \sqrt{\frac{600}{1,5}} = 20 \text{ s}$$

1.c- Calculons l'intensité de la force $\vec{F}$ motrice lorsque l'avion atteint la vitesse

$$V_1 = 108 \text{ km.h}^{-1}.$$

$$F = \frac{225 \cdot 10^3}{30} = 7500 \text{ N}$$

1.d- Calculons l'intensité f des forces s'opposant à l'avancement de l'avion (traînée et résistance à l'avancement) au moment où l'avion atteint la vitesse V_1 .

$$F - f = F - Ma = 7500 - 1000 \times 1,5 = 6000 \text{ N}$$

2) VOL EN CROISIERE

2.a- Calculons l'intensité de la nouvelle force $\vec{F}'$ de traction du moteur.

$$F' = \frac{180000}{90} = 2000 \text{ N}$$

2.b- Calculons, pour cette phase du vol, l'intensité de la portance $\vec{R}'_N$ et de la traînée $\vec{R}'_T$ et la résistance $\vec{R}'$ de l'air sur l'avion. 4000000

$$\vec{F}' + \vec{P} + \vec{R}'_N + \vec{R}'_T = \vec{0}$$

$$R'_T = 2000 \text{ N}$$

$$R'_N = mg = 10000 \text{ N}$$

$$R' = \sqrt{(R'_T)^2 + (R'_N)^2} = \sqrt{(2000)^2 + (10000)^2} = 10198 \text{ N}$$

2.c- Calculons l'angle α que fait la résistance de l'air $\vec{R}'$ avec la verticale.

$$\tan \alpha = \frac{R'_T}{R'_N} = \frac{2000}{10000} = 0,2$$

3) VIRAGE EN CROISIERE

du vol expliquons pourquoi l'avion doit obligatoirement s'incliner.

Lorsque l'avion effectue un virage, son mouvement est circulaire uniforme. On a donc entre les

forces qui s'exercent sur l'avion la relation $\vec{F}' + \vec{P} + \vec{R}'_N + \vec{R}'_T = \frac{mV'^2}{r} \vec{n}$

$$\vec{P} + \vec{R}'_N = \frac{mV'^2}{r} \vec{n} = \vec{F}_c$$

$\vec{F}_c$ étant une force centripète $\vec{R}'_N$ est nécessairement incliné d'un angle ϕ par rapport à la verticale tel que $\tan \phi = \frac{V'^2}{rg}$

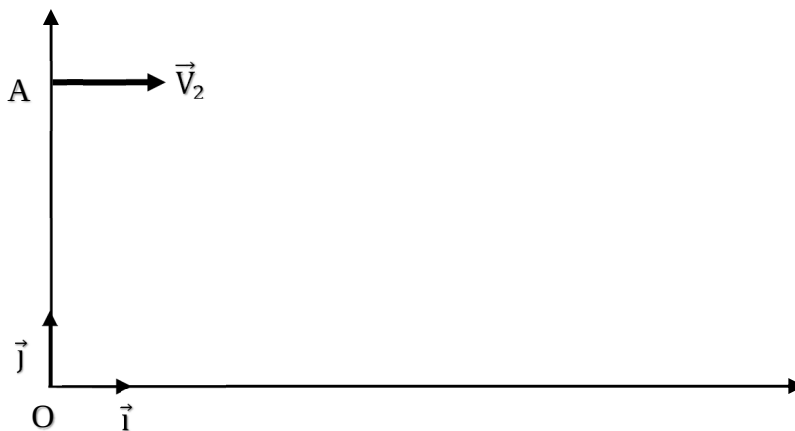
3.b- Déterminons l'angle ϕ dont l'avion doit s'incliner par rapport à l'horizontale pour effectuer un tour complet en deux minutes.

$$2\pi r = V't = rg \tan \phi \Rightarrow \tan \phi = \frac{2\pi}{gt} = \frac{2\pi}{10 \times 120} = 0,005$$

$$\Phi = 0,3^\circ$$

4) LARGAGE

4.a- Etablissons l'équation du mouvement du paquet dans le repère représenté ci-dessous.



$$\vec{a} = \vec{g}$$

$$x = V_2 t$$

$$y = -\frac{1}{2}gt^2 + h$$

4.b- Déterminons l'équation de la trajectoire du paquet et précisons sa nature ?

$$y = -\frac{1g}{2v_2^2}x^2 + h \quad \text{trajectoire parabolique}$$

4.c- La position de l'avion quand le paquet touchera le sol ?

$$\text{Le paquet touchera le sol à la date } t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{3000}{10}} = 17,32 \text{ s}$$

L'avion se trouvera en B tel que $AB = V_2 t = 1559 \text{ m}$

B (1559 m , 1500m)

CHAPITRE P4

GRAVITATION UNIVERSELLE

A - OBJECTIFS

Enoncer la loi de gravitation universelle et donner sa formulation vectorielle.

Déterminer les caractéristiques du vecteur champ de gravitation.

Distinguer vecteur champ de gravitation terrestre et vecteur champ de pesanteur.

Calculer la vitesse et la période du mouvement d'un satellite dans un référentiel géocentrique

Déterminer les caractéristiques de l'orbite d'un satellite géostationnaire.

Exprimer l'énergie mécanique d'un satellite.

Calculer la vitesse minimale de libération

Utiliser la troisième loi de Kepler

Calculer la masse d'une planète à partir de la troisième loi de Kepler

Prendre conscience de l'importance des satellites géostationnaires.

B - L'ESSENTIEL DU COURS

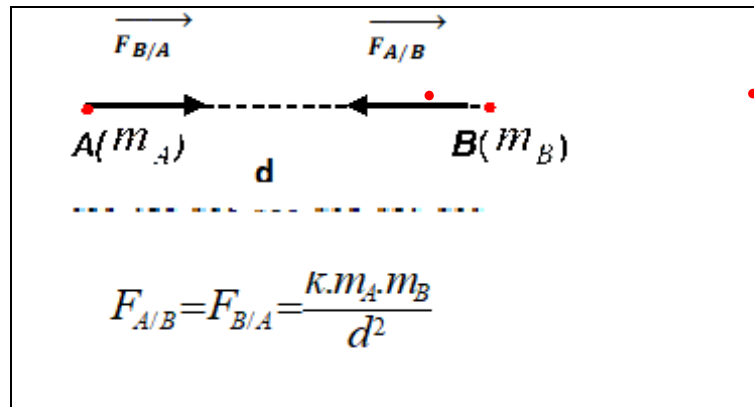
Loi de gravitation :

Deux points matériels A et B de masses respectives m_A et m_B distants de d exercent l'un sur l'autre des forces d'attraction de même direction, de sens contraires et de même intensité

K est une constante universelle (appelée constante de gravitation) ; $k = 6,67 \cdot 10^{-11}$ SI.

L'espace qui entoure un point matériel est un espace champ de forces de gravitation ou champ de gravitation. Le champ de gravitation est caractérisé en chacun de ses

points par le vecteur champ de gravitation. Le vecteur champ de gravitation créé par un point matériel O de masse m en un point A situé à une distance r du point O est donné par l'expression :



Dans le cas d'un corps à répartition sphérique de masse, la loi de gravitation s'applique en l'assimilant à un point matériel confondu avec son centre d'inertie et auquel on affecte la masse M du corps. Les astres peuvent être considérés comme des corps à répartition sphérique de masse.

Le vecteur champ de gravitation créé par un astre de masse M , de rayon R en un point A situé à une distance r du centre de cet astre

($r \geq R$) est un vecteur $\vec{G}$ défini comme suit :

- son origine est le point A ;
 - sa direction est celle de la droite qui joint le centre O de l'astre au point A ;
 - son sens est celui qui va de A vers O - sa norme est $G = K \frac{M}{r^2}$.
- ;;

A l'échelle des planètes l'intensité des forces gravitationnelles est élevée. Les mouvements des planètes et des satellites sont essentiellement régis par les forces gravitationnelles.

Un satellite est géostationnaire s'il paraît immobile par rapport à la Terre. Il doit pour cela satisfaire certaines conditions.

Sa trajectoire doit être circulaire, le centre de la trajectoire étant confondu avec le centre de la Terre.

Sa trajectoire doit se trouver dans le plan de l'équateur.

Il doit tourner dans le même sens que la Terre c'est-à-dire vers l'Est.

Sa période de rotation doit être égale à la période de rotation de la Terre autour de l'axe des pôles soit 86164 s (jour sidéral) ; son altitude est de l'ordre de 36.000 km.

C - EXERCICES

EXERCICE 1 :

- 1) Qu'appelle-t-on référentiel géocentrique ? Le repère lié à ce référentiel tourne-il avec la Terre autour de l'axe des pôles ?
- 2) Enoncer la loi de Newton pour la gravitation.
- 3) Montrer qu'au voisinage de la Terre, à une altitude h très faible devant le rayon de la Terre R ($h \ll R$), le champ de gravitation terrestre G peut se mettre sous la forme :

$$G = G_0 \left(1 - \frac{2h}{R}\right).$$

- a) Qu'est-ce qu'un satellite géostationnaire ? A quelle altitude h place-t-on un tel satellite ?
- b) Quelles sont les conditions pour qu'un satellite soit géostationnaire ?

EXERCICE 2 :

Montrer que la vitesse V d'un satellite en orbite circulaire autour de la Terre à l'altitude h est constante. Donner l'expression de la vitesse V en fonction de la constante gravitationnelle G , du rayon R de la Terre et de l'altitude h du satellite.

Application : Deux satellites (S_1) et (S_2) en orbite circulaire autour de la Terre ont respectivement pour altitude h_1 et h_2 avec $h_2 > h_1$. Lequel des deux satellites a la plus grande vitesse ?

EXERCICE 3 :

On considère une planète P de masse M . Le mouvement de l'un de ses satellites S , assimilé à un point matériel de masse m , est étudié dans un référentiel considéré comme galiléen, muni d'un repère dont le centre coïncide avec le centre O de la planète P et les trois axes dirigés vers trois étoiles fixes.

On admet que la planète a une distribution de masse à symétrie sphérique et que l'orbite de son satellite est un cercle de centre O et de rayon r .

- 1) Donner les caractéristiques de la force de gravitation $\vec{F}$ exercée par la planète P sur le satellite S . Faire un schéma.
- 2) Donner l'expression du champ de gravitation $\vec{g}$ créé par la planète P au point où se trouve le satellite S . Représenter ce vecteur de gravitation $\vec{g}$ sur le schéma précédent.
- 3) Déterminer la nature du mouvement dans le référentiel d'étude précisé.
- 4) Exprimer le module de la vitesse V et la période de révolution T du satellite S en fonction de la constante de gravitation G , du rayon r de la trajectoire du satellite S et de la masse M de la planète P . Montrer que le rapport $\frac{r^3}{T^2}$ est une constante.

- 5) Sachant que l'orbite du satellite S a un rayon $r=185500$ km et que sa période de révolution est $T = 22,6$ heures, déterminer la masse M de la planète P.
- 6) Un autre satellite S' de la planète P a une période de révolution $T' = 108,4$ heures. Déterminer le rayon r' de son orbite.

EXERCICE 4 :

Données : $R = 6400\text{km}$; $G_0=9,8\text{m.s}^{-2}$; constante de gravitation : $K = 6,68.10^{-11}$ SI.

- 1) Enoncer la loi de la gravitation universelle. Donner l'expression du champ de gravitation créé par un corps ponctuel de masse m en un point P situé à la distance r de ce corps.
- 2) On suppose que la Terre est exactement sphérique, de rayon R , de masse M et qu'elle possède une répartition à symétrie sphérique.
 - a) Définir un référentiel galiléen et donner l'expression de la force que la Terre exerce sur un solide ponctuel de masse m en kg à sa surface. En déduire le champ de gravitation G_0 qu'elle crée à sa surface. Calculer la masse M de la Terre.
 - b) A l'aide d'une fusée, on satellise un objet de masse M' , assimilable à un point matériel sur une orbite circulaire, à l'altitude $z=1000\text{km}$.
 - Montrer que le mouvement de l'objet est uniforme.
 - Donner les expressions de la vitesse et de la période de l'objet, puis calculer leur valeur.
- 3) L'objet ainsi satellisé se déplace vers l'Est. Calculer la durée séparant deux passages successifs de cet objet à la même verticale.
- 4) THAI COM est un satellite Thaïlandais de télécommunication, de masse $m=6,5\text{t}$, lancé le 11 Août 2005 à partir de la base de lancement de Kourou en Guyane Française par la fusée Ariane ;
 - a) Quel est le mouvement de THAI COM par rapport à un observateur terrestre?
 - b) Calculer le rayon de la trajectoire d'un tel satellite. Le jour sidéral est $T_0 = 86164\text{s}$.
 - c) Déterminer l'énergie à fournir pour satelliser ainsi THAI COM depuis l'équateur.

EXERCICE 5 :

Constante de gravitation universelle : $K=6,67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2.\text{kg}^{-2}$; Accélération de la pesanteur : $g_0 = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$.

On considère une planète P de masse M . Le mouvement de l'un de ses satellites S, assimilé à un point matériel de masse m , est étudié dans un référentiel considéré comme galiléen, muni d'un repère dont l'origine coïncide avec le centre O de la planète P et les trois axes dirigés vers trois étoiles fixes. On admet que la planète a une distribution de masse à symétrie sphérique et que l'orbite de son satellite est un cercle de centre O et de rayon r .

- 1) Donner les caractéristiques de la force de gravitation exercée par la planète P sur le satellite S. Faire le schéma.
- 2) Donner l'expression du vecteur champ de gravitation créé par la planète P au point où se trouve le satellite S. Représenter ce vecteur champ sur le schéma précédent.
- 3) Déterminer la nature du mouvement du satellite S dans le référentiel d'étude précisé.
- 4) Exprimer le module de la vitesse linéaire v et la période de révolution T du satellite S en fonction de la constante de gravitation universelle K , du rayon r de la trajectoire du satellite

et de la masse M de la planète P. Montrer que le rapport $\frac{r^3}{T^2}$ est une constante.

- 5) Sachant que l'orbite du satellite S a un rayon $r = 185500\text{km}$ et que la période de révolution $T = 22,6$ heures, déterminer la masse M de la planète P.
- 6) Un autre satellite S' de la planète P a une période de révolution $T' = 108,4$ heures. Déterminer le rayon r' de son orbite.

EXERCICE 6 :

Dans le référentiel géocentrique un satellite évolue sur une orbite circulaire de rayon $r_1 = 20000\text{km}$ dans le plan équatorial terrestre. Il se déplace d'Ouest en Est. La période du mouvement de rotation de la Terre dans ce référentiel est $T = 86164\text{s}$.

- 1) Montrer que le mouvement du satellite est uniforme.
- 2) Etablir l'expression puis calculer la vitesse du satellite dans le référentiel géocentrique.
- 3) En déduire l'expression de la période du mouvement du satellite puis la calculer.
- 4) Quel devrait être le rayon r_1' de l'orbite du satellite pour qu'il soit géostationnaire ? (r_1' sera calculé)
- 5) Quelle est, pour un observateur terrestre, la période de révolution du satellite évoluant sur l'orbite de rayon $r_1' = 20000\text{km}$?
- 6) Un autre satellite évolue dans le plan équatorial terrestre sur une orbite de rayon $r_2 = 18000\text{km}$ dans le même sens que le premier.
 - a) A l'aide d'un schéma, indiquer les positions des deux satellites quand la distance qui les sépare est minimale.
 - b) Ce rapprochement entre les deux satellites se répète périodiquement. Calculer la période de ces rapprochements.

EXERCICE 7 :

La planète Pluton, découverte par l'américain Clyde Tombaugh en 1930 était considérée comme la neuvième planète de notre système solaire. Le 5 janvier 2005, une équipe d'astronomes a découvert sur des photographies prises le 21 octobre 2003 un nouveau corps gravitant autour du Soleil. Provisoirement nommé 2003 UB313, cet astre porte maintenant le nom d'Éris du nom de la déesse grecque de la discorde. La découverte d'Éris et d'autres astres similaires (2003 EL 61, 2005 FY9...) a été le début de nombreuses discussions et controverses acharnées entre scientifiques sur la définition même du mot « planète ». Au cours d'une assemblée générale, le 24 août 2006 à Prague 2500 astronomes de l'Union Astronomique Internationale (UAI) ont décidé à main levée de déclasser Pluton comme planète pour lui donner le rang de « planète naine » en compagnie d'Éris et de Cérès (gros astéroïde situé entre Mars et Jupiter). NASA, ESA and M. Brown (California Institute of Technology)

1. Orbite d'Éris : Éris parcourt une orbite « circulaire » autour du Soleil avec une période de révolution T_E valant environ 557 années terrestres.

Données : Période de révolution terrestre : $T_T = 1,00$ an. Période de révolution de Pluton : $T_P = 248$ ans

- 1.1. Énoncer précisément la troisième loi de Kepler, relative à la période de révolution d'une planète autour du Soleil, dans le cas d'une orbite circulaire.
- 1.2. L'orbite d'Éris se situe-t-elle au-delà ou en-deçà de celle de Pluton ? Justifier sans calcul.
2. Découverte de Dysnomia : Les astronomes ont découvert ensuite qu'Éris possède un satellite naturel qui a été baptisé Dysnomia (fille d'Éris et déesse de l'anarchie...). Six nuits d'observation depuis la Terre ont permis de reconstituer l'orbite de Dysnomia.

Données: M_E et M_D sont les masses respectives d'Éris et de Dysnomia.

Masse de Pluton: $M_P = 1,31 \cdot 10^{22} \text{ kg}$; Rayon de l'orbite circulaire de Dysnomia R_D
 $= 3,60 \cdot 10^7 \text{ m}$;

Période de révolution de Dysnomia : $T_D = 15,0 \text{ jours}$.

Constante de gravitation universelle : $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$

2.1. Mouvement de Dysnomia : Le mouvement de Dysnomia autour d'Éris est supposé circulaire et uniforme.

2.1.1. Définir le référentiel permettant d'étudier le mouvement de Dysnomia autour d'Éris. Par la suite, ce référentiel sera considéré comme galiléen.

2.1.2. Établir l'expression du vecteur accélération $\vec{a}$ du centre d'inertie de Dysnomia en fonction des paramètres de l'énoncé contre.

2.1.3. Préciser la direction et le sens de ce vecteur accélération.

2.1.4. Montrer que la période de révolution T_D de Dysnomia a pour expression

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{R_D^3}{GM_E}} . \text{ Retrouve-t-on la 3}^{\text{ème}} \text{ loi de Kepler ?}$$

2.2. Masse d'Éris

2.2.1. Dédurre de l'expression de T_D (question 2.1.4.) celle de la masse M_E d'Éris. Calculer sa valeur.

2.2.2. Calculer le rapport des masses d'Éris et de Pluton $\frac{M_E}{M_P}$. Expliquer alors pourquoi la découverte d'Éris a remis en cause le statut de planète pour Pluton.

EXERCICE 8 :

La Terre est assimilée à une sphère de rayon R . Un satellite de masse m , supposé ponctuel décrit une orbite circulaire d'altitude h autour de la Terre.

1) Montrer que le mouvement du satellite est uniforme.

2) Donner l'expression du champ de gravitation g de la Terre en un point A à l'altitude h en fonction de sa valeur g_0 au sol, de R et de h .

3)

3.a) Déterminer pour le satellite, l'expression de sa période et celle de son énergie cinétique en fonction de g_0 , R , h et m éventuellement .

3.b) A.N : $h=400\text{km}$; $m=1020\text{kg}$. Calculer son énergie cinétique

3.c) Donner la définition d'un satellite géostationnaire en précisant son lieu d'évolution. Déterminer la valeur de l'altitude h pour un tel satellite.

4) La Lune est un satellite « naturel » de la Terre qui gravite autour de cette dernière à une orbite de rayon $r_L = 385000\text{km}$.

a) Déterminer sa période de révolution et vérifier que ce résultat est conforme à vos connaissances.

b) Sachant que le point d'équigravitation du système Terre-Lune (point où le champ gravitationnel terrestre est égal au champ gravitationnel lunaire) est à la distance $x = 38287\text{km}$ de la Lune, déterminer la masse de la Lune.

EXERCICE 9 :

On admet que la Terre a une répartition de masse à symétrie sphérique. Elle est considérée comme une sphère de centre O, de rayon $R = 6370\text{km}$ et de masse $M = 5,97 \cdot 10^{24}\text{kg}$.

La constante de gravitation universelle est $K = 6,67 \cdot 10^{-11}\text{N} \cdot \text{kg}^{-2} \cdot \text{m}^2$.

Un satellite, assimilé à un point matériel, décrit une orbite circulaire de rayon r dans le plan équatorial, autour de la Terre.

1. Montrer que le mouvement du satellite est uniforme.

2. Etablir l'expression de sa vitesse en fonction de r , M et K . En déduire l'expression de la période du mouvement du satellite en fonction de r , M et K .

Les données suivantes constituent un extrait de la fiche technique de la mission de la navette spatiale américaine DISCOVERY pour l'étude environnementale sur l'atmosphère moyenne de la Terre : Masse de la navette en orbite : $m = 69,68 \cdot 10^3 \text{ kg}$. Altitude moyenne : $h = 296 \text{ km}$. Nombre d'orbites : $n = 189$ (nombre de tours effectué par DISCOVERY de sa date de lancement jusqu'à sa date d'atterrissage).

3. Déterminer à partir des données techniques, les valeurs numériques de la vitesse et de la période du mouvement de la navette spatiale DISCOVERY.

La navette a atterri le 18 Août 1997 à Kennedy Space Center.

4. Déterminer la date de lancement de la navette ; on négligera les durées de la mise sur orbite et de l'atterrissage.

DISCOVERY a atterri le 18 Août 1997, à la date $t = 7 \text{ h } 07 \text{ min}$. Dans la phase d'approche à l'atterrissage, moteurs à l'arrêt, la navette est soumise à son poids et aux forces de frottement de l'air.

On trouve ci-dessous la valeur de sa vitesse à différentes dates.

Date	Altitude (Km)	Vitesse (m.s^{-1})
$t_1 = 6 \text{ h } 59 \text{ min}$	54,86	1475
$t_2 = 7 \text{ h } 04 \text{ min}$	11,58	223,5

On prendra $g = 9,7 \text{ m.s}^{-2}$ pendant toute la phase d'approche.

5. Calculer le travail du poids de DISCOVERY entre les dates t_1 et t_2 .

6. En utilisant le théorème de l'énergie cinétique, calculer le travail des forces de frottement de l'air sur DISCOVERY entre les instants t_1 et t_2 de la phase d'approche à l'atterrissage.

EXERCICE 10 :

1. Rappeler la loi de gravitation universelle. On notera K la constante de gravitation et on prendra $K = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N.m}^2.\text{kg}^{-2}$.

2. Satellite en orbite circulaire :

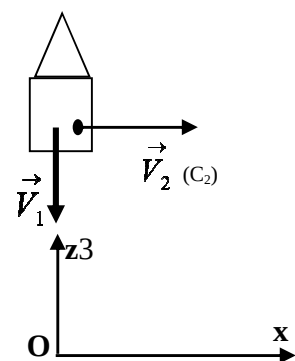
La terre est assimilée à une sphère homogène de masse M_T de centre T et de rayon $R_T = 6380 \text{ km}$. On admettra que la force de gravitation, qu'elle exerce sur les objets situés à une distance $r > R_T$ de son centre T , est la même que si toute la masse M_T était concentrée en T .

Un satellite artificiel de la terre, de masse m , est en orbite circulaire à l'altitude $h = 300 \text{ km}$, au-dessus de la Terre.

c) Montrer que le mouvement du satellite est uniforme.

Déterminer l'expression de sa vitesse en fonction $r = R_T + h$, K et M_T .

Pourquoi le mouvement du satellite est-il indépendant de sa masse ?



d) Sachant que $v=7740\text{m.s}^{-1}$, calculer la masse de la terre.

3. Descente du satellite :

Pendant cette phase, le champ de pesanteur $\vec{g}$ est supposé uniforme ($g=10\text{m.s}^{-2}$).

L'axe des altitudes z est choisi parallèle à $\vec{g}$ et de sens opposé. Le sol terrestre supposé horizontal est pris comme plan xOy des coordonnées. On suppose que le satellite, freiné par un parachute, descend d'un mouvement vertical rectiligne uniforme, de vitesse $V_1=10\text{m/s}$. Le satellite étant arrivé au point M_0 de coordonnées ($x_0=0, y_0=0, z_0=3,0\text{km}$), à un instant pris comme origine des temps, une balise radio est éjectée horizontalement du satellite dans le plan (xOz) avec le vecteur vitesse $\vec{V}_2$ ($V_2 = 2\text{m.s}^{-1}$) par rapport au satellite.

Le mouvement du satellite est supposé non modifié par l'éjection de la balise. Celle-ci tombe dans le champ de pesanteur terrestre, les frottements de l'air étant supposés négligeables.

a) On appelle z_S l'altitude instantanée du satellite, x_B, y_B et z_B les coordonnées instantanées de la balise. Déterminer les équations horaires $z_S(t), x_B(t), y_B(t)$ et $z_B(t)$.

b) Lequel des deux objets, le satellite ou la balise, touchera le sol le premier ? Quel est l'intervalle de temps qui sépare les deux arrivées.

EXERCICE 11 :

On donne : Masse de la Terre : $M_T = 5,97.10^{24} \text{ kg}$; Rayon de la Terre : $R_T = 6370 \text{ km}$. Masse du satellite : $m = 650 \text{ kg}$; Constante de gravitation : $G = 6,67.10^{-11} \text{ N.m}^2.\text{kg}^{-2}$.

SPOT est un satellite de télédétection. Il évolue à l'altitude $h=832 \text{ km}$ sur une trajectoire circulaire contenue dans un plan passant par l'axe des pôles de la Terre. Un tel satellite est appelé satellite à défilement.

1. Montrer que le mouvement du satellite est uniforme. Donner alors l'expression de sa vitesse V en fonction de G, M_T, R_T et h . Faire l'application numérique.

2. Etablir l'expression de la période de révolution du satellite SPOT en fonction de G, M_T, R_T et h .

3. Calculer l'angle de rotation de la Terre pendant une révolution du satellite. Pourquoi dit-on qu'un tel satellite est un satellite à défilement ?

4. Dans le champ de gravitation terrestre l'énergie potentielle du satellite est donnée par :

$$E_P = -\frac{GMm}{r} \text{ avec } r = R_T + h$$

4.1 Où a-t-on choisi la référence de l'énergie potentielle de gravitation ? Justifier la réponse.

4.2 Exprimer l'énergie mécanique du satellite en fonction de G, M_T, m, R_T et h puis en fonction de m et V , vitesse du satellite.

4.3 Calculer l'énergie mécanique du satellite à l'altitude h .

5. Le satellite SPOT est équipé d'un moteur permettant de corriger sa trajectoire.

5.1 Montrer que si le moteur fonctionne, toute variation ΔE_m de l'énergie mécanique du satellite s'accompagne de variation simultanée Δh de son altitude et ΔV de sa vitesse.

5.2 En utilisant les résultats des questions précédentes, exprimer la variation d'altitude Δh et la variation de vitesse ΔV corrélatives à une variation d'énergie mécanique ΔE_m . Calculer

ces variations pour $\Delta E_m = 5 \text{ MJ}$. On prendra $h = 832 \text{ km}$ et on utilisera les valeurs numériques trouvées précédemment pour V et E_m .

EXERCICE 12 :

Uranus est la 7^e planète du système solaire. Elle a été découverte en 1781 par William Herechelle. Elle fut

Satellite	Rayon de l'orbite r (10^6 m)	Période de révolution T (jour)
MIRANDA	129,8	1,4
ARIEL	191,2	2,52
UMBRIEL	266,0	4,14
TITANIA	435,8	8,71
OBERON	582,6	13,50

mieux connue par l'homme grâce à son survol, en 1986, par la sonde Voyager II. Uranus met 84 ans pour faire un tour complet autour du soleil. Les cinq plus gros satellites de la planète Uranus ont été découverts grâce aux observations depuis la Terre entre 1787 et 1948. Il s'agit de : Miranda, Ariel, Umbriel, Titania et Obéron.

Le tableau qui suit précise le rayon de la trajectoire de l'orbite décrite par chaque satellite autour d'Uranus et la période de révolution (durée d'un tour autour d'Uranus) ;

Dans tout le problème, on suppose que la répartition de masse des astres est à symétrie sphérique. Les mouvements des différents satellites d'Uranus sont étudiés dans le référentiel « Uranocentrique » supposé galiléen. On donne : $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ SI}$.

On prendra 1 jour = 86400 s.

1. On se propose de déterminer la vitesse d'un satellite d'Uranus.

On admet que le centre d'inertie du satellite effectue un mouvement circulaire dans le référentiel « Uranocentrique ».

1.1 Rappeler la définition d'un référentiel géocentrique. Définir, par analogie, le référentiel « Uranocentrique ».

1.2 Montrer que le mouvement du satellite est uniforme.

1.3 Etablir l'expression de la vitesse V du centre d'inertie du satellite en fonction du rayon r de sa trajectoire et de sa période T de révolution.

1.4 Faire l'application numérique pour le satellite Umbriel.

2. Dans la suite, on cherche à déterminer la masse M d'Uranus par deux méthodes.

2.1 Méthode graphique.

La courbe de la fonction $V^2 = f\left(\frac{1}{r}\right)$ où V

est la vitesse du satellite dans le référentiel

« Uranocentrique » et r le rayon de l'orbite

autour d'Uranus est représentée ci-dessous.

2.1.1. Etablir l'expression de la vitesse V en fonction de G , M et r .

2.1.2. En vous aidant de la courbe, déterminer la masse d'Uranus.

2.2. Utilisation de la troisième loi de Kepler

2.2.1. Etablir la 3^e loi de Kepler.

2.2.2. En utilisant les informations données sur les satellites, montrer aux erreurs d'expériences près, que le rapport $\frac{T^2}{r^3}$ est une constante dont on donnera la valeur numérique.

En déduire la masse d'Uranus et comparer le résultat avec celui obtenu par la méthode graphique.

EXERCICE 13 :

Pluton a été découvert par l'astronome Clyde W. Tombaugh, le 18 février 1930, après de longs mois d'observations. Pendant 66 ans, elle fut considérée comme la neuvième planète du système solaire. Cependant, depuis une quinzaine d'années, des objets semblables à Pluton de par leur taille et leur masse ont été découverts obligeant l'union astronomique internationale (UAI) à redéfinir la notion de planète.

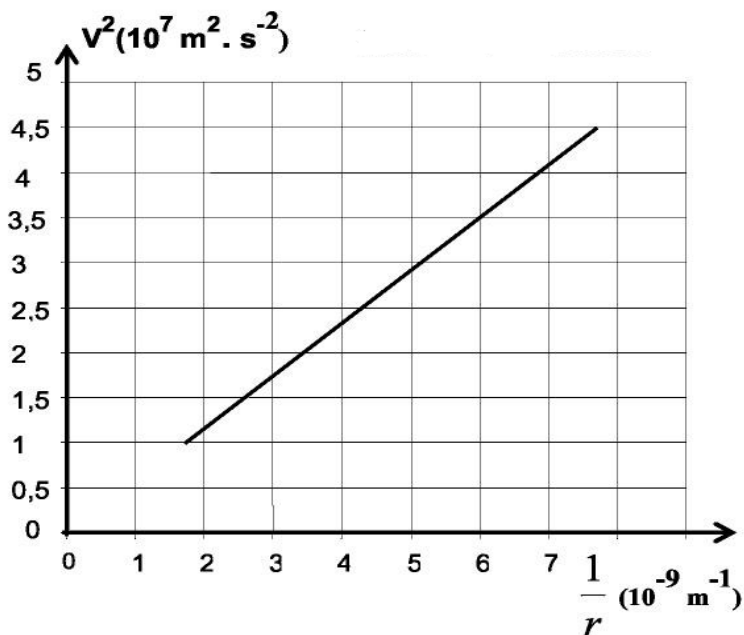
Depuis le mois d'août 2006, Pluton est classée parmi les planètes naines. Jusqu'en 1978, année de découverte de son premier satellite naturel Charon, la masse de Pluton n'était pas connue avec exactitude.

L'objectif de cet exercice est de déterminer la masse de Pluton en utilisant deux hypothèses qui conduiront à deux valeurs de cette masse notées M_{P1} et M_{P2}

1. Étude du mouvement de Charon

Le référentiel attaché à Pluton est appelé référentiel plutonocentrique. L'origine du référentiel est le centre de gravité de Pluton et ses axes sont parallèles à ceux du référentiel héliocentrique.

On considère que le référentiel plutonocentrique est galiléen. Les corps célestes Pluton et Charon sont à symétrie sphérique et à répartition uniforme de masse. On néglige toutes les



interactions autres que les interactions entre Pluton et Charon.

On notera M_{p1} la masse de Pluton, M_c la masse de Charon, P et C les centres de gravité respectifs de Pluton et de Charon.

On fera dans un premier temps l'hypothèse que la masse de Charon est négligeable devant celle de Pluton.

Le centre de gravité de Charon décrit une trajectoire supposée circulaire de rayon R autour de Pluton.

1.1. Donner l'expression vectorielle de la force gravitationnelle que Pluton exerce sur Charon en fonction des données. Faire un schéma où seront représentés Pluton, Charon et la force gravitationnelle que subit Charon.

1.2. Pluton met 6,387 jours solaires pour faire un tour sur elle-même et 248 années sidérales pour effectuer un tour autour du Soleil. Quelle est la période de révolution de Pluton? Justifier la réponse.

1.3.1. En appliquant la seconde loi de Newton au centre d'inertie de Charon, en déduire les caractéristiques (direction, sens, norme) du vecteur accélération $\vec{a}$ du centre d'inertie de Charon. La norme de $\vec{a}$ sera exprimée en fonction des données de l'énoncé.

1.3.2. Montrer que le mouvement de Charon est circulaire uniforme puis exprimer la vitesse de son centre d'inertie en fonction de G, M_{p1} et R.

1.3.3. Établir l'expression de la période de révolution T de Charon autour de Pluton.

1.3.4. Déduire des deux questions précédentes la relation suivante: $\frac{T^2}{R^3} = \frac{4\pi^2}{G \cdot M_{p1}}$

2. Détermination de la masse de Pluton

2. 1. À l'aide de la question 1.3.4., expliquer ce qui a permis, à partir de 1978, de déterminer la masse de Pluton.

2.2. En utilisant les tableaux de données et la question 1.3.4., calculer la masse M_{p1} de Pluton.

2.3. En réalité, la masse de Charon n'est pas négligeable devant celle de Pluton. On cherche donc à calculer la masse de Pluton, notée M_{p2} en tenant compte de cette nouvelle hypothèse.

On montre alors que : $\frac{T^2}{R^3} = \frac{4\pi^2}{G \cdot (M_{p2} + M_c)}$. En déduire la masse M_{p2} de Pluton.

2. 4. La valeur admise pour la masse de Pluton est $M_p = 1,31 \cdot 10^{22}$ kg. Discuter de la pertinence de l'hypothèse formulée à la question 2.3.

Données : $G = 6,673 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$; 1 année sidérale = 365,2564 jours solaires moyens ; 1 jour solaire moyen a une durée égale à 86 400 s .

Les caractéristiques de Pluton et de Charon sont données ci-après:

Tableau n°1 : Caractéristiques de Pluton

Rayon à l'équateur (km)	Distance moyenne au Soleil (km)
$1,15 \cdot 10^3$	$5,91 \cdot 10^9$

Tableau n°2 : Caractéristiques de Charon

EXERCICE 14 :

Masse (kg)	Rayon à l'équateur (km)	Période de rotation propre (en jours solaires)	Période de révolution autour de Pluton (en jours solaires)	Distance moyenne au centre de Pluton (km)
$1,61 \cdot 10^{21}$	$6,03 \cdot 10^2$	6,387	6,387	$1,94 \cdot 10^4$

Le transit d'une planète correspond à son passage entre la Terre et le Soleil. Pour un observateur terrestre cela se manifeste par la présence d'un disque sombre sur le fond brillant du Soleil.

Les transits de Vénus sont des phénomènes extrêmement rares. On compte en effet environ 2 passages de Vénus devant le Soleil par siècle, mais aucun transit n'a eu lieu au cours du 20^{ème} siècle. Au 19^{ème} siècle les passages de la planète devant le disque solaire ont eu lieu en 1874 et en 1882. Au 21^{ème} siècle, le même phénomène s'est reproduit très récemment le 8 juin 2004. Le prochain transit de Vénus aura lieu le 6 juin 2012.

La figure 1 est un montage photographique réalisé, en France, par un astronome amateur. On voit sur le même cliché quelques positions de ce transit. À partir de ce cliché et des données astronomiques fournies, l'astronome amateur désire mesurer la vitesse orbitale de Venus.

Quelques données astronomiques : $G = 6,67 \times 10^{-11}$ SI.

Soleil : Masse $M_1 = 2,0 \cdot 10^{30}$ kg ; Distance moyenne à la Terre $r_1 = 1,5 \cdot 10^8$ km ; Diamètre $D_1 = 1,4 \cdot 10^6$ km.

Vénus : Distance moyenne au Soleil $r_2 = 1,0 \times 10^8$ km ; Masse notée M_2 .

1. Étude des caractéristiques du mouvement de Vénus

Dans tout l'exercice on assimilera la Terre et Vénus à leur centre d'inertie.

L'astronome amateur considère que la planète Vénus tourne autour du Soleil sur une trajectoire circulaire dont le centre est le centre d'inertie du Soleil.

1.1. Représenter sur un schéma puis exprimer vectoriellement la force exercée par le Soleil sur la planète Vénus.

1.2. Montrer que Le mouvement de la planète Vénus autour du soleil est uniforme. Exprimer sa vitesse en fonction de G , M_1 et r_2 . Calculer cette vitesse.

1.3. Définir et exprimer la période de révolution T_2 de la planète Vénus autour du soleil. Calculer la valeur de cette période (en secondes).

1.4. Retrouver la 3^{ème} loi de Kepler. Exprimer littéralement la masse M_1 du Soleil en fonction des données astronomiques nécessaires.

2. Exploitation du transit de Vénus

En France le 8 juin 2004, on a pu observer le début du transit de Vénus (appelé 1^{er} contact) à 7 h 20 min et la fin du transit (appelé 3^{ème} contact) à 13 h 04 min heure locale. On prendra pour la durée de ce transit $t_{AB} = 2.10^4$ s. La photographie de la Figure 1 est remplacée par le schéma de la figure 2 plus facilement exploitable. On appelle A et B les points à la périphérie du Soleil correspondant au 1^{er} et au 3^{ème} contact. On admet que, sur la Figure 2, le rapport des distances $\frac{AB}{OE} = \frac{3}{4}$. La planète Vénus se déplace dans l'espace entre la Terre et le Soleil.

À chaque instant la position de la Terre, celle de Vénus et celle de la tache repérée sur le disque solaire sont alignées (voir la Figure 3).

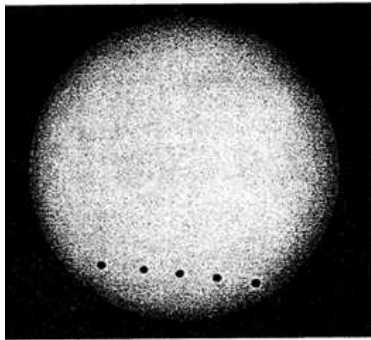


Figure 1

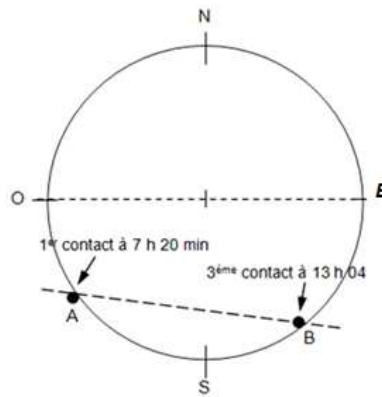


Figure 2

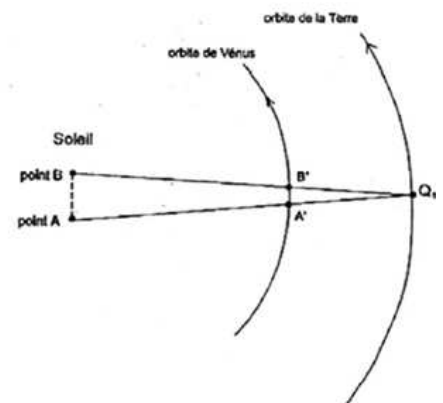


Figure 3

2.1. Dans un premier temps, l'astronome amateur considère que pendant la durée du transit de Vénus la Terre reste immobile, à la position Q_1 (voir Figure 3), par rapport au Soleil. En considérant que la durée écoulée entre le premier contact et le troisième contact est égale à $t_{AB} = 2.10^4$ s, montrer que la vitesse de Vénus déterminée à partir de la figure 3 est alors voisine de $v_1 \approx 18 \text{ km.s}^{-1}$ (valeur inférieure à la valeur v_2 calculée en 1.2). On assimilera les segments $A'B'$ et AB à deux segments parallèles.

2.2. Pour expliquer cette différence entre les deux valeurs calculées l'astronome amateur veut vérifier s'il était légitime de considérer la Terre immobile à la position Q_1 pendant la durée du transit. Sachant que la Terre se déplace sur son orbite à la vitesse de 30 km.s^{-1} calculer la distance Q_1Q_2 parcourue par la Terre sur son orbite pendant la durée t_{AB} . La comparer à la distance AB et montrer qu'on ne peut considérer la Terre immobile durant cette période.

2.3. Si durant la durée t_{AB} la Terre se déplace de la position Q_1 à la position Q_2 , la planète Vénus se déplace de la position A' à la position B'' différente de B' . Montrer que la distance $A'B''$ réellement parcourue par Vénus pendant la durée de l'occultation est supérieure à $A'B'$.

D - CORRIGE DES EXERCICES

EXERCICE 3

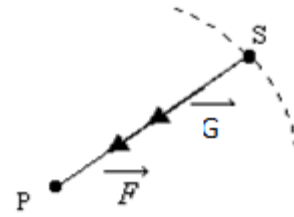
1. Caractéristique de la force gravitationnelle exercée par la planète sur le satellite.

Direction : suivant le rayon de la trajectoire

Sens : vers le centre de la planète (centripète)

2. Expression du vecteur champ de gravitation :

$$\vec{F} = m \vec{G} = -\frac{GMm}{r^2} \vec{i} \Rightarrow \vec{G} = \frac{K M m}{r^2} \vec{i}$$



4.

4.a. Expression de la vitesse.

$$V = \sqrt{\frac{K M}{r}}$$

4. Expression de la période

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{V \cdot r}$$

$$T^2 = \frac{4\pi^2 r^3}{K M} \Rightarrow \frac{r^3}{T^2} = \frac{K M}{4\pi^2}$$

EXERCICE 4

$$1) \vec{G} = -\frac{K m}{r^2} \vec{u} . \quad 2) a) \vec{F} = -\frac{K M m}{R^2} \vec{u} , \quad \vec{G}_O = -\frac{K M}{R^2} \vec{u} , \quad M = \frac{R^2 G_O}{K} = 6,0,10^{24} kg$$

$$. \quad b) v = \sqrt{\frac{K M}{r}} = 7,35,10^3 m.s^{-1} ; \quad T_s = 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{K M}} = 6,32,10^3 s .$$

$$3) \Delta t = \frac{T_S T_O}{T_O - T_S} = 6,82,10^3 s = 1h54min . \quad 4) a) \text{ immobile par rapport à la surface terrestre.}$$

$$b) r = 42000 km$$

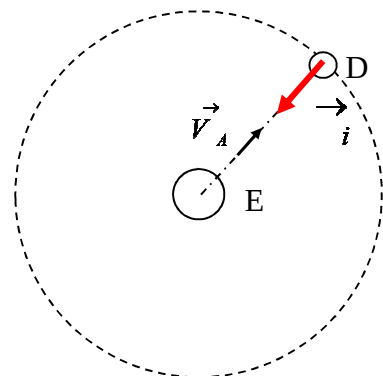
EXERCICE 5

$$5) M = \frac{4\pi^2 r^3}{K T^2} = 5,78,10^{26} kg ; \quad 6) r' = r \left(\frac{T'}{T} \right)^2 = 5,3,10^5 km ;$$

EXERCICE 6

$$4) r' = 3 \sqrt{\frac{T'^2 g_O R_T^2}{4\pi^2}} = 42140 km$$

$$6.b) t' = \frac{T_{S2} T_{S1}}{T_{S1} - T_{S2}} = 1,64,10^5 s$$



EXERCICE 7

1.2. $T_E (= 557 ans) > T_P (= 248 ans)$ donc $\frac{T_E^2}{T_P^2} > 1$ $r_E > r_P$, l'orbite d'Éris se situe **au-delà**

de celle de Pluton.

2.1. Mouvement de Dysnomia

2.1.1. On utilisera un référentiel dont le centre est confondu avec le centre d'inertie d'Éris et dont les axes sont dirigés vers trois étoiles lointaines. On pourrait parler de référentiel « ériscentrique ».

Ce référentiel est considéré comme galiléen.

2.1.2. Considérons le mouvement circulaire uniforme de Dysnomia dans le référentiel « ériscentrique ».

Le satellite Dysnomia est soumis à une unique force d'attraction gravitationnelle exercée par Éris, $\vec{F}_{E \rightarrow D}$.

Appliquons la deuxième loi de Newton à Dysnomia : $\vec{F}_{E \rightarrow D} = M_D \cdot \vec{a}$ □

$$-G \cdot \frac{M_E \cdot M_D}{R_D^2} \cdot \vec{u}_{ED} = M_D \cdot \vec{a} \quad \boxed{\vec{a} = -G \cdot \frac{M_E}{R_D^2} \cdot \vec{u}_{ED}}$$

2.1.3. Le vecteur accélération est porté par le rayon de la trajectoire (il est **radial**) et est orienté vers le centre de la trajectoire (il est **centripète**).

2.1.4.

$$T_D^2 = \frac{4\pi^2 R_D^3}{G M_E} = \frac{4\pi^2 R_D^3}{G M_E} \text{ on obtient } \boxed{T_D = 2\pi \sqrt{\frac{R_D^3}{G M_E}}} \quad \text{on retrouve la troisième loi de Kepler}$$

$$\boxed{\frac{T_D^2}{R_D^3} = \frac{4\pi^2}{G M_E}}$$

2.2.1. D'après la troisième loi de Kepler on a : $G M_E = \frac{4\pi^2}{T_D^2} \cdot R_D^3 \quad \boxed{M_E = \frac{4\pi^2}{G T_D^2} \cdot R_D^3}$

$$M_E = \frac{4 \times \pi^2 \times (3,60 \times 10^7)^3}{6,67 \times 10^{-11} \times (1,30 \times 10^6)^2} = 1,63 \times 10^{22} \text{ kg}$$

2.2.2. $\frac{M_E}{M_p} = \frac{1,63 \times 10^{22}}{1,31 \times 10^{22}} = 1,24$

La masse d'Éris est un peu plus grande que celle de Pluton. Si Eris n'est pas considérée comme une planète, alors Pluton qui a une masse moins importante que celle d'Eris ne l'est pas non plus. Eris et Pluton sont en fait des représentants des « planètes naines ».

EXERCICE 8

1. Théorème du centre d'inertie

$$\vec{F} = m \vec{a} = m \vec{g} \Rightarrow \vec{a} = \vec{g} = \vec{a}_n \Rightarrow \vec{a}_T = \vec{0} = \frac{d\vec{v}}{dt} \Rightarrow v = cte$$

$\vec{g}$ centripète donc $\vec{a}$ centripète ainsi $a_T=0$ donc le mouvement est uniforme

2. expression de g :

$$g = g_0 \frac{R^2}{(R+h)^2}$$

3.a. Période et énergie cinétique du satellite

$$T = \frac{2\pi}{R\sqrt{g_0}} r^{\frac{8}{2}} = \frac{2\pi}{R\sqrt{g_0}} (R+h)^{\frac{8}{2}}$$

$$V_0 = R\sqrt{\frac{g_0}{R+h}}; E_C = \frac{1}{2}mV^2 = \frac{mg_0R^2}{2(R+h)} = 1,97.10^{10} J$$

4b .Période de révolution

$$T_L = \frac{2\pi}{R\sqrt{g_0}} r_L^{\frac{8}{2}} = 236786 s = 27,4 \text{ jours}$$

cette valeur est conforme au mois lunaire.

4. a. Masse de la Lune

Au point d'équi-gravitation

$$\frac{K_m M_T}{d_1^2} = \frac{K_m M_L}{d_2^2} \Rightarrow \frac{M_T}{d_1^2} = \frac{M_L}{d_2^2} \quad d_2 = R_L + x \quad ; \quad d_1 = D * (R_L + x) \quad ;$$

$$\frac{M_T}{[D - (R_L + x)]^2} = \frac{M_L}{(R_L + x)^2} \Rightarrow M_L = M_T * \left(\frac{R_L + x}{D - (R_L + x)} \right)^2 = 7,34.10^{22} Kg$$

EXERCICE 9

3. $v=7,73.10^3 \text{ m/s}$; $T=5,42.10^3 \text{ s}$.

4. La durée du mouvement de DISCOVERY est $\Delta t=nT=11,85 \text{ jours} \approx 12 \text{ jours}$.

La date de lancement de la navette est la date d'atterrissage moins la durée du mouvement soit : 18 août 1997 – 12 jours = 6 août 1997

5. Le travail du poids de DISCOVERY entre les dates t_1 et t_2 est :

$$W^{\vec{P}} = mg(z_1 - z_2) = 69,68.10^3 \times 9,7(54,86.10^3 - 11,58.10^3) = 2,93.10^{10} J$$

6. Appliquons le théorème de l'énergie cinétique sur la navette

entre les instants t_1 et t_2

$$\frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = W^{\vec{P}} + W^{\vec{f}} \rightarrow W^{\vec{f}} = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 - W^{\vec{P}}$$

$$W^{\vec{f}} = \frac{1}{2} \times 69,68.10^3 (223,5^2 - 1475^2) - 2,93.10^{10} = -1,03.10^{11} J$$

EXERCICE 13

1.2 La période de révolution de Pluton est la durée nécessaire pour que Pluton fasse un tour complet autour du Soleil, soit 248 années sidérales.

2.1. La détermination de la masse de Pluton, à partir de 1978, a été faite à partir de la période de révolution T de Charon autour de Pluton et de la distance moyenne R entre Pluton et Charon

$$\mathbf{2.2 . M_{P1} = \frac{4.\pi^2.R^3}{G.T^2} = 1,42.10^{22} kg.}$$

2.3 Avec la relation : $\frac{T^2}{R^3} = \frac{4\pi^2}{G \cdot (M_{P_2} + M_C)}$ $\square M_{P_2} = \frac{4\pi^2 \cdot R^3}{G \cdot T^2} - M_C = M_{P_1} - M_C$

$M_{P_2} = 1,42 \cdot 10^{22} - 1,61 \cdot 10^{21} = 1,26 \cdot 10^{22} \text{ kg}$

2.4. La valeur admise pour la masse de Pluton est $1,31 \cdot 10^{22} \text{ kg}$. Cette valeur est plus proche de $1,26 \cdot 10^{22} \text{ kg}$ (soit un écart relatif de 4%) que de $1,42 \cdot 10^{22} \text{ kg}$ (soit un écart relatif de 8%).

On ne peut donc pas négliger la masse de Charon devant celle de Pluton. L'hypothèse formulée en 2.3. est sans doute vraie

EXERCICE 14

1.2. $V = 3,6 \times 10^4 \text{ m.s}^{-1}$; 1.3. $T = 1,7 \times 10^7 \text{ s}$; 1.4 $M_{\text{Soleil}} = \frac{4\pi^2 R_2^3}{T_2^2 G}$

2.1 $V = \frac{A'B'}{t_{AB}}$, il faut donc déterminer la distance A'B'. D'après le théorème de Thalès,

appliqué dans le triangle Q_1BA , on a $\frac{Q_1B'}{Q_1B} = \frac{A'B'}{AB}$

D'autre part, on a $Q_1B = R_1$ et $Q_1B' = Q_1B - BB' = R_1 - R_2$ donc

$\frac{R_1 - R_2}{R_1} = \frac{A'B'}{AB}$ soit $A'B' = AB \cdot \left(\frac{R_1 - R_2}{R_1} \right)$

$V = \frac{AB}{t_{AB}} \cdot \left(\frac{R_1 - R_2}{R_1} \right) = 17,5 \text{ km.s}^{-1}$; on retrouve la valeur proposée

$V \approx 18 \text{ km.s}^{-1}$.

2.2 Vitesse de la Terre, $V_T = 30 \text{ km.s}^{-1}$; $V_T = \frac{Q_1Q_2}{t_{AB}}$ donc

$Q_1Q_2 = V_T \cdot t_{AB} \square \square \square \square Q_1Q_2 = 6,0 \times 10^5 \text{ km}$.

Cette distance parcourue par la Terre n'est pas négligeable face à la distance AB. ($AB = 1,05 \times 10^6 \text{ km}$). La Terre ne peut pas être considérée comme étant immobile pendant le transit de Vénus.

CHAPITRE 5

GENERALITES SUR LES CHAMPS MAGNETIQUES - CHAMPS MAGNETIQUES DES COURANTS

A – OBJECTIFS

Mettre en évidence quelques interactions magnétiques

Déterminer les caractéristiques du vecteur champ magnétique crée par quelques éléments de circuit électrique (fil rectiligne, spire circulaire, bobine plate, solénoïde).

Utiliser la règle de composition des champs magnétiques.

Protéger certains appareils électroniques des sources de champs magnétiques intenses

B - L'ESSENTIEL DU COURS

Définition

Un champ magnétique caractérise la propriété acquise par un aimant du fait de la présence d'un aimant. Il est détecté par une aiguille aimantée.

On appelle champ magnétique toute région de l'espace dans laquelle une aiguille aimantée est soumise à des forces magnétiques.

Il a pour origine l'existence des particules électriquement chargées en mouvement.

L'aimant est une source de champ magnétique et l'aiguille aimantée un détecteur de ce champ.

Remarque : Le courant électrique est aussi une source de champ magnétique

NB : Toute source de champ magnétique peut jouer le rôle de détecteur de champ.

Pôles d'un aimant : les propriétés magnétiques d'un aimant sont portées par ses extrémités appelées pôles de l'aimant. On en distingue deux : Le pôle nord et le pôle sud.

Le vecteur- champ magnétique :

La grandeur caractéristique d'un champ magnétique est le vecteur – champ magnétique $\vec{B}$. Ses caractéristiques sont :

Direction : Droite longeant un aiguille aimantée judicieusement utilisée placée au point où $\vec{B}$ est déterminé/

Sens : Sud – Nord l'aiguille

Norme : déterminée par un tesla mètre et exprimée dans le système international en tesla (T).

Caractéristiques de champs créés par des courants.

- Champ créé par un Solénoïde traversé par un courant : un Solénoïde est une bobine conductrice dont le diamètre est très petit par rapport à sa longueur ; on la dit infiniment longue. L'expression de l'intensité du champ créé au centre du solénoïde traversé par un courant d'intensité I est : $B = \mu_0 n I$ où n est le nombre de spires par mètre
- Champ créé par une bobine plate traversé par un courant : l'expression de l'intensité du champ créé au centre de la bobine est $B = \frac{\mu_0 N I}{2R}$ où N et R sont respectivement le nombre de spires et le rayon de la bobine
- Les bobines d'Helmholtz : c'est un dispositif constitué de deux bobines plates identiques coaxiales traversées par deux courants de même intensité et circulant dans le même sens. Il permet d'obtenir un champ uniforme
- Champ créé par un fil infiniment long traversé par un courant I : l'intensité de ce champ s'écrit $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi d}$ où μ_0 est la perméabilité du vide

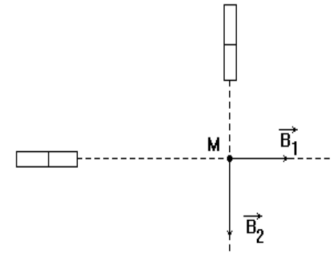
C-EXERCICES

EXERCICE 1 :

En un point de l'espace se superposent deux champs magnétiques $\vec{B}_1$ et $\vec{B}_2$ créés par deux aimants dont les directions sont orthogonales (voir fig. ci-contre).

Leurs intensités sont respectivement $B_1 = 3.10^{-3}$ T et $B_2 = 4.10^{-3}$ T.

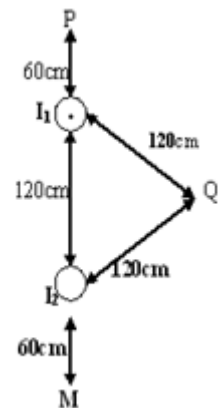
1. Déterminer les pôles des deux aimants.
2. Représenter graphiquement le champ $\vec{B}$ résultant au point M
Calculer B et $\alpha = (\vec{B}_1, \vec{B})$.



EXERCICE 2 :

Deux fils rectilignes, parallèles et horizontaux, sont distants de 120cm, comme l'indique la figure. Le fil supérieur est parcouru par un courant d'intensité $I_1 = 6$ A, dirigé vers l'avant de la figure ci-dessous.

1. Déterminer l'intensité et le sens du courant I_2 qui circule dans le second conducteur pour que le champ s'annule en M.



EXERCICE 3 :

Une boussole de déclinaison s'aligne sur la composante horizontale du champ magnétique auquel elle est soumise. On repère la direction nord-sud magnétique en déterminant la position d'équilibre d'une boussole placée dans le champ magnétique terrestre. On approche un aimant en U tel qu'entre ses branches règne un champ magnétique $\vec{B}$ de sorte que ce champ soit orthogonal à $\vec{B}_H$.

1. Faire un schéma indiquant la position de l'aimant.
2. Donner les caractéristiques du champ magnétique auquel est soumise la boussole.
3. La boussole dévie d'un angle $= 57^\circ$. Quelle est la valeur de $\vec{B}$
On donne $B_H = 0,2.10^{-4}$ T.

EXERCICE 4 :

On étudie à l'aide d'un tesla mètre l'intensité B du champ magnétique créé par un courant passant dans un solénoïde en son centre, en fonction de divers paramètres.

- 1) Dans une première expérience, on utilise un solénoïde de longueur $\ell_1 = 0,50$ m comportant $N_1 = 240$ spires.

On fait varier l'intensité I (en A) du courant qui passe dans le solénoïde ; pour chaque valeur de I, on note la valeur B (en T). Les résultats sont consignés dans le tableau suivant :

I (A)	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
B (T)	60.10^{-5}	85.10^{-5}	120.10^{-5}	150.10^{-5}	190.10^{-5}	215.10^{-5}	245.10^{-5}	275.10^{-5}	310.10^{-5}

Représenter graphiquement B en fonction de I. (Echelles : 1 cm pour 0,5 A ; 1 cm pour 20.10^{-5} T).

En déduire une relation entre B et I.

- 2) On refait la même expérience avec un solénoïde de longueur $\ell_2 = 0,80$ m comportant $N_2 = 768$ spires.

On obtient les résultats suivants :

I (A)	1,0	2,0	3,0	4,0
B (T)	$120 \cdot 10^{-5}$	$240 \cdot 10^{-5}$	$380 \cdot 10^{-5}$	$480 \cdot 10^{-5}$

- 2.1. Calculer le nombre n de spires par mètre pour chacun des deux solénoïdes.
- 2.2. Dédire des deux expériences une relation entre B , I et n .
- 2.3. Dans la formule théorique liant B , n et I intervient un coefficient $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ (unité SI). Comparer cette valeur à celle qui est déterminée par le graphique obtenu à la question 1.

EXERCICE 5 :

L'axe d'une bobine plate à spires circulaires de centre O est perpendiculaire au méridien magnétique. On place en son centre une petite aiguille aimantée mobile autour d'un axe vertical.

1. Dans une première expérience, la bobine est parcourue par un courant continu d'intensité $I_1 = 100$ mA dont on inverse le sens brutalement. L'aiguille effectue alors une rotation $\alpha = 90^\circ$. En déduire la valeur B_1 du champ magnétique créée par la bobine.

La composante horizontale du champ magnétique terrestre est $B_H = 2,0 \cdot 10^{-5}$ T.

2. Au cours d'une seconde expérience les opérations de la question 1 sont reproduites mais avec un courant d'intensité différente I_2 . On désire que l'aiguille tourne d'un angle $\alpha = 120^\circ$. Quelle valeur doit-on donner à l'intensité I_2 ?

EXERCICE 6 :

Un solénoïde long horizontal, comporte 2000 spires par mètre et renferme dans sa région centrale une aiguille aimantée placée sur un pivot vertical. Initialement, l'axe horizontal du solénoïde est dans le plan méridien magnétique du lieu où l'on réalise l'expérience.

1. Calculer l'intensité I_0 du courant qui doit passer dans le solénoïde pour que le champ créé dans sa région centrale ait la même valeur que la composante horizontale du champ magnétique terrestre : $B_H = 2 \cdot 10^{-5}$ T.
2. On désire créer dans le solénoïde, une zone où le champ magnétique résultant est nul. Faire un schéma indiquant la position du solénoïde et le sens du courant. Quelle orientation prend l'aiguille aimantée placée au centre du solénoïde ? Justifier votre réponse.
- 3-Le solénoïde conservant la position précédente, on modifie l'intensité du courant sans changer le sens. Elle devient $I = 2I_0$, donne les caractéristiques résultant au centre du solénoïde.

D- CORRIGE DES EXERCICES

EXERCICE 1 : 2, $B = 5 \cdot 10^{-3}$ T et $\tan \alpha = \frac{4}{3}$

EXERCICE 6

$I = 8$ mA ;

2-l'axe parallèle au méridien magnétique, face nord opposé au sens de $\vec{b}_h$

3- $\vec{B}_c = -2\vec{b}_h$

CHAPITRE 6

MOUVEMENT D'UNE PART CHRGEE DANS UN CHAMP MAGNETIQUE UNIFORME

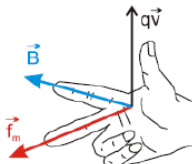
A-OBJECTIFS

- Déterminer les caractéristiques de la force de Lorentz.
- Enoncer et utiliser les règles de représentation de la force de Lorentz.
- Déterminer la nature du mouvement d'une particule chargée dans B.
- Déterminer les caractéristiques du mouvement d'une particule chargée dans B (Calcul du rayon de la trajectoire, détermination de la période de rotation).
- Déterminer la déflexion magnétique.

B-L'ESSENTIEL DU COURS

Une charge q qui se déplace dans un espace champ magnétique caractérisé par le vecteur champ magnétique $\vec{B}$ avec une vecteur vitesse $\vec{v}$ subit une force dite force de Lorentz d'expression $\vec{F} = q\vec{v} \wedge \vec{B}$.

- Son point d'application est le centre d'inertie de la particule :
- Sa direction est la perpendiculaire au plan formé par les vecteurs $\vec{v}$ et $\vec{B}$;
- Son sens est donné par entre autres, la règle des trois doigts de la main droite.



Lorsqu'une particule pénètre dans un champ magnétique uniforme avec un vecteur vitesse $\vec{v}_0$ perpendiculaire au vecteur champ magnétique $\vec{B}$ son mouvement est circulaire uniforme. Le rayon de la trajectoire est donné par la relation $R = \frac{mv_0}{|q|B}$. Lorsque $\vec{v}_0$ est parallèle à $\vec{B}$ la force de Lorentz est nulle : le mouvement de la particule est rectiligne et uniforme.

➤ Applications :

- Déflexion magnétique
- Spectrographe de masse
- Filtre de vitesse
- cyclotron

C-EXERCICES

EXERCICE 1 :

Une particule, de charge q et de masse m , plongée dans un champ magnétique $\vec{B}$ possède un mouvement circulaire et uniforme de période T . Déterminer l'expression de la période T du mouvement de la particule en fonction de m , q et B .

Application : La fréquence du mouvement d'une particule de charge q et de masse m , en mouvement circulaire uniforme dans un champ magnétique de valeur $B = 0,1 \text{ T}$ est $N = 1,534 \text{ MHz}$. Identifier la particule.

Particule	Charge (C)	Masse (kg)
électron	$1,6 \cdot 10^{-19}$	$9,1 \cdot 10^{-31}$
proton p	$1,6 \cdot 10^{-19}$	$1,66 \cdot 10^{-27}$
méson K^+	$1,6 \cdot 10^{-19}$	$8,79 \cdot 10^{-28}$

EXERCICE 2:

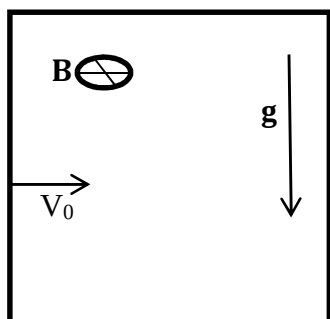
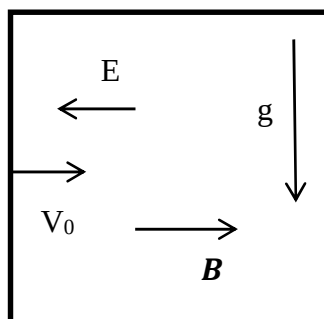
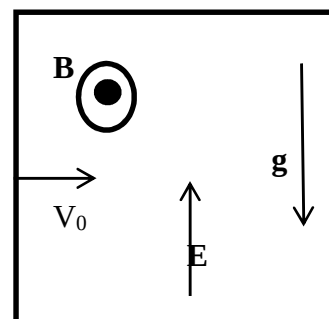
Une petite sphère S de masse $m = 5\text{g}$, porte une charge $q = 4 \cdot 10^{-7}\text{C}$ part d'un point A à vitesse nulle et se déplace dans une zone où, en plus du champ g , règne un champ électrique uniforme d'intensité $E = 10^4 \text{ V/m}$ et $OA = 0,5\text{m}$.

- 1) Ecrire les équations horaires du mouvement de la sphère. Quelle est la nature du mouvement ?
- 2) Calcule la position I du point de sortie de la zone
- 3) Détermine la durée de la traversée
- 4) Calcule la déviation (entre l'entrée et la sortie de la zone).

EXERCICE 3 :

Un électron de masse $m = 9,1 \cdot 10^{-31}\text{kg}$ et de charge électrique $q = -1,6 \cdot 10^{-19}\text{C}$, initialement en mouvement rectiligne uniforme pénètre avec une vitesse $v_0 = 10^7 \text{ m/s}$ dans un domaine de l'espace où règnent, superposés deux ou trois champs uniformes $E = 10^4 \text{ V/m}$, $B = 10^{-3}$; $g = 9,8 \text{ m/s}^2$. Dans chaque espace :

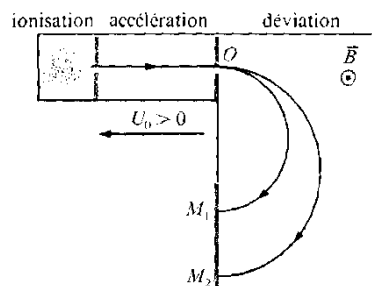
- 1) Déterminer les caractéristiques (direction, sens, intensité) des forces s'exerçant sur l'électron à son entrée au point O . Faire un schéma très clair.
- 2) Etudier le mouvement de l'électron pendant sa traversée de l'espace considéré : on déterminera l'accélération a et la trajectoire. En déduire la nature du mouvement.
- 3) Calculer la vitesse de l'électron à sa sortie de l'espace champ.

**Espace 1****Espace 2****Espace 3**

EXERCICE 4 :

Des ions X^+ (A_1, Z) et X^+ (A_2, Z) d'atomes isotopes, créés dans une chambre d'ionisation avec une vitesse négligeable, sont accélérés par une ddp U_0 . Ils sont ensuite envoyés dans une chambre de déviation où règne un champ magnétique. Montrer que la relation entre OM_1 et OM_2 peut se mettre sous

$$\text{la forme } \frac{OM_1}{OM_2} = \sqrt{\frac{A_1}{A_2}}$$

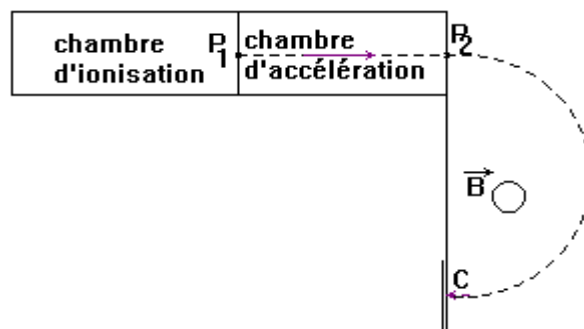
**EXERCICE 5 :**

On place un élément inconnu X dans une chambre d'ionisation. Elle produit des ions (X^{n+}) qui sont introduits avec une vitesse nulle en P_1 dans le spectrographe de masse. La masse des ions est notée m . n est un entier positif. La charge élémentaire e est égale à $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

Entre P_1 et P_2 , on applique une différence de potentiel $U = U_{P_1 P_2}$. Exprimer la vitesse V_B

En P_2 ouverture très petite, les ions pénètrent avec une vitesse horizontale dans une région où règne un champ magnétique perpendiculaire au plan de la figure. Les particules sont détectées au point C.

- Indiquer le sens du champ magnétique.
 - Quelle est la puissance instantanée de la force électromagnétique ?
 - Déterminer la valeur de la vitesse en C.
3. Exprimer en fonction de m , n , e , B et $U_{P_1 P_2}$ la distance $P_2 C$ (B est la norme du champ magnétique).

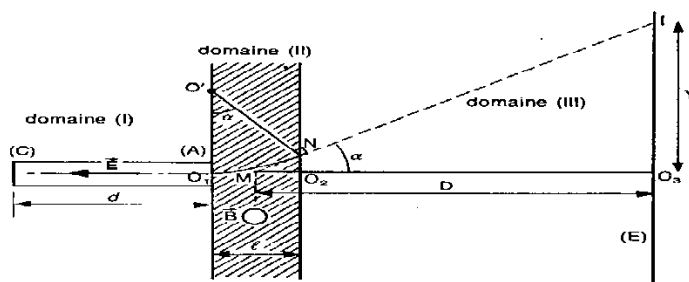
**EXERCICE 6 :**

Dans tout l'exercice, on négligera le poids de l'électron devant les autres forces qui agissent sur lui. Des électrons de masse m et de charge q sont émis sans vitesse initiale par la cathode (C). Ils subissent sur la longueur d , l'action du champ électrique uniforme $\vec{E}$.

2. Arrivés en O_1 , les électrons

subissent sur la distance l l'action d'un champ magnétique uniforme $\vec{B}$ perpendiculaire au plan de la figure (le domaine où règne ce champ $\vec{B}$ est hachuré). Quel doit être le sens du vecteur $\vec{B}$ pour que les électrons décrivent l'arc de cercle ? Justifier la réponse. Établir l'expression du rayon $R = O'O_1 = O'N$ de cet arc de cercle. Calculer la valeur de R pour $B = 2 \cdot 10^{-3} \text{ T}$.

4. Déterminer la nature du mouvement de l'électron dans le domaine III où n'existe aucun champ



5. Le domaine III est limité par un écran (E) sur lequel arrivent les électrons. Exprimer en fonction de m , e , B , D , l et V_0 la déflexion magnétique $O_3I = Y$ subie par un électron à la traversée du système II + III.

La droite IN coupe l'axe O_1O_2 au point M.

6. L'écran E est à la distance D de ce point M.

On fera les hypothèses simplificatrices suivantes :

- dans le domaine II de l'espace, on peut confondre la longueur de l'arc avec la longueur $O_1O_2 = l$ où règne le champ $\vec{B}$.

- On supposera que la déviation angulaire est faible.

7. Sachant que $Y = 3,35\text{cm}$, retrouver la valeur de la vitesse de l'électron au point O_1 .

Données : $D = 40\text{cm}$; $l = 1\text{ cm}$; $d = 10\text{ cm}$; $m = 9,1 \cdot 10^{-31}\text{ kg}$; $E = 5 \cdot 10^4\text{ V.m}^{-1}$.

EXERCICE 7 :

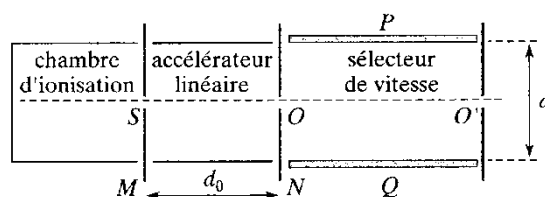
- 1) Une chambre d'ionisation produit des noyaux d'hélium ${}^3_2\text{He}^{2+}$, ${}^4_2\text{He}^{2+}$, ${}^6_2\text{He}^{2+}$ de masses respectives m_1 , m_2 , m_3 . Leur poids est négligeable devant les forces électromagnétiques qu'ils subissent. Ils pénètrent en S sans vitesse initiale dans un accélérateur linéaire où ils sont soumis à l'action d'un champ électrique uniforme $\vec{E}_0$ créé par une différence de potentiel $U_0 = V_M - V_N$.

On désignera par $\vec{v}_1$, $\vec{v}_2$, $\vec{v}_3$ les vecteurs vitesses en O des ions ${}^3_2\text{He}^{2+}$, ${}^4_2\text{He}^{2+}$, ${}^6_2\text{He}^{2+}$.

On notera e la charge électrique élémentaire.

1.a- Déterminer le signe de U_0 et représenter le champ électrique $\vec{E}_0$ dans l'accélérateur.

1.b- Exprimer la norme de l'accélération d'un ion ${}^4_2\text{He}^{2+}$ en fonction de U_0 , d_0 , e et m_2 ; préciser la nature de son mouvement.



- 2) Montrer qu'en O, à la sortie de l'accélérateur, $m_1 v_1^2 = m_2 v_2^2 = m_3 v_3^2$.

3) Les ions pénètrent ensuite dans un sélecteur de vitesse limité par les plaques P et Q. Ils sont alors soumis à l'action simultanée de deux champs : un champ électrique uniforme $\vec{E}$, créé par une différence de potentiel positive $U = V_Q - V_P$, et un champ magnétique uniforme $\vec{B}$ perpendiculaire à $\vec{v}_1$, $\vec{v}_2$, $\vec{v}_3$.

3.a- Représenter le champ magnétique $\vec{B}$ pour que la force électrique et la force magnétique aient même direction, mais des sens contraires.

3.b- On règle la valeur de U de façon que le mouvement des ions ${}^4_2\text{He}^{2+}$ soit rectiligne uniforme de trajectoire OO' . Exprimer U en fonction de B , v_2 et d .

- 4) Comment seront déviés les ions ${}^3_2\text{He}^{2+}$, ${}^4_2\text{He}^{2+}$, ${}^6_2\text{He}^{2+}$?

On se contentera de donner l'allure des trajectoires sans préciser leur nature et sans faire de calcul.

Donnée: ${}^3_2\text{He}^{2+}$: $m_1 = 5,0 \cdot 10^{-27}\text{ kg}$; ${}^4_2\text{He}^{2+}$: $m_2 = 6,7 \cdot 10^{-27}\text{ kg}$; ${}^6_2\text{He}^{2+}$: $m_3 =$

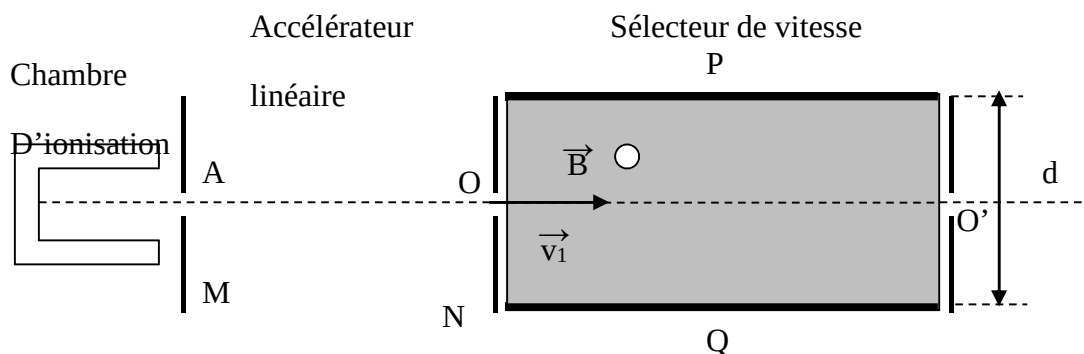
EXERCICE 8 :

Une chambre d'ionisation produit des ions d'hélium ${}^3_2\text{He}^+$, ${}^4_2\text{He}^+$ et ${}^4_2\text{He}^{2+}$ de masses respectives m_1 , m_2 et m_3 . Leurs poids sont négligeables devant les forces électromagnétiques

qu'ils subissent. Ils pénètrent en A sans vitesse initiale dans un accélérateur linéaire où ils sont soumis à l'action d'un champ électrique uniforme $\vec{E}_0$, créé par une différence de potentiel $U_0 = V_M - V_N$.

On désignera par $\vec{v}_1$, $\vec{v}_2$, $\vec{v}_3$ les vecteurs vecteurs les vitesses respectives en O des ions ${}^3_2\text{He}^+$, ${}^4_2\text{He}^+$ et ${}^4_2\text{He}^{2+}$.

On notera e la charge électrique élémentaire.



- 1° a) Déterminer le signe de U_0 afin d'accélérer les particules et puis représenter le champ électrique $\vec{E}_0$ dans l'accélérateur.
- b) Exprimer la norme de l'accélération d'un ion ${}^4_2\text{He}^{2+}$ en fonction de U_0 , d_0 , e et m_2 entre A et O. Préciser la nature de son mouvement. On pose $AO = d_0$.
- c) A la sortie de l'accélérateur, les différents ions ont-ils la même énergie cinétique ? La même vitesse ? Justifier.
- 2° A la sortie de l'accélérateur, les ions pénètrent ensuite dans un sélecteur de vitesse limité par les deux plaques P et Q distants de d . Ils sont alors soumis à l'action simultanée de deux champs :

- un champ électrique uniforme $\vec{E}$ créé par $U = V_Q - V_P > 0$.
- Un champ magnétique $\vec{B}$ orthogonal aux vecteurs vitesse des particules.

- a) Représenter le champ magnétique $\vec{B}$ pour que la force électrique et la force magnétique aient la même direction mais des sens contraires.
- b) On règle la valeur de U de façon que le mouvement des ions ${}^4_2\text{He}^+$ soit rectiligne uniforme, de trajectoire OO' .
Exprimer U en fonction de B , v_2 et d .

- c) Donner l'allure des trajectoires des ions ${}^3_2\text{He}^+$ et ${}^4_2\text{He}^{2+}$.

Données : $m_1 = 3 \text{ u}$; $m_2 = m_3 = 4 \text{ u}$; $1 \text{ u} = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.

EXERCICE 9 :

Un cyclotron est constitué par deux boîtes demi cylindriques D et D' à l'intérieur desquels on établit un champ magnétique de vecteur $\vec{B}$.

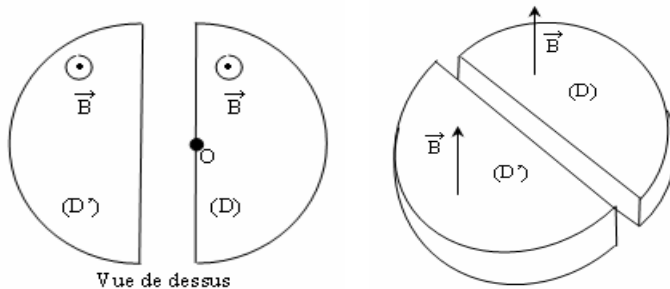
Dans l'espace compris entre ces boîtes, on établit une tension alternative $U_{DD'}$ de valeur maximale U . Des ions positifs de charge q et de masse m sont injectés en O avec une vitesse négligeable mais non nulle.

- 1) La tension $U_{DD'}$ est positive.

- a) Exprimer l'énergie cinétique E_c et la vitesse v de ces ions à leur première entrée en D'. On suppose que les ions sont soumis au champ électrique d'intensité maximale.

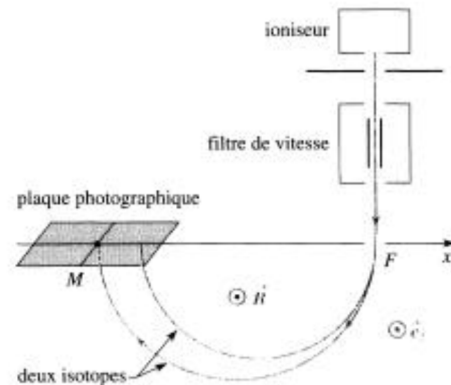
Application numérique : $q = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; $m = 0,33 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$; $U = 10^5 \text{ V}$.

- b) Ces ions pénètrent alors dans D'. Quel est la nature de leur mouvement ultérieur ? Exprimer le rayon R_0 de leur trajectoire en fonction de B , q , U et m . Application numérique : $\|\vec{B}\| = 1 \text{ T}$.
- 2) Les ions ressortent de D', on inverse la tension $U_{DD'}$ en conservant la valeur de U . Etablir les expressions littérales :
- de la norme de leur vitesse et de leur énergie cinétique ;
 - du rayon R_1 de leur trajectoire dans D.
- 3) Exprimer le rayon R_n de la trajectoire des ions en fonction de R_0 et du nombre n de passage entre D et D'.
- 4) Le rayon du cyclotron étant de 49,5 cm, calculer le nombre total de tours décrit par ces ions et leur énergie cinétique (en eV) à leur sortie.



EXERCICE 10 :

Dans un tel spectrographe, les ions (supposés ici positifs) sortant d'un ioniseur où ils ont été préalablement accélérés sous une tension de valeur absolue U , traversent d'abord un filtre de vitesse, pénètrent alors dans un champ magnétique transversal uniforme et indépendant du temps $\vec{B} = B\vec{k}$ puis décrivent un demi-cercle et viennent impressionner la plaque photographique.



- La fente F étant supposée très fine, déterminer la distance séparant les traces rectilignes associées à deux isotopes.

- Calculer la distance séparant les isotopes $^{39}\text{K}^+$ et $^{41}\text{K}^+$ sur la plaque.

Données : $B = 0,1 \text{ T}$; $U = 10 \text{ kV}$.

Réponses : $d = \frac{2U}{B} (\sqrt{m_2} - \sqrt{m_1}) = 4,6 \text{ cm}$

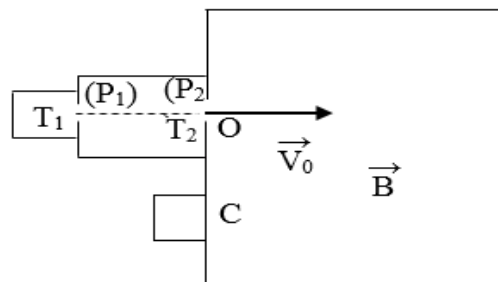
EXERCICE 5

Le principe d'un spectrographe de masse est schématisé ci-contre.

Dans tout l'exercice, on suppose que le mouvement des ions se fait dans le vide et on néglige leur poids par rapport aux autres forces.

La charge élémentaire est notée e .

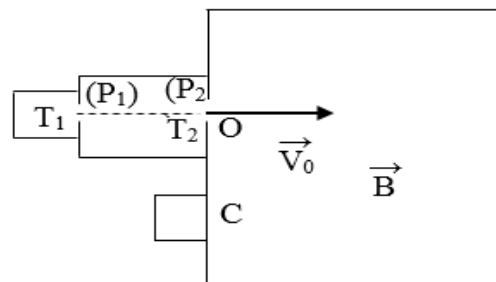
- 1) Dans la chambre d'ionisation (1), on produit des ions de masse m et de charge $q = 2e$. Ces ions pénètrent par le trou T_1 dans une enceinte (A) avec une vitesse négligeable. Dans cette enceinte les ions sont accélérés par une tension $U = V_{P1} - V_{P2}$.



- a) Quel doit être le signe de la tension U pour que les ions soient accélérés ? On admettra pour la suite que les ions Zn^{2+} sont soumis entre P_1 et P_2 à une force constante $\vec{F}$ colinéaire à T_1T_2 .
- b) Quelle est la trajectoire d'un ion Zn^{2+} entre P_1 et P_2 ? Quelle est la nature de son mouvement ?
- c) Etablir l'expression de sa vitesse V_0 lorsqu'il se présente devant le trou T_2 situé à la plaque P_2 en fonction de e , m , U .
- d) L'élément zinc contient deux isotopes de nombre de masse $A_1 = 68$ et $A_2 = 70$. Ils sont ionisés de façon identique. Déterminer le rapport littéral des vitesses V_{01} / V_{02} de ces ions en fonction de leurs masses respectives m_1 et m_2 à leur passage T_2 .
- 2) Les ions sortant par T_2 , entrent avec la vitesse $\vec{v}$ perpendiculaire à P_2 dans une enceinte (D) dans laquelle règne un champ magnétique uniforme $\vec{B}$ perpendiculaire au plan de la figure fig.2. Ils sont déviés et viennent dans un collecteur C dont la fente d'ouverture O, très étroite, perpendiculaire au plan de figure, se trouve dans le plan P_2 .
- a) Quel doit être le sens de $\vec{B}$ pour que les ions puissent être recueillis par le collecteur C ?
- b) On admet que les ions Zn^{2+} ont un mouvement circulaire uniforme et que leur trajectoire est dans le plan de la figure. Etablir l'expression du rayon de cette trajectoire en fonction de m , e , V_0 et B .

A quelle distance x de T_2 doit se trouver la fente O du collecteur C ? On donnera x en fonction de m , e , U et B .
Calculer la distance C_1C_2 séparant les positions respectives de la fente du collecteur permettant de recueillir les ions de masse m_1 et m_2 .

Données : $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; $U = 4000 \text{ V}$; $B = 0,1 \text{ T}$;
 $m_1 = A_1 \cdot u$ et $m_2 = A_2 \cdot u$ avec $u = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.



D – CORRIGE DES EXERCICES

EXERCICE 1

Expression de la période T

Le mouvement est circulaire uniforme et la vitesse est donnée par : $F = qvB = ma = \frac{mv^2}{R}$

$$R = \frac{mv}{qB} \text{ et } T = \frac{2\pi R}{v} \text{ d'où l'on tire : } T = \frac{2\pi m}{qB}$$

Identification de la particule

$$N = \frac{1}{T} = \frac{qB}{2\pi m} \text{ d'où l'on tire } \frac{q}{m} = \frac{2\pi N}{B} = 9,632 \cdot 10^7 \text{ C.kg}^{-1} \text{ la particule est un proton aux erreurs de calcul près}$$

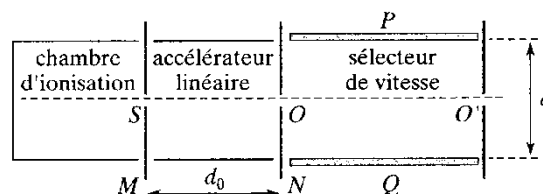
EXERCICE 7

1)

1.a- Le signe de U_0

Les ions, de charge $q > 0$ sont accélérés entre S et O ; donc la force électrostatique qui s'exerce sur les ions est orientée de S vers O.

Le champ $\vec{E}_0$ a le sens de S vers O ou de M vers N.
Or le champ a le sens des potentiels décroissants ;
d'où $V_M > V_N \rightarrow U_0 > 0$



Représentation du champ électrique $\vec{E}_0$: vecteur parallèle à SO et de sens $S \rightarrow O$

1.b-

La norme de l'accélération d'un ion ${}^4_2\text{He}^{2+}$

$$F = q E_0 = m_2 a \rightarrow a = \frac{q E_0}{m_2} = \frac{2eU_0}{m_2 d_0}$$

La nature de son mouvement.

L'accélération $a = \text{constante}$ et vitesse initiale nulle $\rightarrow$ Mouvement rectiligne uniformément accéléré

$$2) \text{ Montrons que } m_1 v_1^2 = m_2 v_2^2 = m_3 v_3^2.$$

On applique le théorème de l'énergie cinétique entre S et O

Pour un ion de masse m et de charge q on a : $\frac{1}{2} m v^2 = q U_0 \rightarrow m v^2 = 2 q U_0$

$$\text{D'où } m_1 v_1^2 = m_2 v_2^2 = m_3 v_3^2 = 2 q U_0$$

3

3.a- La force magnétique est orientée dans le sens contraire de la force électrique

D'où le champ magnétique $\vec{B}$ est sortant

3.b- Expression de U en fonction de B , v_2 et d .

Le mouvement des ions ${}^4_2\text{He}^{2+}$ est rectiligne uniforme de trajectoire OO' d'où $F_e = F_m$

$$qE = q v_2 B ; \text{ d'où } E = v_2 B = \frac{U}{d} \rightarrow U = d v_2 B$$

CHAPITRE P7 LOI DE LAPLACE

A – OBJECTIFS

Déterminer les caractéristiques de la force de Laplace

Représenter la force de Laplace.

Expliquer le fonctionnement des moteurs électriques.

Calculer le moment du couple des forces magnétiques.

B – L'ESSENTIEL DU COURS

Un conducteur rectiligne de longueur ℓ parcouru par un courant d'intensité I placé dans un champ magnétique uniforme $\vec{B}$ est soumis à la force de Laplace $\vec{F} = I \vec{\ell} \wedge \vec{B}$

La force est perpendiculaire au plan formé par le conducteur et le champ magnétique. Son sens est donné par la règle de la main droite, sa norme est $F = I \cdot \ell \cdot B$. Son point d'application est le milieu de la région où s'applique le champ magnétique

Définition légale de L'ampère : L'Ampère est l'intensité du courant constant qui passant dans deux conducteurs rectilignes et parallèles de longueur infinie et de section constante, placés à 1 m l'un de l'autre dans le vide, produit entre ces conducteurs une force de $2 \cdot 10^{-7} \text{ N}$ par mètre de longueur.

Par définition, le flux magnétique à travers un contour délimité par une surface S est le nombre de lignes de champ magnétiques qui traverse ce contour fermé. Son expression est $\Phi = N \cdot \vec{B} \cdot \vec{S} = NBS \cos \alpha$ N est le nombre de spires. Le flux magnétique s'exprime en Weber (symbole: Wb)
 Règle du flux maximum : Tout conducteur délimitant une surface, parcouru par un courant et placé dans un champ magnétique tend à s'orienter de façon à ce que le flux au travers de la surface soit maximum. Cette règle est une autre forme de la loi de Laplace car ce sont des forces électromagnétiques qui agissent sur le conducteur pour l'orienter

C-EXERCICES

EXERCICE 1 :

Un conducteur rectiligne et homogène OA, de masse $m = 12 \text{ g}$ et de longueur $L = OA = 36 \text{ cm}$, est suspendu par son extrémité supérieure O à un point fixe. Le conducteur peut tourner librement autour de O.

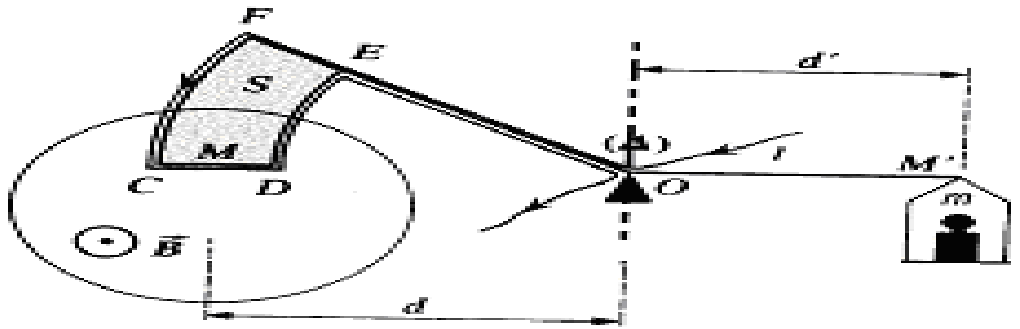
La force magnétique $\vec{F}$ s'applique au point M tel que $AM = \frac{1}{3}L$. Les bornes C et D sont les bouts des fils reliées à un générateur qui maintient dans le conducteur un courant d'intensité $I = 7,5 \text{ A}$.

- 1) Faire un schéma du dispositif. Puis déterminer le-sens de rotation de la tige
- 2) Déterminer l'angle α de déviation de la tige sachant que $B = 0,01 \text{ T}$

EXERCICE 2 :

Un fil conducteur part de O, suit le fléau et les bords du secteur, puis revient en O. L'autre bras du fléau supporte un plateau.

L'intensité d'un champ magnétique peut être mesurée à l'aide d'une balance de Cotton. Le fléau d'une telle balance, de forme particulière, supporte un secteur isolant S en matière plastique limité par deux arcs de cercle centrés sur l'axe de rotation Δ du fléau. Ce secteur comporte une partie rectiligne CD de longueur $l = 10 \text{ cm}$, horizontale lorsque la balance est en équilibre.



On règle la balance de façon que l'équilibre soit réalisé lorsqu'aucun courant, ne passe dans le fil conducteur.

Si l'on plonge le secteur S dans un champ magnétique uniforme $\vec{B}$ orthogonal au plan de la figure et dirigé vers l'avant, l'équilibre de la balance est rompu lorsqu'un courant circule dans le fil. Pour rétablir l'équilibre, il suffit de placer une masse m sur le plateau.

1) Préciser sur la figure les forces agissant sur la balance, ainsi que le sens du courant circulant dans le fil conducteur.

2) Etablir la condition d'équilibre de la balance.

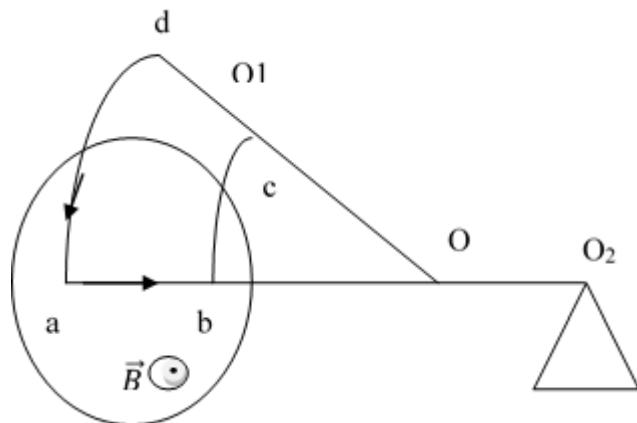
3) Afin de déterminer la valeur du champ $\vec{B}$, on fait les mesures suivantes pour les différentes valeurs de l'intensité du courant :

I (A)	0	1	2	3	4	5
m (g)	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0

Tracer la représentation graphique de la fonction $m = f(I)$ en choisissant une échelle convenable. En déduire la valeur de $\vec{B}$.

EXERCICE 3:

Un appareil de mesure, appelé balance de Cotton, comporte un cadre plat, isolant, supportant un circuit (a, b, c, d). (a ; d) et (b ; c) sont des arcs de cercle de centre O. Le fléau de la balance $O_1 O O_2$ est mobile autour d'un couteau O. En O_2 un plateau permet d'équilibrer la balance. En l'absence de courant, les points a, b, O_2 sont alignés sur une droite horizontale. Un champ magnétique $\vec{B}$ uniforme et indépendant du temps, normal au plan de la figure, qui contient ab, agit dans la zone indiquée, il est supposé négligeable ailleurs.



1) Le circuit étant traversé par un courant I, Donner les conditions d'équilibre de la balance et la possibilité de mesurer l'intensité B du champ magnétique. On donne $ab = l$; $d = OO_2$; R est la distance de O au milieu de ab.

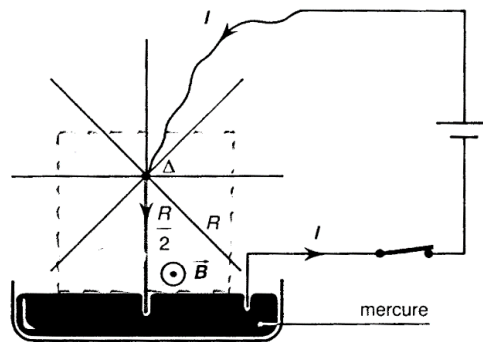
- 2) Déterminer la masse m faut-il placer dans le plateau pour équilibrer la balance .On donne $B = 0,5 \text{ T}$; $I = 10 \text{ A}$; $l = 1,5 \text{ cm}$; $d = R = 25 \text{ cm}$? (On prendra $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$)
- 3)En supposant que la sensibilité de la balance est $\Delta m = 1 \text{ cg}$, trouver l'incertitude qui résulte de ce fait sur la mesure de $\vec{B}$.On négligera le poids du cadre.

EXERCICE 4 :

La roue est placée dans un champ magnétique uniforme $\vec{B}$ perpendiculaire au plan de la roue.

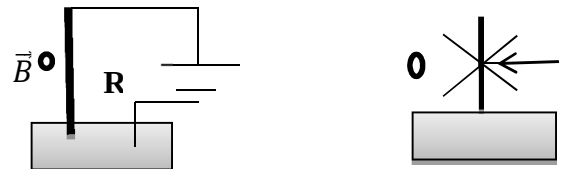
le contact avec le mercure est ponctuel et sans frottement et le courant traverse la roue suivant le rayon OA.

- 1) Exprimer la force de Laplace résultante et son moment par rapport à l'axe de rotation.
- 2) Exprimer la puissance du moteur ainsi constitué lorsque la roue effectue n tours par seconde.



EXERCICE 5:

Un fil de cuivre, rigide, rectiligne homogène, de longueur R est susceptible de se mouvoir dans un plan vertical, autour d'une de ses extrémités. L'autre extrémité plonge dans un bac de mesure qui permet de maintenir le contact électrique avec un générateur de tension continue. L'intensité du courant dans le circuit est I . le dispositif peut être plongé dans un champ magnétique uniforme $\vec{B}$ horizontal et orthogonal au plan de la figure



1)Décrire ce que l'on observe lorsque :

- 1^{er} cas : $I=0$ et $B \neq 0$
- 2^{ème} cas : $I \neq 0$ et $B=0$
- 3^{ème} cas : $I \neq 0$ et $B \neq 0$

2)Modifie t-on quelque chose quand on permute les bornes du générateur ?

On néglige la longueur de la partie de la tige située dans le mesure. On suppose que la ligne d'action de la force électromagnétique passe par le milieu de la tige.

3) Détermine la déviation angulaire de la tige quand elle atteint sa position d'équilibre dans le cas où $I=6\text{A}$, $B=2.10^{-2}\text{T}$, $R=10\text{cm}$ et le poids de la tige est 8.10^{-2}N .

4) On considère maintenant le dispositif de la roue mobile autour d'un axe horizontal Δ , constituée de rayons rigides en cuivre de longueur R régulièrement répartis. Le dispositif est plongé dans un champ magnétique uniforme $\vec{B}$.

- Explique pourquoi on observe un mouvement de rotation. Précise son sens.
- La vitesse de rotation est 90tr/min. Calcule la puissance développée par la force électromagnétique supposée constante appliquée au milieu d'un rayon.

On donne : $B = 2 \cdot 10^{-2} \text{ T}$; $R = 100 \text{ mm}$ et $I = 6 \text{ A}$

EXERCICE 6:

On réalise le dispositif ci-contre. OA est une tige de cuivre de longueur l mobile autour d'un axe O plongeant en A dans du mercure. La tige est placée dans un champ magnétique uniforme de longueur x . f est un fil inextensible de masse négligeable. P est une poulie de masse négligeable et m est une masse marquée.

La tige est maintenue initialement verticale par la main.

- On lance un courant d'intensité I dans la tige puis on la lâche.

On constate qu'elle demeure en équilibre vertical.

- Déterminer le sens du courant.
- Faire l'inventaire des forces qui s'exercent sur la tige et sur la masse m .

On suppose que la portion de fil entre la tige et la poulie est horizontale.

- Ecrire les conditions d'équilibre. On posera $OC = a$; $ON = b$.

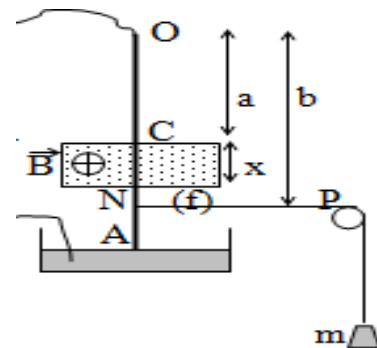
Déterminer la masse m

- On brûle le fil, la tige s'écarte de la verticale d'un angle α . Déterminer α .

On supposera que α est faible : la longueur de la tige placée dans le champ reste sensiblement égale à x .

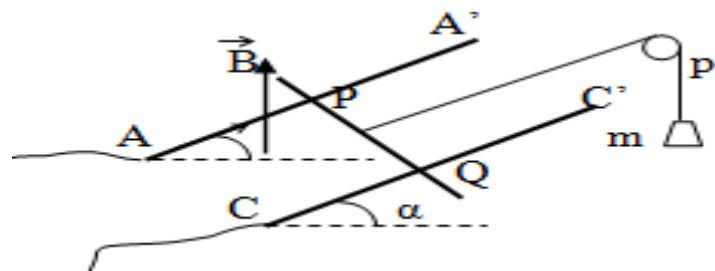
Applications numériques :

$I = 10 \text{ A}$; $l = 80 \text{ cm}$; $x = 4 \text{ cm}$; $b = 70 \text{ cm}$; $a = 48 \text{ cm}$; $B = 20 \text{ mT}$; la masse de la tige est $M = 10 \text{ g}$.



EXERCICE 7:

Une tige PQ de masse μ est posée sur deux rails AA' et CC' situés dans un plan incliné d'un angle α par rapport au plan horizontal. La distance entre les rails est l . La tige est perpendiculaire aux rails. L'ensemble baigne dans un champ magnétique uniforme de vecteur $\vec{B}$ vertical. Le milieu de la tige est relié à une charge de masse m par l'intermédiaire d'un fil inextensible de masse négligeable passant sur la gorge d'une poulie p de masse négligeable. La portion de fil situé entre et la tige est parallèle aux rails.



On lance dans la tige un courant d'intensité I , on constate que la tige demeure en équilibre. 1)

Représenter les forces qui s'exercent sur la charge et la tige.

2) Ecrire les conditions d'équilibre en prenant comme système la tige PQ.

3) En déduire la relation qui lie B , i , l , m , μ , α et g . On donne $\mu < m$.

4) Reprendre le problème sachant que $\vec{B}$ perpendiculaire aux rails

EXERCICE 8 :

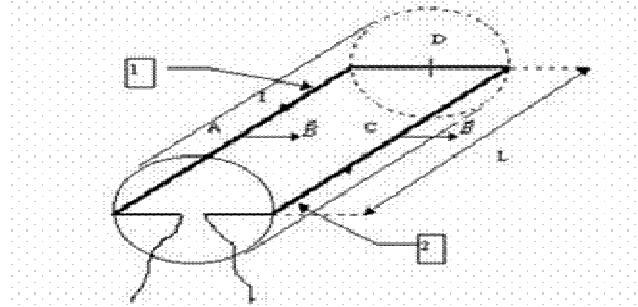
Schématisons le rotor simplifié d'un moteur à courant continu. On suppose qu'il ne comporte qu'une spire formée par les conducteurs 1 et 2. $B=0,90T$, $I = 2 A$, $L = 25 \text{ cm}$

1) Donner la direction et le sens des forces électromagnétiques exercées aux points A, C et D, milieux de chaque partie de la spire.

2) Quelle est l'action de ces forces sur la spire ?

3) Déterminer l'intensité des forces exercées en A, C et D. Les représenter en précisant l'échelle.

4) On inverse le sens du courant dans la spire. Reprendre les questions 1) et 2).



D-CORRIGE DES EXERCICES

EXERCICE 1 :

Un conducteur rectiligne et homogène OA, de masse $m = 12 \text{ g}$ et de longueur $L = OA = 36 \text{ cm}$, est suspendu par son extrémité supérieure O à un point fixe. Le conducteur peut tourner librement autour de O.

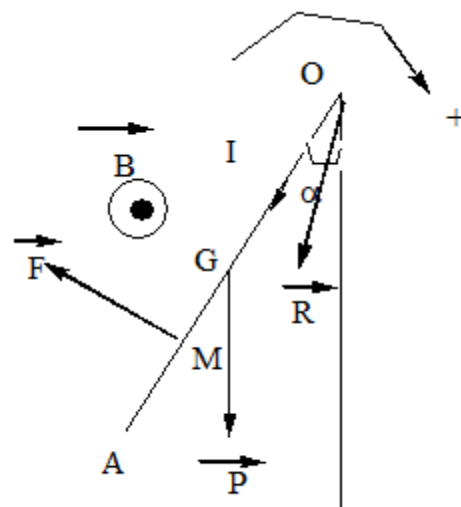
La force magnétique $\vec{F}$ s'applique au point M tel que $AM = \frac{1}{3} L$. Les bornes C et D sont les

bouts des fils reliés à un générateur qui maintient dans le conducteur un courant d'intensité $I = 7,5 \text{ A}$.

1) Faisons un schéma du dispositif. Puis déterminons le sens de rotation de la tige ?

2) Déterminons l'angle α de déviation de la tige sachant que $B = 0,01 \text{ T}$

Appliquons le théorème des moments



$$\square (R) + \square (P) + \square (F) = 0$$

$$0 - mg \sin \alpha \cdot l/2 + Fl/3 = 0$$

$$\sin \alpha = \frac{2IBl}{3mg} = \frac{2 \times 7,5 \times 0,01 \times 0,36}{3 \times 0,012 \times 10} = 0,15 \rightarrow \alpha = 8,6^\circ$$

EXERCICE 2 :

1) Précisons sur la figure les forces agissant sur la balance, ainsi que le sens du courant circulant dans le fil conducteur.

Les forces sont :

* F la force de Laplace qui s'exerce sur le segment CD

* R la réaction du support au point O

* Pb le poids de la balance de Cotton qui s'applique au point O

* Pm le poids des masses marquées

2) Etablissons la condition d'équilibre de la balance.

$$\square (R) + \square (Pb) + \square (F) + \square (Pm) = 0$$

$$0 + 0 + Fd - mgd' = 0$$

3) On fait les mesures suivantes pour les différentes valeurs de l'intensité du courant :

I (A)	0	1	2	3	4	5
m (g)	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0

La représentation graphique de la fonction $m = f(I)$ donne une droite linéaire de coefficient

$$\text{directeur } a = \frac{\Delta m}{\Delta I} = \frac{(1-0,2) \cdot 10^{-3}}{5-1} = 2 \cdot 10^{-3}$$

déduisons en la valeur de $\vec{B}$.

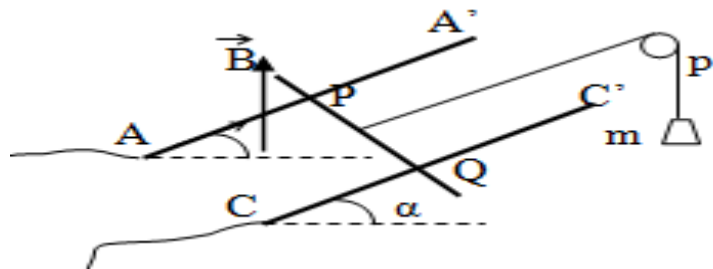
$$\text{D'après la condition d'équilibre on a } 0 + 0 + Fd - mgd' = 0$$

$$\text{Or } F = I l B \text{ on a alors } B = \frac{mgd'}{I l d} = \frac{ag}{l} = \frac{2 \cdot 10^{-3} \times 10}{0,1} = 0,2 \text{ T}$$

Remarque la balance de Cotton permet de mesurer les champs magnétiques

EXERCICE 7:

Une tige PQ de masse μ est posée sur deux rails AA' et CC' situés dans un plan incliné d'un angle α par rapport au plan horizontal. La distance entre les rails est l . La tige est perpendiculaire aux rails. L'ensemble baigne dans un champ magnétique uniforme de vecteur $\vec{B}$ vertical. Le milieu de la tige est relié à une charge de masse m par l'intermédiaire d'un fil inextensible de masse négligeable passant sur la gorge d'une poulie p de masse négligeable. La portion de fil situé entre et la tige est parallèle aux rails.



On lance dans la tige un courant d'intensité I , on constate que la tige demeure en équilibre. 1)

Représentons les forces qui s'exercent sur la charge et la tige.

2) Ecrivons la condition d'équilibre en prenant comme système la tige PQ.

$$\vec{R} + \vec{P} + \vec{T} + \vec{F} = \vec{0}$$

3) Dédisons-en la relation qui lie B, i, l, m, μ , α et g. On donne $\mu < m$.

En projetant sur l'axe des abscisses on

$$R_x + P_x + T_x + F_x = 0$$

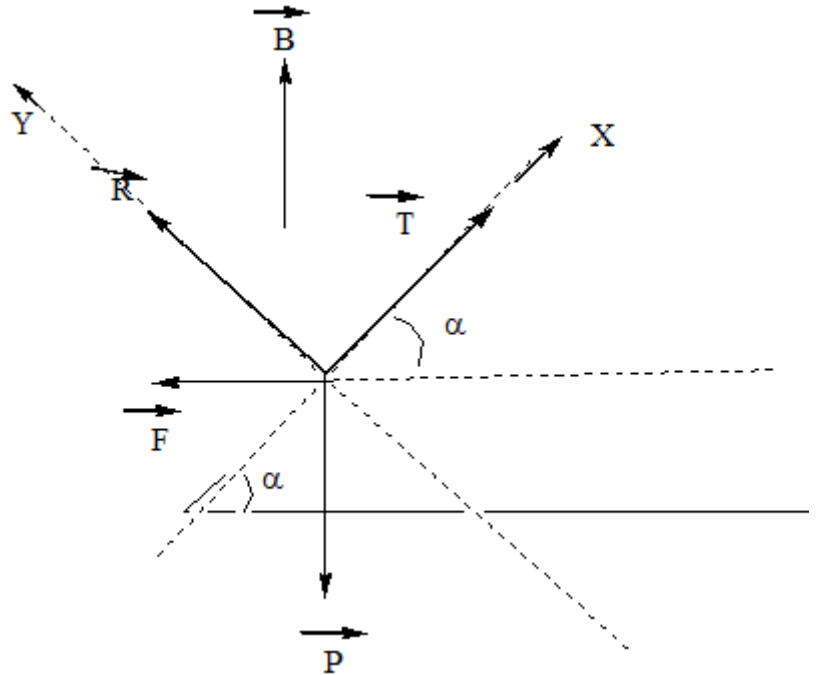
$$0 - \mu g \sin \alpha + mg - ILB \cos \alpha = 0$$

4) Reprenons le problème sachant que

$\vec{B}$ perpendiculaire aux rails

Si $\vec{B}$ est perpendiculaire aux rails alors la force de Laplace est parallèle aux rails. La condition d'équilibre devient 0

$$-\mu g \sin \alpha + mg - ILB = 0$$



CHAPITRE P8

INDUCTION MAGNETIQUE- ETUDE D'UN DIPOLE (R, L).

A OBJECTIFS

Mettre en évidence le phénomène d'induction / d'auto induction

Interpréter qualitativement le phénomène d'induction/d'auto induction

Rappeler l'expression du flux propre en fonction de l'inductance.

Rappeler l'expression de la tension aux bornes d'un dipôle (R, L)

Rappeler l'expression de la constante de temps du dipôle (R, L) et sa signification physique.

Etablir la loi de variation du courant établi dans une bobine par un échelon de tension

Etablir la loi de variation de la rupture du courant dans une bobine fermée sur un circuit résistant.

B - L'ESSENTIEL DU COURS

Phénomène d'induction

Le flux magnétique est donné pour une spire, par la relation : $\phi = \vec{B} \cdot \vec{S} = B S \cos \theta$

Pour N spires, on aura : $\varphi = N \vec{B} \cdot \vec{S}$

L'unité du flux magnétique est le weber (Wb)

Toute variation de flux à travers un circuit donne naissance à une f.e.m induite.

La f.e.m induite moyenne est donnée par : $e_m = -\frac{\Delta \phi}{\Delta t}$

Et la f.e.m induite instantanée est donnée par: $e = -\frac{d\phi}{dt}$

Les phénomènes d'induction cessent dès que le flux cesse de varier

Sens du courant induit : Loi de Lenz

Le courant induit circule dans un sens tel qu'il tente de s'opposer à la cause qui lui donne naissance, et donc à la variation du flux inducteur.

Champ électromoteur

Une tige métallique MN qui se déplace avec un vecteur vitesse $\vec{V}$ dans un espace champ magnétique $\vec{B}$ est le champ électromoteur $\vec{E} = \vec{V} \wedge \vec{B}$.

Le courant induit i et le champ électromoteur $\vec{E}$ ont toujours le même sens.

La f.e.m. de la tige est égale $e = -vBl$

Force électromotrice auto-induite

Lorsqu'une bobine est parcourue par un courant d'intensité i , elle crée un espace champ magnétique, dans lequel elle baigne.

Elle est traversée par un flux magnétique (flux propre)

Toute variation de l'intensité i du courant entraîne une variation du flux propre

La bobine est alors le siège d'une force électromotrice dite auto-induite. Cette force auto-induite s'oppose par ses effets à la cause qui lui a donné naissance conformément à la loi de Lenz.

Lorsqu'on ferme le circuit, la force électromotrice auto-induite tend à s'opposer à l'installation du courant.

Lorsqu'on ouvre le circuit, la force électromotrice auto-induite tend à s'opposer à l'annulation du courant.

Le flux propre à travers une résistance inductive est $\phi_p = L.i$.

La constante L est l'inductance de la bobine.

Lorsque l'intensité i du courant varie, le dipôle est le siège d'une force électromotrice induite

$$e = - \frac{d\phi_p}{dt} = -L \cdot \frac{di}{dt}$$

Tension aux bornes d'une bobine

Soit un dipôle AB constitué par une résistance inductive.

La bobine est parcourue par un courant d'intensité instantanée i .

Orientons le dipôle de A vers B.

La différence de potentiel entre les points A et B est

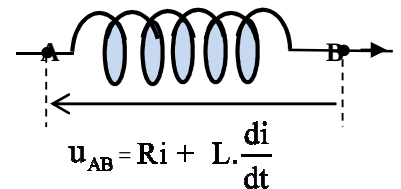
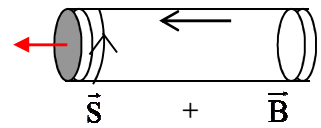
$$u_{AB} = Ri - e = Ri - \left(-L \cdot \frac{di}{dt} \right);$$

$$u_{AB} = Ri + L \cdot \frac{di}{dt}$$

Etablissement du courant dans une bobine

Considérons le circuit schématisé ci-contre.

Lorsque l'interrupteur K est fermé à une date t prise comme origine des temps $t = 0$, le courant va s'installer progressivement..



L'application des lois du courant permet d'établir l'équation différentielle suivante :

$$\frac{di}{dt} + \left(\frac{R+r}{L}\right)i = \frac{E}{L}$$

Cette équation admet une solution de la forme

$$i = A + B e^{-\frac{R+r}{L}t}$$

Les constantes A et B sont déterminées à partir de par l'état initial et le régime permanent :

$$i = I_0 \left(1 - e^{-\frac{R+r}{L}t}\right) = \frac{E}{R+r} \left(1 - e^{-\frac{R+r}{L}t}\right)$$

La solution s'écrit $i = I_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$

$$\frac{L}{R+r} = \tau = \text{constante de temps}$$

A la date $t = \tau$, on aura $i = I_0(1 - e^{-1}) = I_0 \left(\frac{e-1}{e}\right) = 0,63I_0$

τ correspond au temps au bout duquel l'intensité i du courant devient égale à 63% de l'intensité du courant en régime permanent. (63% de l'intensité maximale).

Rupture du courant

Ouvrons l'interrupteur K, le générateur ne fournit plus de courant, la bobine $b(L,R)$ débite dans le résistor et la diode. Si i est l'intensité

du courant à une date t , la loi d'additivité des tensions permet d'écrire alors $u_{AB} + u_{BM} + u_{MA} = 0$

$$ri + L \frac{di}{dt} + Ri = 0.$$

Ce qui donne l'équation différentielle $L \frac{di}{dt} + (R+r)i = 0.$

Cette équation différentielle du premier ordre sans second membre admet une solution de la forme

$$i = B e^{-\frac{t}{\tau}}.$$

Si la date 0 est la date d'ouverture du circuit, la relation doit être vérifiée pour $t = 0$, $i = I_0$.

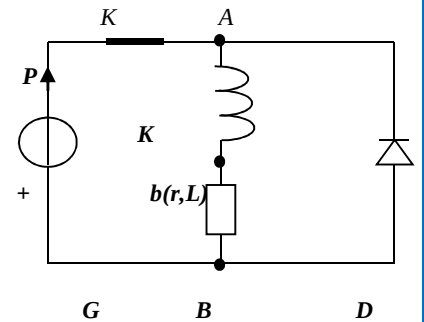
Ce qui donne $B = I_0$. : La solution finale est $i = I_0 e^{-\frac{t}{\tau}}.$

Energie emmagasinée dans une bobine

Elle est donnée par l'expression $E = \frac{1}{2} Li^2$

En présence de courant, l'énergie emmagasinée vaut $E = \frac{1}{2} Li^2$, ce qui entraîne un retard à l'établissement du courant.

Au cours de la rupture du courant, la bobine restitue l'énergie emmagasinée. La conséquence est un retard à l'annulation du courant dans le circuit.



C – EXERCICES

1) Compléter les phrases suivantes avec les mots ou expressions qui conviennent

- 1.1) Toute variation de champ magnétique à proximité d'une bobine en circuit fermé produit un courant induit. Le phénomène s'appelle
- 1.2) L'élément qui crée le champ magnétique est et la bobine est
- 1.3) Le sens du courant induit est tel qu'il s'oppose par ses effets à la cause qui lui a Lorsque la bobine est à la fois l'inducteur et l'induit le phénomène s'appelle
- 1.4) Une bobine traversée par un courant électrique **variable** est le siège d'une
- 1.5) L'auto-induction traduit l'opposition d'une bobine à toute

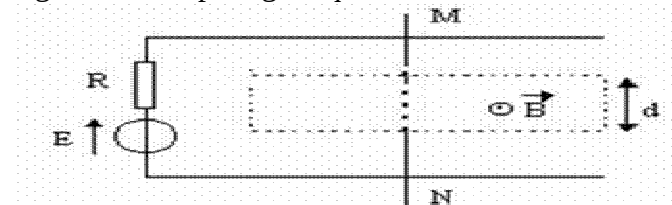
2) Choisir la ou les bonne(s) réponse(s)

- 2.1) On considère un anneau d'aluminium et un champ magnétique perpendiculaire au plan, nul au départ et avec valeur B ensuite. Que se passe-t-il immédiatement après avoir enclenché le champ ?
 - A) Rien du tout
 - B) Un courant circule dans l'anneau
- 2.2) Parmi les propositions suivantes, qu'est-ce qui est susceptible d'induire une fem (et donc un courant) dans une spire plongée dans un champ magnétique ?
 - A) Faire varier l'intensité du champ magnétique
 - B) Déformer la spire
 - C) Changer l'inclinaison de la spire par rapport au champ
- 2.3) On considère une bobine plongée dans un champ magnétique dont le vecteur champ perpendiculaire au plan de la bobine. Que se passe-t-il immédiatement après avoir annulé le champ ?
 - A) Un courant circule dans le sens des aiguilles d'une montre
 - B) Un courant circule dans le sens trigonométrique
 - C) Rien ne se passe
- 2.4) Dans le phénomène d'induction, la source de champ magnétique se nomme :
 - A) l'induit
 - B) l'inducteur
 - C) l'inductance
- 2.5) Dans le phénomène d'induction, le circuit où apparaît la tension se nomme
 - A) l'induit
 - B) l'inducteur
 - C) l'inductance
- 2.6) Le phénomène d'induction apparaît lorsqu'un circuit est soumis à un champ magnétique :
 - A) d'intensité élevée
 - B) uniforme
 - C) variable dans le temps

- 2.7) Une tension induite apparaîtra aux bornes d'un circuit plongé dans un champ magnétique :
- A) de faible intensité
 - B) de forte intensité
 - C) il manque des données pour de se prononcer (champ variable ou pas ?)
- 2.8) Une bobine est soumise à un champ magnétique uniforme et constant. Pour qu'il y ait induction, il faut que :
- A) la bobine possède un nombre élevé de spires
 - B) l'axe de la bobine soit de même direction que le champ magnétique
 - C) la bobine se déplace perpendiculairement au champ magnétique
- 2.9) La loi de Lenz nous dit, entre autre, que le courant induit produit à son tour un champ magnétique qui s'oppose :
- A) au champ magnétique inducteur
 - B) à la variation du champ magnétique inducteur
 - C) à la cause qui lui a donné naissance

EXERCICE 1 :

Considérons deux conducteurs parallèles formant un "rail de Laplace" sur lequel peut se déplacer une barre mobile conductrice MN selon le schéma ci-dessous (vue de dessus) .Le générateur a une f.é.m. $E = 5 \text{ V}$ et une résistance interne $R = 5 \Omega$, la barre MN de longueur totale $L = 0,12 \text{ m}$ a une résistance négligeable ; elle crée un court-circuit en refermant le circuit entre les deux rails. On place MN dans l'entrefer d'un aimant en U (de largeur $d = 4 \text{ cm}$) où règne un champ magnétique uniforme de norme $B = 0,1 \text{ T}$



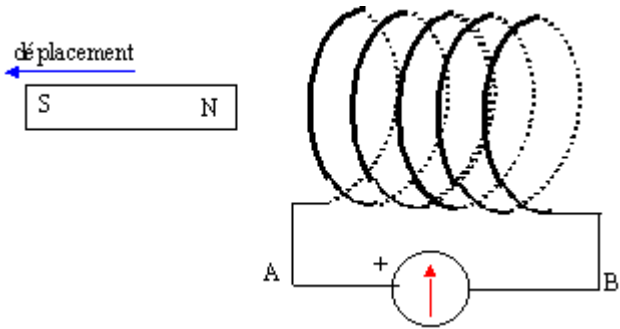
- 1) Expliquez (et justifiez à l'aide de quelques mots et d'éventuellement un schéma) comment on doit placer l'aimant en U pour obtenir le champ magnétique tel qu'il est représenté sur la figure par le vecteur $\vec{B}$, c'est à dire perpendiculaire au plan du schéma (ou des rails) et dirigé vers le haut.
- 2) Déterminez le sens et l'intensité du courant dans le circuit.
- 3) Déterminez en direction, sens et grandeur la force de Laplace agissant sur la barre MN. (Aidez- vous d'un schéma représentant les vecteurs significatifs)
- 4) La barre MN se déplace à vitesse constante dans le champ magnétique sur une longueur de 6 cm dans le sens impliqué par la force de Laplace.
 - 4.1) Déterminer le flux coupé ϕ par la barre.
 - 4.2) En déduire le travail effectué par la force magnétique (de Laplace) lors de ce déplacement de la barre MN.
- 5) Calculez la force électromotrice induite dans le circuit si le parcours a lieu en 1 ms
Représentez cette force électromotrice e.

EXERCICE 2 :

En position initiale, à proximité de la bobine, l'aimant crée un flux de valeur absolue

$|\Phi_1| = 75 \text{ mWb}$. On éloigne l'aimant en 0,5 s de telle sorte qu'en position finale, le flux à travers les spires de la bobine devient négligeable. Calculer :

1. La valeur absolue de la f.e.m induite moyenne.
2. L'intensité moyenne du courant induit sachant que la résistance totale du circuit est égale à $R = 75 \Omega$.

**EXERCICE 3 :**

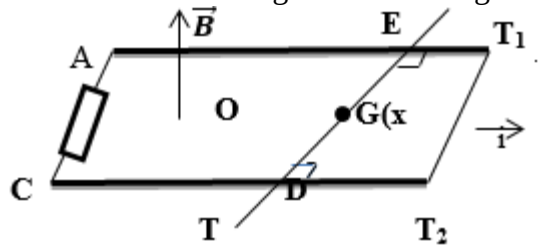
Une tige se déplace sans frottement à la vitesse constante $\vec{v} = v \vec{i}$ sur deux glissières rectilignes T_1 et T_2 horizontales et parallèles, distantes de l .

La tige est perpendiculaire aux glissières (voir figure). On exerce une force $\vec{F} = F \vec{i}$.

La tige, les glissières et la résistance constituent un circuit électrique, lequel est placé dans un champ magnétique uniforme $\vec{B}$ d'intensité $B = 0,4 \text{ T}$

- 1) Expliquer pourquoi il apparaît un courant induit dans le circuit.
- 2) Indiquer le sens du courant induit
- 3) Le circuit est orienté dans le sens du courant induit. Montrer que le flux du champ magnétique à travers la surface délimitée par le circuit s'écrit : $\Phi = \Phi_0 + at$, où a est une constante que l'on déterminera.
- 4) En déduire la f.e.m induite e dans le circuit et l'intensité du courant. (on négligera la résistance des rails et celle de la tige devant R)
- 5) Analyser les forces qui s'exercent sur la tige. Déterminer les caractéristiques de la force $\vec{F}$ que l'on doit exercer sur la tige pour maintenir sa vitesse constante ?
- 6) Calculer e et $\|\vec{F}\|$

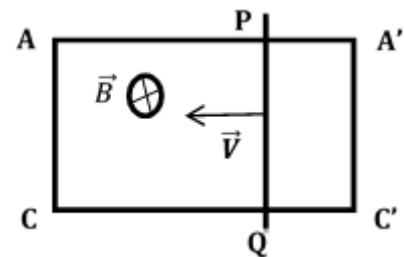
Application numérique ; $l = 12 \text{ cm}$; $v = 2 \text{ m/s}$; $R = 2 \Omega$.

**EXERCICE 4:**

Un cadre rectangulaire $AA'C'C$ horizontal est placé dans un champ magnétique uniforme $\vec{B}$. Une tige métallique PQ est déplacée sur le cadre parallèlement aux petits cotés avec une vitesse V constante. La tige PQ en déplacement est équivalente à un générateur de f.e.m e et de résistance interne r .

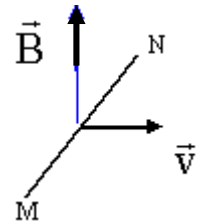
- 1) Calcule e et r
- 2) Préciser le sens du courant dans AC et $A'C'$
- 3) Calculer l'intensité I_1 dans AC et l'intensité I_2 dans $A'C'$ au moment où $PA' = \frac{1}{4} AA'$.

Données : $AA' = CC' = 10 \text{ cm}$, $AC = A'C = 4 \text{ cm}$, $V = 1 \text{ m/s}$ la résistance du cadre et de la tige par unité de longueur $P = 2 \cdot 10^{-4} \Omega/\text{cm}$.

**EXERCICE 5 :**

Un conducteur rectiligne MN de longueur $L = 2 \text{ cm}$ est plongé dans un champ magnétique uniforme vertical de module $B = 50 \text{ mT}$. On déplace le conducteur horizontalement à la vitesse constante $v = 2 \text{ m/s}$.

1. Déterminer les caractéristiques du champ électromoteur et en déduire la valeur absolue de la f.e.m. induite dans le conducteur.
2. Préciser les polarités des extrémités M et N du conducteur.



EXERCICE 6 :

Une bobine assimilable à un solénoïde, parcourue par un courant d'intensité $i = 2,5 \text{ A}$, est traversée par un flux propre $\Phi = 0,35 \text{ Wb}$. Calculer :

1. L'inductance de la bobine.
2. L'énergie emmagasinée dans la bobine.
3. Le nombre de spires connaissant la longueur de la bobine $l = 50 \text{ cm}$ et le diamètre des spires $d = 6,2 \text{ cm}$. $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot \text{SI}$

EXERCICE 7 :

On dispose d'une bobine plate de 10 cm de diamètre, elle est constituée d'un enroulement de 50 spires. Elle est initialement placée dans un champ magnétique, produit par un aimant, parallèle à l'axe de la bobine. $B = 15 \text{ mT}$.

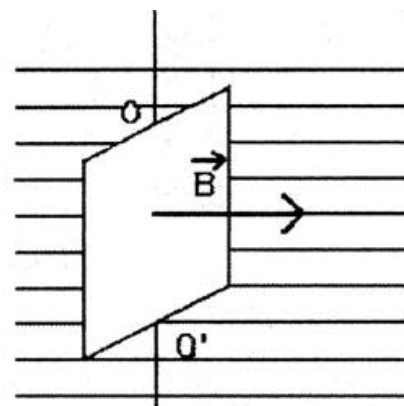
- 1) Déterminer la surface de cette bobine en m^2 .
- 2) Calculer le flux ϕ_1 qui traverse la bobine dans ces conditions.
- 3) On fait faire à la bobine un demi-tour, calculer le flux ϕ_2 qui traverse maintenant la bobine.
- 4) La durée du demi-tour a été $\Delta t = 5 \text{ ms}$, en déduire la valeur absolue de la force électromotrice d'induction e , qui est apparue dans la bobine.
- 5) Quelle est le nom de l'application principale de l'induction électromagnétique, et à quoi sert-elle ?
- 6) Dans le cas de l'expérience décrite dans cet exercice, indiquer l'inducteur, l'induit et donner leurs noms usuels.

EXERCICE 8 :

Une surface plane carrée de 10 cm de côté est constituée d'un fil conducteur isolé comportant 20 spires. Elle est placée dans un champ magnétique uniforme $\vec{B}$. Cette surface peut tourner autour de l'axe vertical OO' .

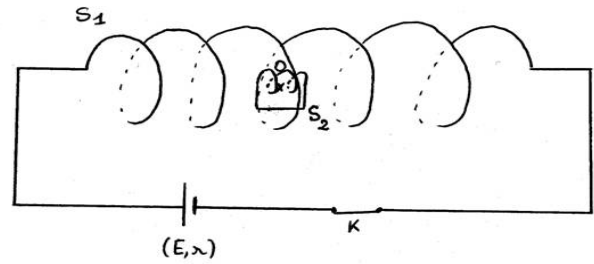
On donne $B = 0,12 \text{ T}$.

- 1) Le vecteur champ magnétique fait un angle $\alpha = 30^\circ$ avec le plan du cadre. Définir et calculer le flux du champ magnétique à travers la surface en précisant l'orientation choisie.
- 2) On impose une rotation à vitesse angulaire constante $\omega = 150 \text{ rad/s}$. Déterminer l'expression du flux à travers la surface ?
- 3) Exprimer la force électromotrice induite en fonction du temps.



EXERCICE 9 :**Donnée :** $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ S.I}$

Un solénoïde S_1 de 80cm de long est formé de 1000 spires ; il a une résistance $R = 2.0 \Omega$. On le branche aux bornes d'une pile de force électromotrice $E = 4,5\text{V}$ et de résistance interne $r = 3.0 \Omega$.



- 1) Représenter, en justifiant, le vecteur champ magnétique $\vec{B}$ créée par le courant au point O (schéma ci-contre).
 - 2) Calculer l'intensité du champ magnétique $\vec{B}$ à l'intérieur du solénoïde S_1 . Dans la suite, on prendra $B = 3,8 \cdot 10^{-4} \text{T}$.
- Dans le solénoïde S_1 est placée une petite bobine S_2 de 2.0 cm de diamètre formée de 10 spires.
- 3) Calculer le flux du champ magnétique à travers la bobine S_2 .
 - 4) On ouvre l'interrupteur K. Préciser le sens du courant induit créé dans cette bobine.

EXERCICE 10 :

On dispose d'un solénoïde de 1000 spires et dont la surface d'une spire est 10 cm^2 . Les deux bornes du solénoïde sont reliées par un fil de connexion et un conducteur ohmique afin qu'une intensité puisse parcourir le circuit.

Un aimant est disposé à 50 cm du solénoïde, le pôle sud de l'aimant est orienté vers le solénoïde. On admettra que le champ généré par l'aimant, au centre du solénoïde est parallèle à l'axe du solénoïde. $B_1 = 5.0 \cdot 10^{-5} \text{T}$.

Le champ terrestre est négligé dans cet exercice.

- 1) Faire un schéma du montage et représenter $\vec{B}_1$.
- 2) Déterminer le flux ϕ_1 qui traverse le solénoïde.

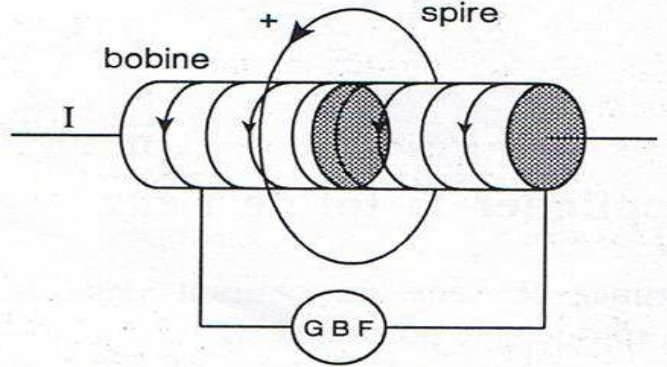
On approche brutalement l'aimant jusqu'à ce qu'il soit tout près du solénoïde. Le champ magnétique généré par l'aimant, au centre du solénoïde, a les mêmes caractéristiques qu'en début d'expérience sauf pour ce qui est de son intensité qui a augmentée : $B_2 = 1.0 \cdot 10^{-1} \text{T}$. L'aimant a été approché en 10 ms.

- 3) Déterminer le flux ϕ_2 qui traverse maintenant le solénoïde.
- 4) Déterminer la valeur de la force électromotrice d'induction qui apparaît aux bornes de la bobine.
- 5) Déterminer le sens du champ magnétique induit qui est généré par la bobine et en déduire le sens de l'intensité induite qui parcourt la bobine.
- 6) Déterminer la valeur de cette intensité sachant que le conducteur ohmique a une résistance $R = 5 \Omega$ et que la bobine a une résistance $r = 2 \Omega$.

EXERCICE 11 :

Soit une bobine de longueur $l = 30 \text{ cm}$ et de rayon $r = 5 \text{ cm}$ qui comprend 500 spires par mètre. Elle est traversée par un courant d'intensité I . Une spire conductrice entoure la bobine dans sa région centrale comme indiqué sur le schéma ci-dessous, on admettra que le champ hors de la bobine est négligeable.

- 1) Déterminer l'expression du flux du champ magnétique qui traverse la spire. Calculer cette valeur lorsque la bobine est alimentée par un courant continu d'intensité $I = 4 \text{ A}$.
- 2) La bobine est maintenant parcourue par un courant alternatif donné par la fonction suivante $i(t) = 4 \sin(200\pi t)$. En déduire la fonction $B(t)$ qui lui est associée et $\Phi(t)$ qui représente le flux traversant la spire en fonction du temps.
- 3) Déterminer la fonction $e(t)$ qui représente l'évolution de la force électromotrice induite dans la spire au cours du temps.
- 4) Quelle est la valeur maximale que peut prendre $e(t)$, qui correspond à la tension maximale qui peut apparaître aux bornes de la spire ?
- 5) La fonction $e(t)$ est une fonction périodique, déterminer sa fréquence et sa période.



EXERCICE 12 :

Un groupe d'élèves, sous la supervision de leur professeur, se propose de vérifier quelques caractéristiques d'une bobine de leur laboratoire. Cette bobine est assimilée à un solénoïde de longueur $\ell = 0,5 \text{ m}$, comportant N spires de rayon $R = 5 \text{ cm}$. Pour ce faire, ils disposent la bobine horizontalement, son axe (Δ) étant orthogonal au plan méridien magnétique. Au centre de cette bobine est placée une petite aiguille aimantée horizontale mobile autour d'un axe vertical (Δ').

Le groupe d'élèves lance un courant électrique d'intensité I dans le solénoïde et constate que l'aiguille dévie d'un angle α .

- 1) Faire un schéma ou seront représentés la bobine en indiquant le sens du courant, le vecteur champ magnétique $\vec{B}$ créé par le courant, le vecteur $\vec{B}_H$ composante horizontale du champ magnétique terrestre, la position finale de l'aiguille et l'angle α .
- 2) Exprimer $\tan \alpha$ en fonction de B_H , N , I , ℓ et μ_0 (perméabilité magnétique du vide)
- 3) Le groupe fait varier l'intensité I du courant dans le circuit et mesure la valeur de l'angle α pour chaque valeur de I . Les résultats obtenus permettent de tracer la courbe $\tan \alpha = f(I)$. (figure 1)

3.1) Déterminer à partir de cette courbe la relation entre $\tan \alpha$ et I

3.2) En déduire la valeur de N que l'on notera N_0 .

On donne : $\mu_0 = 4 \pi 10^{-7} \text{ SI}$; $B_H = 2.10^{-5} \text{ T}$

3.3) Déterminer l'inductance L du solénoïde (on prendra $N = 1195$ spires).

- 4) Afin d'étudier le comportement de la bobine dans un circuit, les élèves réalisent avec ce solénoïde le montage ci-après (figure 2). La bobine est branchée en série avec un résistor de résistance $R_0 = 10 \Omega$.

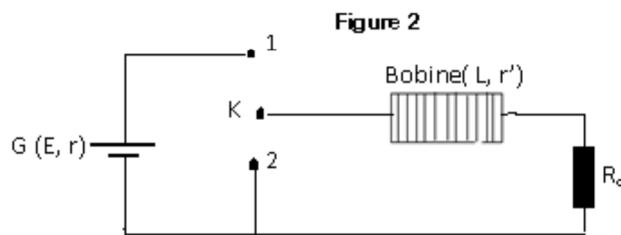
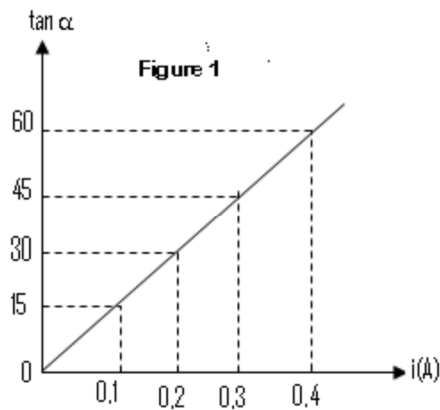
Ils utilisent un générateur de courant continu G ($E = 12 \text{ V}$; $r = 5 \Omega$). La résistance interne du solénoïde est $r' = 5 \Omega$. Le nombre de spires est $N = 1195$ spires. L'interrupteur est dans la position 1.

4.1) Déterminer l'intensité I_0 du courant dans le circuit en régime permanent.

4.2) En un temps très bref et à $t = 0$, on bascule l'interrupteur de la position (1) à la position (2).

4.2 1)Établir l'équation différentielle à laquelle obéit l'intensité i du courant dans le circuit.

4.2 2)Vérifier que $i = A e^{-t/\tau}$ est solution de cette équation différentielle, A et τ étant des constantes à exprimer en fonction des caractéristiques des composants du circuit. Donner l'allure de la courbe $i = f(t)$.



EXERCICE 13 :

Le montage de la figure représente un circuit qui comporte, montés en série

- entre les points A et B, un conducteur ohmique de résistance $R = 1\,000\ \Omega$;
- entre les points B et C, une bobine de résistance négligeable et d'inductance L .

Ce circuit est alimenté par un générateur de tension délivrant des signaux triangulaires. On applique :

- d'une part, sur la voie 1, la tension U_{CB} aux bornes de la bobine ;
- d'autre part, sur la voie 2, la tension u_{AB} aux bornes de la résistance, La figure 2 représente l'image obtenue sur l'écran.

On a réglé

- la base de temps sur la sensibilité 10^{-3} seconde par division ;
- la sensibilité verticale
- sur 20 millivolts par division pour la voie 1 ;
- sur 2 volts par division pour la voie 2.

On observe que la tension forme une trace pratiquement triangulaire.

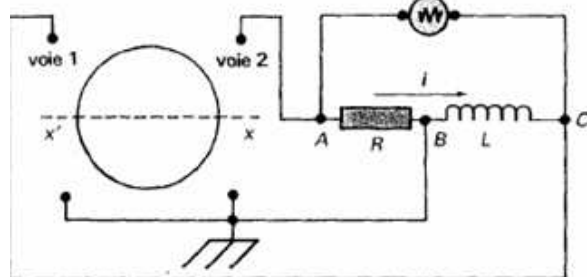


fig.1

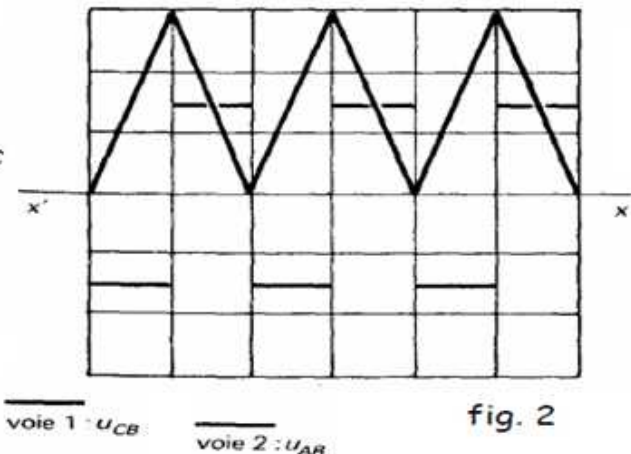


fig. 2

- 1) Justifier la trace en créneaux observée pour la tension U_{CB} sur la figure 2.
- 2) Calculer l'inductance L de la bobine.
- 3) Calculer l'énergie maximale E_M emmagasinée dans la bobine.

EXERCICE 14:

Une bobine a pour résistance $R = 10\ \Omega$ et pour inductance $L = 1\ \text{H}$. On établit à ses bornes, à la date $t = 0$, une tension $U = 6\ \text{V}$, délivrée par un générateur de tension continue G .

- 1) Vérifier que l'intensité du courant électrique, dans le circuit est donnée par la relation :

$$i = \frac{U}{R} \left(1 - \exp\left(-\frac{R}{L}t\right) \right)$$

On vérifiera que (1) est bien solution de l'équation différentielle régissant l'établissement du courant i dans le circuit.

2) Déterminer l'intensité du courant en régime permanent.

3) On mesure l'intensité du courant en fonction du temps. On obtient le tableau suivant :

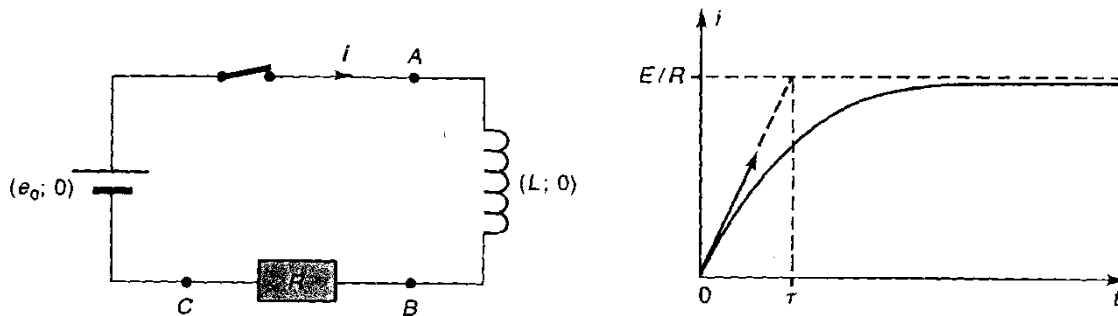
t(s)	0	0,05	0,10	0,15	0,30
i(A)	0	0,24	0,38	0,47	0,57

Tracer la courbe représentative de la fonction $i = f(t)$.

4) Quelle est l'influence du rapport $\tau = \frac{L}{R}$, appelé constante de temps du circuit, sur le comportement du circuit ? Que vaut i pour $t = \tau$?

EXERCICE 15:

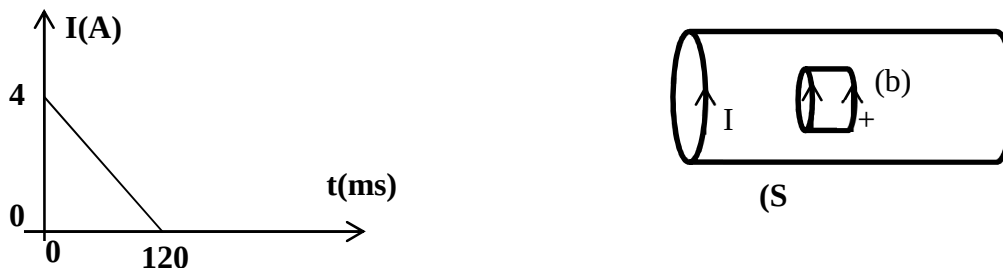
Le circuit représenté ci-dessous comporte, placés en série, une bobine d'inductance L et de résistance négligeable, une résistance R et un générateur, de f.e.m. constante e et de résistance interne nulle. On a représenté la variation de l'intensité du courant pendant l'établissement de celui-ci.



- 1) Représenter graphiquement la tension u aux bornes de la résistance R en fonction du temps.
- 2) Exprimer la tension U_L aux bornes de la bobine en fonction de e et u . En déduire la courbe représentant la variation de U_L en fonction du temps.
- 3) Pourquoi peut-on dire que la bobine est équivalente à un court-circuit en régime permanent ?

EXERCICE 16: (BAC 2012)

Une petite bobine (b) comportant N' spires de surface S' chacune est placée à l'intérieur d'un solénoïde (S) de longueur L comportant N spires. La petite bobine et le solénoïde sont orientés comme indiqué sur la figure ci-dessus.



Le solénoïde est traversé par un courant dont l'intensité varie avec le temps comme indiqué sur le graphe.

La perméabilité du vide est notée μ_0

Etablir l'expression donnant :

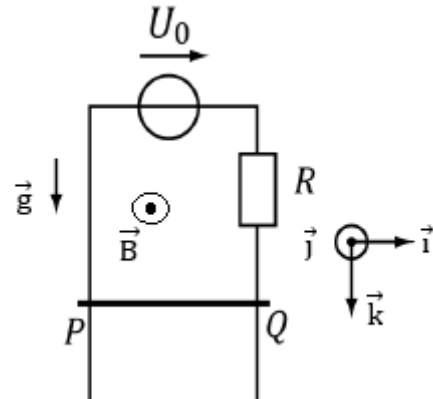
- 1) La loi de variation du champ magnétique $B(t)$ à l'intérieur du solénoïde.
 - 2) La f.e.m d'induction e dont la bobine est le siège.
- NB : il n'est pas demandé de calculer B et e .

EXERCICE 17 : Rail de Laplace vertical

On considère un dispositif de rail de Laplace vertical, dans lequel une barre métallique PQ , de masse m , peut glisser sans frottement le long de deux rails verticaux distants de d .

Ces rails sont reliés à un générateur de tension, délivrant une force électromotrice continue U_0 .

La résistance totale du circuit est notée R et elle est indépendante de la position de la barre PQ . On suppose enfin que l'inductance propre du circuit est négligeable.



Dans l'espace où peut se déplacer la barre règne un champ magnétique uniforme : $\vec{B} = B\vec{j}$.
A l'instant initial, la barre est lâchée sans vitesse initiale.

- 1) Ecrire l'équation électrique du dispositif
- 2) Ecrire l'équation mécanique du dispositif.
- 3) Résoudre le système d'équations couplées ainsi déterminé. En déduire les expressions de la vitesse (t) de la barre et de l'intensité (t) du courant électrique circulant dans le dispositif et les représenter.
- 4) Quelle condition doit satisfaire la résistance R du circuit pour que la barre tombe ?
- 5) Déterminer la vitesse limite prise par la barre.
- 6) Application Numérique : $m = 0,5 \text{ g}$; $U_0 = 1,5 \text{ V}$; $B = 0,5 \text{ T}$; $R = 8 \Omega$; $d = 5 \text{ cm}$

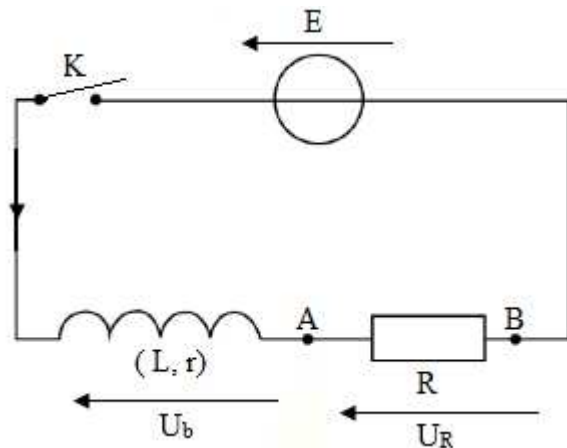
EXERCICE 18

Pour étudier expérimentalement la réponse d'un dipôle RL à un échelon de tension, on réalise un circuit électrique en associant en série :

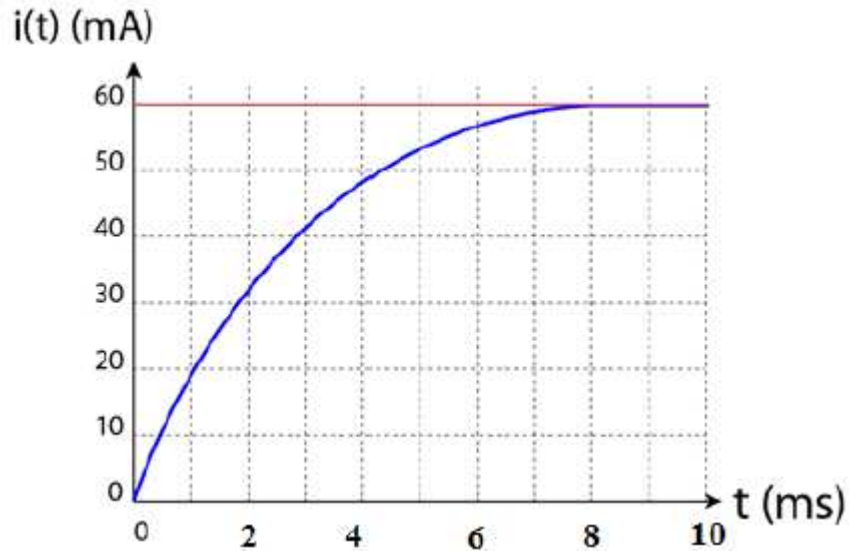
- Une bobine d'inductance L et de résistance r ;
- Un résistor de résistance R ;
- Un générateur de force électromotrice $E = 6\text{V}$.

L'évolution de la tension au cours du temps de la tension aux bornes de la bobine est donnée par la relation $U_b = r i + L \frac{di}{dt}$

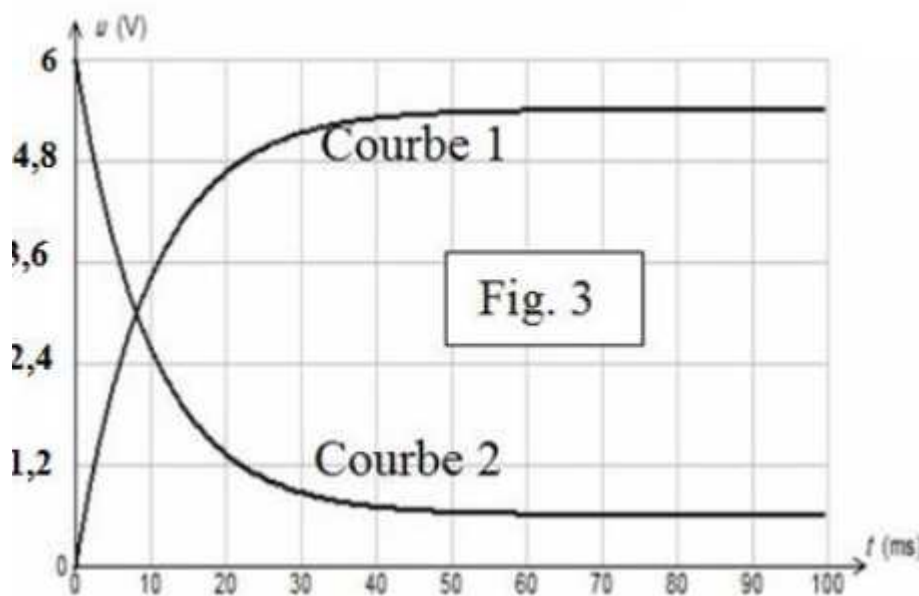
On enregistre à l'aide d'un système d'acquisition informatisé, l'intensité i du courant qui traverse la bobine lorsqu'on ferme l'interrupteur K .



Le résultat de l'enregistrement est donné par la courbe ci-dessous :



- 1.1) Que peut-on dire de l'effet de la bobine sur l'établissement du courant ?
- 1.2) A partir de quelle date le courant induit s'annule dans la bobine ?
- 1.3) Quelle est la loi qui permet de déterminer le sens du courant induit ?
- 1.4) Comparer le sens du courant principal et celui du courant induit avant de s'annuler.
- 2.1) Par application de la loi des mailles, établir l'expression de l'intensité I_0 du courant en régime permanent en fonction des grandeurs E , R et r .
- 2.2) Montrer que la valeur de la résistance totale du circuit est $R + r = 100 \Omega$.
- 3.1) Que caractérise la constante de temps τ ?
- 3.2) Déterminer graphiquement la valeur de la constante de temps τ . En déduire la valeur de L .
- 4.1) Etablir l'équation différentielle en $i(t)$.
- 4.2) Vérifier que $i(t) = \frac{E}{R+r} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$ est une solution de cette équation différentielle.
- 5) L'évolution de la tension U_b aux bornes de la bobine ainsi que celle de la tension U_R aux bornes du conducteur ohmique au cours du temps est donnée par le graphe ci-dessous.
- 5.1) Identifier les deux courbes.
- 5.2) Pourquoi la courbe 2 ne tend pas vers zéro lorsque t tend vers l'infini ?
- 5.3) Déterminer les valeurs des résistances R et r .



EXERCICE 19

On réalise le montage série comportant une bobine d'inductance L et de résistance négligeable, une résistance de valeur $R = 10 \text{ k}\Omega$ ainsi qu'un générateur basse fréquence dont la masse n'est pas reliée à la terre et qui délivre entre ses bornes une tension alternative triangulaire.

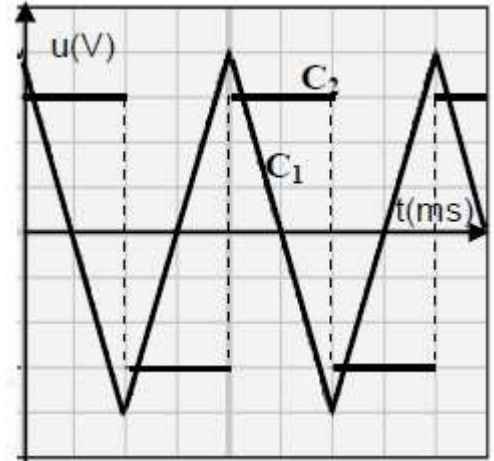
- 1) Réaliser le schéma de principe du montage. Ajouter les branchements à effectuer pour visualiser la tension aux bornes de la bobine sur la voie 1 et la tension aux bornes de la résistance R sur la voie 2.
- 2) L'une de ces tensions permet d'observer l'allure de $i(t)$. Laquelle ? Justifier la réponse.

Base de temps : $0,5 \text{ ms.div}^{-1}$

Sensibilité verticale sur la voie 1 : $0,1 \text{ V.div}^{-1}$

Sensibilité verticale sur la voie 2 : 2 V.div^{-1}

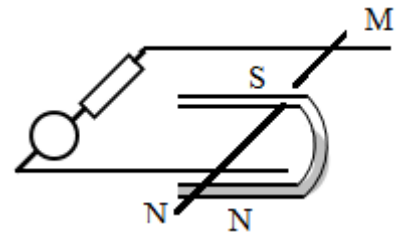
- 3) L'oscillogramme ci-dessus donne l'allure des différentes tensions observées. Déterminer la période T de l'intensité du courant.
- 4) On considère, sur l'oscillogramme précédent, une demi-période où la tension u_L aux bornes de la bobine est positive.
 - 4.1.) Déterminer la valeur de la tension u_L .
 - 4.2.) Etablir une relation entre la tension u_{AB} et la tension u_{CB} .
 - 4.3.) Déterminer l'expression de la tension $u_{BC}(t)$.
 - 4.4.) En déduire la valeur L de l'inductance de la bobine.



D – CORRIGE DES EXERCICES

EXERCICE 1 :

1) A l'intérieur de l'aimant en U le sens du vecteur champ magnétique est du pôle Nord au pôle Sud. Donc ici le plan de l'aimant en U doit être disposé dans le plan vertical de sorte que le pôle Nord soit sous le plan défini par les rails et le pôle Sud au-dessus.



2) Déterminons le sens et l'intensité du courant dans le circuit.

$$i = \frac{E}{R} = 1 \text{ A} \quad \text{circule de M vers N}$$

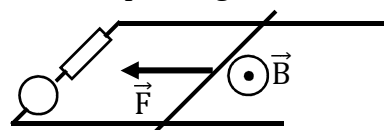
3) Déterminons les caractéristiques de la force de Laplace agissant sur la barre MN.

$$\vec{F} = i \vec{d} \wedge \vec{B}$$

Direction : parallèle aux rails

Sens : de la droite vers la gauche

$$\text{Norme : } F = Bid = 0,1 \times 1 \times 0,04 = 4 \cdot 10^{-3} \text{ N}$$



4) La barre MN se déplace à vitesse constante dans le champ magnétique sur une longueur de 6 cm dans le sens impliqué par la force de Laplace.

4.1) Déterminons le flux coupé ϕ par la barre.

$$\phi = \vec{B} \cdot \vec{S} = Bld = 0,1 \times 0,06 \times 0,04 = 2,4 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$$

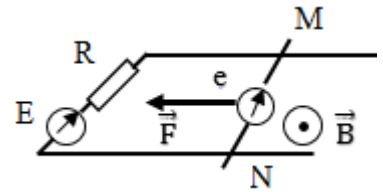
4.2) Le travail effectué par la force magnétique (de Laplace) lors de ce déplacement de la barre MN.

$$\phi = L \cdot d \cdot B = d \frac{F}{i} = \frac{W}{i}$$

$$W = \phi i = 2,4 \cdot 10^{-4} \text{ J}$$

5) Calculons et représentons la force électromotrice induite dans le circuit si le parcours a lieu en 1ms .

$$e = -\frac{\Delta\phi}{\Delta t} = -0,24 \text{ V}$$



EXERCICE 8

1) $S = 0,1 \times 0,1 = 0,01 \text{ m}^2$. On choisit d'orienter les vecteurs $\vec{B}$ et $\vec{S}$ dans le même sens, donc

$$\alpha = 0.$$

$$\Phi_1 = N \cdot B \cdot S \cdot \cos \alpha = 20 \times 0,12 \times 0,01 = 0,024 \text{ Wb}.$$

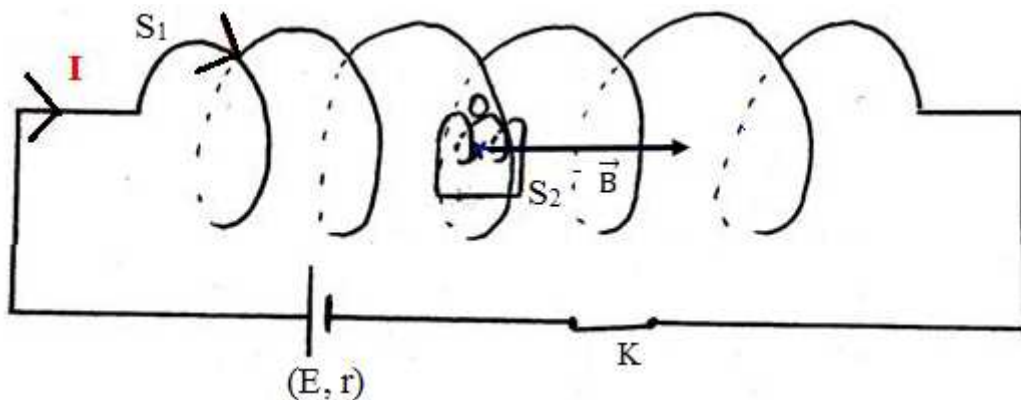
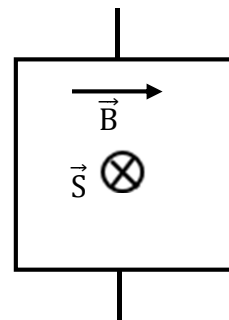
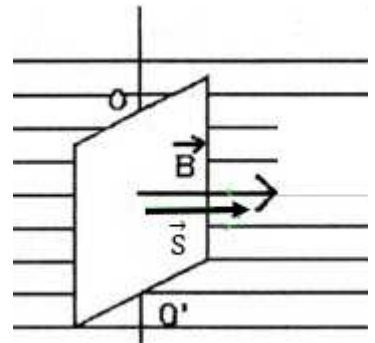
2) La bobine a fait une rotation d'un quart de tour et $\vec{B}$ n'a pas varié donc $\alpha' = 90^\circ$.

$$\Phi_2 = N \cdot B \cdot S \cdot \cos \alpha' = 0 \text{ Wb}.$$

$$3) e = -(\Phi_2 - \Phi_1) / \Delta t = -(0 - 0,024) / 10 \cdot 10^{-3} = 2,4 \text{ V}.$$

EXERCICE 9

1) On a appliqué la règle de la main droite pour déterminer le sens de $\vec{B}$.



2) On détermine d'abord l'intensité du courant électrique, I , qui circule dans ce circuit série.

$$\text{On peut appliquer la loi de Pouillet : } I = \frac{E}{R+r} = 0,90 \text{ A}.$$

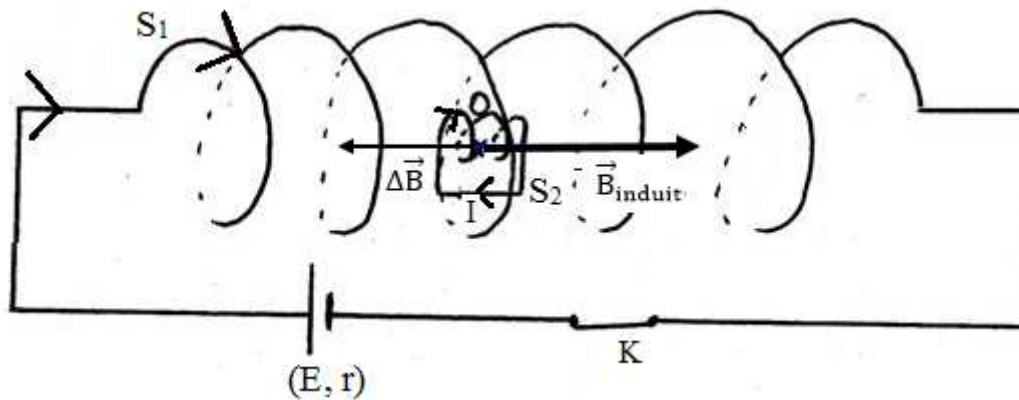
$$\text{On a } B_1 = \frac{\mu_0 N I}{l} = 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ T}.$$

3) Soit S la surface de la bobine S_2 : $S = \pi \cdot R^2 = \pi \cdot (2 \cdot 10^{-2})^2 = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$.

Le flux qui traverse cette bobine est $\phi_1 = N B_1 S \cos \theta$ avec θ qui est l'angle entre $\vec{B}_1$ et $\vec{S}$, $\vec{S}$ étant parallèle à l'axe de la bobine S_2 , il est colinéaire à $\vec{B}_1$ et θ

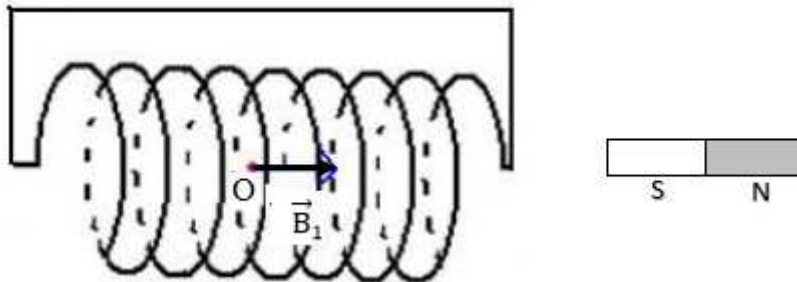
$$\phi_1 = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ Wb}.$$

- 4) Lorsqu'on ouvre le circuit, le champ magnétique s'annule donc $\vec{B}_1 = \vec{0}$. On peut en déduire $\Delta\vec{B} = \vec{0} - \vec{B}_1 = -\vec{B}_1$. D'après la loi de Lenz, on sait que $\vec{B}_{\text{induit}}$ s'oppose à $\Delta\vec{B}$ et que le courant qui a donné naissance à $\vec{B}_{\text{induit}}$ suit la règle de la main droite. On en déduit le sens de I dans la bobine S2 sur le schéma suivant :



EXERCICE 10 :

1. Le vecteur est dirigé vers le pôle sud de l'aimant.



2. $\Phi_1 = NB_1S \cos \theta$. $\vec{B}_1$ étant parallèle à l'axe de la bobine, il est colinéaire à $\vec{S}$ et $\theta = 0$.
 $\Phi_1 = 1000 \times 5,0 \cdot 10^{-5} \times 10 \cdot 10^{-4} \times \cos(0) = 5 \cdot 10^{-5} \text{ Wb}$.

3. $\Phi_2 = NB_2S \cos a$. $\vec{B}_2$ étant parallèle à l'axe de la bobine, il est colinéaire à $\vec{S}$ et $\theta = 0$.
 $\Phi_2 = 1000 \times 1,0 \cdot 10^{-1} \times 10 \cdot 10^{-4} \times \cos(0) = 1,0 \cdot 10^{-1} \text{ Wb}$.

4. On a $e = \frac{\Phi_2 - \Phi_1}{\Delta t} = -10 \text{ V}$

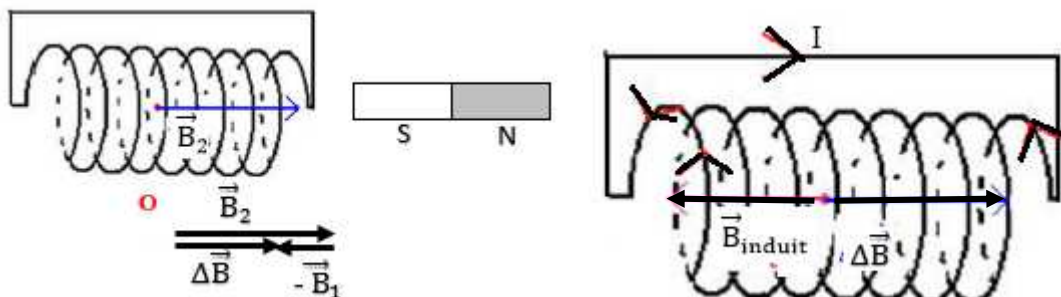
5. Lorsqu'on a approché l'aimant on a fait varier l'intensité du champ magnétique. Soit

$$\Delta\vec{B} = \vec{B}_2 - \vec{B}_1$$

D'après la loi de Lenz, on sait que $\vec{B}_{\text{induit}}$ s'oppose à $\Delta\vec{B}$ et que le courant qui a donné naissance à suit la règle de la main droite.

6. Puisque le circuit est en série, on peut appliquer la loi de Pouillet. On prendra $e = 10\text{V}$, le signe de e ne servant qu'à déterminer le sens de l'intensité.

$$I = 1,4 \text{ A.}$$



EXERCICE 11 :

- On a $\Phi = NBS \cos \alpha$ et comme il s'agit d'un flux propre, généré par le champ de la bobine elle-même, on a $\alpha = 0$. $B = \mu_0 \cdot n \cdot I$ donc $\Phi = N \cdot \mu_0 \cdot n \cdot I \cdot S \cdot \cos(0)$.
 $N = 1$
 $S = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot (0,05)^2 = 7,9 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$.
Donc $\Phi = 2,0 \cdot 10^{-5} \text{ Wb}$.
- $B(t) = \mu_0 \cdot n \cdot i(t) = 4\mu_0 n \sin(200\pi t)$ et $\Phi(t) = NB(t)S = 4NS\mu_0 n \sin(200\pi t)$.
Sachant que $\alpha = 0$ et $\cos \alpha = 1$.
- On a $e(t) = -\frac{d\Phi}{dt} = -200 \pi \times 4NS\mu_0 n \cos(200\pi t) = -800 \pi NS \mu_0 n \cos(200\pi t)$
- Les valeurs extrêmes de cosinus sont -1 et 1, donc la valeur maximale de la fonction $e(t)$ est $-800\pi NS\mu_0 n \times (-1) = 800\pi NS\mu_0 n = 1,2 \cdot 10^{-2} \text{ V}$.
- La pulsation de cette fonction est $\omega = 200\pi$ et $\omega = 2\pi f$ donc $f = 100 \text{ Hz}$
Donc $T = 1/f = 0,01 \text{ s}$.

EXERCICE 13 :

- Justifions la trace en créneaux observée pour la tension U_{CB} sur la figure 2.

$U_{CB} = -U_L = -ri + e = -ri - L \cdot \frac{di}{dt}$ la résistance interne de la bobine étant négligeable on

$$\text{on a } U_{CB} = -L \cdot \frac{di}{dt} = -L \frac{d}{dt} \left(\frac{U_{AB}}{R} \right) = -\frac{L}{R} \left(\frac{dU_{AB}}{dt} \right)$$

Pout $t \in [nT, (n+\frac{1}{2})T]$ $U_{AB} = at$ donc $U_{CB} = -\frac{L}{R}a = \text{constante}$

Pout $t \in [(n+\frac{1}{2})T, nT]$ $U_{AB} = -at$ donc $U_{CB} = \frac{L}{R}a = \text{constante}$

La tension U_{CB} apparaît sur l'écran en forme de créneaux.

- Calculons l'inductance L de la bobine.

$$U_{CB(\max)} = \frac{L}{R}a = 20 \cdot 10^{-3} \times 1,5 = 30 \cdot 10^{-3} \text{ V}$$

$$a = \frac{6 \cdot 10^{-3}}{10^{-3}} = 6$$

$$L = \frac{30 \cdot 10^{-3}}{6} = 5 \text{ mH}$$

- Calculons l'énergie maximale E_M emmagasinée dans la bobine.

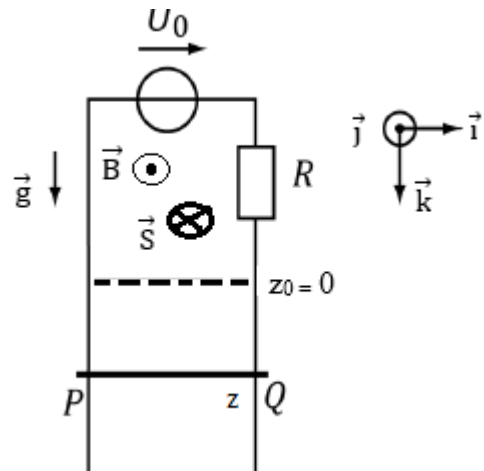
$$E_m = \frac{1}{2} L I_{\max}^2 = \frac{L}{2R^2} U_{AB \max}^2 = 9 \cdot 10^{-8} \text{ J}$$

EXERCICE 17

magnétique, elle est le siège d'un phénomène d'induction magnétique. Elle se comporte donc comme un générateur de tension, délivrant une f.e.m., égale à la f.e.m induite donnée par la loi de Faraday. Le circuit est donc parcouru par un courant induit, dont le sens de circulation est donnée par la loi de modération de Lenz.

D'après cette loi, l'induction, par ses effets, tend à s'opposer aux effets qui lui donne naissance, ici une augmentation du flux du champ magnétique. Ainsi, l'induction magnétique va vouloir s'opposer à cette augmentation du flux du champ magnétique en créant, par l'intermédiaire du courant induit, un champ magnétique induit de sens opposé au champ magnétique extérieur.

La règle de la main droite nous permet alors d'affirmer que le courant induit va circuler dans le sens $Q \rightarrow P$.



1) L'équation électrique du dispositif

$\Phi = \vec{B} \cdot \vec{S} = -Bdz$ on pose $z(Q) = z(P) = 0$ à l'instant initial et z leur cote à la date t

$$e = - \frac{d(Bdz)}{dt} = Bdv$$

$$U_0 = Ri - e$$

$$i = \frac{U_0 + Bdv}{R}$$

2) L'équation mécanique du dispositif.

Bilan des forces :

$$\text{Poids de la tige } \vec{P} = m\vec{g} = mg\vec{k}$$

$$\text{Force de Laplace } \vec{F} = -Bdi\vec{k}$$

$$\text{TCI} \Rightarrow \vec{P} + \vec{F} = m\vec{a}$$

$$\frac{dv}{dt} = g - \frac{Bdi}{m}$$

3) Résolvons le système d'équations couplées ainsi déterminé. En déduire les expressions de la vitesse (t) de la barre et de l'intensité (t) du courant électrique circulant dans le

$$\begin{cases} i = \frac{U_0 + Bdv}{R} \\ \frac{dv}{dt} = g - \frac{Bdi}{m} \end{cases}$$

$$v(t) = \tau \left(g - \frac{BaU_0}{mR} \right) \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right]$$

$$i(t) = \frac{m}{Ba} \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right]$$

4) La condition que doit satisfaire la résistance R du circuit pour que la barre tombe. Pour que la barre ne tombe pas il faut que $v > 0$. D'où

$$R > \frac{BaU_0}{mg} = 7,6 \Omega$$

EXERCICE 18

- 1.1) La bobine retarde l'établissement du courant principal dans le circuit. En effet, la variation du courant principal d'une valeur nulle à une valeur non nulle crée à l'intérieur de la bobine un courant électrique induit qui, d'après la loi de Lenz, s'oppose à la cause qui lui a donné naissance, c'est-à-dire s'oppose à l'établissement du courant principal.
- 1.2) Le courant induit s'annule en régime permanent à $t = 8 \text{ ms}$.
- 1.3) La loi qui permet de déterminer le sens du courant induit est la loi de Lenz.
- 1.4) A la fermeture de l'interrupteur, le courant principal augmente, le courant induit circule dans le sens contraire à celui du courant principal pour s'opposer à cette augmentation.
- 2.1) Application de la loi des mailles, établissons l'expression de l'intensité I_0 du courant en régime permanent en fonction des grandeurs E , R et r .

$$U_b + U_R - E = 0 \Rightarrow U_b + U_R = E \Rightarrow r i + L \frac{di}{dt} + R i = E$$

En régime permanent : $i = I_0 = \text{constante}$ donc $\frac{di}{dt} = 0$. Il s'en suit $I_0 = \frac{E}{R+r}$

- 2.3) Montrons que la valeur de la résistance totale du circuit est $R + r = 100 \Omega$.

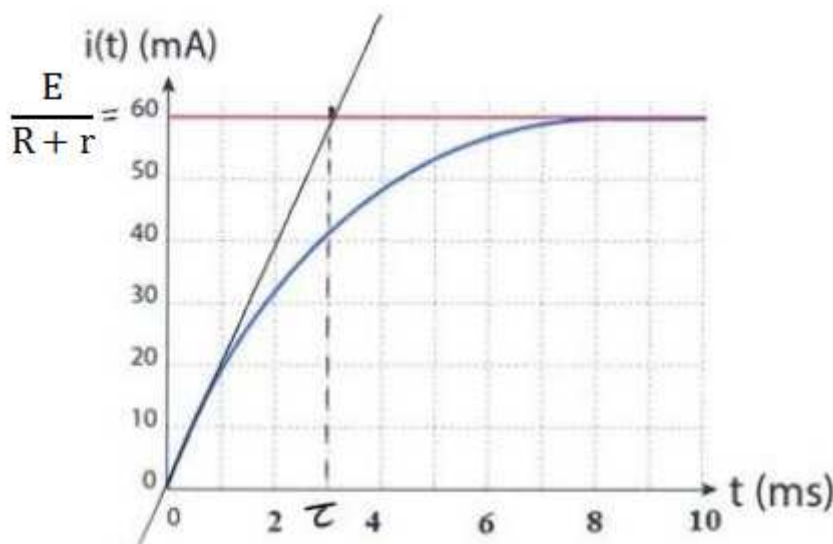
$$I_0 = 60 \text{ mA} ; E = 6 \text{ V}$$

$$I_0 = \frac{E}{R+r} \Rightarrow R+r = \frac{E}{I_0} = 100 \Omega$$

- 3.1) Ce que caractérise la constante de temps τ ?

La constante du temps τ caractérise la durée de l'établissement du courant.

- 3.2) Déterminons graphiquement la valeur de la constante de temps τ et déterminons la valeur de L .



$$\tau = 3 \text{ ms} = \frac{L}{R+r} \Rightarrow L = (R+r)\tau = 0,3 \text{ H}$$

- 4.1) Etablissons l'équation différentielle en $i(t)$.

$$\text{D'après la loi des mailles : } r \cdot i + L \cdot \frac{di}{dt} + R \cdot i = E \Rightarrow \frac{di}{dt} + \frac{R+r}{L} \cdot i = \frac{E}{L}$$

4.2) Vérifions que $i(t) = \frac{E}{R+r}(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$ est une solution de cette équation différentielle.

$$\frac{di}{dt} = \frac{E}{(R+r)\tau} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} = \frac{E}{(R+r)} \frac{R+r}{L} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} = \frac{E}{L} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

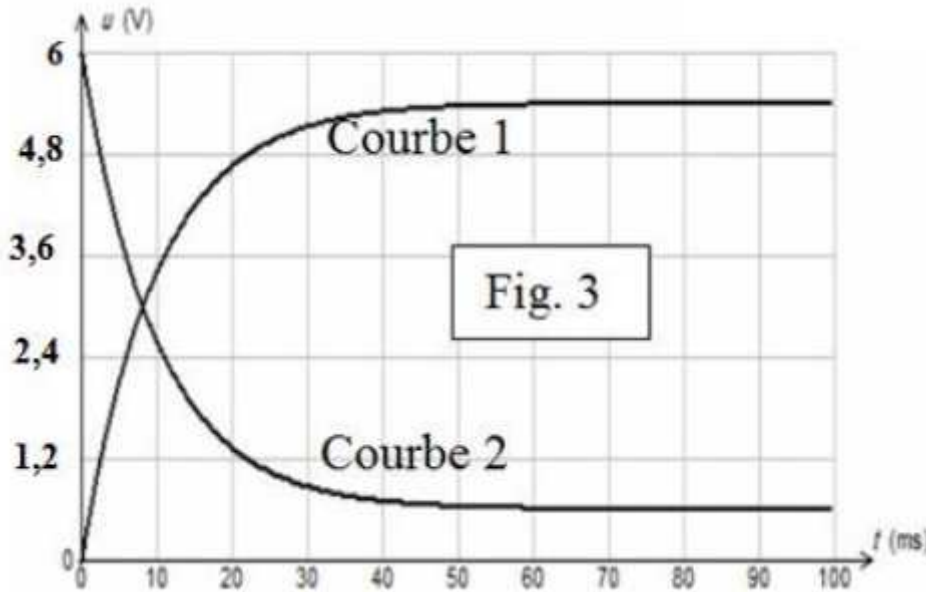
Calculons $\frac{di}{dt} + \frac{R+r}{L} \cdot i$

Remplaçons $i(t)$ et $\frac{di}{dt}$ dans l'équation différentielle :

$$\frac{di}{dt} + \frac{R+r}{L} \cdot i = \frac{E}{L} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} + \frac{R+r}{L} \cdot \frac{E}{(R+r)} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) =$$

$$\frac{di}{dt} + \frac{R+r}{L} \cdot i = \frac{E}{L} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} + \frac{E}{L} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) = \frac{E}{L} \text{ CQFD}$$

5.1) Identifions les deux courbes.



$$i(t) = \frac{E}{R+r}(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} i(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{E}{R+r} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) = \frac{E}{R+r}$$

$$i(0) = 0$$

La courbe 1 correspond à la tension aux bornes du résistor : $U_R(t)$.

$$U_b = E - U_R = E - Ri(t) = E - \frac{R \cdot E}{R+r} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

$$U_b(0) = E$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} U_b(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} (E - \frac{R \cdot E}{R+r} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})) = E - \frac{R \cdot E}{R+r} = \frac{r \cdot E}{R+r}$$

Donc la courbe 2 correspond à la tension aux bornes de la bobine : $U_b(t)$.

5.2) Pourquoi la courbe 2 ne tend pas vers zéro lorsque t tend vers l'infini ?

$$U_b = r \cdot i + L \cdot \frac{di}{dt}$$

Lorsque $t \rightarrow \infty$ $\frac{di}{dt} = 0$ et l'intensité du courant dans le circuit tend vers sa valeur maximale

$$I_0. \text{ Donc } U_b = r I_0 \neq 0$$

5.3) Déterminons les valeurs des résistances R et r .

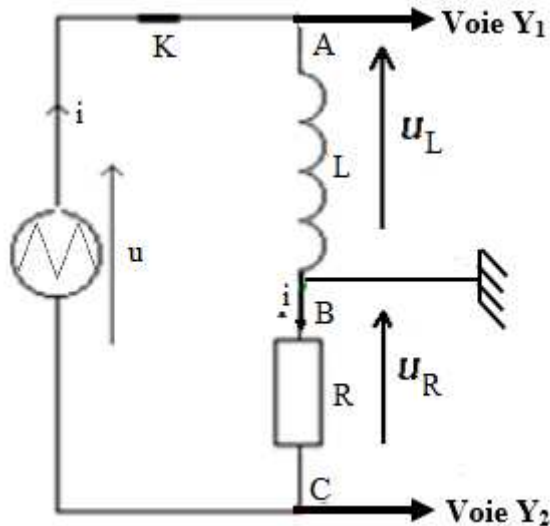
D'après la courbe, en régime permanent : $U_b = r \cdot I_0 = 0,6 \text{ V}$

$$r = 10 \, \Omega$$

$$R = 90 \, \Omega$$

EXERCICE 19

- 1) Schéma de principe du montage et branchements à effectuer pour visualiser la tension aux bornes de la bobine sur la voie 1 et la tension aux bornes de la résistance R sur la voie 2.



- 2) L'une de ces tensions permet d'observer l'allure de $i(t)$. Laquelle ? Justifier la réponse.
Sur la voie 2 on va visualiser $u_{CB} = -u_R = -R \cdot i$ donc $i(t) = \frac{u_R(t)}{R}$ donc $i(t)$ est proportionnelle à $u_R(t)$ d'où la courbe de $u_R(t)$ permet d'observer les variations de $i(t)$.

- 3) Déterminons la période T de l'intensité du courant.

$$\begin{cases} T \rightarrow 4 \text{ div} \\ 0,5 \text{ ms} \rightarrow 1 \text{ div} \end{cases} \Rightarrow T = 4 \times 0,5 = 2 \text{ ms}$$

- 4.1.) Déterminer la valeur de la tension u_L .

$$\begin{cases} u_L \rightarrow 3 \text{ div} \\ 0,1 \text{ V} \rightarrow 1 \text{ div} \end{cases} \Rightarrow u_L = 3 \times 0,1 = 0,3 \text{ V}$$

- 4.2.) Etablissons une relation entre la tension u_{AB} et la tension u_{CB} .

$$u_{AB} = L \cdot \frac{di}{dt} \text{ avec } i = \frac{u_R}{R} = -\frac{u_{CB}}{R}$$

$$u_{AB} = L \cdot \frac{d(-\frac{u_{CB}}{R})}{dt} = -\frac{L}{R} \frac{du_{CB}}{dt}$$

- 4.3.) Trouvons l'expression de la tension $u_{BC}(t)$.

La courbe $C_1 \rightarrow u_{AB}(t)$ et la courbe $C_2 \rightarrow u_{CB}(t)$.

Pour $t \in [0; \frac{T}{2}]$; la courbe représentant $u_{CB}(t)$ est une droite affine décroissante, d'où :

$$u_{CB}(t) = at + b \text{ avec } \begin{cases} b = 8 \text{ ordonnée à l'origine} \\ a = 16 \cdot 10^3 \text{ pente de la droite} \end{cases}$$

$$u_{CB}(t) = 16 \cdot 10^3 t + 8$$

- 4.4.) En déduire la valeur L de l'inductance de la bobine.

$$u_{AB} = -\frac{L}{R} \cdot \frac{du_{CB}}{dt} \Leftrightarrow -R \frac{u_{AB}}{\frac{du_{CB}}{dt}} = L$$

$$L = -10 \cdot 10^3 \cdot \frac{0,3}{-16 \cdot 10^3} \approx 0,19 \text{ H}$$

Test rapide

- 1) Compléter les phrases suivantes avec les mots ou expressions qui conviennent
 - 1.1) induction magnétique
 - 1.2) l'inducteur – l'induit
 - 1.3) donné naissance - autoinduction
 - 1.4) induction magnétique
 - 1.5) variation du flux magnétique
 - 2) Choisir la ou les bonne(s) réponse(s)
 - 2.1) A) Un courant circule dans l'anneau
 - 2.2) Toutes les trois A) B) C)
 - 2.3) B) Un courant circule dans le sens trigonométrique
 - 2.4) C) variable dans le temps
 - 2.7) C) il manque des données pour de se prononcer (champ variable ou pas ?)
 - 2.8) C) la bobine se déplace perpendiculairement au champ magnétique
 - 2.9) B) à la variation du champ magnétique inducteur C) à la cause qui lui a donné naissance
-

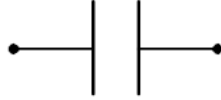
CHAPITRE 9 ETUDE DU DIPOLE (R,C)

A-OBJECTIFS

Etablir l'équation différentielle régissant la charge ou la décharge d'un condensateur.
Etablir la loi de variation, en fonction du temps de la tension, aux bornes du condensateur lors de la charge ou de la décharge.
Etablir la loi de variation, en fonction du temps, de l'intensité du courant qui traverse le dipôle RC lors de la charge ou de la décharge.
Rappeler l'expression de la constante de temps, donner sa signification physique
Déterminer la constante de temps
Déterminer la capacité d'un condensateur

B-L'ESSENTIEL DU COURS**Condensateur**

Un condensateur est un dipôle constitué de deux lames conductrices appelées armatures séparées par un isolant (le diélectrique).



Le symbole normalisé d'un condensateur plan non polarisé est :

Capacité d'un condensateur :

La charge q d'un condensateur et la tension entre ses bornes sont proportionnelles : $q = C U_C$
 C est la capacité du condensateur, elle s'exprime en farad.

Etude de la charge :

Un générateur de fem E et de résistance interne négligeable est relié à un dipôle série (RC) à une date prise comme origine des temps $t = 0$, le condensateur étant initialement déchargé.

Par application des lois du courant on établit l'équation différentielle vérifiée par la tension u_C aux bornes du condensateur

$$\frac{du_C}{dt} + \frac{u_C}{RC} = \frac{E}{RC}$$

La solution de l'équation différentielle est de la forme : $u = E(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$

$\tau = RC$ est la constante de temps, elle caractérise la rapidité de l'évolution de la charge.

La courbe d'évolution de la tension a l'allure ci-dessous (courbe a)

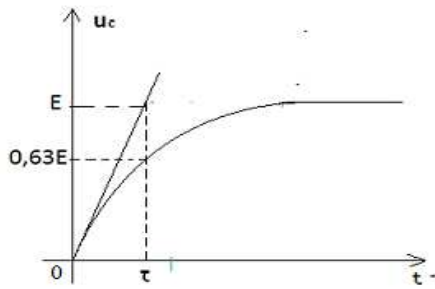
Etude de la décharge du condensateur

Un condensateur initialement chargé sous la tension E est relié à la date $t = 0$ à l'aide de fils de connexion de résistance négligeable à un résistor de résistance R de façon à constituer un circuit série (RC)

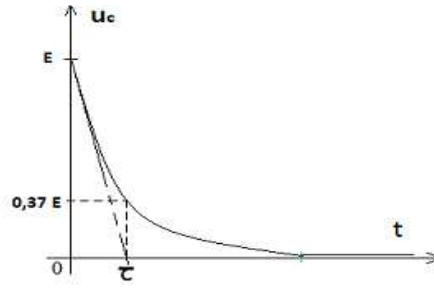
L'application des lois du courant permet d'établir l'équation différentielle vérifiée par la tension U_C aux bornes du condensateur.

La solution de l'équation différentielle est de la forme : $u_C = E e^{-\frac{t}{\tau}}$

La courbe traduisant la loi de variation de la tension U_C en fonction du temps est ébauchée ci-dessous (courbe b)



Courbe a

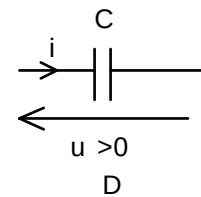
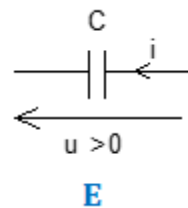
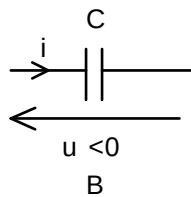
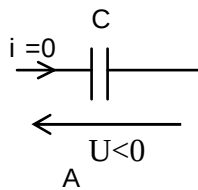


Courbe b

C - EXERCICES

EXERCICE 1:

On considère les schémas suivants où l'intensité du courant i est une constante positive.

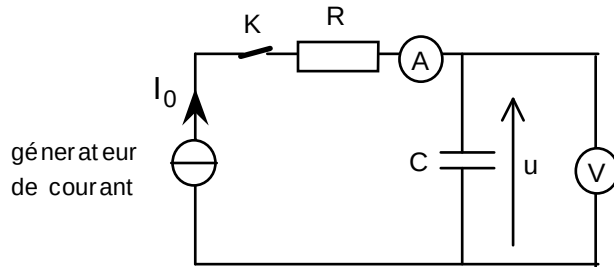


Dire, pour chacun des quatre cas, avec justification, si le condensateur

- est en train de se décharger ;
- est en train de se charger ;
- garde une charge constante.

EXERCICE 2:

On dispose d'un condensateur de capacité C inconnue.
 Pour déterminer C , on se propose de charger le condensateur à l'aide d'un "générateur de courant" qui débite un courant constant $I = 0,50 \text{ mA}$.



On mesure la tension aux bornes du condensateur en fonction du temps. On obtient les résultats suivants :

t(s)		0	11	23	34	46	57	68	80
u(V)		0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0

1) Tracer la courbe de la fonction $u = f(t)$.

Echelles : **abscisses** : 1 cm pour 5 s ; **ordonnées** : 1 cm pour 1,0 V.

2) Dédurre de la courbe tracée la valeur de la capacité C du condensateur.

EXERCICE 3

Un condensateur de capacité C est chargé à travers une résistance R , à l'aide d'un générateur délivrant une tension constante U_0 . Le condensateur est entièrement déchargé avant la fermeture de l'interrupteur K .

A la date $t = 0$, on ferme l'interrupteur. A la date t , l'intensité du courant est désignée par i , la charge du condensateur par q , la tension entre ses armatures par u_c et la tension aux bornes de la résistance R par u_R .

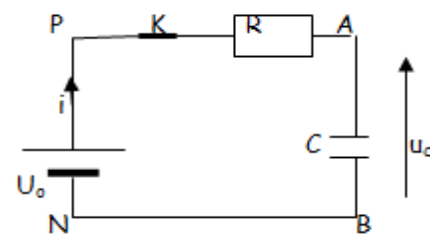
1) Expliquer brièvement le comportement des électrons libres du circuit à la fermeture de l'interrupteur.

2) Expliquer comment varient u_c , u_R , i et q durant la charge du condensateur en précisant les valeurs initiales et les valeurs finales.

3) Rappeler les relations qui lient i et q d'une part et i , C et u_c d'autre part.

4) Etablir à la date t , la relation qui lient u_c , u_R et U_0 . En déduire l'équation différentielle du circuit relativement à la tension u_c .

5) Résoudre l'équation différentielle du circuit. Autrement dit trouver u_c en fonction du temps t



EXERCICE 4

Un condensateur de capacité $C = 5$ microfarads est chargé par un générateur de f.e.m constante $E = 12$ V, de résistance interne $r = 2$ ohms.

1) Calculer la charge Q acquise par le condensateur.

2) Calculer l'intensité du courant à l'instant où on ferme le circuit, la charge du condensateur étant encore nulle. Quelle est l'intensité du courant à la fin de la charge ?

EXERCICE 5

Un générateur de tension continue de fem E permet de charger préalablement un condensateur de capacité C . Celui se décharge ensuite dans un conducteur ohmique de résistance $R = 106$ ohms.

Un dispositif permet d'enregistrer les valeurs de la tension u_C aux bornes du condensateur en fonction du temps. On obtient les résultats suivants sachant que la décharge commence à un instant pris comme origine des dates.

$t(s)$	2	4	6	8	10
$u_C (V)$	1,45	1,24	1,06	0,90	0,77

1-) Tracer la courbe représentant les variations de $\ln(u_C)$ en fonction du temps.

Echelle :

Abscisses : 1 division $\leftrightarrow 1s$

Ordonnées : 10 divisions $\leftrightarrow \ln u = 1$.

2-) Ecrire l'équation différentielle qui régit la tension u_C aux bornes du condensateur.

Déterminer la solution de cette équation différentielle.

Que représente le coefficient directeur de la droite obtenue précédemment ?

On pose $\tau = RC$.

Déterminer la valeur de τ puis celle de C .

3-) Déterminer E à partir du graphe.

4-) Quelle est l'influence de la valeur de la constante RC sur la durée de la décharge du condensateur. ?

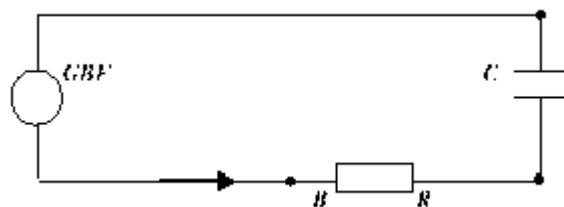
EXERCICE 6

Afin d'étudier la charge et la décharge d'un condensateur, on réalise le circuit ci-dessous. GBF est un générateur basse fréquence délivrant une tension rectangulaire ;

R est un résistor de résistance $R = 200 \Omega$

C est un condensateur de capacité C .

Grâce à un oscilloscope électronique, on obtient l'oscillogramme ci-dessous.



Remarque : afin de mieux distinguer chacune des courbes l'une a été décalée vers le haut et l'autre vers le bas.

Les réglages de l'oscilloscope sont les suivants :

-Base de temps : $0,5$ ms/div ;

-Sensibilité verticale de la voie A et de la voie B : 2 V/div;

-entrée B inversée.

1) a) Quelles sont les courbes qui représentent :

-la tension $u(AM)$ aux bornes du conducteur ohmique ?

- la tension $u(BM)$ aux bornes du condensateur ?

b) En déduire celle qui permet de connaître les variations de l'intensité i du courant en fonction du temps

c) A quoi correspondent les 2 parties de chaque courbe ? Justifier la réponse.

2) Déterminer les grandeurs suivantes :

-fréquence f du générateur ;

-tension maximale aux bornes du condensateur ;

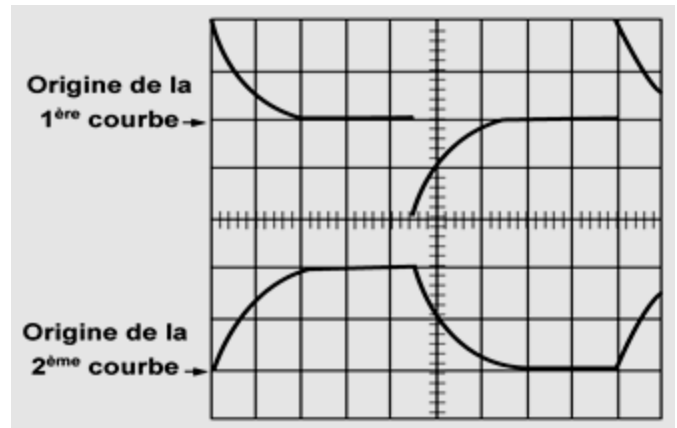
-tension maximale aux bornes du conducteur ohmique ;

- valeur maximale I_{max} de l'intensité du courant de charge.

3) Pour les mêmes réglages du GBF et de l'oscilloscope on augmente la valeur de la résistance R

-Les grandeurs f , et I_{max} sont-elles modifiées? Si oui, dans quel sens ? si non, pourquoi ?.

Représenter la nouvelle allure de la tension aux bornes du condensateur



D - CORRIGE DES EXERCICES

EXERCICE 3

1 La courbe $u = f(t)$ est une droite passant par l'origine de pente $k = 0,09 \text{ V.s}^{-1}$ dont l'équation s'écrit $u = kt$

2) On a $q = Cu = It$ d'où l'on tire $Ckt = It$; par conséquent $C = I/k = 5,5 \text{ mF}$

EXERCICE 4 :

1) Il y a mouvement d'ensemble des électrons libres de la borne négative du générateur vers sa borne positive dans le circuit extérieur au générateur

L'armature du condensateur reliée au pôle négatif du générateur se charge négativement, l'autre positivement.

2 Durant la charge la tension u_C croît, i et u_R diminuent

u_C passe de 0 à U_0 : i passe de U_0/R à 0 : u_R passe de U_0 à 0

3) $i = \frac{dq}{dt}$ avec q la charge de l'armature vers laquelle pointe le sens arbitraire de i

ce qui implique : $i = C \frac{du_C}{dt}$

4) $u_C + u_R = U_0$ on en déduit : $u_C + Ri = U_0$ et par suite $u_C + R C \frac{du_C}{dt} = U_0$

5) La solution de l'équation : $u_C = U_0 (1 - e^{-t/RC})$

EXERCICE 5

- 1) $Q = CE = 5 \cdot 10^{-6} \cdot 12 = 6 \cdot 10^{-5} \text{ C.}$
- 2) - A l'instant de fermeture du circuit, la loi d'Ohm donne $I = E/R = 6 \text{ A.}$
- 3) A la fin de la charge on a $I = 0.$

CHAPITRE10 : OSCILLATIONS ELECTRIQUES LIBRES ET OSCILLATIONS ELECTRIQUES FORCEES

A-OBJECTIFS

- Etablir l'équation différentielle des oscillations électriques libres.
- Montrer la conservation de l'énergie électrique totale dans le cas des oscillations libres non amorties.
- Déterminer la période propre ou la pulsation propre.
- Exploiter des oscillogrammes.
- Distinguer les différents régimes d'oscillations électriques libres (non amorties, amorties, régime pseudo périodique, régime aperiodique)
- Utiliser la loi d'Ohm en courant alternatif.
- Distinguer le comportement d'une self et d'un condensateur dans un circuit électrique.
- Etablir l'équation différentielle régissant le fonctionnement d'un circuit en régime forcé.
- Utiliser la construction de Fresnel
- Interpréter le phénomène de résonance.
- Déterminer la bande passante.
- Calculer une puissance moyenne.
- Calculer un facteur de puissance.
- Expliquer l'importance du facteur de puissance.

B-L'ESSENTIEL DU COURS

A- On étudie la décharge d'un condensateur initialement chargé dans une bobine d'un circuit RLC. Différents cas sont considérés.

I-Oscillations libres dans un circuit LC ($R \approx 0$) : etude analytique

Dans un circuit ou la résistance R est nulle (circuit LC),

L'évolution de la tension (u_c) aux bornes d'un condensateur au cours de sa décharge dans un circuit LC est régie par l'équation différentielle : $\frac{d^2 u_c}{dt^2} + \frac{1}{LC} u_c = 0$.

La solution $u_c(t) = U_m \cos\left(\frac{2\pi}{T_0} t + \varphi\right)$

T_0 (en seconde) est la période propre des oscillations et $T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$; U_m (en volt) est l'amplitude des oscillations : $U_m > 0$, φ (en radian) est la phase à l'origine des dates : -

$$-\pi < \varphi < \pi$$

L'expression $i(t)$ de l'intensité du courant électrique dans est $i(t) = I_m \sin\left(\frac{2\pi}{T_0}t + \varphi\right)$ Avec $I_m = \frac{2\pi}{T_0} C U_m$

Les oscillations sont sinusoïdales

II-Dans un circuit de résistance faible

Les oscillations libres amorties : le régime est pseudopériodique de période $T = T_0$

III- Dans un circuit de résistance élevée le régime est apériodique (aucune période) : pas d'oscillations

IV- Aspect énergétique

- Il y a transfert continu d'énergie entre bobine et conducteur
- Dans le cas d'un régime périodique, l'énergie totale est constante.
- Dans le cas d'un régime pseudopériodique ou apériodique, la résistance étant non nulle, l'énergie totale diminue du fait du transfert thermique d'énergie par effet Joule

Le courant alternatif

V-Entretien des oscillations

- Si l'amortissement n'est pas négligeable, il est possible d'entretenir les oscillations en utilisant un dispositif qui compense l'énergie dissipée par transfert thermique
- Les oscillations entretenues sont sinusoïdales et leur période est égale à la période propre T_0

B- Oscillations électriques forcées

Soit un générateur BF qui maintient une tension sinusoïdale de fréquence N aux bornes d'un dipôle R, L, C série.

Le circuit est siège d'électriques forcées de fréquence N .

Différents cas de régime peuvent être considérés selon les valeurs de R, L et C (Cf exercices)

C-EXERCICES

EXERCICE 1

1) Un condensateur de capacité C_1 est chargé sous une tension constante U_1 (fig. 1).

Calculer la charge Q_1 portée par l'armature A ainsi que l'énergie emmagasinée E_1 .

A.N. : $C_1 = 10^{-6} \text{ F}$; $U_1 = 40 \text{ V}$.

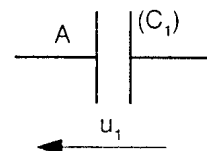


FIG.1

2) Le condensateur C_1 , chargé dans les conditions précédentes, est isolé, puis relié à une bobine d'auto-inductance L . la résistance du circuit est négligeable (fig. 2). A la date $t = 0$ on

ferme l'interrupteur K. Un oscillographe permet de visualiser la tension $u(t)$ aux bornes de la bobine. On obtient la courbe représentée (fig. 3).

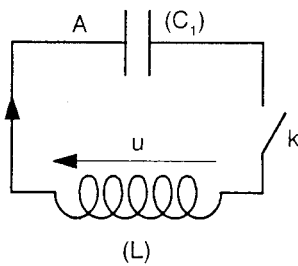


FIG.2

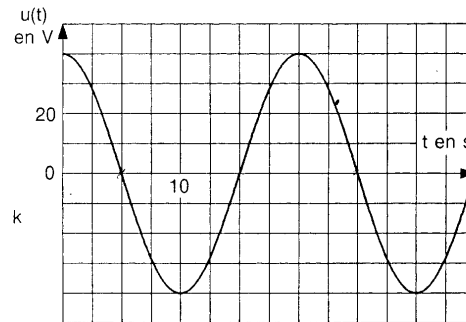


FIG.3

Le temps t est à revoir car cette valeur de T donnerait L trop grand

Il faut prendre t en ms

2.a- Soit $q(t)$ la charge portée par l'armature A à la date t . L'intensité $i(t)$ est comptée positivement quand le courant circule dans le sens indiqué sur le schéma.

Etablir l'équation différentielle vérifiée par la charge $q(t)$.

En déduire l'expression littérale de la tension $u(t)$.

Déterminer les valeurs de la tension maximale et de la pulsation.

b) Calculer la valeur de l'auto-inductance L de la bobine.

c) Quelles sont les expressions littérales en fonction du temps de l'énergie emmagasinée dans le condensateur, dans la bobine et de l'énergie totale emmagasinée dans le circuit. Comparer à la valeur E_1 Conclure.

EXERCICE 2

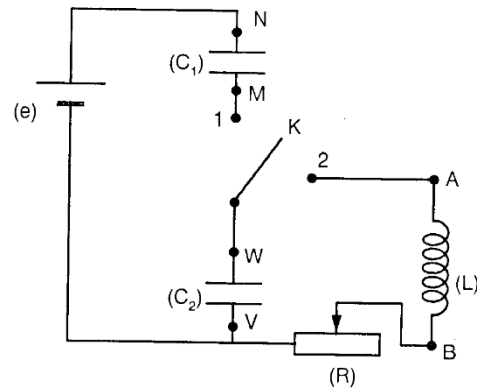
On réalise le montage schématisé par la figure ci-contre. Le générateur a une f.é.m. $E = 6 \text{ V}$; les condensateurs ont respectivement pour capacité C_1 et C_2 telles que $C_1 = 3 \mu\text{F}$, $C_2 = 6 \mu\text{F}$; la bobine a une résistance nulle et une inductance

$L = 2 \cdot 10^{-2} \text{ H}$. On note R la résistance du rhéostat.

1) Initialement les deux condensateurs sont déchargés. Que se passe-t-il quand l'interrupteur K est mis en position 1 ?

Déterminer la charge et l'énergie acquises par chaque condensateur.

2) À l'instant $t = 0$ l'interrupteur est mis en position 2.



2.a- Après avoir expliqué, en quelques mots, le phénomène physique qui a lieu, établir l'équation

différentielle de la charge q du condensateur C_2 en précisant le sens positif choisi pour le courant i passant dans l'inductance.

2.b- Montrer que dans le cas où $R = 0$ l'équation différentielle obtenue a une solution de la forme :

$q = Q \cos(\omega t + \varphi)$. Préciser la valeur de φ , calculer les valeurs de Q et ω . Exprimer l'intensité $i = f(t)$ du courant. Comment est répartie l'énergie dans le circuit à la date $t = 2,2 \text{ ms}$?

EXERCICE 3:

Un circuit série comprend une bobine d'inductance L et de résistance R , et un condensateur de capacité C .

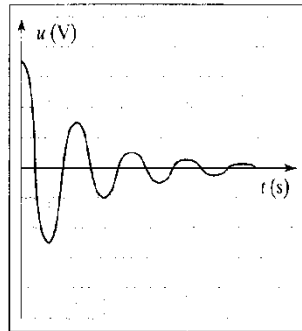
La figure représente la visualisation sur l'écran d'un oscilloscope, de la tension u en fonction du temps t

aux bornes du condensateur au cours de la décharge de celui-ci dans le circuit :

- balayage : $100 \mu\text{s/div}$
- sensibilité : 2 V/div

- 1) Déterminer la période et la fréquence des oscillations électriques pseudo-périodiques. (graduations non visibles)
- 2) Quelle est la cause de l'amortissement des oscillations ?
- 3) On admet que l'amortissement ne modifie pas sensiblement la fréquence des oscillations.

Calculer la capacité du condensateur si l'inductance de la bobine est $L = 0,1 \text{ H}$.



4) Calculer l'énergie initiale E_e du condensateur.

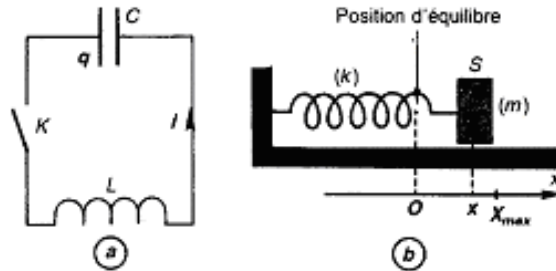
Calculer l'énergie dissipée E_J par effet Joule lors de la première oscillation.

EXERCICE 4:

On réalise le circuit de la figure ci-contre ; la bobine, de résistance négligeable, a une inductance $L = 50 \text{ mH}$; la capacité du condensateur chargé vaut $C = 5 \mu\text{F}$.

1) On ferme l'interrupteur K . Quel phénomène se produit dans le circuit ?

En utilisant le sens positif du courant de la figure(a), établir l'équation différentielle liant la charge q de l'armature de gauche du condensateur à sa dérivée seconde par rapport au temps.



2) En déduire l'expression littérale de la période propre T du circuit, ainsi que sa valeur numérique.

3) On réalise maintenant un pendule élastique horizontal en accrochant, à l'extrémité d'un ressort de raideur k , un solide S de masse $m = 100 \text{ g}$, qui peut se déplacer sans frottement sur un support horizontal (fig. b).

On écarte le solide S d'une distance $X_{\max}$ par rapport à sa position d'équilibre O et on le lâche sans vitesse à la date $t = 0$.

3.a- Soit x l'élongation, à l'instant t , du centre d'inertie G du solide S . Exprimer, à chaque instant, en fonction de k , m , x et $\frac{dx}{dt}$, l'énergie cinétique E_c , l'énergie potentielle E_p et l'énergie mécanique E du système ressort + solide S .

Que peut-on dire de E ? Pourquoi ?

3.b- À partir de l'étude énergétique puis de la relation $\vec{f} = \sum \vec{f}$, (établir l'équation différentielle liant l'abscisse x de G à sa dérivée seconde par rapport au temps.

3.c- En déduire l'expression littérale de la période T_0 des oscillations du pendule.

Application numérique : $k = 25 \text{ N.m}^{-1}$.

3.d- En comparant les équations qui régissent les deux systèmes étudiés, mettre en évidence une analogie entre les grandeurs mécaniques et électriques.

Préciser les grandeurs mécaniques correspondant, respectivement :

- à la charge q ; - à la capacité C ; - à l'intensité i du courant ; - à l'inductance L de la bobine.

Utiliser cette analogie pour trouver l'expression de l'énergie E emmagasinée dans le circuit (L , C) à chaque instant.

EXERCICE 5:

On dispose d'une source de tension sinusoïdale de pulsation ω réglable dont la tension instantanée exprimée en volts est donnée par la tension : $u = 12 \sqrt{2} \sin(\omega t)$.

1. A l'aide de cette source, on alimente un résistor et une bobine montés en série : la résistance du resistor vaut $R = 300 \Omega$, celle de la bobine est négligeable et son inductance, inconnue, est notée L . Lorsque la pulsation du générateur est réglée à la valeur $\omega = 10^3 \text{ rad.s}^{-1}$, l'intensité efficace du courant dans le circuit vaut $I = 24 \text{ mA}$.

Calculer l'inductance L de la bobine. Calculer la phase ϕ de la tension u par rapport à l'intensité i du courant dans le circuit.

Ecrire alors, avec les unités convenables, l'expression de cette intensité i en fonction du temps.

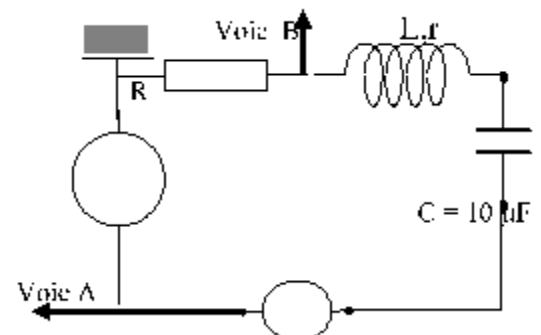
2. On ajoute maintenant dans le circuit un condensateur, de capacité $C = 25 \cdot 10^{-9} \text{ F}$, disposé en série avec la résistance et la bobine. Déterminer la valeur à laquelle on doit régler la pulsation pour que la tension u soit en phase avec l'intensité dans le nouveau circuit considéré.

Calculer, dans ces conditions, l'intensité efficace du courant dans le circuit ainsi que les tensions efficaces U_L et U_C aux bornes de la bobine et de la capacité.

U étant la valeur efficace de la tension u , calculer les rapports $\frac{U_L}{U}$ et $\frac{U_C}{U}$: quel nom donne-t-on à ces rapports et que caractérisent-ils ?

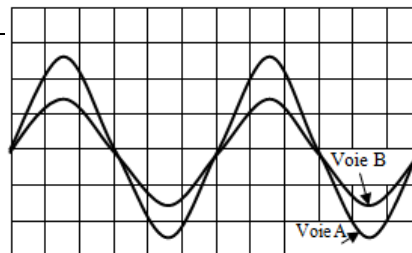
EXERCICE 6 :

On réalise le circuit ci-contre. Le générateur basse fréquence fournit une tension sinusoïdale. On fait varier la fréquence f du générateur BF et on relève l'intensité efficace I du courant. On obtient les valeurs suivantes :



f (Hz)	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300
I (mA)	11,5	19	24	28	30	28,5	25,5	22,5	20	18	16

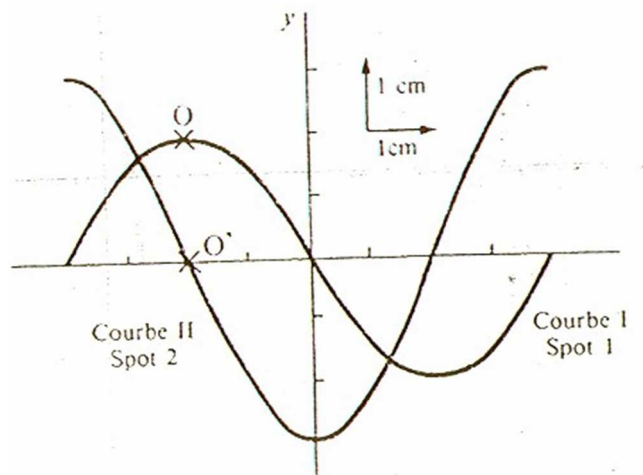
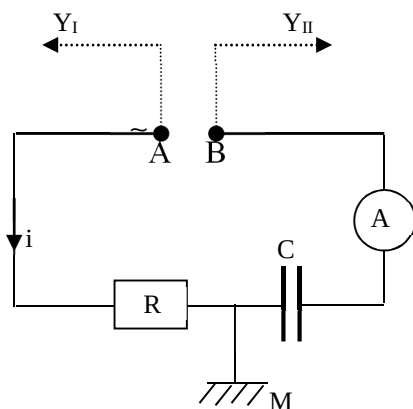
1. Tracer la courbe donnant I en fonction de f.
2. Déterminer graphiquement la fréquence f_0 et l'intensité efficace I_0 du courant correspondant à la résonance.
3. Calculer l'inductance de la bobine
4. On relie un oscillographe à deux voies au circuit et on règle la fréquence du générateur à la valeur f_0 correspondant à la résonance. On observe les courbes suivantes sur l'écran :
 - a. A quelle durée correspond une division du balayage de l'oscillographe ?
 - b. Sachant que pour les entrées A et B la sensibilité verticale est de 1V par division, calculer R.
 - c. Donner la valeur de la résistance r de la bobine



EXERCICE 7 :

On considère le circuit électrique schématisé ci-dessous. Il comprend un générateur donnant entre A et B une tension sinusoïdale, un résistor et un condensateur placés en série ; L'ampèremètre a une résistance négligeable et la tension entre ses bornes est pratiquement nulle. Grâce à un oscilloscope bicourbe, on observe simultanément les tensions : u_{AM} aux bornes du résistor (courbe I) et u_{BM} aux bornes du condensateur de capacité C (courbe II).

Les courbes observées sont représentées sur la figure. Le balayage est identique pour les deux spots, il se fait de gauche à droite.



Les échelles de déviation sont :

- verticalement 1 cm pour 3V
- horizontalement 1cm pour 2,5 ms.

1. Déterminer la période, la fréquence et la pulsation des deux tensions.
2. D'après l'observation des deux courbe I et II, déduire les expressions u_{AM} et u_{BM} en fonction du temps, en prenant pour origine du temps l'instant du passage du spot 1 au point O, c'est-à-

dire l'instant du passage du spot 2 au point O'. Avec cette convention, donner l'expression de la tension u_{MB} en fonction du temps.

3. Exprimer la tension instantanée u_{AB} en fonction de R, C, i et q (R désigne la résistance du résistor, C la capacité du condensateur, i et q les valeurs instantanées de l'intensité du courant et de la charge du condensateur).

Déterminer l'expression de u_{AB} en fonction du temps ainsi que la valeur efficace U_{AB} de u_{AB} .

4. L'ampèremètre indique une valeur efficace $I = 20$ mA. En déduire la valeur de R et de C .

EXERCICE 8:

Une source de tension alternative assure, entre les bornes M et N, une différence de potentiel sinusoïdale : $u = V_M - V_N = U\sqrt{2} \cos \omega t$ ($U = 21$ V ; $\omega = 100 \pi \text{ rad.s}^{-1}$).

Le circuit comprend : un ampèremètre d'impédance négligeable (dipôle MP_1), une bobine B de résistance R_2 et d'auto-inductance L (dipôle P_1P_2) et un résistor R_1 dépourvue d'inductance (dipôle P_2N) montés en série (**fig. a**).

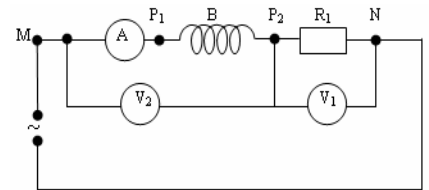


Fig. a

Un voltmètre, branché entre P et N, indique $U_1 = 14$ volts et un autre, branché entre P_2 et M, indique $U_2 = 11,9$ volts lorsque l'ampèremètre indique 35 mA.

- 1) a) Déterminer les valeurs numériques des impédances Z_1 de R_1 , Z_2 de la bobine et Z de l'ensemble ($R_1 + B$), puis, à partir des expressions littérales des impédances de chaque dipôle que l'on rappellera, calculer les valeurs numériques R_1 , R_2 et L .
b) Déterminer le déphasage ϕ entre la tension u aux bornes de l'ensemble et l'intensité i du courant dans le circuit. Préciser quelle est celle de ces grandeurs qui est en retard par rapport à l'autre et donner l'expression de i en fonction du temps.

2) On insère entre R_1 et B un condensateur de capacité C (**fig. b**).

- a) Montrer qu'il est possible, en donnant à C une valeur convenable, d'obtenir une intensité efficace maximale dans le circuit.
- b) Calculer C et la valeur maximale de cette intensité efficace.

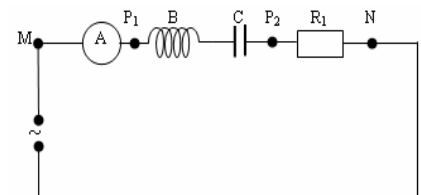


Fig. b

EXERCICE 9 :

On considère un dipôle constitué par deux composantes en série pouvant être chacun un condensateur, une résistance ou une bobine purement inductive.

1. Déterminer la nature et l'impédance de chacun de ces composants à l'aide des résultats des mesures effectuées dans les deux expériences suivantes :

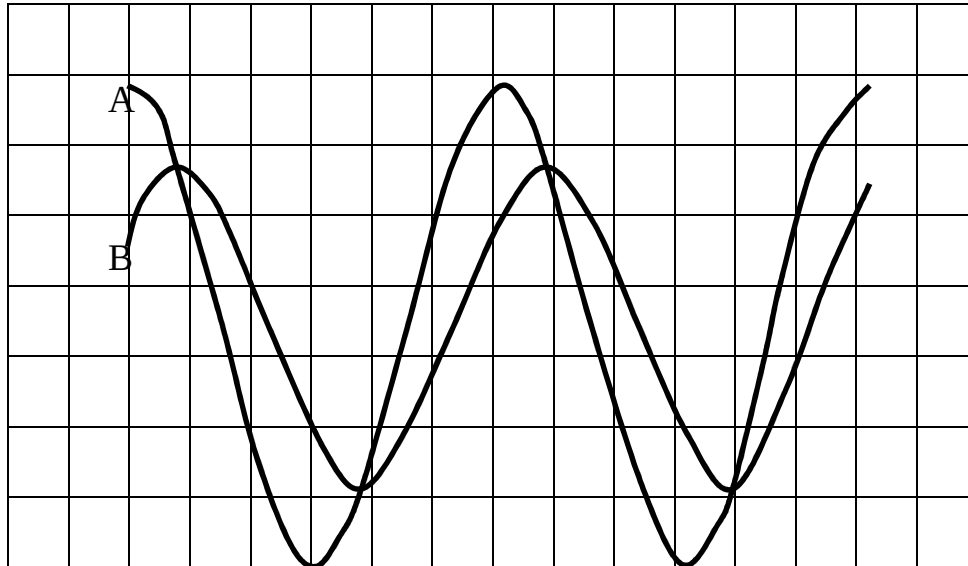
Expérience 1 : On applique aux bornes du dipôle une tension continue $U_1 = 5$ V ; on mesure alors une intensité continue $I_1 = 8$ mA.

Expérience 2 : On applique aux bornes du dipôle une tension sinusoïdale de valeur efficace $U_2 = 5$ V ; on mesure l'intensité efficace $I_2 = 5,6$ mA.

La tension sinusoïdale de valeur efficace U_2 étant toujours appliquée aux bornes du dipôle dont on repère les constituants par les chiffres 1 et 2, on relie certains points du circuit aux entrées d'un oscilloscope bicourbe comme indiqué sur le schéma. Sur l'écran on observe les courbes A et B. Les échelles sur les deux axes sont identiques pour les deux courbes.

2. Préciser la nature des composants 1 et 2.

3. Quelle courbe correspond à la voie Y_1 , à la voie Y_2 ? Justifier les réponses.



D – CORRIGE DES EXERCICES

$$q_1 = 4.10^{-5} C$$

$$L = 0,83 H$$

EXERCICE 5 :

$$1- L=0,4h \text{ et } \tan \varphi = \frac{4}{3}$$

EXERCICE 9 :

$$1\text{-composant } R=625\Omega \text{ et } L\omega = 637,63\Omega$$

3 : Composant 1 $\rightarrow$ voie A ; bobine et Composant 2 $\rightarrow$ voie B :-Résistor ; la tension est en avance sur l'intensité (Courbes de la figure donnée)

CHAPITRE P12 INTERFERENCES LUMINEUSES

A – OBJECTIFS

Représenter le dispositif de Young.
 Interpréter le phénomène d'interférences lumineuses.
 Etablir les expressions de la différence de marche et celle de l'interfrange
 Préciser les positions des franges.
 Déterminer l'interfrange.
 Préciser les conditions d'interférences
 Donner l'échelle des longueurs d'onde du spectre de la lumière.
 Citer quelques applications du phénomène d'interférences lumineuses.

B – L'ESSENTIEL DU COURS

Le phénomène d'interférence résulte de la superposition en un point de l'espace de deux ondes émises par des sources synchrones (même fréquence) et cohérentes (présentant un déphasage constant). Ces deux sources S1 et S2 peuvent s'obtenir à partir d'une source unique S. (dispositif de Young).

Ce phénomène montre le caractère ondulatoire de la lumière.

La différence de marche δ entre deux rayons lumineux représente la différence des chemins optiques parcourus par ces deux rayons

$\delta = \frac{a x}{D}$ a distance entre les deux fentes, D distance entre l'écran et les fentes et x la position du point M sur l'écran

Si la différence de marche est multiple de la longueur d'onde c'est-à-dire Si $\delta = K \lambda$, alors on aura des interférences constructives donc des franges brillantes.

Si la différence de marche est multiple de la moitié de la longueur d'onde c'est-à-dire Si

$\delta = \frac{2k+1}{2} \lambda$ alors on aura des interférences destructives donc des franges sombres.

Les positions des franges brillantes sont $x = \frac{k \lambda D}{a}$

Si $k = 0$ $x = 0$: la frange centrale est toujours brillante.

Position des franges sombres $x = \frac{2k+1}{2a} \lambda$

L'interfrange i est la distance de deux franges consécutives de même nature

$$i = \frac{\lambda D}{a}$$

On appelle ordre d'interférence le rapport $p = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{a x}{D \lambda} = \frac{x}{i} = k$

Si K est entier la frange est brillante

Si K est demi entier la frange est sombre

Dans l'expérience des fentes de YOUNG, lorsqu'on remplace la source de lumière monochromatique (laser) par une source de lumière blanche, on observe sur l'écran une frange centrale blanche (qui est la superposition de toutes les couleurs). De part et d'autre de cette frange blanche, on observe alternativement des franges brillantes irisées (colorées) et des franges sombres non noires. Plus loin, l'écran devient uniformément blanchâtre.

C-EXERCICES

EXERCICE 1

Une expérience d'interférences en lumière verte conduit aux résultats de mesure suivants :

- Distance séparant les centres des 11 franges brillantes consécutives : 10,0 mm
- Distance entre les fentes : 1,5 mm
- Distance entre le plan des fentes et l'écran d'observation : 2,80 m

1) Déterminer la longueur d'onde et la fréquence de cette lumière verte.

2-) Quel caractère de la lumière montre le phénomène d'interférences ?

EXERCICE 2

Deux fentes F_1 et F_2 sont éclairées par une fente source en lumière monochromatique rouge de longueur d'onde $\lambda = 0,64 \mu\text{m}$ et se comportent comme deux sources synchrones et en phase. La figure d'interférence est observée sur un écran. On considère un point M sur un écran situé à la distance d_1 de F_1 et d_2 de F_2

- 1) La vibration lumineuse émise par la fente F_1 arrive en M avec un certain retard. Exprimer ce retard en fonction de d_1 et de la vitesse c de la lumière dans l'air
- 2) Même question pour la vibration lumineuse issue de la fente F_2
- 3) En déduire à quelle condition le point M sera sur une frange brillante ou sur une frange sombre
- 4) Que peut-on dire sur la nature des franges pour les points M suivants :

-M est tel que $d_2 - d_1 = 0$

-M est tel que $d_2 - d_1 = 3,20 \mu\text{m}$

-M est tel que $d_2 - d_1 = 2,24 \mu\text{m}$

EXERCICE 3

La lumière serait de nature contradictoire si une théorie permet d'expliquer de nombreux phénomènes, elle peut s'avérer insuffisante pour en comprendre d'autres.

Le but de cet exercice est de montrer que, selon l'expérience réalisée, un des aspects du comportement de la lumière prédomine. A cet effet on réalise le dispositif ci-après :

1) Dispositif expérimental.

(S) est une source de lumière qui éclaire deux fentes fines, verticales distantes de $a =$

1,5 mm. La source (S) est équidistante des deux fentes. (E) est un écran opaque vertical placé à une distance $D = 2$ m du plan des fentes.

a) Quel phénomène se produit à la sortie de chaque fente ? Quel aspect de la lumière permet-il de mettre en évidence ?

b) Justifier l'utilisation d'une source unique pour éclairer les deux fentes.

c) Reproduire le schéma et représenter la marche des faisceaux lumineux issus des fentes F_1 et F_2 . Hachurer le champ où l'on peut observer le phénomène d'interférence.

2) La source (S) émet une lumière monochromatique de longueur d'onde λ .

a) Qu'observe-t-on sur l'écran ? Préciser la direction des franges et la nature de la frange centrale qui se forme en O.

b) Pour déterminer la longueur d'onde λ , on compte 5 franges brillantes de part et d'autres de la frange centrale occupant ensemble une largeur $l = 8$ mm. Déterminer la valeur de la longueur d'onde λ .

3) La source précédente (S) est remplacée par une source (S') qui émet simultanément deux radiations monochromatiques de longueur d'onde $\lambda_1 = 0,60 \mu\text{m}$, et $\lambda_2 = 0,54 \mu\text{m}$. Il se produit une superposition des systèmes de franges formées par les deux radiations.

A quelle distance x du point O se produit la première coïncidence de franges brillantes ?

EXERCICE 4 :

Un pinceau de lumière monochromatique émis par un laser hélium-néon éclaire deux fentes parallèles séparées par une distance $a = 0,5$ mm. Un écran est placé perpendiculairement au pinceau lumineux à une distance $D = 2$ m du plan des fentes.

1) Dessiner le dispositif expérimental.

2) Qu'observe-t-on sur la partie de l'écran interceptant le champ ? Interpréter.

3) Définir la différence de marche des deux fentes au point M de l'écran et établir son expression. En déduire la position des centres des franges brillantes et obscures.

Préciser la nature de la frange centrale.

4) Définir l'interfrange. Quelle est l'influence des différents paramètres sur l'interfrange ?

Comment doit-on modifier la distance entre les fentes pour observer plus de franges dans un même espace de l'écran ?

5) Calculer la longueur d'onde et la fréquence de la lumière émise par le laser, sachant que les centres de six franges successives de même nature couvrent une distance de 12,7 mm. Trouver la distance entre la frange d'ordre -2 et celle d'ordre 2,5.

EXERCICE 5

Deux sources lumineuses ponctuelles cohérentes S_1 et S_2 , en concordance de phase, éclairent un écran E sur lequel on observe des interférences lumineuses. L'écran E est plan, parallèle à S_1S_2 et à la distance $D = 2$ m de S_1S_2 . S_1 et S_2 sont distantes de $a = 1$ mm.

1) la lumière est monochromatique de longueur d'onde $\lambda = 0,546 \mu\text{m}$ (raie verte du mercure).

Déterminer la distance qui sépare la 14^e frange brillante au-dessus de la frange centrale et de la 14^e frange brillante en-dessous de la frange centrale.

2) On utilise une lumière composée de deux radiations : la précédente (verte) et une radiation jaune de longueur d'onde λ' . On constate que la 14^e frange brillante verte à partir de la frange centrale coïncide avec la 13^e frange brillante jaune. Déterminer la longueur d'onde λ' .

3) Les deux sources émettent maintenant de la lumière blanche, contenant toutes les radiations dont les longueurs d'onde sont comprises entre $0,39 \mu\text{m}$ et $0,75 \mu\text{m}$.

Déterminer les longueurs d'ondes des radiations éteintes en un point M de l'écran situé à la distance $x = 1 \text{ cm}$ de la frange centrale.

EXERCICE 6

On réalise une expérience d'interférence en lumière monochromatique en utilisant une longueur d'onde que l'on note λ . On utilise une fente source avec laquelle on éclaire deux fentes verticales très fines F_1 et F_2 séparées par une distance $a = 0,20 \text{ mm}$. A une distance $D = 0,50 \text{ m}$ des deux fentes, on place un écran vertical permettant d'observer le phénomène d'interférences. On considère sur l'écran un axe Ox horizontal. O se trouvant sur la médiatrice de AB . Pour un point M de cet axe d'abscisse x , la différence de marche entre deux rayons provenant de F_1 et de F_2 vaut : $\delta = \frac{ax}{D}$.

- 1) Expliquer qualitativement le phénomène d'interférences lumineuses observé sur l'écran.
- 2) Quelle condition doit remplir la différence de marche pour que l'intensité lumineuse soit nulle en un point M d'abscisse x de l'écran ?
- 3) Exprimer, en fonction de λ , D , a et de l'entier k , l'abscisse x_k d'un point de l'axe Ox pour lequel l'intensité lumineuse est nulle.
- 4) Déterminer l'expression de l'interfrange i en fonction de λ , D et a .
- 5) On mesure $i = 1,37 \text{ mm}$. Déterminer la longueur d'onde utilisée dans cette expérience ?

EXERCICE 7

A l'aide d'un dispositif interférentiel, on crée deux sources lumineuses S_1 et S_2 synchrones et cohérentes distantes de a . Quand le dispositif est éclairé par une source de lumière monochromatique de longueur d'onde $\lambda = 0,6 \mu\text{m}$, on observe des franges d'interférence sur l'écran E placé à $D = 2,5 \text{ m}$ de S_1 et S_2

- 1) Etablir l'expression de la différence de marche au point M de l'écran
- 2) Déterminer la distance entre les deux sources pour que la distance entre les milieux de la 6^e et 9^e frange brillante située de part et d'autre de la frange centrale numérotée 0 soit égale à $1,5 \text{ cm}$
- 3) Déterminer la nature de la frange en un point P de E distant de $2,5 \text{ mm}$ de la frange centrale

EXERCICE 8

Une lumière monochromatique, issue d'une fente F, tombe sur un écran E percé de deux fentes F_1 et F_2 parallèle à F. Un dispositif spécial permet de faire varier la distance entre les fentes F_1 et F_2 ($F_1F_2 = a$) qui reste toutefois située à égale distance de F.

- 1) On dispose un écran K, parallèle à E et à une distance d de celui-ci. Qu'observe-t-on sur l'écran K
- 2) La longueur d'onde de la lumière monochromatique est λ . On mesure dans le plan K l'intervalle L séparant N franges brillantes consécutives.

Etablir la formule donnant a en fonction de λ , N , d et L (On supposera établie la formule de l'interfrange)

Calculer a , lorsque $\lambda = 0,55 \mu\text{m}$, $L = 7,2 \text{ mm}$, $N = 7$ et $d = 1,20 \text{ m}$

- 3) On augmente uniquement la distance $a = F_1F_2$

Qu'en résulte-il sur le phénomène observé sur l'écran ?

D'autre part on remarque que pour un interfrange inférieur à 0,2mm, l'observation du phénomène devient très difficile à l'œil nu. Quelle sera la valeur limite a' de la distance F_1F_2 séparant les deux fentes ?

4) Combien de franges brillantes observe-t-on sur l'intervalle $L=7,2\text{mm}$ de l'écran K quand $a=a'$? La mesure de l'intervalle est faite à partir d'une frange brillante

EXERCICE 9

1) On réalise une expérience d'interférences lumineuses avec le dispositif de Young, en utilisant une lumière monochromatique de longueur d'onde $\lambda_1 = 0,52 \mu\text{m}$. La fente-source F éclaire deux fentes fines identiques F_1 et F_2 verticales et distantes de $F_1F_2 = a = 2\text{mm}$. Un écran d'observation (E) est placé à 150 cm du plan contenant F_1 et F_2 et parallèlement à celui-ci.

a) Décrire et expliquer le phénomène observé sur l'écran (E).

b) Quelle conclusion peut-on en tirer quant à la nature de la lumière ?

2) Définir et calculer l'interfrange i .

3) La frange centrale brillante est d'ordre zéro.

Déterminer la distance séparant la troisième frange brillante à gauche de la frange centrale et la deuxième frange noire à droite de cette frange centrale.

4) La fente-source F émet maintenant une radiation monochromatique de longueur d'onde $\lambda_2 = 0,65 \mu\text{m}$.

Déterminer la distance de cette fente-source F où on doit-placer l'écran d'observation (E) pour que l'interfrange i' obtenu avec ce dispositif soit égal à l'interfrange i de la question 2 ? La distance entre la fente-source F et le plan contenant F_1 et F_2 est égale à 50 cm.

5) La fente-source F émet simultanément les deux radiations de longueurs d'onde $\lambda_1 = 0,52 \mu\text{m}$ et $\lambda_2 = 0,65 \mu\text{m}$.

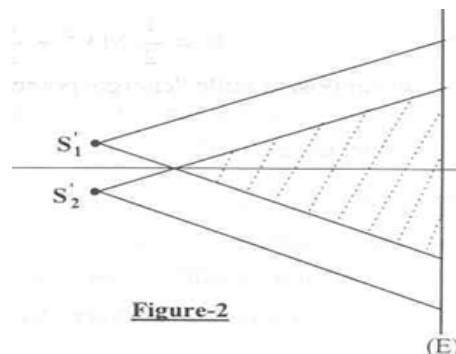
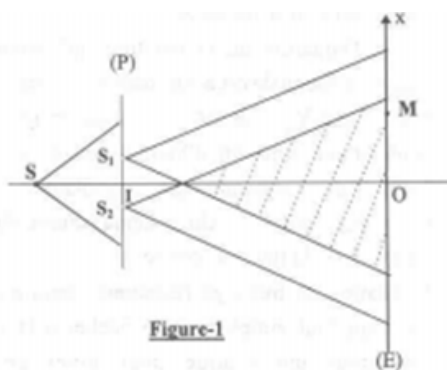
On remet l'écran (E) à la position où il est distant de 150 cm du plan contenant F_1 et F_2 .

Déterminer à quelle distance de la frange centrale aura lieu la première coïncidence des franges brillantes des deux systèmes de franges obtenus ?

EXERCICE 10 :

Le dispositif des fontes de YOUNG schématisé sur la figure -1 permet de réaliser une expérience de mise en évidence d'interférences lumineuses.

1) La source (S) émet une lumière monochromatique de longueur d'onde $\lambda = 0,6 \cdot 10^{-6} \text{ m}$. le plan



(P) est opaque comporte deux fentes fines S_1 et S_2 distantes de $a = 1\text{mm}$ et assimilables à deux

sources ponctuelles monochromatique symétriques par rapport à un point I milieu de S_1S_2 . Un écran (E) est disposé parallèlement à (P) et à une distance $D = 2 \text{ m}$ de celui-ci.

On observe des interférences lumineuses dans la représenté hachurée sur le schéma où les deux faisceaux issus de S_1 et S_2 couvrent une partie commune. L'intersection de cette zone hachurée avec l'écran (E) est un ensemble de franges brillantes équidistantes ayant la couleur de lumière monochromatique. Deux franges brillantes successives sont séparées par une frange sombre, et la frange centrale en O est brillante. Un point M du champ d'interférence est repéré par son abscisse $x = OM$. Lorsque M appartient à une frange brillante, il vérifie la relation $MS_2 - MS_1 = k\lambda$ (avec k entier). Par contre s'il appartient à une frange sombre il vérifie la relation $MS_2 - MS_1 = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$ (avec k entier).

a) Montrer que la différence de marche a pour expression $(MS_2 - MS_1) = \square \square = \frac{ax}{D}$

b) Déterminer l'expression de l'abscisse x d'un point M de l'écran en fonction de λ , D et a ÷ dans les deux cas suivants

M appartient à une frange brillante

Ma appartient à une frange sombre.

2)

a) Déterminer l'expression de l'interfrange i en fonction de λ , D et a. Calculer i.

b) Préciser, en le justifiant, la nature (brillante ou sombre) de la frange située à d'abscisse $x = -4,2 \text{ mm}$.

3) On apporte les changements suivants au dispositif expérimental de la figure -1 :

-on supprime la source (S) et le plan opaque (P)- à l'emplacement des deux sources secondaires S_1 et S_2 , on dispose de deux sources S'_1 et S'_2 totalement indépendantes, émettant chacune la lumière monochromatique de longueur d'onde $0,6 \cdot 10^{-6} \text{ m}$. (figure -2) on n'observe pas d'interférences lumineuses. Expliquer pourquoi ?

EXERCICE 11

Deux fentes fines parallèles, rectangulaires

F_1 et F_2 sont percées dans un écran opaque

E_0 , à une distance $a = 0,5 \text{ mm}$ l'une de l'autre. On les éclaire grâce à une troisième fente F percée dans un écran E_1 derrière lequel est placée une lampe à vapeur de sodium. E_0 est parallèle à E_1 et F est situé à égale distance de F_1 et F_2 . On place un écran E_2 parallèlement à E_0 à une distance $D = 1,00 \text{ m}$ de celui-ci. La longueur d'onde de la lumière émise par la lampe $\lambda_0 = 589 \text{ nm}$, les deux fentes F_1 et F_2 se comporte comme deux sources cohérentes de lumière monochromatique. Les faisceaux de la lumière diffractée par F_1 et F_2 interfèrent et l'on observe sur l'écran E_2 des franges d'interférences. Soit y l'ordonnée d'un point M de l'écran E_2 appartenant à la zone d'interférence, y étant compté à partir d'un point O du centre de E_2 .

1) Quel est le caractère de la lumière mis en évidence par le phénomène observé ?

Expliquer brièvement.

2) Représenter qualitativement la figure observée sur l'écran E_2 .

3) Expliciter le sens des termes ou expression suivants : écran opaque, source monochromatique, source cohérente et interfrange.

4) Sachant que la différence de marche entre deux rayons provenant respectivement de F_2 et F_1 , interférant en M, est donnée par la relation : $\delta = F_2 M - F_1 M = \frac{ay}{D}$

Etablir l'expression de l'interfrange i en fonction de λ_0 , D et a puis calculer i .

5) On remplace la source précédente par une source monochromatique dont la longueur d'onde est λ_1 . On observe sur l'écran E_2 que la distance entre la quatrième brillante et la septième frange sombre situé de part et d'autre de la frange centrale brillante est $d = 10,29$ mm.

Déterminer la valeur de la longueur d'onde λ_1 de la lumière émise par la source ?

EXERCICE 12

Deux fentes F_1 et F_2 sont éclairées par une lumière monochromatique rouge de longueur d'onde λ_1 . Un écran est placé à une distance $D = 2$ m et la distance entre les fentes est $a = 1$ mm.

- 1) Décrire qualitativement l'expérience.
- 2) La largeur de 10 interfranges mesure $\ell = 12,8$ mm, en déduire la longueur d'onde λ_1 .
- 3) On remplace la source monochromatique par une source qui émet deux radiations de longueur d'onde λ_1 et λ_2 . On observe une superposition entre la 7^{ème} frange brillante de la lumière rouge de longueur d'onde λ_1 et la 8^{ème} frange brillante de la lumière de longueur d'onde λ_2 inconnue.
 - a) Déterminer λ_2 .
 - b) Ou se situe cette coïncidence par rapport à la frange centrale brillante ?
- 4) Ces deux lumières sont utilisées pour éclairer une cellule photoélectrique dont le travail d'extraction est $W_0 = 2,06$ eV.
 - a) Laquelle de ces radiations permet-elle d'avoir l'effet photoélectrique ?
 - b) Dans le cas possible, Calculer la vitesse d'extraction des électrons.
- 5) Expliquer brièvement la dualité onde-corpuscule de la lumière.

Données : $m_e = 9,1.10^{-31}$ kg ; $e = 1,6.10^{-19}$ C ; $h = 6,62.10^{-34}$ J.s ; $c = 3.10^8$ m.s⁻¹.

D-CORRIGE DES EXERCICES

EXERCICE 2 :

- 1) Expression du retard en fonction de d_1 et de la vitesse c de la lumière dans l'air

$$t_1 = \frac{d_1}{c}$$

1. Expression du retard en fonction de d_2 et de la vitesse c de la lumière dans l'air

$$t_2 = \frac{d_2}{c}$$

2. Conditions le point M sera :

sur frange brillante : $d_2 - d_1 = k\lambda$

sur une frange sombre : $d_2 - d_1 = (k + \frac{1}{2})\lambda$

3. Que peut-on dire des points M suivants :

$d_2 - d_1 = 0$; M est le milieu d'une frange centrale.

- $d_2 - d_1 = 3,20 \mu\text{m}$: $k = \frac{d_2 - d_1}{\lambda} = \frac{3,20}{0,64 \cdot 10^{-6}} \Rightarrow k = 5$.M est le milieu d'une frange brillante.

- $d_2 - d_1 = 2,24 \mu\text{m}$: $k = \frac{d_2 - d_1}{\lambda} = \frac{2,24}{0,64 \cdot 10^{-6}} \Rightarrow k = \frac{7}{2} = (3 + \frac{1}{2})$.M est le milieu d'une frange sombre.

EXERCICE 3

1. a) Le phénomène qui se produit à la sortie de chaque fente est le phénomène de diffraction

L'aspect ondulatoire de la lumière est mis en évidence

b) Pour obtenir des interférences lumineuses, il est nécessaire d'utiliser un dispositif fournissant deux images d'une même source et les faisceaux issus de ces sources secondaires produisent des interférences lumineuses

2. a) On observe sur l'écran des zones alternativement sombres et claires appelées franges d'interférences .Ces franges, sur l'écran, sont pratiquement rectilignes, parallèles, équidistantes et au plan de figure.

La frange centrale qui se forme en O est une frange brillante

b) Valeur de λ .

$$l = \frac{5\lambda D}{a} \Rightarrow \lambda = \frac{al}{5D} = \frac{1,5 \cdot 10^{-3} \times 8 \cdot 10^{-3}}{5 \times 2} \Rightarrow \lambda = 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ m} = 1,2 \mu\text{m}$$

3. Distance x où se produit la première coïncidence de franges brillantes

$$x_1 = \frac{k_1 \lambda_1 D}{a} ; x_2 = \frac{k_2 \lambda_2 D}{a}$$

$$x_1 = x_2 \Rightarrow \frac{k_1 \lambda_1 D}{a} = \frac{k_2 \lambda_2 D}{a} \Rightarrow \frac{k_1}{k_2} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{0,54}{0,60} = \frac{9}{10} \Rightarrow k_1 = 9 ; k_2 = 10$$

$$k_2 = 10 \Rightarrow x_2 = \frac{10 \lambda_2 D}{a} = \frac{10 \times 0,54 \cdot 10^{-6} \times 2}{1,5 \cdot 10^{-3}} \Rightarrow x_2 = 7,2 \text{ mm}$$

EXERCICE 4 :

Dispositif expérimental.

1. Interprétation de la formation des franges brillantes et obscures.

Les franges brillantes (ou interférences constructives) résultent de la superposition de deux vibrations lumineuses qui arrivent en phase. C'est-à-dire la différence de marche en un point est un multiple entier de la longueur d'onde

Les franges obscures (ou interférences destructives) résultent de la superposition de deux vibrations lumineuses qui arrivent en opposition de phase. C'est-à-dire la différence de marche en un point est un multiple entier de la longueur d'onde

2. Différence de marche aux 2 fentes d'un point M de l'écran

$$\delta = (SS_2 + S_2M) - (SS_1 + S_1M) = S_2M - S_1M \quad SS_2 = SS_1$$

$$S_2M^2 = d_2^2 = D^2 + \left(x + \frac{a}{2}\right)^2 ; \quad S_1M^2 = d_1^2 = D^2 + \left(x - \frac{a}{2}\right)^2$$

$$d_2^2 - d_1^2 = D^2 + \left(x + \frac{a}{2}\right)^2 - \left(D^2 + \left(x - \frac{a}{2}\right)^2\right) = D^2 + \left(x + \frac{a}{2}\right)^2 - D^2 - \left(x - \frac{a}{2}\right)^2$$

$$(d_2 - d_1)(d_2 + d_1) = \left(x + \frac{a}{2}\right) + \left(x - \frac{a}{2}\right) \left(\left(x + \frac{a}{2}\right) - \left(x - \frac{a}{2}\right)\right) = 2ax$$

Les grandeurs x et a sont petites devant la grandeur D . Dans ces conditions,

$$d_2 + d_1 = 2D \Rightarrow \delta = d_2 - d_1 = \frac{ax}{D}$$

La position des franges brillantes correspond à : $\frac{ax}{D} = k\lambda \Rightarrow x_k = \frac{k\lambda D}{a}$

La position des franges obscures correspond à : $\frac{ax}{D} = \left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda \Rightarrow x_k = \left(k + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda D}{a}$

5. Calcul de la longueur d'onde et de la fréquence de la lumière émise par le laser,

$$x_6 = \frac{6\lambda D}{a} \Rightarrow \lambda = \frac{ax_n}{6D} = \frac{0,5 \cdot 10^{-3} \times 12,7 \cdot 10^{-3}}{6 \times 2} \Rightarrow \lambda = 5,29 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8}{5,29 \cdot 10^{-7}} \Rightarrow \nu = 5,67 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

6. La longueur d'onde est une caractéristique du milieu de propagation, elle change donc avec le milieu.

La fréquence est une caractéristique de l'onde ; elle ne change donc pas le milieu de propagation.

Calcul de la nouvelle valeur de la longueur d'onde

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{200000 \cdot 10^3}{5,67 \cdot 10^{14}} \Rightarrow \lambda = 3,47 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

EXERCICE 8 :

1. On observe sur l'écran K une figure des franges d'interférences, c'est-à-dire des bandes étroites alternativement colorées (franges brillantes) et noires (franges sombres) équidistantes, parallèles et parallèles aux fentes

2. Etablissement de la formule donnant a en fonction de λ , N , d et L

$$L = \frac{N\lambda d}{a} \Rightarrow a = \frac{N\lambda d}{L}$$

Calcul de a

$$a = \frac{N\lambda d}{L} = \frac{7 \times 0,55 \cdot 10^{-6} \times 1,20}{7,2 \cdot 10^{-3}} \Rightarrow a = 0,64 \text{ mm}$$

3. En augmentant l'intervalle $a = F_1F_2$, l'intervalle L séparant N franges brillantes consécutives diminue, les franges se resserrent sur l'écran.

Valeur limite a' de la distance F_1F_2 séparant les deux fentes

$$i = \frac{\lambda d}{a'} \Rightarrow a' = \frac{\lambda d}{i} = \frac{0,55 \cdot 10^{-6} \times 1,20}{0,2 \cdot 10^{-3}} \Rightarrow a' = 0,33 \text{ mm}$$

4. Nombre de franges brillantes observées sur l'intervalle L

$$L = \frac{N\lambda d}{a} \Rightarrow N = \frac{aL}{\lambda d} = \frac{7,2 \cdot 10^{-3} \times 0,33 \cdot 10^{-3}}{0,55 \cdot 10^{-6} \times 1,20} \Rightarrow N = 4 \text{ franges brillantes}$$

EXERCICE 9 :

1. a. Description et explication du phénomène observé sur l'écran (E).

1. On observe sur l'écran E une figure des franges d'interférences, c'est-à-dire des bandes étroites alternativement colorées (franges brillantes) et noires (franges sombres) équidistantes, parallèles et parallèles aux fentes

Les franges brillantes (ou interférences constructives) résultent de la superposition de vibrations qui arrivent, en un point M de l'écran, en phase ; tandis que les franges sombres (ou interférences destructives) de vibrations arrivant, en un point M de l'écran, en opposition de phase

b. On peut tirer la conclusion de cette expérience la nature ondulatoire de la lumière.

2. L'interfrange i est la distance sépare les milieux de deux franges consécutives et de même nature.

Calcul de l'interfrange i .

$$i = \frac{\lambda_1 D}{a} = \frac{0,52 \cdot 10^{-6} \times 150 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 10^{-3}} \Rightarrow i = 0,39 \text{ mm}$$

3. Calcul de la distance séparant la troisième frange brillante à gauche de la frange centrale et la deuxième frange noire à droite de cette frange centrale.

$$\text{-ordre de la deuxième frange noire : } p(2) = \frac{\delta}{\lambda_1} = 1 + \frac{1}{2} = \frac{3}{2}$$

$$\text{-ordre de la troisième frange noire : } p(3) = \frac{\delta}{\lambda_1} = -3$$

$$p(2) - p(3) = \frac{3}{2} + 3 = \frac{9}{2} = \frac{a(x_2 - x_3)}{\lambda_1 D} \Rightarrow x_2 - x_3 = \frac{9\lambda_1 D}{2a} = \frac{9 \times 0,52 \cdot 10^{-6} \times 150 \cdot 10^{-2}}{2 \times 2 \cdot 10^{-3}}$$

$$\Rightarrow x_2 - x_3 = 1,8 \text{ mm}$$

4. Distance qui sépare la fente-source F de l'écran d'observation (E)

$$D = \frac{ai}{\lambda_2} = \frac{2 \cdot 10^{-3} \times 0,39 \cdot 10^{-3}}{0,65 \cdot 10^{-6}} \Rightarrow D = 1,2 \text{ m}$$

5. Distance de la première coïncidence des franges brillantes des deux systèmes de franges obtenus.

Soit N le nombre d'interfranges pour la lumière de longueur d'onde $\lambda_2 = 0,65 \mu\text{m}$; à la première coïncidence suivante, le nombre d'interfranges pour la lumière de longueur d'onde $\lambda_1 = 0,52 \mu\text{m}$ est N+1

$$Ni_2 = (N+1)i_1 \Rightarrow N \frac{\lambda_2 D}{a} = (N+1) \frac{\lambda_1 D}{a} \Rightarrow N \lambda_2 = (N+1) \lambda_1 \Rightarrow N = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1}$$

$$\Rightarrow N = \frac{0,52}{0,65 - 0,52} \Rightarrow N = 4 \Rightarrow x_2 = Ni_2 = N \frac{\lambda_2 D}{a} = \frac{4 \times 0,65 \cdot 10^{-6} \times 150 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 10^{-3}}$$

$$\Rightarrow x_2 = 1,95 \text{ mm}$$

EXERCICE10 :

1) a. Montrons que la différence de marche a pour expression $(MS_2 - MS_1) = \frac{a \cdot x}{D}$

$$\delta = (SS_2 + S_2M) - (SS_1 + S_1M) = S_2M - S_1M \quad (SS_2 = SS_1)$$

$$S_1M^2 = D^2 + \left(x - \frac{a}{2}\right)^2 ; \quad S_2M^2 = D^2 + \left(x + \frac{a}{2}\right)^2$$

$$S_2M^2 - S_1M^2 = D^2 + \left(x + \frac{a}{2}\right)^2 - \left(D^2 + \left(x - \frac{a}{2}\right)^2\right)$$

$$(S_2M + S_1M)(S_2M - S_1M) = \left(x + \frac{a}{2}\right)^2 - \left(x - \frac{a}{2}\right)^2$$

$$(S_2M + S_1M)(S_2M - S_1M) = \left(x + \frac{a}{2} + x - \frac{a}{2}\right)\left(x + \frac{a}{2} - x + \frac{a}{2}\right)$$

$$(S_2M + S_1M)(S_2M - S_1M) = 2xa$$

Les grandeurs x et a sont petites devant la grandeur D. Dans ces conditions

$$(S_2M + S_1M) \approx 2D \Rightarrow 2D(S_2M - S_1M) = 2ax \Rightarrow (S_2M - S_1M) = \frac{ax}{D}$$

b - Expression de l'abscisse x d'un point M de l'écran en fonction de λ , D et a :

- Lorsqu'il appartient à une frange brillante : $\frac{ax}{D} = k\lambda \Rightarrow x_k = \frac{k\lambda D}{a}$

- Lorsqu'il appartient à une frange sombre : $\frac{ax}{D} = \left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda \Rightarrow x_k = \left(k + \frac{1}{2}\right)\frac{\lambda D}{a}$

2) a – Détermination de l'expression de l'interfrange i en fonction de λ , D et a.

$$i = x_{k+1} - x_k = (k+1)\frac{\lambda D}{a} - k\frac{\lambda D}{a} = (k+1-k)\frac{\lambda D}{a} \Rightarrow i = \frac{\lambda D}{a}$$

Calcul de i.

$$i = \frac{\lambda D}{a} = \frac{0,6 \cdot 10^{-6} \times 2}{10^{-3}} \Rightarrow i = 1,2 \text{ mm}$$

b Nature de la frange d'abscisse pour x = - 4,2mm.

$$\frac{k\lambda D}{a} = x \Rightarrow k = \frac{ax}{\lambda D} = \frac{10^{-3} \times -4,2 \cdot 10^{-3}}{0,6 \cdot 10^{-6} \times 2} \Rightarrow k = -\frac{7}{2}, \quad k \text{ est demi-entier ; il s'agit d'une frange}$$

sombre.

3) On ne peut obtenir des interférences lumineuses avec deux sources S'_1 et S'_2 indépendantes, même si elles sont synchrones (même fréquence puisque même longueur d'onde et propageant dans le même milieu), elles ne sont pas cohérentes.

Il faut nécessairement utiliser un dispositif fournissant deux images d'une même source et les faisceaux de ces sources secondaires produisent des interférences. Les sources secondaires, images d'une même source, sont des sources cohérentes.

CHAPITRE 14

NIVEAUX D'ENERGIE DE L'ATOME

A-OBJECTIFS

Donner l'expression du niveau d'énergie d'ordre n de l'atome d'hydrogène.

Utiliser l'expression du niveau d'énergie d'ordre n de l'atome d'hydrogène

Calculer les longueurs d'onde limites des séries de raies de l'atome d'hydrogène.

S'approprier l'importance des spectres dans la détermination de la composition chimique des corps, de la température des étoiles.

B - L'ESSENTIEL DU COURS

❖ Spectres de raies :

Spectre d'émission :

Dans un spectre d'émission, une raie est représentée par un trait lumineux. A chaque raie correspond une radiation monochromatique de longueur d'onde λ dans le vide ;

Spectre d'absorption :

Dans un spectre d'absorption, une raie est représentée par un trait noir. A une raie d'émission correspond une raie d'absorption.

Spectre d'absorption de Na →



Spectre d'émission de Na →



spectre d'émission et d'absorption du sodium (Na)

Spectre d'absorption de Hg →



Spectre d'émission de Hg →



spectre d'émission et d'absorption du mercure (Hg)

Niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène :

Postulats de Bohr (1913) :

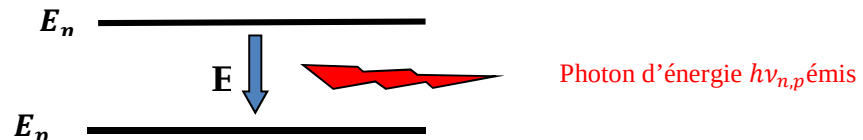
1^{er} postulat :

« Un atome(ou un système atomique) ne peut pas se trouver dans tous les états prévus par le mécanique classique. Seuls certains états quantiques caractérisés par des valeurs discrètes bien déterminées de l'énergie $E_1, E_2, E_3, \dots$, peuvent être occupés par les systèmes atomiques. En contradiction avec les prévisions de l'électrodynamique classique, un autre atome occupant ces états, dits stationnaires, n'émet aucun rayonnement »

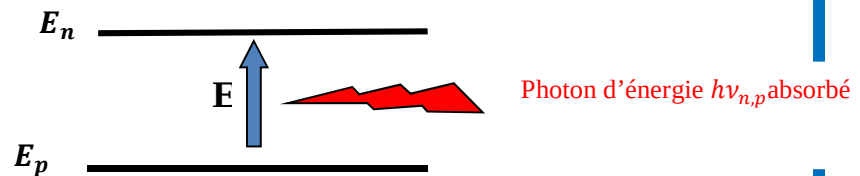
2^{em} postulat :

« lors de la transition électronique d'un état stationnaire de plus grande énergie E_n à un autre état stationnaire de plus petite énergie E_p , l'énergie de l'atome varie de la quantité $\Delta E = E_n - E_p$. Si cette variation d'énergie est due à l'émission d'un rayonnement, ce processus s'accompagne alors de l'émission d'un photon d'énergie : $h\nu = E_n - E_p$

Lors de l'absorption d'un photon, l'énergie de l'atome ΔE est positive. Par contre lors de l'émission d'un photon, l'énergie de l'atome est négative »



Emission d'un photon par un atome



Absorption d'un photon par un atome

Quantification de l'énergie de l'atome d'hydrogène :

Par convention, on attribue une valeur nulle à l'énergie du système { proton-électron }, lorsque le proton et l'électron sont au repos, séparés à l'infini (lorsque leur interaction mutuelle est nulle) ;

Il s'ensuit que l'énergie de l'atome d'hydrogène est nulle lorsque l'électron est porté à l'état excité $n = \infty$ (voir diagramme énergétique de l'atome d'hydrogène)

Sur la base de son premier postulat, Bohr montra que l'énergie totale de l'atome d'hydrogène est quantifiée et est donnée par l'expression :

$$E_n = - \frac{2\pi^2 k^2 m e^2}{h^2} \times \frac{1}{n^2}$$

Cette relation peut se mettre sous la forme simplifiée : $E_n = - \frac{13,6}{n^2} (eV)$

Diagramme d'énergie de l'atome d'hydrogène, énergie d'ionisation :

l'état fondamental correspond à l'état d'énergie minimale ($n = 1 \Rightarrow$

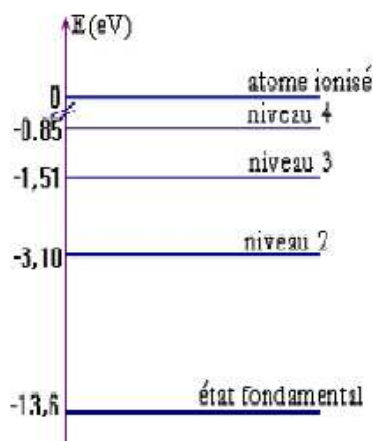


Diagramme d'énergie de l'atome d'hydrogène

$E_1 = -13,6 \text{ eV}$: c'est l'état le plus stable;

lorsque $n > 1 \Rightarrow$ l'atome est dans l'un des états excités. L'état excité a toujours tendance à revenir à son état fondamental: on dit qu'il se **désexcite**.

L'énergie d'ionisation (E_i) de l'atome d'hydrogène à partir de son état fondamental est l'énergie qu'il faut fournir à l'électron pour l'amener du niveau $n=1$ à l'infini.

$$E_i = E_\infty - E_0 = 0 - (-E_0) = E_0 = 13,6 \text{ eV}$$

❖ Interprétation des raies d'émission, séries spectrales

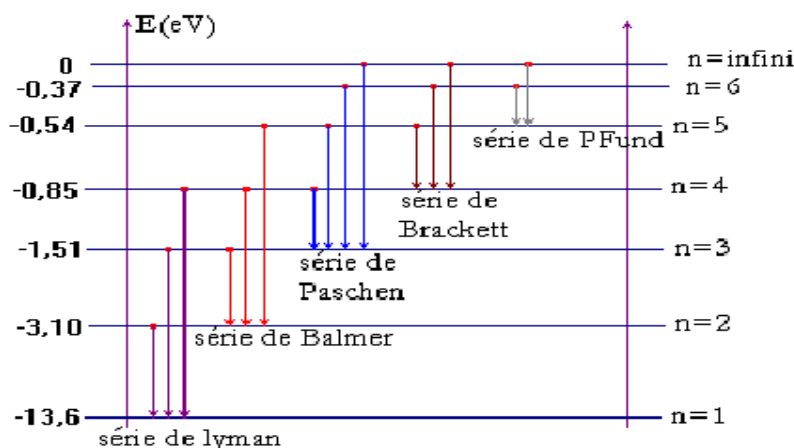
➤ Expression générale des séries spectrales :

Lors d'une transition électronique p vers n suite à l'absorption d'un photon $h\nu$, l'énergie de l'atome d'hydrogène varie de la quantité $\Delta E = E_n - E_p = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$

On trouve : $\frac{1}{\lambda} = \frac{2\pi^2 k^2 m e^4}{h^3 c} \times \left(\frac{1}{p^2} - \frac{1}{n^2} \right) = R_H \times \left(\frac{1}{p^2} - \frac{1}{n^2} \right)$; $R_H = 10973731,77 \text{ m}^{-1}$ est la constante de Rydberg de l'hydrogène.

En fixant n et en faisant varier p, on trouve plusieurs séries spectrales :

- Série de Balmer(1885) : $p = 2$; $n \geq 3$: $\frac{1}{\lambda} = R_H \times \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{n^2} \right)$
- Série de Lyman (1909) : $p = 1$; $n \geq 2$: $\frac{1}{\lambda} = R_H \times \left(1 - \frac{1}{n^2} \right)$
- Série de Paschen(1922) : $p = 3$; $n \geq 4$: $\frac{1}{\lambda} = R_H \times \left(\frac{1}{9} - \frac{1}{n^2} \right)$



❖ Interprétation des raies d'absorption :

Lorsqu'un atome absorbe un photon à partir d'un niveau p d'énergie E_p ; au moins trois cas peuvent se produire

- Si l'énergie du photon ne correspond pas à une transition possible entre les niveaux d'énergie quantifiés de l'atome, alors le photon n'est pas absorbé ; il est alors diffusé dans une direction quelconque ;
- Si l'énergie du photon correspond à une transition possible entre les niveaux d'énergie quantifiés de l'atome, alors le photon est absorbé
- Si l'énergie du photon est supérieure à l'énergie d'ionisation de l'atome, une partie de l'énergie du photon est absorbée pour ioniser l'atome, l'excédent d'énergie est alors transféré à l'électron éjecté sous forme d'énergie cinétique
-

❖ Ions hydrogènoïdes :

Un ion hydrogènoïde est un système monoatomique constitué d'un noyau autour duquel gravite un seul électron comme l'atome d'hydrogène.

Exemples : He^+ ($Z=2$) ; Li^{2+} ($Z=3$) ; Be^{3+} ($Z=4$) ; B^{4+} ($Z=5$) ; C^{5+} ($Z=6$)

L'énergie totale d'un ion hydrogènoïde est donnée par l'expression :

$$E_n = -Z^2 \frac{13,6}{n^2} (\text{eV})$$

Les séries spectrales sont données par l'expression générale : $\frac{1}{\lambda} = Z^2 R_H \times \left(\frac{1}{p^2} - \frac{1}{n^2} \right)$

C - EXERCICES

EXERCICE 1 :

L'énergie de niveau n de l'atome d'hydrogène est donnée par $E_n = -\frac{13,6}{n^2}$

E_n en eV et n nombre entier non nul.

1. Quelle est en eV, l'énergie que doit absorber l'électron de l'atome d'hydrogène pour passer :

- de l'état fondamental au premier état excité ?
- du premier état excité à l'état ionisé ?

2. Quelles sont les longueurs d'onde du spectre d'émission correspondant au retour :

- de l'état ionisé au premier état excité ?
- du premier état excité à l'état fondamental ?

EXERCICE 2 :

L'énergie de niveau n de l'atome d'hydrogène est donnée par $E_n = -\frac{13,6}{n^2}$

E_n en eV et n nombre entier non nul.

1) Quelle est l'énergie correspondant au niveau fondamental de l'atome ?

2) Une transition d'un niveau 4 à un niveau 2 peut-elle se faire par absorption ou par émission d'un photon ? Quelle est l'énergie du photon ?

3) Lorsque l'atome est dans son état fondamental, quelle est la plus grande longueur d'onde λ des radiations qu'il peut absorber ? A quel domaine spectral appartient λ ?

4) Quelle est l'énergie d'ionisation de l'atome d'hydrogène ?

5) On envoie sur des atomes d'hydrogène dans l'état fondamental différents photons, d'énergies respectives : 8,2 eV ; 10,2 eV ; 13,6 eV ; 14,6 eV. Quels sont les photons pouvant être absorbés ?

Quel est l'état final du système ?

EXERCICE 3 :

Les niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène sont donnés par le diagramme ci-contre.

1. Quelles valeurs de n correspondent à l'état non excité et aux états excités ?

2. Un atome excité peut-il absorber une énergie de 10,26 eV ? de 1,88 eV ? de 2,54 eV ? de 2,26 eV ? Si oui, préciser quel doit être son état.

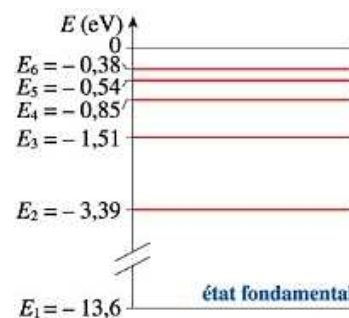
3. Dans quel état doit être un atome pour absorber une lumière caractérisée par la fréquence $\nu = 2,46.10^{15}$ Hz pour émettre cette même lumière ?

4. Calculer les longueurs d'onde des radiations que peut émettre un atome dans un état excité $n = 3$.

5. Quelle est la valeur minimale de l'énergie nécessaire pour ioniser un atome d'hydrogène ?

EXERCICE 4 :

On donne : la constante de Planck : $h = 6,62.10^{-34}$ J.s ; la célérité de la lumière $c = 3.10^8$ m.s⁻¹ ; 1 eV = $1,6.10^{-19}$ J



Les niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène sont donnés par la relation :

$$E_n = -\frac{E_0}{n^2} \quad \text{avec } E_0 = 13,6 \text{ eV et } n \in \mathbb{N}^*$$

1°) **a-** Représenter, à l'échelle 1 cm pour 1 eV, les trois premiers niveaux d'énergie ($n = 1$; $n = 2$ et $n = 3$) ainsi que le niveau $E = 0$ eV.

b- Expliquer la phrase : les niveaux d'énergie de l'atome sont quantifiés.

2°) **a-** Donner la valeur de l'énergie de l'atome d'hydrogène dans son état fondamental.

b- Préciser l'état de l'atome d'hydrogène pour le niveau $E = 0$ eV.

3°) Lorsqu'un atome d'hydrogène absorbe une radiation de longueur d'onde λ , il passe d'un niveau d'énergie n à un autre p .

a- Comparer p à n .

b- Montrer que la longueur d'onde λ de la radiation absorbée s'exprime par :

$$\lambda = \frac{hc}{E_p - E_n} ; \text{ avec } h \text{ est la constante de Planck et } c \text{ la célérité de la lumière.}$$

c- Déterminer la plus grande longueur d'onde λ des radiations que peut absorber l'atome d'hydrogène supposé dans son état fondamental.

4°) On fournit à l'atome d'hydrogène pris dans son état fondamental ($n = 1$) une énergie $W = 15$ eV.

a- Indiquer si cette énergie est susceptible d'être absorbée par l'atome d'hydrogène.

b- Préciser dans quel état se trouve l'atome dans ce cas.

5°) Les radiations suivantes constituent le spectre d'émission dans le visible de l'atome d'hydrogène.

Couleur	rouge	bleu-vert	indigo	violet
λ (μm)	0,656	0,486	0,434	0,410

a- Préciser, en le justifiant, si un tel spectre est continu ou discontinu.

b- Décrire brièvement un dispositif qui permet d'obtenir un tel spectre.

c- Peut-on trouver un autre élément chimique qui possède un spectre d'émission identique à celui de l'hydrogène ? Justifier la réponse.

d- Décrire le spectre d'absorption de l'hydrogène.

EXERCICE 5 :

Les niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène sont donnés par la relation :

$$E_n = -\frac{13,6}{n^2} \text{ (eV), avec } n \text{ entier non nul.}$$

1- Évaluer, en nanomètre, les longueurs d'onde des radiations émises par l'atome d'hydrogène lors des transitions :

1.a- Du niveau d'énergie E_3 au niveau d'énergie E_1 (longueur d'onde : λ_1).

1.b- Du niveau d'énergie E_2 au niveau d'énergie E_1 (longueur d'onde λ_2).

1.c- Du niveau d'énergie E_3 au niveau d'énergie E_2 ; (longueur d'onde λ).

2- Une ampoule contenant de l'hydrogène est portée à la température de 2800° K. Les atomes sont initialement dans leur état fondamental. Une lumière constituée des 3 radiations de longueurs d'onde λ_1 , λ_2 , λ , traverse ce gaz.

Quelles sont les radiations absorbées par l'hydrogène contenu dans cette ampoule ? (Justifier).

3.1- Montrer que pour une transition entre un état, de niveau d'énergie. E_p , et un autre, de niveau d'énergie inférieur E_n ($p > n$), la relation donnant la longueur d'onde λ de la radiation émise est :

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{p^2} \right)$$

Dans cette relation, R_H est une constante appelée constante de RYDBERG.

3.2- Calculer la valeur de la constante R_H .

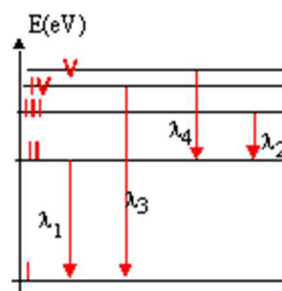
4- La série de Lyman comprend les radiations émises par l'atome d'hydrogène excité lorsqu'il revient à son état fondamental ($n = 1$).

Evaluer, en nm, l'écart $\Delta\lambda$ entre la plus grande et la plus petite longueur d'onde des raies de la série de Lyman.

EXERCICE 6 :

La figure représente un diagramme très simplifié des niveaux d'énergie de l'atome de lithium de numéro atomique $Z = 3$, de formule électronique K^2L^1 .

On considère les quatre transitions représentées sur le diagramme. Les longueurs d'ondes correspondantes sont $\lambda_1 = 671\text{nm}$; $\lambda_2 = 812\text{nm}$; $\lambda_3 = 323\text{nm}$ et $\lambda_4 = 610\text{nm}$



1. Expliquer brièvement la signification de : niveau d'énergie et spectres de raies.
2. Montrer qu'entre l'énergie E (en eV) d'un photon et sa longueur d'onde λ il existe la relation $E = 1240/\lambda$. λ étant exprimé en nm et E en eV.
3. Déterminer l'énergie (en eV) des photons émis lors de chacune des 4 transitions.
4. L'énergie du niveau I vaut $E_1 = -5,39$ eV. C'est l'énergie de l'électron externe dans son état fondamental. Affecter l'énergie E_i (eV) à chaque niveau du diagramme.
5. Pour quelle valeur de la longueur d'onde des radiations incidentes les atomes de lithium subiront-ils une ionisation à partir de l'état fondamental ?

EXERCICE 7 :

On donne ci-après, le diagramme représentant les niveaux d'énergie de l'atome de sodium. L'analyse du spectre d'émission d'une lampe à vapeur de sodium révèle la présence de raies de longueurs d'onde bien définies.

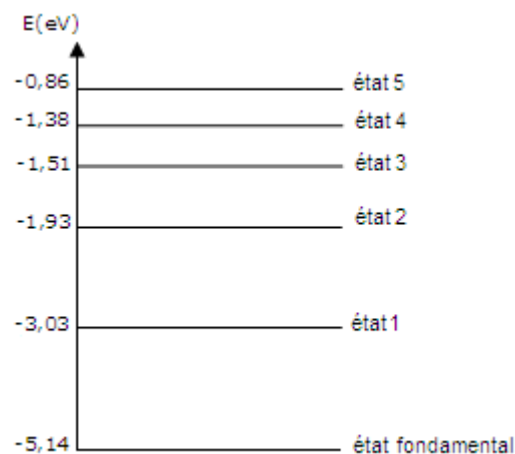
- 1) Justifier la discontinuité du spectre.
- 2) Que se passe-t-il lorsqu'un atome de sodium, initialement à l'état fondamental, interagit avec un photon de longueur d'onde $\lambda = 386,7$ nm ?

3) Un photon d'énergie 3,39 eV peut-il exciter

Un atome de sodium, initialement à l'état fondamental ?

Justifier.

4) L'atome de sodium, dans son état fondamental, est heurté par un électron d'énergie 3,39 eV. Lors de l'interaction l'atome sodium reste immobile et passe à un état excité.



a) De quel état excité s'agit-il ? En déduire, après l'interaction avec l'atome de sodium, l'énergie cinétique et la vitesse de l'électron.

b) Quelques instants après cette interaction, l'atome de sodium revient à l'état fondamental en expulsant un photon. Quelle est la longueur d'onde de ce dernier ?

c) Cette radiation peut-elle provoquer l'effet photoélectrique sur une plaque de zinc ?

Données: vitesse de la lumière dans le vide $C=3.10^8 \text{ m.s}^{-1}$; constante de Planck $h=6,62.10^{-34} \text{ J.s}$; énergie d'extraction d'un électron du zinc $W_o=3,4 \text{ eV}$; $1 \text{ eV}=1,6.10^{-19} \text{ J}$; masse de l'électron $m=9,1.10^{-31} \text{ kg}$.

EXERCICE 8 :

En 1859, en collaboration avec R Brunsen, G Kirschhoff publie trois lois relatives à l'émission et à l'absorption de lumière par les gaz, les liquides et les solides.

Pour le cas de l'hydrogène, cette émission (ou absorption) de lumière correspondant à des transitions électroniques entre niveaux d'énergie, l'énergie d'un niveau étant donnée par la relation :

$$E_n = -\frac{E_0}{n^2}$$

avec $E_0 = 13,6 \text{ eV}$, et n est le nombre quantique principal.

1. Préciser, pour l'atome d'hydrogène, le niveau de plus basse énergie correspondant à l'état fondamental.
2. L'atome d'hydrogène peut passer d'un état excité de niveau p à un autre de niveau $n < p$ en émettant des radiations. Exprimer, en fonction de E_0 , h , n et p , la fréquence ν des radiations émises par l'atome d'hydrogène lors de cette transition.
3. Dans certaines nébuleuses, l'hydrogène émet des radiations de fréquences $\nu = 4,57.10^{14} \text{ Hz}$. Ces radiations correspondent à une transition entre un niveau excité d'ordre p et le niveau d'ordre $n = 2$. Déterminer la valeur de p correspondant au niveau excité.
4. Une série de raies correspond à l'ensemble des radiations émises lorsque l'atome passe des différents niveaux excités p au même niveau n . Pour l'hydrogène, on a, entre autres, les séries de raies de Lyman ($n = 1$), de Balmer ($n = 2$) et de Paschen ($n = 3$).
- 4.1. Montrer que pour l'atome d'hydrogène, la plus grande fréquence d'une série de raies est donnée par :

$$\nu_{\max} = \frac{E_0}{h n^2}$$

- 4.2 Calculer les fréquences limites pour chacune des séries de Lyman, de Balmer et de Paschen.

EXERCICE 9 :

- 1-) On rappelle que les niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène sont donnés par la relation :

$E_n = -\frac{E_0}{n^2}$ où E_0 désigne l'énergie d'ionisation de cet atome et où n est un entier positif.

- a- Expliquer brièvement comment on interprète l'existence de raies dans un spectre d'émission atomique.

- b-** Montrer que les nombres d'onde σ des radiations émises par l'atome d'hydrogène obéissent à la loi : $\sigma = R_1 \left(\frac{1}{p^2} - \frac{1}{m^2} \right)$ où m et p sont des entiers tel que $m > p$ et où R_1 est une constante, appelée constante de Rydberg de l'hydrogène.

On exprimera R_1 en fonction de E_0 , de la constante de Planck h et de la célérité de la lumière, puis on calculera sa valeur en m^{-1} .

2-) Le spectre de l'ion hélium He^+ comporte, entre autres, les raies dont les nombres d'onde valent respectivement : $3,292.10^7 m^{-1}$; $3,901.10^7 m^{-1}$; $4,115.10^7 m^{-1}$; $4,213.10^7 m^{-1}$.

- a-** Vérifier numériquement que ces valeurs sont compatibles avec la relation :

$$\sigma = R_2 \left(\frac{1}{p^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$

où $p = 1$ et $m = 2, 3, 4, 5$ et où R_2 est une constante exprimée avec trois chiffres significatifs.

On donnera la valeur de R_2 , constante de Rydberg de l'ion He^+ .

Vérifier que $R_2 = 4 R_1$.

- b-** L'ion lithium Li^{2+} peut émettre des raies dont les nombres d'onde sont donnés par une loi du type : $\sigma = R_3 \left(\frac{1}{p^2} - \frac{1}{m^2} \right)$ où R_3 , constante de Rydberg de cet ion, vaut $9,86.10^7 m^{-1}$.

Comparer R_2 à R_3 .

Sachant que les numéros atomiques des éléments hydrogène, hélium et lithium sont respectivement $Z = 1$, $Z = 2$, $Z = 3$, en déduire une relation simple existant entre la constante de Rydberg R et le numéro atomique Z de l'élément correspondant, pour les trois cas précédemment étudiés.

- c-** Déterminer le point commun entre l'atome H et les ions He^+ et Li^{2+} qui explique la ressemblance des spectres.

Données : $E_0 = 13,6 \text{ eV}$; $h = 6,62.10^{-34} \text{ J/s}$; $C = 3,00.10^8 \text{ m/s}$.

EXERCICE 10 :

Dans l'atome de Bohr, on suppose que l'électron est en mouvement circulaire uniforme autour du noyau supposé immobile : c'est un modèle de l'atome d'hydrogène.

L'énergie potentielle de l'atome est $E_p = -\frac{ke^2}{r}$ où r est la distance noyau-électron, en choisissant l'infini comme référence.

1. Exprimer l'énergie cinétique E_c du système noyau-électron puis l'énergie mécanique totale E du système en fonction de k , e et r .
2. Le moment cinétique de l'électron ne peut prendre que des valeurs privilégiées telles que :

$$mvr = n \frac{h}{2\pi} \quad (\text{quantification})$$

m étant la masse de l'électron ; v sa vitesse, h étant la constante universelle de Planck et n le nombre quantique principal.

2.1. Exprimer r et E en fonction de k , m , e , n et h .

2.2. Calculer r en mètre et en micromètre, E en joule et en eV, lorsque l'atome est à l'état fondamental.

On donne $k = 9.10^9$ S.I.

3. Pour la trajectoire (n) on donne $E = -\frac{13,6}{n^2}$ en eV.

Calculer l'énergie d'ionisation de l'atome d'hydrogène en eV.

6. On excite l'atome d'hydrogène : l'électron passe du niveau fondamental au niveau $n = 2$. Quand l'excitation cesse, l'atome revient à l'état fondamental avec émission d'une onde lumineuse. Quelle est en micromètre, sa longueur d'onde ?

EXERCICE 11 :

Les niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène sont donnés par la relation $E_n = -\frac{13,6}{n^2}$ où E_n est en électronvolts et n est un nombre entier positif.

1. L'atome d'hydrogène étant dans son état fondamental, déterminer l'énergie minimale nécessaire pour l'ioniser. En déduire la longueur d'onde seuil λ_0 correspondant

2. Dire dans quel(s) cas la lumière de longueur d'onde λ est capable :

- a) D'ioniser l'atome d'hydrogène
b) D'exciter l'atome d'hydrogène sans l'ioniser

3. Parmi les longueurs d'onde suivantes lesquelles sont susceptibles d'ioniser l'atome d'hydrogène ? En déduire

l'énergie cinétique de l'électron éjecté. $\lambda_1 = 88\text{nm}$; $\lambda_2 = 121\text{ nm}$; $\lambda_3 = 146\text{nm}$

4. Quelles sont les longueurs d'onde absorbables par l'atome d'hydrogène parmi les longueurs d'onde λ_1 ; λ_2 et λ_3 ?
5. La lumière émise par certaines nébuleuses contenant de l'hydrogène gazeux chauffé mais à basse pression est due à la transition électronique entre les niveaux 2 et 3. Déterminer la couleur d'une telle nébuleuse.

Violet	Bleu	Vert	jaune	orange	rouge
450	500	570	590	610	780

EXERCICE 12 :

L'ion hélium He^+ ne possède qu'un électron. Ses niveaux d'énergie sont donnés par la relation, $E_n = \frac{k}{n^2}$ où n est un nombre entier positif et k une constante positive.

1. On considère la transition électronique du niveau d'énergie n au niveau d'énergie p ($p < n$). Exprimer la variation de l'énergie de l'ion correspondant à cette transition et interpréter le signe de cette variation.
2. Montrer que la longueur d'onde λ de la radiation correspondante peut se mettre sous la forme :
- $\frac{1}{\lambda} = R_{\text{He}^+} \left(\frac{1}{p^2} - \frac{1}{n^2} \right)$, relation où R_{He^+} est une constante que l'on explicitera.
3. La longueur d'onde du photon correspondant à la transition du niveau 4 au niveau 3 est égale à 469 nm. Calculer la valeur de la constante R_{He^+}

4. Montrer que E_n exprimée en eV peut se mettre alors, sous la forme : $E_n = -\frac{54,4}{n^2}$. En déduire l'énergie d'ionisation de l'ion He^+

5. Les niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène sont donnés en eV par la relation : $E_n = -\frac{13,6}{n^2}$

Sur deux diagrammes bien distincts, placer les 8 premiers niveaux de l'ion H_e^+ et les 4 premiers niveaux de l'atome d'hydrogène. En déduire que le spectre de l'atome d'hydrogène est un sous-ensemble de celui de l'ion H_e^+ .

D- CORRIGE DES EXERCICES

EXERCICE 1

- 1- 10,2eV , 3,4ev
- 2- 3653Å , 913Å

EXERCICE3

- 1- Etat fondamental $n=1$ et états excités : $n=2, 3, 4, 5$
- 2- 1,88eV ; état $2 \rightarrow$ état 3 ; 2,54ev état $2 \rightarrow$ état 4
- 3- L'atome doit initialement à l'état 2 ; $2 \rightarrow 1$
- 4- $3 \rightarrow 1$: $\lambda=1027,3\text{Å}$, $3 \rightarrow 2$: $\lambda \approx 6606\text{Å}$
- 5- 0,38eV

EXERCICE 5

- 1- a) 102,73nm , b) 121,65nm et c) 660,64nm
- 2- $\lambda = 102,73\text{nm}$ et $\lambda = 121,65\text{nm}$
- 3- $\Delta\lambda = 303,2\text{nm}$

EXERCICE 11

- 1- $E_i = 13,6\text{eV}$ et $\lambda_0 = 913,23\text{Å}$
- 2- a)- $\lambda < \lambda_0$
 $b - \lambda_{max}$ d'excitation $= 1216\text{Å}$
 $913,23\text{Å} < \lambda \leq 1216\text{Å}$
- 3- $\lambda = 121\text{nm}$, $E_c = 0$ et $\lambda = 88\text{nm}$; $E_c = 0,51\text{eV}$
- 4- Transition $2-3$; $\lambda = 660,6\text{nm}$; couleur rouge