



République Du Sénégal  
Un Peuple – Un But – Une Foi



MINISTÈRE DE  
L'ÉDUCATION NATIONALE

MINISTÈRE 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 DÉPÔTS ET CONSIGNATIONS (CDC)**



Interdit à la vente



**FASCICULE DE PHYSIQUE**  
**CHIMIE PREMIERE 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**

**MINISTÈRE 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 DÉPÔTS ET CONSIGNATIONS (CDC)**



**Interdit à la vente**

**FASCICULE DE PHYSIQUE  
CHIMIE PREMIERE 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 PREMIERE S.**

# SOMMAIRE

EQUIPE DE REVISION ET DE VALIDATION.....	5
PRESENTATION DU RECUEIL D'EXERCICES.....	6
<b>PREMIERE PARTIE : EXERCICES CORRIGES DE CHIMIE.....</b>	<b>7</b>
CHAPITRE C1 GENERALITES SUR LA CHIMIE ORGANIQUE.....	9
CHAPITRE C 2 HYDROCARBURES SATURES : LES ALCANES .....	16
CHAPITRE C3 : HYDROCARBURES INSATURÉS - ALCENES ET ALCYNES .....	24
CHAPITRE C4 COMPOSES AROMATIQUES.....	31
CHAPITRE C 5 COMPOSES ORGANIQUES OXYGENES .....	38
CHAPITRE C6 et C7 NOTION DE COUPLE OXYDANT-REDUCTEUR - CLASSIFICATION QUALITATIVE DES COUPLES OXYDANT-REDUCTEUR : ION METALLIQUE /METAL .....	46
CHAPITRE C8 CLASSIFICATION QUANTITATIVE DES COUPLES REDOX ION METALLIQUE/METAL .....	57
CHAPITRE C9 GENERALISATION DE L'OXYDOREDUCTION EN SOLUTION AQUEUSE .....	65
CHAPITRE C 10 ELECTROLYSE.....	75
CHAPITRE C11 OXYDOREDUCTION PAR VOIE SECHE .....	81
<b>DEUXIEME PARTIE : EXERCICES CORRIGES DE PHYSIQUE.....</b>	<b>86</b>
CHAPITRE P1 TRAVAIL -PUISANCE .....	87
CHAPITRE P2 ENERGIE CINETIQUE.....	94
CHAPITRE P3- ENERGIE POTENTIELLE-ENERGIE MECANIQUE .....	107
.....	117
CHAPITRE P4 CALORIMETRIE .....	117
CHAPITRE P5 FORCE ET CHAMP ELECTROSTATIQUES.....	125
CHAPITRE P6 TRAVAIL DE LA FORCE ELECTROSTATIQUE-ENERGIE POTENTIELLE ELECTROSTATIQUE .....	130
CHAPITRE P7 ÉNERGIE ÉLECTRIQUE MISE EN JEU DANS UN CIRCUIT ÉLECTRIQUE .....	137
CHAPITRE P8 CONDENSATEUR : CAPACITÉ, ENERGIE EMMAGASINÉE. ....	144
CHAPITRE P 10 PROPAGATION DES SIGNAUX ONDES PROGRESSIVES ET INTERFERENCES MECANIQUES .....	149
CHAPITRE P 11 ÉTUDE EXPERIMENTALE DES LENTILLES .....	154

## **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 :

<b>Prénom et Nom</b>	<b>Structure</b>
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 GENERALITES SUR LA CHIMIE ORGANIQUE

## A-OBJECTIFS

Mettre en évidence l'élément carbone dans certaines substances.

Rappeler le cycle du carbone.

Rappeler les éléments constitutifs des composés organiques.

Déterminer la formule brute d'un composé à partir des résultats de l'analyse quantitative.

Etablir les formules développées correspondant à une formule brute.

## B-L'ESSENTIEL DU COURS

### **Chimie organique**

La chimie organique est la chimie des composés du carbone.

Les composés organiques renferment tous l'élément carbone et presque tous l'élément hydrogène.

Les composés constitués uniquement de carbone et d'hydrogène sont des hydrocarbures (ou hydrures de carbone).

De nombreux composés organiques renferment en plus l'élément oxygène. Ce sont des composés organiques oxygénés.

On rencontre fréquemment aussi l'élément azote. Les acides aminés constituants essentiels des protéines renferment l'élément azote.

La chimie organique est une chimie moléculaire. La majeure partie des composés organiques sont moléculaires. Les composés organiques ioniques sont relativement peu nombreux.

### **Nomenclature**

Les composés organiques sont subdivisés en familles et des règles de nomenclature pour les désigner. Les règles de nomenclature utilisées sont celles de l'Union Internationale de la Chimie Pure et Appliquée (UICPA).

### **Analyse qualitative**

L'analyse qualitative consiste d'identifier les éléments constitutifs d'un composé donné.

Elle utilise des méthodes expérimentales spécifiques pour chaque élément

### **Analyse quantitative**

L'analyse quantitative d'un composé permet de déterminer les proportions des éléments constitutifs du composé.

### **Formules brutes-formules développées et formules semi-développées**

Les résultats de l'analyse quantitative et de la masse molaire permettent d'attribuer à un corps composé une formule qui renseigne sur la composition de sa molécule, la formule brute.

Pour un composé de formule  $C_xH_yO_zN_t$  de masse molaire  $M$  on a :

$$12x/C\% = y/H\% = 14t/N\% = 16z/O\% = M/100$$

La formule brute d'un corps ne permet pas d'en déduire les propriétés chimiques, car il existe de nombreux composés dont les propriétés sont très différentes alors qu'ils ont la même formule brute.

Il convient donc d'attribuer à chaque composé une formule qui, par son seul examen, expliquera ses propriétés essentielles : les formules **développées planes**.

L'écriture des formules **développées planes** doit respecter la valence des différents éléments : tétravalence du carbone, trivalence de l'azote, bivalence de l'oxygène et monovalence de l'hydrique et des halogènes.

On utilise plus généralement les **formules semi-développées** beaucoup moins encombrantes.

## C - EXERCICES

### EXERCICE 1

Calculer la composition centésimale en masse:

- De l'acide glutamique :  $C_5O_4H_9N$
- De la leucine :  $C_6H_{13}O_2N$
- Du glycocolle  $C_2H_5O_2N$
- De la chlorophylle :  $C_{55}H_{72}N_4O_5Mg$
- De l'hélianthine :  $C_{14}H_{15}O_3N_3S$

### EXERCICE 2

L'urée est formée de : 20,00 % de carbone ; 6,66 % d'hydrogène ; 26,67 % d'oxygène et 46,67 % d'azote.

Déterminer sa formule brute sachant qu'elle ne contient qu'un seul atome de carbone.

### EXERCICE 3

- 1- La masse molaire du saccharose est  $342 \text{ g.mol}^{-1}$ .

Déterminer sa formule brute sachant qu'il ne contient que du carbone, de l'hydrogène et de l'oxygène avec les pourcentages suivant:

% C : 42,11 % ; % H : 6,43 %.

- 2- La composition centésimale en masse de la saccharine est la suivante:

45,9% de carbone ; 2,7% d'hydrogène ; 26,2% d'oxygène ; 7,7% d'azote ; 17,5% de soufre.

Sachant que la molécule comporte un seul atome de soufre, trouver la formule brute de la saccharine.

### EXERCICE 4

La pourpre, qui ornait le bas de la toge romaine est extraite d'un coquillage abondant en Méditerranée, le murex.

Cette matière colorante a pour composition centésimale massique:

C : 45,7 % ; H : 1,9 % ; O : 7,6 % ; N : 6,7 % ; Br : 38,1 %.

1. Calculer la composition molaire de la pourpre et écrire sa formule sous la forme :  $(C_xH_yO_zN_tBr)_n$  ; x, y, z, t et n étant des entiers naturels.
2. Sachant que la molécule de pourpre contient deux atomes de brome, calculer sa masse molaire.

### EXERCICE 5

1. Le cholestérol est une substance du groupe des stéroïdes qui provoque le durcissement des artères.

Déterminer sa formule brute sachant qu'il ne contient que les éléments carbone, hydrogène et oxygène et que sa composition centésimale est : %C = 83,94 ; %H = 11,92 et que sa molécule ne comporte qu'un seul atome d'oxygène.

2. Les plantes contiennent parfois des bases azotées appartenant à la famille des alcaloïdes. la nicotine est l'alcaloïde du tabac.

Déterminer sa formule brute sachant qu'elle ne contient que les éléments carbone, hydrogène et azote, que le pourcentage de carbone vaut 74,07 et que sa molécule comporte deux atomes d'azote. Sa masse molaire est égale à  $162 \text{ g.mol}^{-1}$ .

## **EXERCICE 6**

Un composé gazeux a, dans les conditions normales de température et de pression, une masse volumique égale à  $1,34 \text{ kg.m}^{-3}$ .

Déterminer sa formule brute sachant qu'il ne contient que du carbone, de l'hydrogène et de l'oxygène avec les pourcentages massiques suivants : C : 40,0% ; H : 6,67 %.

## **EXERCICE 7**

On soumet à l'analyse une substance organique de masse  $m = 0,2523 \text{ g}$ , ne contenant que du carbone, de l'hydrogène et de l'oxygène. On obtient  $0,1846 \text{ g}$  d'eau et  $0,4470 \text{ g}$  de dioxyde de carbone. La densité de vapeur de cette substance est 2,56.

1. Déterminer la composition centésimale massique de cette substance ?
2. Déterminer sa formule brute.

## **EXERCICE 8**

La combustion complète d'un volume  $V = 20\text{cm}^3$  d'un composé gazeux A comportant du carbone, de l'oxygène et de l'hydrogène nécessite  $20\text{cm}^3$  de dioxygène et produit  $20\text{cm}^3$  de dioxyde de carbone et de l'eau.

1. Ces données suffisent – elles pour déterminer la formule brute du composé A.
2. La densité par rapport à l'air de ce corps est de 1, 03. Déterminer sa formule brute ? En déduire les différents isomères possibles pour A.

## **EXERCICE 9**

L'oxydation complète d'une masse  $m = 0,250 \text{ g}$  de naphtalène conduit à  $0,88 \text{ g}$  de dioxyde de carbone et  $0,144 \text{ g}$  d'eau.

1. Montrer que le naphtalène ne contient que les éléments C et H.
2. La masse molaire du naphtalène est  $M = 128 \text{ g.mol}^{-1}$ . Quelle est sa formule brute ?

## **EXERCICE 10**

La combustion complète d'une masse  $m = 3,6 \text{ g}$  d'un composé de formule  $\text{CxHyOz}$ , fournit  $8,7 \text{ g}$  de dioxyde de carbone et  $3,7 \text{ g}$  d'eau.

1. Déterminer la composition centésimale massique de la substance ?
2. Quelle est la masse molaire moléculaire de la substance, sachant que la densité de sa vapeur par rapport à l'air est  $d = 2,48$ .
3. Déterminer la formule brute de la substance ?

## **EXERCICE 11**

Afin de déterminer la formule brute d'un composé organique A, on réalise les deux expériences suivantes :

- On oxyde une masse  $m=0,344 \text{ g}$  du composé A par  $\text{CuO}$  ; il se forme  $0,194 \text{ g}$  de vapeur d'eau et  $0,957 \text{ g}$  de dioxyde de carbone.
- On oxyde une masse  $m= 0,272 \text{ g}$  du composé A par le dioxygène dans un courant de dioxyde de carbone. Il se forme  $41,9 \text{ mL}$  de diazote gazeux.

Lors de ces deux expériences la température est de  $18^\circ \text{C}$  et la pression de  $10^5 \text{ pascals}$ .

Déterminer :

1. La composition centésimale massique du composé A
2. La formule molaire la plus simple du composé A.

3. La masse minimale d'oxyde de cuivre(II) utilisée dans la première expérience. On suppose que CuO est exclusivement transformé en Cu.

Donnée : La constante des gaz parfaits est  $R = 8,314 \text{ S.I}$

### **EXERCICE 12**

Un composé organique **A** a pour composition centésimale en masse : 64,9 % de carbone et 13,5% d'hydrogène. L'excédent est constitué par un troisième élément inconnu. On vaporise une masse  $m=2,0 \text{ g}$  de cette substance. La vapeur obtenue occupe un volume de  $6,92 \text{ L}$  à  $35^\circ \text{C}$  et sous une pression de  $10^4 \text{ Pa}$ .

1. Déterminer la masse molaire de **A**.
2. Indiquer les nombres d'atomes de carbone et d'hydrogène contenus dans une molécule de **A**.
3. Trouver la formule brute de **A**.

Donnée : La constante des gaz parfaits  $R= 8,314 \text{ S.I}$

### **EXERCICE 13**

On réalise la combustion d'une masse  $m = 0,500 \text{ g}$  d'un hydrocarbure  $\text{CxHy}$ . Les gaz formés passent dans des tubes absorbeurs. L'augmentation de masse du tube à potasse est de  $1,526 \text{ g}$ .

1. Déterminer la composition centésimale de cet hydrocarbure.
2. Quelle est l'augmentation de masse des tubes absorbeurs à ponce sulfurique ?
3. La masse molaire de cette substance est égale à  $72 \text{ g.mol}^{-1}$ . Déterminer sa formule brute.

### **EXERCICE 14**

Dans un eudiomètre, on introduit un volume  $V = 100 \text{ cm}^3$  de dioxygène et  $30 \text{ cm}^3$  d'un mélange de méthane  $\text{CH}_4$  et d'éthylène  $\text{C}_2\text{H}_4$ . Après passage de l'étincelle et refroidissement, il reste  $70 \text{ cm}^3$  de gaz dont  $36 \text{ cm}^3$  sont absorbables par la potasse et le reste par le phosphore. Tous les volumes gazeux sont mesurés dans les mêmes conditions.

1. Ecrire les équations des réactions de combustion.
2. Déterminer les volumes de dioxygène entré en réaction et de dioxyde de carbone formé.
3. Déterminer la composition volumique du mélange initial.

### **EXERCICE 15**

Dans un eudiomètre, on introduit un excès de gaz dioxygène et un mélange constitué d'un volume  $V_1$  de gaz éthylène  $\text{C}_2\text{H}_4$  et d'un volume  $V_2$  de gaz propane  $\text{C}_3\text{H}_8$ . Le volume total du mélange est  $V = 15 \text{ mL}$ . Après passage de l'étincelle et refroidissement, on obtient un volume  $V'=40 \text{ mL}$  d'un gaz absorbable par une solution aqueuse d'hydroxyde de potassium.

1. Ecrire l'équation-bilan de chacune des réactions mises en jeu dans l'eudiomètre.
2. Déterminer les valeurs de  $V_1$  et  $V_2$  puis déterminer la composition centésimale molaire du mélange initiale.

### **EXERCICE 16**

On soumet à l'analyse élémentaire une masse  $m = 0,45 \text{ g}$  d'un composé organique azoté gazeux. Sa combustion produit  $0,88 \text{ g}$  de dioxyde de carbone et  $0,63 \text{ g}$  d'eau. Par ailleurs, la destruction d'une même masse de ce composé en l'absence totale d'azote conduit à la formation de  $0,17 \text{ g}$  d'ammoniac.

1. Déterminer les masses de carbone, d'hydrogène et d'azote contenues dans les  $0,45 \text{ g}$  du composé. Celui-ci contient-il de l'oxygène? Justifier.

2. Quelle est la composition centésimale massique du composé ?
3. Sachant que dans les conditions normales de température et de pression, la masse volumique du composé est voisine de  $2 \text{ g.L}^{-1}$ , calculer une valeur approchée de sa masse molaire et déterminer sa formule brute.

Donnée : masse volumique de l'air  $\rho_{\text{air}} = 1,3 \text{ g.L}^{-1}$ .

### **EXERCICE 17**

On fait brûler, dans un eudiomètre, un mélange contenant  $30 \text{ cm}^3$  d'un hydrocarbure gazeux et  $160 \text{ cm}^3$  de dioxygène (ces volumes sont mesurés dans les CNTP). Après combustion complète de l'hydrocarbure et retour aux CNTP, il reste  $100 \text{ cm}^3$  de gaz dans l'eudiomètre.

1. En notant  $C_xH_y$  la formule brute de cet hydrocarbure, écrire l'équation bilan de sa combustion.
2. Quels sont les gaz restants dans l'eudiomètre ?
3. Par un processus approprié, on fait barboter les gaz restants dans l'eau de chaux. Il se forme un précipité, dont la masse est égale à  $0,4 \text{ g}$ . Déterminer numériquement le volume de dioxyde de carbone formé lors de la combustion. En déduire la valeur de  $x$ .
4. Quelle est la formule brute de l'hydrocarbure ?

### **EXERCICE 18**

Dans les conditions où le volume molaire gazeux vaut  $V_0 = 25 \text{ L.mol}^{-1}$ , la combustion complète d'une masse  $m = 3,51 \text{ g}$  d'un composé organique B de formule  $C_xH_yO$ , de densité de vapeur  $d$ , donne de l'eau et un volume  $V = 5 \text{ L}$  de dioxyde de carbone.

1. Ecrire en fonction de X et Y l'équation-bilan de cette combustion.
2. Exprimer X et Y en fonction de  $d$ ,  $V_0$ ,  $V$  et  $m$ .
3. La densité de vapeur de B vaut  $d = 3,03$  en déduire la formule brute de B.
4. En déduire les formules semi développées ramifiées des isomères envisageables pour B sachant que la molécule de B a une chaîne carbonée ramifiée renfermant un groupement hydroxyle ( $OH$ ).
5. Le composé B est en fait l'isomère dont le carbone fonctionnel est asymétrique, indiquer sa formule semi développée.

**N.B.** Le carbone fonctionnel est l'atome de carbone lié au groupe  $OH$ . Un carbone asymétrique est un atome de carbone lié à quatre atomes ou groupes d'atomes tous différents.

### **EXERCICE 19**

L'aspirine ou acide acétylsalicylique, est l'un des médicaments les plus consommés aujourd'hui. Ses principes actifs se trouvent dans l'écorce de saule qui fut utilisée en médecine jusqu'en 1900, date à laquelle le docteur Félix Hoffmann, réussit la synthèse de l'aspirine.

L'analyse quantitative de l'aspirine montre qu'il contient, en masse, 60 % de carbone, 35,5 % d'oxygène.

Dans une fiole jaugée de  $100 \text{ mL}$ , dissolvons un comprimé de masse  $m = 0,5 \text{ g}$  d'aspirine et complétons avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge. On dose ensuite cette solution par une solution de soude de concentration  $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$ . Il faut  $27,8 \text{ mL}$  de soude pour que le dosage soit terminé. Sachant que l'acide acétylsalicylique et la soude réagissent mole à mole, déterminer :

1. La quantité d'aspirine contenue dans le comprimé.
2. La masse molaire de l'aspirine.
3. Sa formule brute.

## **EXERCICE 20**

On considère un composé organique B constitué des éléments carbone, hydrogène et azote. La combustion d'une masse  $m_1 = 0,2500$  g de B donne une masse  $m' = 0,5592$  g de dioxyde de carbone. La destruction d'une même masse de B, libère un volume  $V = 0,0952$  L d'ammoniac, volume mesuré dans les conditions normales.

1. Déterminer la composition centésimale massique de B
2. On prépare une solution basique  $S_B$  en dissolvant une masse  $m_2 = 14,7500$  g de B dans 500 ml d'eau. On prélève 20 mL de la solution  $S_B$ , que l'on dose par une solution  $S_A$  d'acide chlorhydrique de concentration molaire  $C_A = 1 \text{ mol.L}^{-1}$ . L'équivalence est obtenue pour un volume  $V_A = 10$  mL de solution acide versé. Déterminer la masse molaire moléculaire de B.
3. Etablir la formule brute de B puis écrire ses différentes formules semi développées possibles.
4. La molécule de B ne possède aucune liaison carbone-carbone, identifier alors la formule semi développée précise de B.

## **D - CORRIGÉ DES EXERCICES**

### **EXERCICE 1**

	<b>C<sub>5</sub>O<sub>4</sub>H<sub>9</sub>N</b>	<b>C<sub>6</sub>H<sub>13</sub>O<sub>2</sub>N</b>	<b>C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>O<sub>2</sub>N</b>	<b>C<sub>55</sub>H<sub>72</sub>N<sub>4</sub>O<sub>5</sub>Mg</b>	<b>C<sub>14</sub>H<sub>15</sub>O<sub>3</sub>N<sub>3</sub>S</b>
%C	40,82	54,96	32	73,99	55,08
%H	6,12	9,92	6,67	8,07	4,92
%O	43,54	24,43	42,67	8,97	15,73
%N	9,52	10,62	18,66	6,28	13,77
%Mg	-----	-----	-----	2,69	-----
%S	-----	-----	-----	-----	10,50

### **EXERCICE 2**

Formule de l'urée : CON<sub>2</sub>H<sub>4</sub>

### **EXERCICE 3**

Formule du saccharose : C<sub>12</sub>H<sub>22</sub>O<sub>11</sub>

### **EXERCICE 4**

1. x=8 ; y=4 ; z=t=1

2. M=42 g.mol<sup>-1</sup>

### **EXERCICE 5**

1. Formule du cholestérol : C<sub>27</sub>H<sub>46</sub>O

2. formule de la nicotine : C<sub>10</sub>H<sub>14</sub>N<sub>2</sub>

### **EXERCICE 6**

$$M = \rho V_m = 30 \text{ g.mol}^{-1}$$

Formule brute : CH<sub>2</sub>O

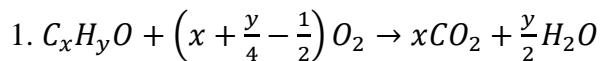
### **EXERCICE 13**

$$1. M = \frac{mRT}{PV} = 74 \text{ g.mol}^{-1}$$

2. x=4 ; y=10

3. Formule brute : C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>O

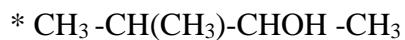
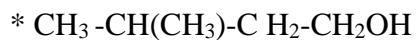
### **EXERCICE 18**



$$2. x = \frac{n(CO_2)}{n_B} = \frac{29dV}{mV_0} \quad y = 29d - 12 \frac{29dV}{mV_0} - 16$$

3. Formule brute de B : C<sub>5</sub>H<sub>12</sub>O

4. Formules semi développées :



5. Formule précise de B : CH<sub>3</sub>-CH(CH<sub>3</sub>)-CHOH

### **EXERCICE 20**

1. m<sub>C</sub>=0,48 g ; m<sub>H</sub>=0,10 g ; m<sub>N</sub>= 0,28 g ; m<sub>O</sub>=0,64 g

2. %C=32 ; %H=6,67 ; %N = 18,67 ; %O = 42,66

3. Formule brute : C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>NO<sub>2</sub>

## CHAPITRE C 2 HYDROCARBURES SATURES : LES ALCANES

### A-OBJECTIFS

Identifier un alcane par son nom ou sa formule.  
Appliquer les règles de nomenclature des alcanes.  
Préciser la structure des alcanes.  
Rappeler quelques procédés d'obtention des alcanes.  
Mettre en évidence quelques propriétés des alcanes.  
Ecrire les équations des réactions de combustion et de substitution.

### B-L'ESSENTIEL DU COURS

Les alcanes sont des hydrocarbures à chaînes ouvertes de formule  $C_nH_{2n+2}$ .  
Les cycloalcanes (ou cyclanes) sont des hydrocarbures saturés à chaînes cycliques. Les cyclanes ayant une seule chaîne cyclique ont pour formule  $C_nH_{2n}$  ( $n \geq 3$ ).  
Aussi bien chez les alcanes que chez les cyclanes les atomes de carbone sont tétraédriques (ou tétragonaux).  
La libre rotation autour des axes carbone –carbone d'un alcane confère à ce dernier plusieurs conformations.  
Les alcanes et les cycloalcanes sont les principaux constituants des gaz naturels et des pétroles, d'où leur intérêt économique et stratégique.  
L'équation bilan de la réaction traduisant la combustion complète d'un alcane dans le dioxygène s'écrit       $C_nH_{2n+2} + \left(\frac{3n+1}{2}\right)O_2 \rightarrow nCO_2 + (n+1)H_2O$   
Les réactions de combustion sont exothermiques.  
Les alcanes donnent lieu à des réactions de substitution et les produits obtenus ont des applications industrielles importantes (agents de synthèse, anesthésiques, fluides frigorigènes, etc.).  
C'est ainsi que les halogènes réagissent généralement sur les alcanes en donnant plusieurs produits de substitution.  
Les conditions expérimentales (proportions des réactifs, température, intensité de l'éclairement) peuvent favoriser la formation de l'un des dérivés.  
L'action du dichlore sur le méthane par exemple donne un mélange de plusieurs composés  
 $CH_4 + Cl_2 \rightarrow CH_3Cl + HCl$   
 $CH_3Cl + Cl_2 \rightarrow CH_2Cl_2 + HCl$   
 $CH_2Cl_2 + Cl_2 \rightarrow CHCl_3 + HCl$   
 $CHCl_3 + Cl_2 \rightarrow CCl_4 + HCl$   
Il existe des dérivés iodés et fluorés des alcanes, mais ils ne peuvent être obtenus directement par des réactions de substitution sur les alcanes

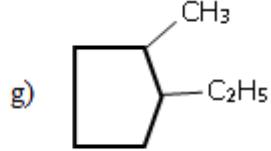
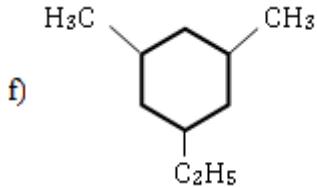
## C-EXERCICES

### EXERCICE 1

- 1) Représenter les formules semi-développées des composés suivants :
  - a) 2-méthylpentane ; 2,3-diméthylpentane ;
  - b) 3-éthyl-2-méthylpentane ; 1-chloro-2-méthylpropane ;
  - c) 1,2-dichloro-2-méthylpropane ; 2-chloro-4-éthylheptane ;
  - d) 3-bromo-2-méthylpentane ; 1-bromo-4-propyloctane.
- 2) Nommer les composés dont les formules semi-développées sont représentées ci-dessous.

- a.  $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_3-\text{CH}_3$ ; b.  $\text{CH}_3-\text{CH}(\text{C}_2\text{H}_5)-(\text{CH}_2)_2-\text{CH}(\text{C}_2\text{H}_5)-\text{CH}_3$   
c.  $\text{CH}_3-\text{CHBr}-\text{CHCl}-\text{CH}_3$ ; d.  $\text{CH}_3-\text{CHCl}-\text{CHBr}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$

e.  $\text{CH}_3-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}(\text{C}_2\text{H}_5)-\text{CH}_3$ ;



- 3) Écrire la formule semi développée de tous les cyclanes dont la formule brute est  $\text{C}_6\text{H}_{12}$  et dont le cycle possède au moins quatre atomes de carbone. Les nommer

### EXERCICE 2

- 1) Quelle est la formule brute de l'alcane dont la masse molaire vaut  $72 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$  ?
- 2) Écrire les formules semi-développées de tous les isomères et les nommer.

### EXERCICE 3

Un dérivé dichloré d'un alcane A, a une masse molaire voisine de  $127 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ . Quelle est sa formule brute ? Ecrire les formules semi développées de ses isomères et puis les nommer.

### EXERCICE 4

- 1) La densité par rapport à l'air d'un alcane A est  $d = 2$ . Quelle est sa formule brute ?
- 2) Un dérivé chloré B de l'alcane A, a une masse molaire voisine de  $127 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ . Quelle est sa formule brute ? Sachant que A est un composé à chaîne linéaire, écrire les formules semi développées et indiquer les noms de ses isomères.
- 3) B' est un dérivé dichloré d'un autre alcane A' sa masse molaire voisine de  $113 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ .
  - 3.1) Quelle est la formule brute de B'?
  - 3.2) Ecrire les formules semi développées des isomères de B' et puis les nommer.

### EXERCICE 5

On fait réagir le dichlore sur un alcane de masse molaire  $44 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ . On obtient un composé de masse moléculaire  $113 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ .

- 1) Déterminer les formules brutes des deux composés.
- 2) Écrire les différentes formules semi-développées possibles pour le composé chloré. Les nommer.

## **EXERCICE 6**

La microanalyse d'un alcane A montre que le rapport entre la masse de l'hydrogène et celle du carbone qu'il renferme est égal à 0,20. En déduire :

- 1-La formule C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> de l'alcane A ;
- 2-Sa formule semi développée, sachant que tous les atomes d'hydrogène qu'il contient appartiennent à des groupes méthyles ;
- 3-Son nom en nomenclature internationale ;
- 4-Combien existe-t-il de dérivés de substitution mono chlorée de l'alcane A ? le(s) nommer.
- 5-Même question mais pour les dérivés dichlorés.

## **EXERCICE 7**

1. La combustion totale d'un volume V = 5 cm<sup>3</sup> d'un alcane gazeux A nécessite 40 cm<sup>3</sup> de dioxygène. Déterminer la formule brute de A, puis écrire ses formules semi développées possibles et les nommer.
2. La chloration de A donne un composé organique B dont la proportion en masse de chlore est 50,35 %.
  - a) Déterminer la formule brute de B.
  - b) Sachant qu'il n'existe que deux isomères possibles de B, écrire leurs formules semi développées puis les nommer.
  - c) En déduire la formule semi développée précise de A

## **EXERCICE 8**

La combustion incomplète du méthane donne du carbone et de l'eau ; cette réaction est utilisée dans l'industrie pour la fabrication du noir de carbone (black carbon) nécessaire à l'industrie des pneumatiques.

- 1) Ecrire l'équation bilan de la réaction.
- 2) Quelle masse de carbone obtient-on par la combustion incomplète de 1 m<sup>3</sup> de méthane pris à 25°C sous une pression de 1 bar ?
- 3) Quel est le volume d'air, pris dans les mêmes conditions, juste nécessaire pour cette réaction ?

## **EXERCICE 9**

On souhaite déterminer la composition d'un gaz de pétrole liquéfié (G.P.L.) exclusivement constitué de propane et de butane. La détermination est faite à partir de la mesure de la densité du G.P.L. gazeux.

- 1) Sachant qu'on trouve une densité moyenne par rapport à l'air de 1,83 en déduire la composition molaire du G.P.L.
- 2) Ecrire les formules semi développées et les noms des différents dérivés monobromés que l'on peut obtenir par action du dibrome sur le G.P.L.

## **EXERCICE 10**

- 1) Certains briquets en plastiques sont remplis d'un mélange d' alcanes isomères. Le pourcentage massique en carbone de ces alcanes isomères est de 82,75 %.
- a) Déterminer la formule brute de ces alcanes.
  - b) Écrire leurs formules semi développées puis les nommer.

2) On fait le vide dans un flacon, puis on le remplit successivement, dans les mêmes conditions de température et de pression, avec un alcane gazeux inconnu A, puis avec de l'éthane E. On détermine, par pesée, les masses introduites :  $m_A = 1,44$  g et  $m_E = 0,6$  g. Déterminer la masse molaire de A.

3) On mélange 10 g de A et 15 g de E. Calculer la masse molaire de ce mélange.

### **EXERCICE 11**

- 1) Déterminer la formule générale d'un alcane contenant  $n+1$  atomes de carbone dans sa molécule.
- 2) Au cours des réactions de substitution sur l'alcane on remplace des atomes d'hydrogène par q atomes de fluor et z atomes de chlore. Préciser la formule brute du produit obtenu.
- 3) Les fréons désignés par la formule générale  $C_{n+1}H_{p-1}F_qCl_z$  sont appelés fréons « npq ». Exprimer z en fonction n, p et q. En déduire la formule du fréon « 114 »

### **EXERCICE 12**

La combustion complète dans le dioxygène d'un mélange équimolaire de deux alcanes A et B non isomères ( $n_A = n_B = 5 \cdot 10^{-3}$  mol) a fourni 2,64 g de dioxyde de carbone et de l'eau.

Soient n et n' les nombres d'atomes de carbone respectifs de A et B, sachant que  $n > n'$ .

1. Ecrire les équations- bilans générales de combustion de A et B
2. Exprimer la quantité de matière de dioxyde de carbone formé en fonction de n et n'.
3. Sachant que les masses molaires  $M_A$  et  $M_B$  ne diffèrent que de  $56 \text{ g.mol}^{-1}$ ; établir une seconde relation entre n et n'.

En déduire les formules brutes de A et B.

### **EXERCICE 13**

- 1) Un alcane A admet comme proportion en masse cinq fois plus de carbone que d'hydrogène.
  - a) Déterminer sa formule brute.
  - b) Représenter, par leurs formules semi-développées, tous les isomères de A et les nommer.
- 2) Un mélange gazeux de l'alcane A et de dihydrogène est brûlé dans un eudiomètre contenant  $80 \text{ cm}^3$  de dioxygène. Après combustion et refroidissement, il reste  $53 \text{ cm}^3$  d'un mélange gazeux dont les  $40 \text{ cm}^3$  sont absorbables par la potasse et le reste par le phosphore. Déterminer la composition volumique du mélange gazeux initial.
- 3) On procède à la monochloration de A :
  - a) Rappeler les conditions expérimentales de cette réaction et écrire l'équation bilan.
  - b) Sachant qu'il se forme un seul dérivé monochloré, déterminer sa formule semi-développée et son nom. En déduire la formule précise de A.

### **EXERCICE 14**

Dans un eudiomètre contenant  $130 \text{ mL}$  de dioxygène, on introduit un volume  $V = 10 \text{ mL}$  d'un alcane gazeux A. On fait jaillir l'étincelle électrique. Après retour aux conditions initiales, on constate que l'eudiomètre contient des volumes égaux de dioxyde de carbone et de dioxygène. Tous les volumes sont mesurés dans les conditions normales de température et de pression.

1. Déterminer la formule brute de cet alcane.
2. Ecrire les différentes formules semi développées possibles de A et les nommer.
3. Pour identifier l'alcane A, on procède à la chloration d'une masse  $m_A = 3,6$  g de A en présence de lumière et on obtient alors une masse  $m_B = 5,325$  g d'un dérivé chloré B.
  - 3.1 Ecrire l'équation-bilan de la réaction.
  - 3.2 Identifier l'alcane A sachant que sa chloration donne quatre dérivés monochlorés.

- 3.3 Donner les formules semi développées et les noms des isomères de B  
 3.4 Déterminer le volume de chlorure d'hydrogène libéré lors de la réaction.

### **EXERCICE 15**

1. La combustion complète dans le dioxygène, d'un échantillon d'un alcane, donne du dioxyde de carbone de masse  $m_1$  et de la vapeur d'eau de masse  $m_2$  telle que  $\frac{m_1}{m_2} = \frac{11}{6}$ .
- 1.1. Ecrire l'équation générale de la réaction de combustion complète de l'alcane.
- 1.2. Déterminer la formule brute de l'alcane.
- 1.3. Ecrire la ou les formules semi développées répondant à la formule brute de cet alcane.
2. La dichloration de cet alcane fournit quatre isomères A, B, C et D.
- 2.1. Écrire les formules semi développées des quatre isomères, puis les nommer.
- 2.2. Une nouvelle chloration conduit à plusieurs dérivés trichlorés :
  - A et B donnent chacun trois produits ; C en donne deux ; D en fournit un.
  - L'un des produits formés à partir de A est identique à celui fourni par D.
 En déduire, par un raisonnement clair les structures de A, B, C et D

### **EXERCICE 16**

On introduit dans un eudiomètre  $12 \text{ cm}^3$  d'un mélange de propane et de butane. On ajoute  $100 \text{ cm}^3$  de dioxygène et on provoque la combustion complète en faisant jaillir une étincelle. Après retour aux conditions initiales, l'eau s'étant condensée, il reste  $42 \text{ cm}^3$  de dioxyde de carbone et  $31 \text{ cm}^3$  de dioxygène.

- 1) Ecrire les équations de combustion.
- 2) En désignant par  $V_1$  le volume de propane et par  $V_2$  celui du butane, exprimer en fonction de  $V_1$  et  $V_2$  le volume de dioxygène consommé.
- 3) Exprimer en fonction de  $V_1$  et  $V_2$  le volume de dioxyde de carbone obtenu.
- 4) Quelle est la composition volumique du mélange initial ?

### **EXERCICE 17**

Le white spirit, utilisé pour diluer certaines peintures, est essentiellement formé d'alcanes en C<sub>7</sub> (possédant sept atomes de carbone). Nous admettrons pour cet exercice, qu'il ne contient que de l'heptane, du 2-méthylhexane et du 2,2-diméthylpentane.

1. Ecrire la formule semi développée de ces trois constituants.
2. On veut réaliser la monobromation complète de  $5\text{cm}^3$  de White spirit. Ecrire les différents dérivés monobromés présents dans le mélange final.
3. Sachant que les masses volumiques du white spirit et du dibrome sont respectivement  $\rho_1 = 683 \text{ kg.m}^{-3}$  et  $\rho_2 = 3120 \text{ kg.m}^{-3}$ , calculer le volume minimal de dibrome que l'on doit utiliser pour obtenir une monobromation complète des  $5 \text{ cm}^3$  de white spirit.

### **EXERCICE 18**

Un mélange contenant  $n_1$  moles de méthane et  $n_2$  moles d'éthane, produit par combustion complète avec du dioxygène en excès, du dioxyde de carbone et de l'eau.

La masse d'eau condensée et recueillie est de 21,6 g.

Le dioxyde de carbone formé est « piégé » dans un absorbeur à potasse. La masse de l'absorbeur s'accroît de 30,8 g.

- 1-Ecrire les équations de réaction de combustion du méthane et de l'éthane.
- 2-Calculer la quantité de matière d'eau formée.
- 3-Calculer la quantité de matière de dioxyde de carbone produit.

4-En tenant compte des coefficients stœchiométriques des équations de réaction, exprimer les quantités de matière d'eau et de dioxyde de carbone formés en fonction de  $n_1$  et  $n_2$ . Calculer  $n_1$  et  $n_2$ .

5-Calculer, dans le mélange initial d'alcanes, la composition en masse (exprimée en %) de chacun des deux composés.

### **EXERCICE 19**

Soit un alcane deux fois plus dense que l'air.

1) Déterminer la formule brute de cet alcane et écrire les formules semi développées possibles.

2) Quelle est sa composition centésimale massique ?

3) Un mélange de cet alcane et de dihydrogène est introduit dans un eudiomètre avec 80 cm<sup>3</sup> de dioxygène.

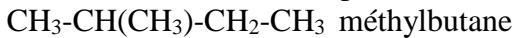
Après combustion et refroidissement, il reste 52,5 cm<sup>3</sup> d'un mélange gazeux dont 40 cm<sup>3</sup> sont absorbables par la potasse et le reste par le phosphore. Déterminer la composition volumique du mélange initial.

## **D-CORRIGE DES EXERCICES**

### **EXERCICE 2**

1.  $M = 72 \text{ g.mol}^{-1} \Leftrightarrow n = 5 \Leftrightarrow$  la formule brute : C<sub>5</sub>H<sub>12</sub>

2. Formules semi développées :

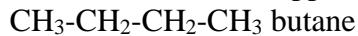


### **EXERCICE 4**

1. Formule brute de A : C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>

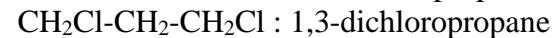
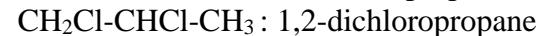
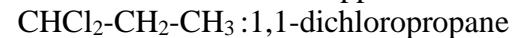
2. Formule brute de B : C<sub>4</sub>H<sub>8</sub>Cl<sub>2</sub>

Formules semi développées de A :

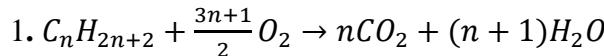


3.1 Formule brute de B' : C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>Cl<sub>2</sub>

3.2 Formules semi développées de B' :



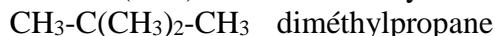
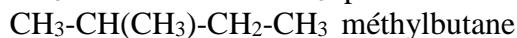
### **EXERCICE 7**



$$\text{Bilan volumique : } \frac{3n+1}{2} = \frac{V(O_2)}{V} \Leftrightarrow n = 5$$

Formule brute : C<sub>5</sub>H<sub>12</sub>

Formules semi développées :



2.a Formule brute de B : C<sub>5</sub>H<sub>10</sub>Cl<sub>2</sub>

2.b Formule semi développées :

$\text{CH}_3\text{-C(CH}_3)_2\text{-CHCl}_2$  :

1,1-dichloro-2,2diméthylpropane

$\text{CH}_2\text{Cl-C(CH}_3)_2\text{-CH}_2\text{Cl}$  :

1,3-dichloro-2,2-diméthylpropane

2.c Formule précise de A :  $\text{CH}_3\text{-C(CH}_3)_2\text{-CH}_3$

### **EXERCICE 10**

1.a  $\text{C}_4\text{H}_{10}$

1.b  $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_3$  butane

$\text{CH}_3\text{-CH(CH}_3\text{)-CH}_3$  méthylpropane

2.  $M_A = 72 \text{ g.mol}^{-1}$

3.  $\bar{M} = \frac{m_t}{n_t} = \frac{m_A + m_E}{\frac{m_A}{M_A} + \frac{m_E}{M_E}} = 39 \text{ g.mol}^{-1}$

### **EXERCICE 11**

1. Formule générale :  $\text{C}_{n+1}\text{H}_{2n+4}$

2. Formule brute :  $\text{C}_{n+1}\text{H}_{2n+4-(q+z)}\text{F}_q\text{Cl}_z$

3.  $z = 2n+5-(p+q)$

Formule du fréon  $\text{F}_{114}$  :  $\text{C}_2\text{F}_2\text{Cl}_4$

### **EXERCICE 13**

1.a Formule brute :  $\text{C}_5\text{H}_{12}$

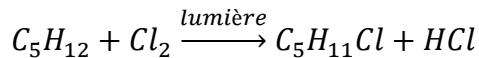
1.b  $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_3$  pentane

$\text{CH}_3\text{-CH(CH}_3\text{)-CH}_2\text{-CH}_3$  méthylbutane

$\text{CH}_3\text{-C(CH}_3)_2\text{-CH}_3$  diméthylpropane

2. Composition volumique :  $V_A = 8 \text{ cm}^3$ ;  $V(\text{H}_2) = 6 \text{ cm}^3$

3.a Présence de lumière

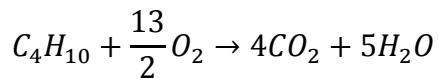
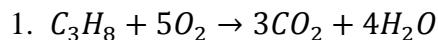


3.b

$\text{CH}_3\text{-C(CH}_3)_2\text{-CH}_2\text{Cl}$  : 1-chloro-2,2-diméthylpropane

A :  $\text{CH}_3\text{-C(CH}_3)_2\text{-CH}_3$

### **EXERCICE 16**



2.  $V(\text{O}_2) = 5V_1 + 6,5V_2$

3.  $V(\text{CO}_2) = 3V_1 + 4V_2$

4.  $V_1 = V_2 = 6 \text{ cm}^3$

### **EXERCICE 17**

1. heptane :  $\text{CH}_3\text{-}(\text{CH}_2)_5\text{-CH}_3$

2-méthylhexane :  $\text{CH}_3\text{-CH(CH}_3\text{)}\text{-}(\text{CH}_2)_3\text{-CH}_3$

2,2-diméthylpentane :  $\text{CH}_3\text{-C(CH}_3\text{)}_2\text{-}(\text{CH}_2)_2\text{-CH}_3$

2. Formules des dérivés monochlorés :

$\text{CH}_2\text{Cl}\text{-}(\text{CH}_2)_5\text{-CH}_3$

$\text{CH}_3\text{-CHCl}(\text{CH}_2)_4\text{-CH}_3$

$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{CHCl}(\text{CH}_2)_3\text{-CH}_3$

$\text{CH}_3\text{-}(\text{CH}_2)_2\text{-CHCl}(\text{CH}_2)_2\text{-CH}_3$

$\text{CH}_2\text{Cl}\text{-CH(CH}_3\text{)}\text{-}(\text{CH}_2)_3\text{-CH}_3$

$\text{CH}_3\text{-CCl}(\text{CH}_3\text{)}\text{-}(\text{CH}_2)_3\text{-CH}_3$

$\text{CH}_3\text{-CH(CH}_3\text{)}\text{-CHCl}(\text{CH}_2)_2\text{-CH}_3$

$\text{CH}_3\text{-CH(CH}_3\text{)}\text{-CH}_2\text{CHCl-CH}_2\text{-CH}_3$

$\text{CH}_3\text{-CH(CH}_3\text{)}\text{-}(\text{CH}_2)_2\text{CHCl-CH}_3$

$\text{CH}_3\text{-CH(CH}_3\text{)}\text{-}(\text{CH}_2)_3\text{-CH}_2\text{Cl}$

$\text{CH}_2\text{Cl-C(CH}_3\text{)}_2\text{-}(\text{CH}_2)_2\text{-CH}_3$

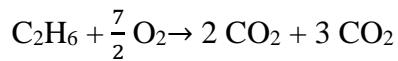
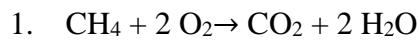
$\text{CH}_3\text{-C(CH}_3\text{)}_2\text{-CHCl-CH}_2\text{-CH}_3$

$\text{CH}_3\text{-C(CH}_3\text{)}_2\text{-CH}_2\text{-CHCl-CH}_3$

$\text{CH}_3\text{-C(CH}_3\text{)}_2\text{-}(\text{CH}_2)_2\text{-CH}_2\text{Cl}$

$$3. V(Br_2)_{min} = \frac{\rho_1 V_1 M_2}{\rho_2 M_1} = 1,75 \text{ cm}^3$$

### **EXERCICE 18**



2.  $n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})} = 1,2 \text{ mol}$

3.  $n(\text{CO}_2) = \frac{m(\text{CO}_2)}{M(\text{CO}_2)} = 0,7 \text{ mol}$

4.  $\begin{cases} n(\text{H}_2\text{O}) = 2n_1 + 3n_2 = 1,2 \\ n(\text{C}_2\text{O}) = n_1 + 2n_2 = 0,7 \end{cases}$   
 $\Rightarrow \begin{cases} n_1 = n(\text{CH}_4) = 0,3 \text{ mol} \\ n_2 = n(\text{C}_2\text{H}_6) = 0,2 \text{ mol} \end{cases}$

5. Pourcentage en masse :

$$\% \text{CH}_4 = \frac{n_1 \cdot M(\text{CH}_4)}{n_1 M(\text{CH}_4) + n_2 M(\text{C}_2\text{H}_6)} \cdot 100 = 44,4\%$$

$$\%C_2H_6 = 100 - \%CH_4 = 55,6\%$$

### **EXERCICE 19**

1. Formule brute : C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>

Formules semi développées :

CH<sub>3</sub>-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-CH<sub>3</sub> butane

CH<sub>3</sub>-CH(CH<sub>3</sub>)-CH<sub>3</sub> méthylpropane

2. %C=82,76 %H=17,24

3. ( V<sub>alcan</sub>=10cm<sup>3</sup> ; V<sub>dihydrogène</sub>=5cm<sup>3</sup> )

## **CHAPITRE C3 : HYDROCARBURES INSATURES - ALCENES ET ALCYNES**

### **A – OBJECTIFS**

Identifier un alcène ou un alcyne à partir de sa formule ou de son nom.

Appliquer les règles de nomenclature.

Distinguer les isomères Z et E.

Rappeler quelques procédés d'obtention des alcènes et alcynes.

Préciser la structure des alcènes et celle des alcynes.

Mettre en évidence quelques propriétés des alcènes et alcynes.

Ecrire l'équation-bilan d'une réaction d'addition sur un alcène ou sur un alcyne.

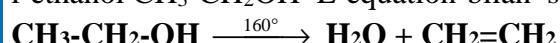
Ecrire le motif et la formule semi-développée de certains polymères.

Donner des exemples d'utilisation des polymères.

### **B- L'ESSENTIEL DU COURS**

Les alcènes sont des hydrocarbures insaturés à chaînes ouvertes renfermant une double liaison; leur formule générale est C<sub>n</sub>H<sub>2n</sub> ( n ≥ 2)

Les alcènes peuvent être obtenus par déshydratation des alcools R-OH en présence de catalyseur. Ainsi l'éthylène par exemple peut être obtenu au laboratoire en chauffant entre 160 et 180°C de l'acide sulfurique concentré sur lequel on laisse tomber goutte à goutte de l'éthanol CH<sub>3</sub>-CH<sub>2</sub>OH L'équation-bilan s'écrit :



Les alcynes sont des hydrocarbures insaturés à chaînes ouvertes renfermant une triple liaison : leur formule est C<sub>n</sub>H<sub>2n-2</sub> .(n ≥ 2).

L'acétylène peut être obtenu au laboratoire par action de l'eau sur le carbure de calcium C<sub>2</sub>Ca.



Dans la molécule d'alcène, les atomes de carbone unis par la double liaison sont trigonaux.

La double liaison éthylénique bloque la libre rotation autour de l'axe carbone-carbone et permet d'obtenir des stéréoisomères de configuration .

Les alcènes et les alcynes se prêtent à de nombreuses réactions d'addition qui s'accompagnent de changements importants de structures.

Les réactions de polyaddition sur les alcènes, alcynes et leurs dérivés conduisent à des polymères dont les applications sont nombreuses et variées

L'éthylène se polymérisé en présence de catalyseurs et sous forte pression. Les molécules s'additionnent les unes aux autres par suite de la rupture d'une des liaisons carbone - carbone.

L'équation – bilan s'écrit  $n(\text{CH}_2 = \text{CH}_2) \rightarrow (-\text{CH}_2 - \text{CH}_2 -)_n$  Polyéthylène

La formule du polyéthylène peut s'écrire aussi  $\dots -\underbrace{\text{CH}_2 - \text{CH}_2}_{} - \underbrace{\text{CH}_2 - \text{CH}_2}_{} - \underbrace{\text{CH}_2 - \text{CH}_2}_{} - \dots$

Le motif est  $-\text{CH}_2 - \text{CH}_2-$  Le degré de polymérisation est n.

Le chlorure de vinyle  $\text{CH}_2=\text{CHCl}$  possède une liaison double comme l'éthylène.

Sa polymérisation donne le polychlorure de vinyle connu sous le nom de PVC ou PCV.

Sa formule est  $(-\text{CH}_2 = \text{CHCl}-)$

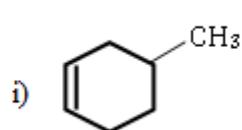
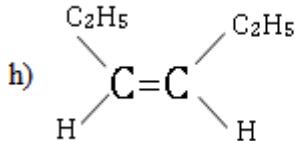
La polymérisation est à la base d'un très grand nombre de produits synthétiques. Citons entre autres : les adhésifs, les vernis, les verres de sécurité(plexiglas), les caoutchoucs synthétiques, les emballages, certaines fibres textiles.

## C- EXERCICES

### EXERCICE 1

Nommer les composés dont les formules semi-développées sont représentées ci-dessous :

- a)  $(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{C}=\text{C}(\text{CH}_3)_2$    b)  $(\text{CH}_3)_2\text{CH}-\text{C}=\text{C}-\text{CH}(\text{C}_2\text{H}_5)\text{CH}_3$   
c)  $(\text{CH}_3)_2\text{C}=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2$    d)  $\text{CH}=\text{C}-\text{C}(\text{CH}_3)_2\text{CH}=\text{CH}_2$   
e)  $\text{CH}_3-\text{C}(\text{C}_2\text{H}_5)=\text{CCl}-\text{CH}_3$    f)  $\text{CH}_3-\text{C}(\text{C}_2\text{H}_5)_2-\text{C}=\text{C}(\text{CH}_2)_2-\text{CH}_3$   
g)  $\text{CH}=\text{C}-\text{CHBr}-\text{C}(\text{CH}_3)_2-\text{CH}=\text{CH}_2$



### EXERCICE 2

1. Donner la formule semi développée de chacun des composés cités ci-dessous :

- a) 3-éthyl-2,5-diméthylhept-2-ène  
b) 2,5-diméthylhex-3-yne  
c) 3-éthyl-3, 4,4-triméthylpent-1-yne  
d) (Z) 4,5-diméthylhex-2-ène

- e) (E) 4-éthyl-5,5-diméthylhex-2-ène
- f) (Z)-4, 5-diméthylhex-2-ène
- g) 3-éthyl-2,5-diméthylhept-2-ène
- h) 2,5-diméthylhex-3-yne
- i) (trans)-but-2-ène.

2. Écrire la formule semi développée de tous les hydrocarbures de formule C<sub>5</sub>H<sub>10</sub>. Indiquer leurs noms. Les classer en deux familles.

### **EXERCICE 3**

Compléter les équations bilans ci-dessous par les formules semi- développées des produits et puis nommer les produits.

- a) But - 1 - ène + dichlore → ...
- b) Propyne + dihydrogène  $\xrightarrow{\text{Pd}}$  ...
- c) 2,3 - diméthylbut - 2 - ène + chlorure d'hydrogène → ...
- d) Ethylène + eau  $\xrightarrow{\text{H}_2\text{SO}_4}$  ... .
- e) But - 2 - yne + bromure d'hydrogène → ...
- f) Cyclobutène + dibrome → ...
- g) CH<sub>3</sub>-C≡CH + H<sub>2</sub>O →.....
- h) CH<sub>3</sub>-CH=CH-CH<sub>3</sub> + HCl →.....
- i) CH<sub>2</sub>=CH-CH<sub>3</sub> + Cl<sub>2</sub> →.....
- j) CH<sub>3</sub>-CH<sub>2</sub>-C≡CH + H<sub>2</sub>  $\xrightarrow{\text{Pt}}$  .....

### **EXERCICE 4**

1°) Écrire les formules semi-développées des différents alcènes de masse molaire M= 70 g.mol<sup>-1</sup>. Les nommer et préciser ceux qui donnent lieu à l'isomérie Z/E.

2°) Même question pour les alcynes de masse molaire M = 68 g.mol<sup>-1</sup>.

### **EXERCICE 5**

1. Un alcène A donne par hydrogénéation catalytique le 2,3-diméthylbutane. Quelles sont les formules semi- développées possibles pour A ?
2. L'addition du chlorure d'hydrogène sur A conduit de façon prépondérante au 2-chloro-2,3-diméthylbutane mais pas exclusivement. Préciser la formule semi développée de A.
3. A présente-t-il l'isomérie Z/E ?
4. Indiquer les produits majoritaires et minoritaires lors de l'addition d'eau sur A.

### **EXERCICE 6**

On réalise la chloration d'un alcène A non ramifié. Le produit B obtenu contient en masse 45,8 % de chlore.

- 1) Déterminer la masse molaire de B.
- 2) En déduire la formule brute de B, puis celle de A.
- 3) Représenter et nommer tous les alènes non ramifiés isomères de A.
- 4) Sachant que l'hydratation de A ne fournit qu'un seul alcool C, quels isomères peut-on éliminer ?
- 5) l'alcène A a la configuration Z, le représenter et le nommer.
- 6) Représenter et nommer B et C.

## **EXERCICE 7**

1. Un hydrocarbure A contient en masse 85,71 % de carbone.

Déterminer sa formule générale. Peut-on calculer sa masse molaire ?

2. A l'obscurité A réagit mole à mole avec le dibrome ( $\text{Br}_2$ ). Le composé obtenu contient 74 % en masse de brome. Déterminer la formule brute de A et écrire ses formules semi-développées possibles.

3. L'hydratation de A conduit préférentiellement à l'alcool B.

L'hydratation de ses isomères conduit préférentiellement au même alcool C isomère de B. En déduire A, B, et C.

## **EXERCICE 8**

1. La densité d'un alcyne gazeux A est  $d = 0,897$ , déterminer sa formule brute.

2. Une hydrogénéation catalytique modérée de A donne un composé gazeux B. L'action du chlorure d'hydrogène sur B donne un composé d'addition C.

2-1. Ecrire les équations des réactions évoquées ci-dessus en donnant les formules semi-développées et les noms des composés A, B et C.

2-2. Un mélange constitué des composés A et B et de  $42 \text{ cm}^3$  de dihydrogène est chauffé en présence de nickel. On obtient un produit unique gazeux de volume  $30\text{cm}^3$ . Déterminer la composition volumique du mélange de A et B. (Tous les volumes sont mesurés dans les mêmes conditions de température et de pression)

## **EXERCICE 9**

La densité par rapport à l'air d'un mélange d'éthylène et de propène est de 1,3.

1. Quelle est la composition centésimale molaire du mélange ? En déduire sa composition centésimale massique.

2. On traite  $20\text{cm}^3$  de ce mélange par du dichlore, pris dans les mêmes conditions de température et de pression que le mélange. Sachant que la réaction se déroule à l'obscurité.

2.1. Ecrire les formules des produits obtenus et indiquer leurs noms.

2.2. Quel est le volume minimal de dichlore nécessaire ?

## **EXERCICE 10**

1. La combustion complète de  $410 \text{ mg}$  d'un hydrocarbure A à chaîne carbonée linéaire donne de l'eau et  $672 \text{ mL}$  de dioxyde de carbone, volume mesuré dans les C.N.T.P.

1.1 Ecrire l'équation-bilan de la réaction.

- 1.2 Déterminer la formule brute de A sachant que sa masse molaire est de  $82 \text{ g.mol}^{-1}$ . En déduire sa famille.

1.3 Écrire les différentes formules semi-développées de A et les nommer

2. L'hydrogénéation catalysée par du palladium désactivé de A donne un composé B. L'hydratation du composé B donne un produit unique C. Dessiner les formules semi-développées des composés A, B et C. Nommer A et B.

3. L'hydrogénéation catalytique du composé A conduit exclusivement à un stéréo-isomère de type Z

3.1 Ecrire la formule exacte de B

- 3.2 Ecrire l'équation-bilan de la réaction d'hydratation de A en présence d'ions mercuriques.

## **EXERCICE 11**

5,6 g d'un alcène A réagit avec le dibrome pour donner 21,6 g d'un composé bromé.

- 1) Ecrire, en utilisant la formule générale des alcènes, l'équation-bilan de la réaction.
- 2) Déterminer la formule brute de A?
- 3) Écrire les formules semi-développées possibles de A. Les nommer.
- 4) L'hydratation de A conduit de manière préférentielle au butan-2-ol. Identifier A par son nom.
- 5) L'hydrogénéation de 11,2 g de A conduit à la formation de 10 g d'un composé organique C.
  - 5.1. Ecrire l'équation de la réaction d'hydrogénéation de A.
  - 5.2. Nommer le produit C.
  - 5.3. Quel est le rendement de cette réaction?
  - 5.4. Quelle masse de A est nécessaire pour préparer 100 g de C ?

## **EXERCICE 12**

- 1) La chloration d'un alcène A donne un composé B dont la masse molaire est sensiblement double de celle de A.
  1. a Trouver la formule brute de l'alcène A.
  1. b Quelles sont les formules semi-développées possibles ? Préciser leurs noms.
- 2) Une hydrogénéation catalytique de A donne un composé C. On substitue x atomes d'hydrogène par x atomes de chlore de la molécule de C.
  - 2.1. Ecrire les équations des réactions évoquées ci-dessus en précisant leurs conditions expérimentales.
  - 2.2. Quelle est la valeur de x sachant que le dérivé chloré obtenu a pour masse molaire 175,5 g.mol<sup>-1</sup> ?

## **EXERCICE 13**

Un alcyne A a en masse 8 fois plus de carbone que d'hydrogène.

- 1) Déterminer la formule brute de A.
- 2) Ecrire les formules semi-développées possibles de A. Les nommer.
- 3) L'action du dihydrogène sur A, en présence de palladium désactivé, conduit à un composé B, qui par hydratation donne un produit unique C. Identifier, en donnant le nom et la formule semi développée, les composés A, B et C en vous appuyant sur les équations bilan des réactions.
- 4) Ecrire l'équation de l'hydratation de A en présence d'ions mercuriques.

## **EXERCICE 14**

1. Trois hydrocarbures A, B et C décolorent l'eau de brome. Ils donnent par hydrogénéation catalytique le même hydrocarbure D à chaîne ramifiée contenant 16,76 % en masse d'hydrogène.
  - 1.1 Déterminer la formule brute de D.
  - 1.2 Que peut-on dire des hydrocarbures A, B et C ? Ecrire leurs formules semi développées possibles.
  - 1.3 Ecrire la formule semi développée de D. Nommer le.

1. A, B et C fixent le chlorure d'hydrogène (HCl). A et C donnent préférentiellement le même composé chloré. Le dérivé minoritaire de A, a un atome de Cl sur le carbone n°1.
- 2.1 En déduire les formules semi développées et les noms de A, B et C.
- 2.2 Quel polymère peut-on obtenir de A ?

### **EXERCICE 15**

L'addition de chlorure d'hydrogène (HCl) sur l'acétylène donne du chlorure de vinyle. On dit que c'est une réaction de « vinylation ».

Par des réactions de « vinylation » on peut fixer sur la molécule d'acétylène de l'acide éthanoïque de formule  $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$  [en présence de sulfate de mercure (II)], de l'acide cyanhydrique de formule HCN [en présence de chlorure de cuivre(I)].

1. Ecrire les équations bilan des réactions citées ci-dessus.
2. Quelle est la masse des produits obtenus si on part d'une mole d'acétylène ?
3. Les produits obtenus s'appellent respectivement éthanoate de vinyle et cyanure de vinyle; ils présentent un intérêt industriel important, car ils forment facilement des polymères. Ecrire les équations bilan de formation du poly éthanoate de vinyle et du polycyanure de vinyle.

### **EXERCICE 16**

Calculer le degré de polymérisation du polyéthylène de masse molaire  $150 \text{ kg.mol}^{-1}$ .

Même question pour le polystyrène de même masse molaire.

### **EXERCICE 17**

A- Un polymère donne par combustion que du dioxyde de carbone et de l'eau. Sa masse molaire moyenne est de  $105.000 \text{ g.mol}^{-1}$  et son degré de polymérisation est de 2500.

1. Déterminer la masse molaire et la formule brute de l'alcène monomère.
2. Ecrire sa formule semi-développée et indiquer son nom.
3. Ecrire sa réaction de polymérisation.

B-1. L'analyse d'un polymère montre qu'il contient en masse 56,8 % de chlore, 38,4 % de carbone, le reste étant de l'hydrogène. Déterminer le motif le plus simple répondant à cette composition. Identifier alors le polymère étudié.

B-2. Indiquer deux façons de préparer le monomère correspondant, en utilisant comme réactif soit de l'éthylène, soit de l'acétylène.

### **EXERCICE 18**

A  $0^\circ\text{C}$ , sous  $1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ , un monomère gazeux A de formule générale  $\text{C}_x\text{H}_y\text{F}_z$  a une densité par rapport à l'air égale à  $d = 2,21$ . Il contient deux atomes de fluor portés par le même atome de carbone.

1. Déterminer la masse molaire moléculaire de A, puis ses formules brute et semi développée.
2. Il se polymérise pour donner un plastique qui est utilisé sous forme de fils ou de films : le fluorure de polyvinylidène. Ecrire le motif du polymère.
3. A est aussi utilisé avec l'hexafluoropropène, noté B, pour donner un copolymère, le « Viton A ».

Sachant qu'un copolymère est un polymère obtenu par une polyaddition faisant intervenir deux monomères A et B et que, dans ce cas, il se forme un copolymère de formule -A-B-A-B-A-B-. Ecrire une formule possible pour le motif du « Viton A ».

## D-CORRIGE D'EXERCICES

### EXERCICE 3

- a) But - 1 - ène + dichlore  $\rightarrow$  1,2 - dichlorobutane  
b) Propyne + dihydrogène  $\xrightarrow{\text{Pd}}$  propène  
c) 2,3 - diméthylbut - 2 - ène + chlorure d'hydrogène  $\rightarrow$  2-chloro-2,3-diméthylbutane  
d) Ethylène + eau  $\xrightarrow{\text{H}_2\text{SO}_4}$  éthanol  
e) But - 2 - yne + bromure d'hydrogène  $\rightarrow$  2 - bromobut - 2 - ène  
f) Cyclobutène + dibrome  $\rightarrow$  1,2 - cyclobutane  
g)  $\text{CH}_3\text{-C}=\text{CH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow$  propanone  
h)  $\text{CH}_3\text{-CH=CH-CH}_3 + \text{HCl} \rightarrow$  2-chlorobutane  
i)  $\text{CH}_2\text{=CH-CH}_3 + \text{Cl}_2 \rightarrow$  1,2-dichloropropane  
j)  $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-C}=\text{CH} + \text{H}_2 \xrightarrow{\text{Pt}} \text{butane}$

### EXERCICE 5

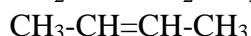
- 1.\*  $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)\text{-CH}(\text{CH}_3)\text{-CH}_3$   
\*  $\text{CH}_3\text{-C}(\text{CH}_3)=\text{C}(\text{CH}_3)\text{-CH}_3$   
2. Formule précise de A :  $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)\text{-CH}(\text{CH}_3)\text{-CH}_3$   
3. A ne présente pas l'isométrie Z/E
- $$\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)\text{-CH}(\text{CH}_3)\text{-CH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \begin{cases} \text{CH}_3 - \text{C}(\text{OH})(\text{CH}_3) - \text{CHCH}_3 - \text{CH}_3 & \text{Majoritaire} \\ \text{CH}_2\text{OH} - \text{CH}(\text{CH}_3) - \text{CHCH}_3 - \text{CH}_3 \end{cases}$$

### EXERCICE 7

1. Formule générale :  $\text{C}_n\text{H}_{2n}$ . La masse molaire ne peut pas être calculée

2. Formule brute de A :  $\text{C}_4\text{H}_8$

Formules semi développées :



3. A :  $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)\text{-CH}_3$

B :  $\text{CH}_3\text{-C}(\text{CH}_3)\text{OH-CH}_3$

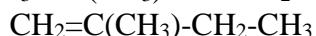
C :  $\text{CH}_3\text{-CHOH-CH}_2\text{-CH}_3$

### EXERCICE 14

1.1 Formule brute de D :  $\text{C}_5\text{H}_{12}$

1.2 A, B et C sont insatursés

Formules semi développées :



1.3 D :  $\text{CH}_3\text{-CH}(\text{CH}_3)\text{-CH}_2\text{-CH}_3$  méthylbutane

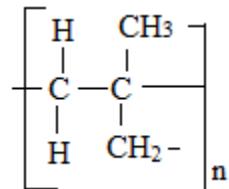
2.1

A :  $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)\text{-CH}_2\text{-CH}_3$  2-méthylbut-1-ène

B :  $\text{CH}_3\text{-CH}(\text{CH}_3)\text{-CH=CH}_2$  3-méthylbut-1-ène

C :  $\text{CH}_3\text{-C}(\text{CH}_3)=\text{CH-CH}_3$  2-méthylbut-2-èn

2.2 Motif du polymère :



## **EXERCICE 17**

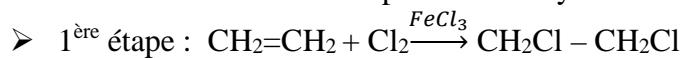
B.1 Formule générale :  $C_xH_yCl_z \Rightarrow \frac{12x}{38,4} = \frac{y}{4,8} = \frac{35,5z}{56,8}$

$\Rightarrow y = 3z$  et  $x = 2z$  en posant  $z = n$  on obtient la composition molaire suivante :  $(C_2H_3Cl)_n$

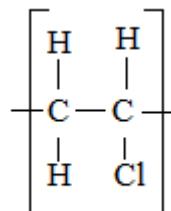
Le motif le plus simple correspondant est :

Le polymère est polychlorure de vinyle (P.C.V.)

B.2 A partir de l'éthylène :



A partir de l'acétylène :



## **CHAPITRE C4 COMPOSES AROMATIQUES**

### **A-OBJECTIFS**

Préciser la structure de la molécule de benzène.

Citer quelques composés aromatiques.

Rappeler les caractéristiques des réactions d'addition et de substitution du benzène

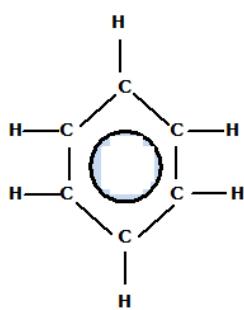
Donner quelques utilisations des composés aromatiques

Prendre des mesures de sécurité lors des manipulations.

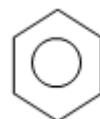
### **B-L'ESSENTIEL DU COURS**

Le benzène est un hydrocarbure insaturé de formule  $C_6H_6$ .

Sa structure est plane : les 6 atomes de carbone et les 6 atomes d'hydrogène ont leur noyau situé dans le même plan ;



Structure de la molécule de benzène



Représentation du noyau benzénique

Un noyau benzénique comprend 6 atomes de carbone placés au sommet d'un hexagone régulier.

Les 6 atomes de carbone établissent des liaisons de la manière suivante :

-chaque atome de carbone engage 3 électrons dans 3 liaisons de covalence dont 2 avec les carbones qui lui sont proches ;

-chaque atome de carbone apporte un électron à un nuage électronique appartenant à tout le cycle.

On représente le noyau benzénique comme indiqué ci-contre :

Tout composé contenant au moins un noyau benzénique appartient à la famille des composés aromatiques.

Les réactions d'additions rares et difficiles par opposition aux réactions de substitution nombreuses et faciles à réaliser chez les composés aromatiques sont une conséquence de la grande stabilité du noyau benzénique.

L'utilisation des composés aromatiques est très répandue (insecticides, solvants, colorants, explosifs, etc...).

## C-EXERCICES

### EXERCICE 1

1. Ecrire les formules semi développées des hydrocarbures benzéniques répondant aux formules brutes suivantes puis nommer les :

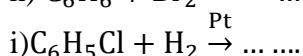
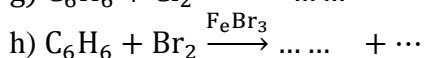
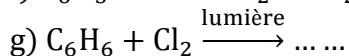
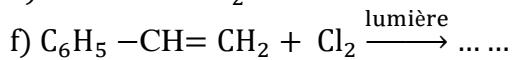
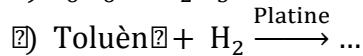
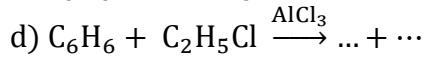
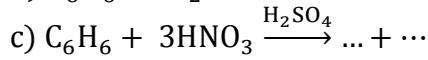
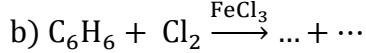
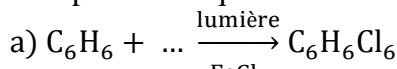
a) C<sub>7</sub>H<sub>8</sub> ; b) C<sub>8</sub>H<sub>10</sub> ; c) C<sub>9</sub>H<sub>12</sub> ; d) C<sub>10</sub>H<sub>8</sub> (deux noyaux benzéniques)

2. Ecrire la formule semi-développée des composés suivants:

- a) 1,2-diméthylbenzène ; b) orthodiméthylbenzène ;  
c) paradibromobenzène ; d) métadichlorobenzène ;  
e) 1-bromo-2,6-dinitrobenzène ; f) 1,2,5-trichlorobenzène ;  
g) 1,3,5-trinitrobenzène ; h) 2,4,6-trinitrotoluène.

### EXERCICE 2

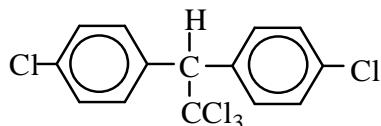
Compléter les équations des réactions suivantes :



### **EXERCICE 3**

Le dichlorodiphényltrichloroéthane (D.D.T.) est un insecticide très toxique (il est d'ailleurs interdit dans plusieurs pays). Sa formule développée est donnée ci-contre :

1. Ecrire sa formule brute puis calculer sa masse molaire moléculaire.
2. Calculer le pourcentage massique du chlore dans le D.T.T.



### **EXERCICE 4**

Le 2, 4, 6-trinitrotoluène est un explosif obtenu par réaction de nitration sur le toluène.

- a) Ecrire la formule du 2,4,6-trinitrotoluène puis écrire l'équation -bilan de la réaction.
- b) Déterminer la masse de toluène nécessaire pour obtenir 100 g de cet explosif si le rendement de la réaction est 60%.

### **EXERCICE 5**

On considère un mélange d'hydrocarbures renfermant du benzène et un alcène. La combustion complète d'une masse  $m_1 = 64,5$  g de ce mélange donne 211,2g de dioxyde de carbone et 59,4g d'eau. D'autre part, l'hydrogénéation d'une masse  $m_2 = 1$  g de ce mélange nécessite  $628\text{cm}^3$  de dihydrogène (volume mesuré dans les C.N.T.P.).

Déterminer la composition molaire du mélange ainsi que la formule de l'alcène.

### **EXERCICE 6**

On réalise la combustion complète de 1 kg de benzol (mélange d'hydrocarbures aromatiques comportant en masse 80% de benzène ; 15% de toluène et 5% de xylène).

1. Ecrire les équations chimiques des réactions de combustion.
2. Déterminer le volume de dioxygène mesuré dans les C.N.T.P., nécessaire à cette combustion complète. En déduire le volume d'air correspondant.

### **EXERCICE 7**

Un composé A de formule brute  $C_8H_8$  possède les propriétés suivantes:

- A peut être facilement nitré.
- A réagit spontanément avec le dichlore.
- Par hydrogénéation de A on obtient un composé saturé de formule  $C_8H_{16}$ .

En déduire la formule précise de A.

### **EXERCICE 8**

Le stilbène de formule brute  $C_{14}H_{12}$  a les propriétés suivantes:

- Il décolore l'eau de brome.
- Par hydrogénéation totale, 18g de stilbène fixe 15,68 L de dihydrogène.

1. Que peut-on déduire des renseignements précédents?
2. Montrer que ces renseignements sont compatibles avec la formule  $C_6H_5-CH=CH-C_6H_5$ . Indiquer le nom systématique du stilbène.

### **EXERCICE 9**

Le craquage est un traitement qui consiste à «casser» les molécules des produits pétroliers lourds et à les recomposer en molécules de produits plus légers, donc plus volatils.

On réalise le craquage catalytique du 2-butyl-1,4-diméthylcyclohexane dans des conditions telles que l'on obtienne essentiellement deux hydrocarbures A et B.

- A est un hydrocarbure aromatique de formule brute C<sub>8</sub>H<sub>10</sub>.
  - B réagit mole à mole et sans catalyseur avec le dibrome.
1. Sachant que la mononitration de A ne donne qu'un seul produit C. Déterminer complètement A et C.
  2. L'hydratation de B donne deux produits D et E (produit majoritaire). Identifier les composés B, D et E
  3. Ecrire les équations des deux réactions précédentes.

### **EXERCICE 10**

Par substitution du brome sur le benzène, on fabrique du 1,2-dibromobenzène.

1. Ecrire les deux réactions qui permettent d'aboutir à ce produit. Préciser les conditions expérimentales.
2. On veut fabriquer une masse m = 5,0 g de 1,2-dibromobenzène. Sachant que le rendement global de l'équation est égal à 40 %, calculer :
  - a. La masse de benzène nécessaire.
  - b. Le volume de dibrome (supposé gazeux) utilisé.

Le volume molaire dans les conditions de l'expérience est: V<sub>m</sub> = 24 L.mol<sup>-1</sup>

### **EXERCICE 11**

On réalise la mono nitration du toluène

1. Ecrire l'équation bilan de la réaction et la formule semi-développée du composé obtenu sachant que la nitration s'effectue surtout en position para. Préciser les conditions expérimentales.
2. Le para nitrotoluène est un liquide de masse volumique 1100 kg.m<sup>-3</sup>. Déterminer la quantité de matière totale de nitrotoluène que l'on peut fabriquer à partir de 100 kg de toluène sachant que le rendement de la réaction est de 90%.
3. En réalité, il se forme 2% de méta nitrotoluène et 0,5% d'ortho nitrotoluène. Calculer alors le volume de para nitrotoluène obtenu.

### **EXERCICE 12**

1. En présence de chlorure d'aluminium, le benzène réagit sur le chloroéthane pour donner un dégagement de chlorure d'hydrogène et un hydrocarbure A, dont le pourcentage massique en carbone est de 90,6%.
  - 1.1. Quelle est la formule brute de A ?
  - 1.2. Ecrire l'équation-bilan de la réaction. Ecrire la formule semi développée de A. Nommer A.
2. En présence d'acide sulfurique, A réagit avec l'acide nitrique (HNO<sub>3</sub>) pour donner un composé organique B contenant en masse 14,28 % d'azote.  
Ecrire l'équation-bilan de la réaction. Ecrire la formule semi développée de B. Nommer B.
3. Par chauffage en présence d'un catalyseur, A se déshydrogène facilement en C. Le produit C obtenu comporte 92,3 % (en masse) de carbone. Quelle est sa formule semi développée ?
4. Le corps C se polymérise très facilement. Quel est le motif du polymère obtenu ?

### **EXERCICE 13**

1. En présence de chlorure d'aluminium (AlCl<sub>3</sub>), le benzène réagit sur le monochloroéthane pour donner un composé organique A, dont le pourcentage en masse de carbone est de 89,55 %.

- 1.1 Déterminer la formule brute du composé A puis écrire toutes ses formules semi développées possibles et les nommer.
  - 1.2 En utilisant les formules brutes, écrire l'équation bilan de la réaction.
  - 1.3 Déterminer la formule semi développée précise de A sachant que sa mononitration ne peut donner naissance qu'à un seul isomère.
2. Dans un tube à essais, on introduit quelques centimètres cubes du composé A puis quelques gouttes de dibrome liquide. Le mélange homogène et orangé obtenu, n'évolue pas dans l'obscurité. On répartit ce mélange dans deux tubes T<sub>1</sub> et T<sub>2</sub>.
- Dans le tube T<sub>1</sub> on ajoute un peu de poudre de fer : une réaction se produit immédiatement et le gaz qui se dégage rougit un papier pH humide placé à l'extrémité du tube.
  - Dans le tube T<sub>2</sub> on n'ajoute rien mais on place le tube au soleil : la décoloration du mélange se fait progressivement avec le même dégagement gazeux acide que précédemment.
- Interpréter ces deux observations et écrire les équations-bilans des deux réactions mises en jeu.

### **EXERCICE 14**

Un hydrocarbure A, de formule C<sub>14</sub>H<sub>10</sub> possède deux noyaux benzéniques sans « coté » commun. Soumis à une hydrogénéation catalytique sur palladium désactivé, A donne l'hydrocarbure B de formule C<sub>14</sub>H<sub>12</sub>. B, peut, à son tour, être hydrogéné à la température et à la pression ordinaire sur nickel divisé : on obtient un composé C de formule C<sub>14</sub>H<sub>14</sub>.

C soumis à une hydrogénéation sur du platine, à température et pression élevées, conduit à un hydrocarbure D de formule C<sub>14</sub>H<sub>26</sub>. Lorsque, par ailleurs, l'hydrocarbure C est placé à la lumière en présence » de dichlore, il donne naissance à un produit monochloré unique E et un dégagement de chlorure d'hydrogène.

1. En déduire la formule semi développée de chacun des composés A, B, C, D et E.
2. Sachant que l'hydrogénéation catalytique sur palladium désactivé du but-2-yne conduit exclusivement au but-2-ène (Z), et que ce résultat est généralisable, en déduire la nature (Z) ou (E) de celui des corps A, B, C ou E qui possède ce type d'isomérie.
3. Ecrire les équations bilan de toutes les réactions. Dire pour chacune d'elle, s'il s'agit d'une addition ou d'une substitution.

### **EXERCICE 15**

Dans 10 mL d'un mélange de benzène et de styrène à doser, on introduit un peu de bromure de fer (III) puis, goutte à goutte et en agitant, du dibrome pur tant que la coloration brun-rouge ne persiste pas. Le dégagement gazeux qui se produit simultanément est envoyé à barboter dans une solution de nitrate d'argent, où il provoque la formation d'un précipité blanc jaunâtre.

On admettra que ces conditions opératoires ne permettent pas les polysubstitutions sur les noyaux benzéniques. Le volume de dibrome versé est de 8,4mL ; le précipité blanc est filtré, séché et pesé : sa masse est de 19,1 g.

1. Quelles sont les réactions mises en jeu dans cette manipulation ?
2. Déterminer les compositions molaires et volumiques de l'échantillon étudié.
3. Sachant que la masse volumique du benzène est de 880 kg.m<sup>-3</sup>, déterminer celle du styrène.  
Donnée : masse volumique du dibrome :  $\rho = 3250 \text{ kg.m}^{-3}$

### **EXERCICE 16**

1. Le xylène est le nom courant du diméthylbenzène. Combien a-t-il d'isomères?
2. Le propène peut fixer une molécule de chlorure d'hydrogène. Quelles sont les formules semi développées des deux produits que l'on peut obtenir ? En fait, on obtient un seul corps : le plus symétrique des deux. Indiquer son nom systématique.

3. Traité par le corps obtenu en 2. En présence de chlorure d'aluminium anhydre, le métaxylène donne une réaction de substitution au cours de laquelle un groupe isopropyle  $(CH_3)_2CH$ - remplace un atome d'hydrogène du cycle benzénique. Combien d'isomères peut-on obtenir ? Compte tenu de « l'encombrement » du groupe isopropyle, quel sera l'isomère le plus abondant ?

4. La nitration de cet isomère conduit à un produit dont la composition centésimale massique est la suivante : C : 46,6% ; H : 4,6% ; N : 14,8% ; O : 33,9%.

Déterminer sa masse molaire ; sa formule brute et sa formule semi développée.

Ce corps, qui possède une odeur prononcée de musc, est connu en parfumerie sous le nom de musc xylène.

### **EXERCICE 17**

On veut hydrogénérer un composé aromatique A comportant deux noyaux benzéniques en le mélangeant avec le dihydrogène.

1. L'hydrogénéation peut en une première étape n'affecter que l'un des cycles dans une certaine condition de température et de pression ; on obtient alors un hydrocarbure B possédant un noyau benzénique rattaché par deux atomes de carbone liés à un squelette carboné de quatre atomes de carbone tétravalents. Ce corps B s'appelle la tétraline. Ecrire l'équation-bilan de cette réaction d'hydrogénéation en utilisant les formules semi-développées, puis les formules brutes des corps A et B.

1. L'hydrogénéation peut se poursuivre si les conditions de température et de pression évoluent, on obtient alors un composé C appelé la décaline.

1.1 Ecrire l'équation-bilan de l'hydrogénéation de B en C en utilisant les formules semi-développées, puis les formules brutes de B et C.

1.2 Faire le bilan global de l'hydrogénéation de A en C.

2. On veut hydrogénérer une masse  $m = 2,5$  tonnes du corps A en le mélangeant avec un volume  $V = 2,25 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  de dihydrogène dans les conditions où le volume molaire des gaz vaut  $V_m = 25 \text{ L.mol}^{-1}$ . Au bout d'un certain temps, la décaline apparaît ; on la traite, la pèse et on obtient une masse  $m'$ . Déterminer la valeur de  $m'$ .

## **D-CORRIGE D'EXERCICES**

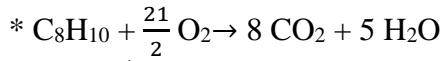
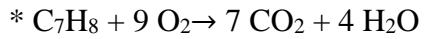
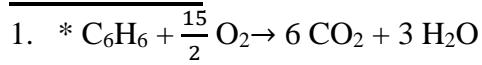
### **EXERCICE 3**

1. Formule brute de la DDT:  $C_{14}H_9Cl_5$

$M=354,5 \text{ g.mol}^{-1}$

2. %Cl=50%

### **EXERCICE 6**

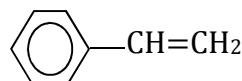


2.  $V(O_2) = \left( \frac{15m_{\text{benzène}}}{2M_{\text{benzène}}} + \frac{9m_{\text{toluène}}}{M_{\text{toluène}}} + \frac{21m_{\text{xylène}}}{2M_{\text{xylène}}} \right) \cdot V_m$

A.N:  $V(O_2) = 2,16 \cdot 10^3 \text{ L}$

## EXERCICE 7

Formule semi développée de B:

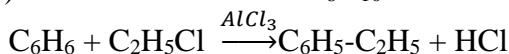


## EXERCICE 10

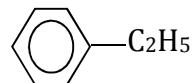
1.  $\text{C}_6\text{H}_6 + \text{Br}_2 \xrightarrow{\text{lumière}} \text{C}_6\text{H}_5\text{Br} + \text{HBr}$
2.  $\text{C}_6\text{H}_5\text{Br} + \text{Br}_2 \xrightarrow{\text{lumière}} \text{C}_6\text{H}_4\text{Br}_2 + \text{HBr}$
2.  $m_{\text{benzène}} = 4,13\text{g} \quad V(\text{Br})_2 = 1,27\text{L}$

## EXERCICE 12

- 1) Formule brute de A:  $\text{C}_8\text{H}_{10}$



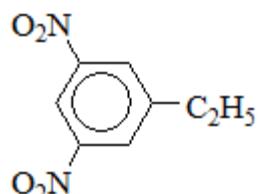
Formule semi développées de A: éthylbenzène



- 2) Formule brute de B:  $\text{C}_8\text{H}_8\text{N}_2\text{O}_4$



Formule semi développée de D:



Nom de D: 1-éthyl-3,5-dinitrobenzène

- 3) Formule semi développée de C:

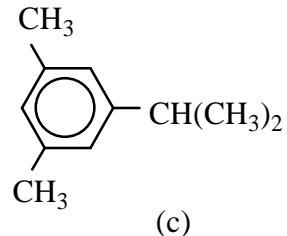
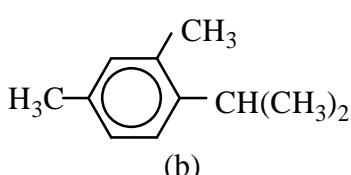
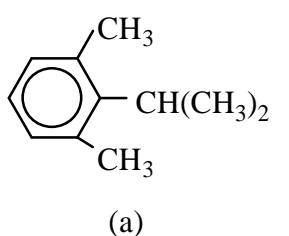
- 4) Motif du polymère:  $\text{---}(\text{CH}_2\text{-CHC}_6\text{H}_5)\text{---}$

## EXERCICE 16

1. Trois isomères : Orthoxylène ; métaxylène ; paraxylène
2.  $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{Cl}$  (a)       $\text{CH}_3\text{-CHCl-CH}_3$  (b)

Le plus symétrique est l'isomère (b) son nom est le 2-chloropropane

3.

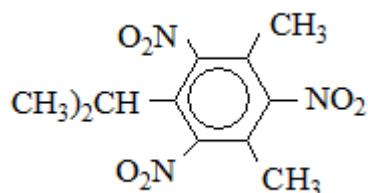


(C)=1,3-diméthyl-5-isopropylbenzène est le plus abondant

$$4. M=283\text{g.mol}^{-1}$$

Formule brute :  $\text{C}_{11}\text{H}_{13}\text{O}_6\text{N}_3$

Formule semi développée :



# CHAPITRE C 5 COMPOSES ORGANIQUES OXYGENES

## A-OBJECTIFS

Donner les groupements fonctionnels et formules générales des composés oxygénés : alcools, aldéhydes, éther-oxydes, cétones, acides carboxyliques, esters.

Réaliser des tests d'identification des aldéhydes et des cétones

Appliquer les règles de nomenclature pour ces composés.

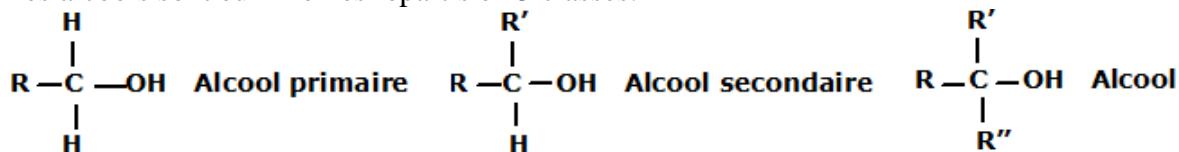
## B-L'ESSENTIEL DU COURS

Les composés organiques oxygénés renferment l'élément oxygène en plus du carbone et de l'hydrogène. Ces composés peuvent se répartir en 3 catégories.

- Première catégorie :

Le groupe caractéristique contient un atome d'oxygène établissant deux liaisons covalentes simples. Dans cette catégorie, on trouve les éthers-oxydes et les alcools.

Les alcools sont eux-mêmes répartis en 3 classes.



R, R' et R'' sont des groupes alkyles (monovalents). A noter que pour l'alcool primaire R peut être un atome d'hydrogène.

Les éthers-oxydes répondent à la formule générale R-O-R'

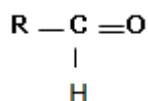
R et R' sont des groupes monovalents

- Deuxième catégorie :

Le groupe caractéristique contient un atome d'oxygène établissant une double liaison.

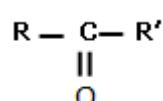
Dans ce groupe on distingue les aldéhydes et les cétones.

Les aldéhydes et cétones ont pour formules générales :



**Aldéhyde**

R est un groupe monovalent.



**Cétone**

Les cétones répondent à la formule générale  
R et R' sont des groupes monovalents.

- Troisième catégorie :

Le groupe caractéristique contient deux atomes d'oxygène. L'un établit 2 liaisons simples, l'autre une double liaison. On trouve dans ce groupe les esters et les acides carboxyliques.

La formule d'un acide carboxylique s'écrit R-COOH, celle d'un ester R'-COO-R''.

Les aldéhydes et cétones (composés carbonylés) donnent un précipité jaune avec la DNPH. Les cétones, contrairement aux aldéhydes, ne réagissent pas avec la liqueur de Fehling, le réactif de Schiff et le nitrate d'argent ammoniacal.

## C-EXERCICES

### EXERCICE 1

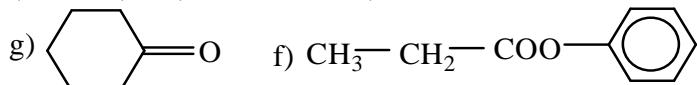
Ecrire les formules semi-développées des composés suivants:

- a) 3-méthylbutan-1-ol
- b) 2-éthoxypropane
- c) pentanal
- d) 3-méthylbutanone
- e) acide 2-méthylpropanoïque
- f) propanoate de méthyle
- g) acide 2,2-diméthylpentanoïque
- h) butanone

### EXERCICE 2

Indiquer la fonction chimique et le nom des composés suivants :

- a)  $(CH_3)_3COH$
- b)  $CH_3-(CH_2)_3-CH_2OCH_2-CH_3$
- c)  $CH_3COCH_3$
- d)  $CH_3-(CH_2)_3-C(CH_3)_2-COOH$
- e)  $CH_3C(CH_3)_2-CHO$
- f)  $CH_2OH-CHOH-CH_2OH$



### EXERCICE 3

Ecrire la formule semi-développée de tous les composés ayant pour formule brute  $C_4H_{10}O$  et les nommer.

1. Ecrire la formule semi-développée de tous les composés ayant pour formule brute  $C_5H_{10}O$ .
2. Ecrire la formule semi-développée de tous les composés ayant pour formule brute  $C_5H_{10}O_2$ .

### EXERCICE 4

1. Soit un alcool de formule générale  $R-OH$  et un éther-oxyde de formule  $R-O-R'$ . Montrer qu'on peut écrire leur formule générale sous la forme  $C_xH_{2x+2}O$ . Soit un composé de masse molaire  $74 \text{ g.mol}^{-1}$  dont l'atome d'oxygène possède deux liaisons simples. Représenter les différents isomères répondant à la formule brute.

R et R' sont des groupes alkyles ( $C_nH_{2n+1}$ ,  $C_{n'}H_{2n'+1}$ )

2. Montrer que la formule générale des aldéhydes et des cétones s'écrit sous la forme de  $C_xH_{2x}O$ .

3. Montrer que la formule générale des acides carboxyliques et des esters s'écrit sous la forme de  $C_xH_{2x}O_2$ .

4. Pour un ester de formule  $R-COOR'$ , R et R' étant des groupes alkyles.

Donner une relation qui lie n et n' sachant que la masse molaire de l'ester est de  $88 \text{ g.mol}^{-1}$ . Si  $n'=1$ , écrire la formule semi-développée de cet ester

### EXERCICE 5

1. Ecrire l'équation de la réaction d'hydratation de l'éthylène.
2. Quel est le volume d'éthylène, mesuré dans les CNTP, nécessaire à la fabrication de 1 L d'éthanol ? On supposera le rendement de l'hydratation égal à 60%.
  - Masse volumique de l'éthanol :  $790 \text{ kg.m}^{-3}$ .

## **EXERCICE 6**

L'analyse d'un composé A a donné les résultats suivants :

$$\%C = 54,5\% ; \%H = 9,1\% ; \%O = 36,4\%.$$

Le composé ne comporte qu'un atome d'oxygène par molécule. Il donne une coloration rose violacé en présence de réactif de Schiff.

Déterminer la formule et le nom de A.

## **EXERCICE 7**

1. Ecrire la formule générale d'un alcool saturé ayant n atomes de carbone.
2. Ecrire la réaction de combustion complète de cet alcool.
3. Monter que, si l'on compare les masses de dioxyde de carbone et d'eau obtenues par combustion complète de l'alcool, et si l'on connaît la valeur du rapport entre ces deux masses, on peut calculer le nombre n d'atomes de carbone
4. Application numérique : Calculer n si  $\frac{m_{CO_2}}{m_{H_2O}} = 1,83$

## **EXERCICE 8**

On hydrate de l'éthyne en présence d'un catalyseur, on obtient un corps A qui rosit le réactif de Schiff.

1. Ecrire la formule semi-développée de A et puis indiquer son nom.
2. On réalise l'oxydation ménagée du corps A ; la réaction étant totale, on obtient 500mL d'une solution acide B. On prélève 20mL de la solution B que l'on dose par 12mL de soude de concentration 0,5M.

Déterminer :

- 2.1. La concentration molaire de la solution B.
- 2.2. Le volume d'éthyne ayant réagi sachant que le rendement de la première réaction est de 80% et que le volume molaire des gaz vaut  $24 \text{ L.mol}^{-1}$ .

## **EXERCICE 9**

On fait réagir un alcène A avec de l'eau en présence d'acide sulfurique à  $130^\circ$ . Le produit B de la réaction a pour formule brute  $C_4H_{10}O$ .

- 1) Quelle est la fonction chimique de B ?
- 2) Ecrire les formules semi-développées des différents isomères de B puis les nommer. De quel type d'isométrie s'agit-il ?

Pour identifier B, on le fait réagir avec une solution de permanganate de potassium acidifiée. Le produit C obtenu a la même chaîne carbonée que B, il donne un précipité jaune avec la D.N.P.H. mais ne réagit pas avec le réactif de Tollens.

- 3.a) Quelle est la fonction chimique de C ? Ecrire sa formule semi-développée.
- 3.b) Déterminer la formule semi-développée de B.
- 3.c) Ecrire les formules semi-développées possibles pour A et indiquer les noms des alcènes correspondants.
- 3.d) Quelle masse d'alcène A faut-il utiliser pour obtenir 3,6 g de B, sachant que le rendement de la réaction est de 30% ?

## **EXERCICE 10**

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

- 1- Quelle est la formule brute de B ?
- 2- L'alcool B contient un carbone asymétrique (carbone tétraédrique lié à 4 atomes ou 4 groupes d'atomes tous différents. Une telle molécule est dite chirale.). Identifier B.
- 3- Quels alcènes conduisent à B par addition d'eau ?

### **EXERCICE 11**

1. L'hydratation en présence d'acide sulfurique de 2,8g d'un alcène produit 3,7g d'un monoalcool saturé (on admettra que la réaction est totale).
  - 1.1. Ecrire l'équation bilan de cette réaction.
  - 1.2. Déterminer la formule brute du mono alcool.
2. On considère trois alcools A, B et C de même formule brute que le monoalcool précédent et dont on désire déterminer la formule semi développée. Pour cela on réalise les expériences suivantes :
  - 2.1. On ajoute à chacun de ces alcools une petite quantité d'une solution de dichromate de potassium acidifié par l'acide sulfurique. On observe un changement de couleur pour les solutions B et C.
  - 2.2. L'oxydation ménagée de B conduit à un composé D capable de réagir avec la liqueur de Fehling.
  - 2.3. L'oxydation ménagée de C conduit à un composé E donnant un précipité jaune avec la 2,4-DNPH et ne réagissant pas avec la liqueur de Fehling.
  - 2.4. Chauffé en présence d'un catalyseur, une molécule de B donne une molécule d'eau et une molécule d'alcène F à chaîne linéaire.
  - 2.5. Quel(s) renseignement(s) peut-on déduire de chacun des tests ?
  - 2.6. En déduire les formules semi développées des alcools A, B et C ainsi que celle de F et nommer les composés A, B, C, D, E et F.

### **EXERCICE 12**

On souhaite identifier trois alcools A, B et C contenus dans des flacons dont les étiquettes détachées portent les indications :  $C_2H_6O$  ;  $C_3H_8O$  ;  $C_4H_{10}O$ . Chacune de ces formules peut être A, B ou C.

On effectue alors les tests suivants :

- 1<sup>er</sup> test : l'oxydation des alcools par les ions dichromates montre que :
  - A ne réagit pas
  - B et C donnent respectivement les produits organiques B' et C'.
- 2<sup>ème</sup> test : les produits B' et C' donnent avec la D.N.P.H. un précipité jaune mais seul B' rosit le réactif de Schiff.
  1. Ecrire toutes les formules semi développées correspondant aux formules brutes  $C_2H_6O$  ;  $C_3H_8O$  et  $C_4H_{10}O$ .
  2. Indiquer la fonction chimique des composés B' et C'
  3. En déduire la classe des alcools A, B et C.
  4. Identifier les alcools A, B et C en donnant leurs formules semi développées leurs noms.
  5. On réalise maintenant l'oxydation ménagée d'un isomère ramifié par un excès de permanganate de potassium. On obtient un composé D qui rougit un papier pH.
- 5.1 En déduire la formule chimique de D.
- 5.2 Quels sont le nom et la formule semi développée de D ?
- 6. On fait réagir le composé D avec un monoalcool saturé  $A_1$  contenant n atomes de carbone, on obtient un composé organique E de masse molaire  $M = 116 \text{ g.mol}^{-1}$
- 6.1 Ecrire l'équation-bilan de la réaction.
- 6.2 Ecrire les formules semi développées de  $A_1$  et E et nommer ces composés.

### **EXERCICE 13**

Un liquide organique A de masse molaire moléculaire  $M = 72 \text{ g.mol}^{-1}$  a pour formule générale  $C_xH_yO_z$ . On vaporise une masse  $m = 18 \text{ mg}$  du composé A dans un eudiomètre contenant du dioxygène en excès. Après passage de l'étincelle et refroidissement, on constate que la

combustion a nécessité 30,8 mL d'un gaz absorbable par le phosphore et a fourni 22,4 mL d'un gaz absorbables par la potasse. Les volumes gazeux étant mesurés dans les conditions normales.

- En utilisant la formule générale de A, écrire l'équation-bilan de la réaction de combustion
- Déterminer les valeurs de x, y et z.
- Ecrire toutes les formules semi développées possibles des isomères de A sachant que A est un composé acyclique à chaîne carbonée saturée.
- Le composé A donne un test positif avec la D.N.P.H. et avec la liqueur de Fehling.
  - En justifiant, donner la formule exacte de A.
  - En déduire la formule semi développée et le nom de l'alcyne ayant conduit par hydratation à la formation du composé A.
  - Ecrire l'équation-bilan de la réaction d'hydratation.

#### **EXERCICE 14**

On dispose de quatre flacons contenant respectivement un alcool, un aldéhyde, une cétone, un acide carboxylique.

1°) Pour déterminer leur contenu, on réalise les tests suivants

Composé Réactif	A	B	C	D
Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> <sup>2-</sup> acidifié	Solution orange	Solution verte	Solution verte	Solution orange
D.N.P.H.	Solution jaune	Solution jaune	Précipité jaune	Précipité jaune
Liqueur de Fehling	Solution bleue	Solution bleue	Précipité rouge-brûlée	Solution bleue

indiquer en justifiant, les fonctions des corps A, B, C, D.

2°) L'action du dichromate de potassium en milieu acide sur B conduit à la formation de C et de A ; le composé B est un corps saturé contenant trois atomes de carbone. Donner les formules développées et les noms des corps A, B, C et D.

3°) On fait agir A sur B. Ecrire l'équation de la réaction et indiquer le nom du produit organique formé.

#### **EXERCICE 15**

Un ester A a pour formule R – COO – R'. R et R' étant des radicaux alkyles. La masse molaire de cet ester A est M = 116 g .mol<sup>-1</sup>. Par hydrolyse de cet ester A, on obtient deux composés B et C.

1°) Ecrire l'équation chimique traduisant la réaction d'hydrolyse.

2°) Le composé B obtenu est un acide carboxylique. On en préleve une masse m = 1,5 g que l'on dilue dans de l'eau pure. La solution obtenue est dosée par une solution d'hydroxyde de sodium de concentration

C = 2 mol.L<sup>-1</sup>. L'équivalence a lieu lorsqu'on a versé V = 12,5cm<sup>3</sup> de la solution d'hydroxyde de sodium.

- Quelle est la masse molaire du corps B ?
- Ecrire sa formule semi-développée et indiquer son nom.

3°) Le composé C a pour formule brute  $C_4H_{10}O$ . Donner ses différents isomères.

a) En déduire les différentes formules semi-développées possibles pour l'ester A. Préciser dans chaque cas le nom de l'ester.

4°) L'oxydation de C conduit à un composé D qui donne avec la D.N.P.H un précipité jaune mais est sans action sur le réactif de schiff.

a) Ecrire les formules semi-développées D et de C et indiquer leurs noms.

b) Ecrire la formule semi-développée de l'ester.

N.B : Une réaction d'hydrolyse correspond à l'action de l'eau sur un ester, elle donne un acide carboxylique et un alcool.

### **EXERCICE 16**

1) La combustion complète de 1,5 g d'un ester organique à chaîne carbonée saturée non ramifiée produit 2,673 g de dioxyde de carbone et 1,08 g d'eau.

1.1) Ecrire la formule générale d'un ester à chaîne carbonée saturée en fonction du nombre n d'atomes de carbone.

1.2) Déterminer la formule brute de cet ester.

1.3) Quelles sont les formules semi développées possibles de cet ester ?

1.4) Identifier l'ester sachant que son hydrolyse donne un acide carboxylique possédant un atome de carbone.

2) Une masse de 1 g de cet ester est traitée par de l'eau. Au bout de quelques mois, l'acide formé est dosé par une solution de soude de concentration molaire  $C_B = 0,5 \text{ mol.L}^{-1}$  en présence de phénolphthaleine. Il faut verser 9 cm<sup>3</sup> de soude pour faire virer l'indicateur. Calculer la masse d'ester restant dans le mélange. En déduire le pourcentage d'ester hydrolysé.

### **EXERCICE 17**

1) Un composé D de formule générale  $C_xH_yO$ , de masse molaire  $M = 72 \text{ g.mol}^{-1}$ , donne un précipité jaune avec la D.N.P.H.

a) Quelles sont les fonctions chimiques possibles pour D? Justifier.

b) La combustion complète de 7,2 g de D donne 17,6 g de dioxyde de carbone et 7,2 g d'eau.

- En déduire la formule brute de D.
- Ecrire les formules semi-développées correspondantes et les nommer.
- Sachant que D est sans action sur la liqueur de Fehling, déterminer D.

1) L'hydratation en présence de sel mercurique de 1,8 g d'un alcyne A produit 2,4 g d'un composé oxygéné B.

2) Ecrire l'équation bilan de cette réaction.

3) Déterminer la formule brute de B.

4) Indiquer les différentes formules semi développées possibles de B en précisant leur fonction chimique.

5) Le composé B réagit avec la 2,4-D.N.P.H. mais est sans action sur le réactif de Schiff ; en déduire, en le justifiant, la formule semi développée de B et son nom. Donner la formule semi développée et le nom de l'alcyne A.

### **EXERCICE 18**

La combustion complète d'une masse  $m = 1,28 \text{ g}$  d'un composé organique A de formule  $C_xH_yO$  a donné 2,607 L de dioxyde de carbone. D'autre part cette même masse étant vaporisée, on a trouvé que la vapeur occupe exactement un volume de 372,3 mL.

1. Quelle est la formule brute de ce composé A ?

2. L'étude des propriétés chimiques de A, indique la présence d'un noyau aromatique et d'une fonction alcool. Quels sont la formule semi-développée et le nom du composé A ?

3. On fait subir au composé A une oxydation ménagée et on obtient un produit B qui rosit le réactif de Schiff. A quelle famille appartient le composé B ? Donner sa formule semi-développée et son nom.
  4. Une masse  $m' = 15$  g de B, laissée à l'air libre, s'oxyde en présence de lumière et donne lentement naissance à un produit cristallisé blanc C qui donne en solution une couleur jaune avec le bleu de bromothymol (B.B.T).
- 4.1 Quels sont la formule semi-développée et le nom du composé C ?
- 4.2 Sachant qu'une mole de B donne une mole de C et que le rendement de la réaction est de 80%. Déterminer la masse du composé C formé.
- Donnée : le volume molaire des gaz dans les conditions de l'expérience est  $V_m = 31,4 \text{ L.mol}^{-1}$

### **EXERCICE 19**

1) Un alcool a pour formule  $C_nH_{2n+2}O$ .

On réalise l'oxydation ménagée de 1,48 g de l'un de ses isomères, de classe primaire, par une solution acidifiée de dichromate de potassium en excès. Le produit de la réaction est intégralement recueilli dans une fiole jaugée de 100 mL et on complète jusqu'au trait de jauge. On obtient ainsi une solution (S). On prélève 10 mL de (S) qu'on dose par une solution d'hydroxyde de sodium de concentration  $C_b = 10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$ . L'équivalence acido-basique est atteinte lorsque le volume d'hydroxyde de sodium versé est de 20 mL.

- a) Déterminer la formule brute de l'alcool.
  - b) Ecrire les formules semi-développées et les noms possibles de l'alcool traité par la solution de dichromate de potassium.
  - c) Ecrire les formules-semi-développées et les noms des autres alcools isomères. Préciser la classe de chaque alcool.
- 2) La déshydratation des différents isomères notés A, B, C, D en présence d'un catalyseur approprié a donné les résultats suivants :

Alcool	A	B	C	D
Produit(s) obtenu(s) après déshydratation	E	F	F+G	E

Sachant que l'alcool A ne donne rien par oxydation ménagée.

Identifier les composés A, B, C, D, E, F et G en précisant leur formule semi-développée et leur nom.

*On rappelle que la déshydratation intramoléculaire d'un alcool conduit à un alcène de même chaîne carbonée.*

### **D-CORRIGE DES EXERCICES**

#### **EXERCICE 6**

Formule semi développée de A :  $\text{CH}_3\text{-CH=CH-CH}_3$

Formule semi développée de B :  $\text{CH}_3\text{-CHOHCH}_2\text{-CH}_3$  butan-2-ol

$\text{CxHyOz}$

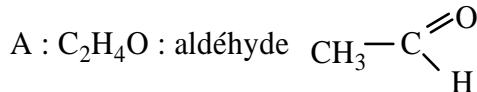
$$\% \text{C} = 54,5\% = 12x/M$$

$$\% \text{H} = 9,1\% = y/M$$

$$\% \text{O} = 36,4\% = 16z/M = 16/M \text{ car } z=1$$

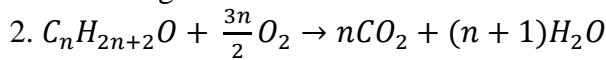
$$\frac{54,5}{36,4} = \frac{12x}{16z} \Rightarrow x = \frac{872}{436,8} = 2$$

$$\frac{9,1}{36,4} = \frac{y}{16} \Rightarrow y = 4$$



### EXERCICE 7

1. Formule générale : C<sub>n</sub>H<sub>2n+2</sub>O



3.  $\frac{n(\text{CO}_2)}{n} = \frac{n(\text{H}_2\text{O})}{n+1} \Leftrightarrow \frac{m(\text{CO}_2)}{m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{n}{n+1} \frac{M(\text{CO}_2)}{M(\text{H}_2\text{O})}$

4. Application numérique : Si  $\frac{m(\text{CO}_2)}{m(\text{H}_2\text{O})} = 1,83 \Leftrightarrow n = 3$

### EXERCICE 8

1. Formule semi développée de A : CH<sub>3</sub>CHO

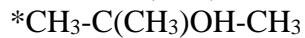
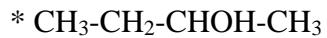
2.1 C<sub>a</sub> =  $\frac{C_V}{V_a} = 0,3 \text{ mol. L}^{-1}$

2.2 V<sub>éthanol</sub> =  $\frac{C_a V_t V_m}{R} 100 = 4,5 \text{ L}$

### EXERCICE 9

1. B est un alcool

2. Formules semi développées possibles de B :

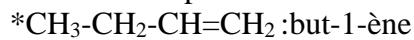


Isoméries de position et de chaîne

3.a C est une cétone. Donc sa formule est CH<sub>3</sub>-CH<sub>2</sub>-CO-CH<sub>3</sub>

3.b Formule précise de B : CH<sub>3</sub>-CH<sub>2</sub>-CHOH-CH<sub>3</sub>

3.c Formules possibles de A :

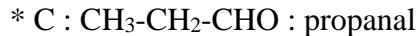
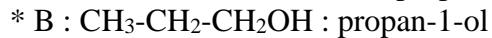


3.d m<sub>A</sub> =  $\frac{m_B M_A}{r M_B} 100 = 9,08 \text{ g}$

### EXERCICE 14

1. A est un acide carboxylique ; B est alcool ; C'est un aldéhyde et D est une cétone.

2. Formules des composés :



Le composé organique formé est le propanoate de propyl

# **CHAPITRE C6 et C7 NOTION DE COUPLE OXYDANT-REDUCTEUR - CLASSIFICATION QUALITATIVE DES COUPLES OXYDANT-REDUCTEUR : ION METALLIQUE /METAL**

## **A-OBJECTIFS**

Rappeler les définitions : réduction, oxydation, oxydant, réducteur

Expliquer la corrosion des métaux à l'air libre

Donner des exemples de couples ions métalliques-métal

Ecrire les demi-équations électroniques d'un couple oxydant-réducteur

Distinguer oxydant et réducteur

Ecrire l'équation bilan d'une réaction d'oxydoréduction

Réaliser des réactions d'oxydoréduction

Ecrire un couple d'oxydant/réducteur

Protéger les métaux

Rappeler le principe de la classification couples oxydant-réducteur ion métallique/métal

Enoncer la règle du gamma ;

Prévoir le sens de la réaction spontanée entre deux couples ions métallique/métal

Utiliser la classification pour prévoir le sens de la réaction spontanée entre deux couples ion métallique / métal ;

Utiliser la règle du gamma pour prévoir le sens de la réaction spontanée;

Interpréter les réactions d'oxydoréduction en termes d'interaction entre deux couples oxydant/réducteur ;

Ecrire les équations-bilans des réactions d'oxydoréduction.

Réaliser des réactions d'oxydoréduction pour classer des couples

## B-L'ESSENTIEL DU COURS

### • RAPPEL : IDENTIFICATION DE QUELQUES IONS METALLIQUES

Cation M <sup>n+</sup> couleur	Hydroxyde M(OH) <sub>n</sub> aspect couleur
Cu <sup>2+</sup> bleu	Cu(OH) <sub>2</sub> précipité bleu gélatinieux
Zn <sup>2+</sup> incolore	Zn(OH) <sub>2</sub> précipité blanc
Fe <sup>2+</sup> vert pale	Fe(OH) <sub>2</sub> précipité verdâtre
Fe <sup>3+</sup> jaune orangé	Fe(OH) <sub>3</sub> précipité rouille

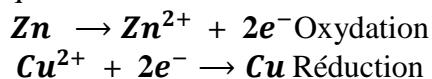
### • REACTION D'OXYDOREDUCTION

#### Exemple : action du zinc sur le sulfate de cuivre

Lorsqu'on plonge une lame de zinc dans une solution de sulfate de cuivre, il se produit une réaction au cours de laquelle :

- Les ions Cu<sup>2+</sup> ont été réduits en Cu.
- Le zinc (Zn) a été oxydé en ion Zn<sup>2+</sup>.

Les demi-équations électroniques s'écrivent :



L'équation bilan s'écrit :

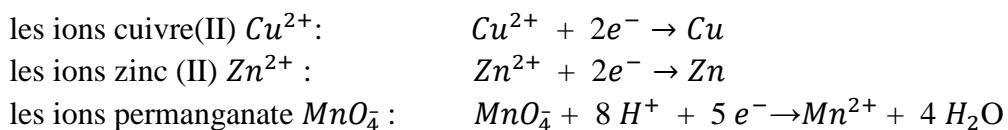


Il y a eu transfert d'électrons des atomes de zinc aux ions Cu<sup>2+</sup>.

#### Oxydant

Un oxydant est une espèce chimique capable de capter un ou plusieurs électrons.

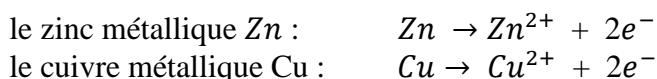
#### **Exemples d'oxydants :**



#### Réducteur

Un réducteur est une espèce chimique capable de céder un ou plusieurs électrons.

#### **Exemples de réducteurs :**





## Oxydation

Une oxydation correspond à une perte d'électron (s).

## Réduction

Une réduction correspond à un gain d'électron (s).

## Réaction d'oxydoréduction

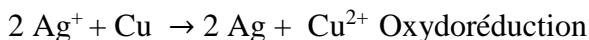
Une réaction d'oxydoréduction est un transfert d'électron (s) entre un oxydant et un réducteur. Le nombre d'électron(s) cédé(s) au cours de l'oxydation est égal au nombre d'électron(s) capté(s) au cours de la réduction.

L'oxydation et la réduction se déroulent simultanément car il n'y a pas d'électrons libres en solution

- **NOTION DE COUPLE OXYDANT/ REDUCTEUR**

### Exemple 2 : Action d'une lame de cuivre sur la solution de sulfate d'argent

Lorsqu'on plonge une lame de cuivre dans une solution de sulfate d'argent, il se produit une réaction au cours de laquelle le métal cuivre Cu est oxydé en ions métalliques  $Cu^{2+}$  qui sont responsables de la coloration bleue de la solution; et les ions  $Ag^+$  sont réduits en métal argent Ag. Il y a eu transfert d'électrons entre le métal cuivre Cu et l'ion  $Ag^+$ : c'est une réaction d'oxydoréduction.



Dans l'exemple 1, on a vu que les ions  $Cu^{2+}$  donnent le métal cuivre Cu en captant des électrons ; et dans l'exemple 2 le cuivre métallique donne les ions  $Cu^{2+}$  en cédant des électrons.

On peut résumer ces deux transformations par une demi-équation électronique:

$Cu^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Cu$  on dit que  $Cu^{2+}$  et Cu forment un couple oxydant/ réducteur noté  $Cu^{2+}/Cu$ .

- **GENERALISATION**

Une espèce chimique qui fixe un ou plusieurs électrons joue le rôle d'oxydant Ox .

Une espèce chimique qui libère un ou plusieurs électrons joue le rôle de réducteur Red

Deux entités chimiques Ox et Red forment un couple d'oxydoréduction (ou couple rédox) noté Ox/Red.

Les demi-équations équations électroniques associées aux couples s'écrivent  
 $Ox + ne^- \rightleftharpoons Red$

En solution aqueuse, la réaction d'oxydoréduction est un transfert d'électrons d'un réducteur vers un oxydant. Le réducteur est alors oxydé et l'oxydant est réduit simultanément.

Une réaction d'oxydoréduction met en jeu deux couples rédox  $Ox_1/Red_1$  et  $Ox_2/Red_2$ . Elle peut s'écrire schématiquement

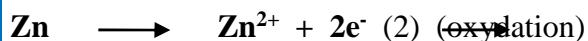


**Classement de deux couples redox :** Couples  $\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}$  et  $\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}$

Les ions  $\text{Cu}^{2+}$  peuvent oxyder le métal zinc par contre les ions  $\text{Zn}^{2+}$  n'ont aucun effet sur le métal cuivre : on dit que les ions  $\text{Cu}^{2+}$  sont **plus oxydant que les ions  $\text{Zn}^{2+}$** :

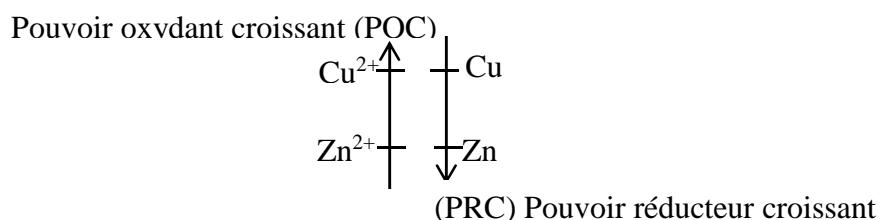


Le métal zinc peut réduire les ions  $\text{Cu}^{2+}$  par contre le métal cuivre ne peut pas réduire les ions  $\text{Zn}^{2+}$  : on dit que le pouvoir réducteur du zinc est supérieur à celui du cuivre :



La réaction spontanée d'oxydoréduction observée entre les couples  $\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}$  et  $\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}$  se produit donc entre l'oxydant le plus fort  $\text{Cu}^{2+}$  et le réducteur le plus fort  $\text{Zn}$  suivant l'équation-bilan :  $\text{Zn} + \text{Cu}^{2+} \longrightarrow \text{Zn}^{2+} + \text{Cu}$

On peut donc classer ces deux couples sur deux axes orientés en sens opposé selon le pouvoir oxydant ou réducteur croissant.



### Généralisation :

D'autres expériences qualitatives ont permis une classification électronique générale des différents couples ion métallique/métal.

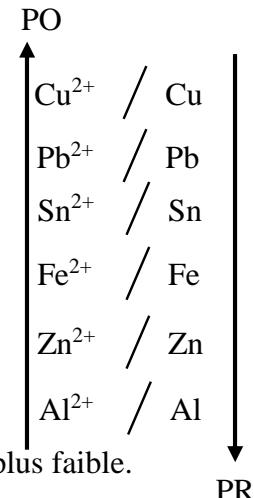
**Sens de la réaction spontanée entre espèces de deux couples redox : règle du gamma ( $\gamma$ ) :**

La règle du gamma ( $\gamma$ ) indique que dans une réaction spontanée d'oxydoréduction, l'oxydant le plus fort réagit avec le réducteur le plus fort pour donner l'oxydant le plus faible et le réducteur le plus faible.

L'équation-bilan de la réaction d'oxydoréduction s'écrit :



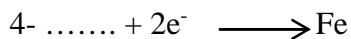
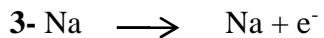
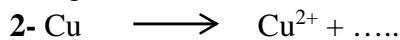
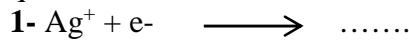
Exemple :  $\text{Cu}^{2+} + \text{Zn} \rightarrow \text{Cu} + \text{Zn}^{2+}$



## C- EXERCICES

### **EXERCICE 1 :**

- 1- Définir les termes : Oxydation, réducteur, réduction, oxydant, réaction d'oxydo-réduction.
- 2- Ecrire les demi – équations électroniques des couples suivants :  $\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}$  ;  $\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}$  ;  $\text{Al}^{3+}/\text{Al}$  ;  $\text{Sn}^{2+}/\text{Sn}$  ;  $\text{Cr}^{3+}/\text{Cr}$  ;  $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}$  ;  $\text{Ag}^+/\text{Ag}$  ;  $\text{Au}^{3+}/\text{Au}$  ;  $\text{Pb}^{2+}/\text{Pb}$ .
- 3- Compléter les demi – équations électroniques suivantes, puis préciser s'il s'agit d'une oxydation ou d'une réduction et enfin préciser également le réducteur et l'oxydant du couple qu'on écrira :



4 : Prévoir, à partir d'un raisonnement simple, les réactions possibles entre les couples ci-dessous et écrire les équations – bilan correspondantes :



**Q.5 :** Ecrire la demi – équation électronique du couple  $\text{H}_3\text{O}^+/\text{H}_2$  (ou  $\text{H}^+/\text{H}_2$ )

### **EXERCICE 2 :**

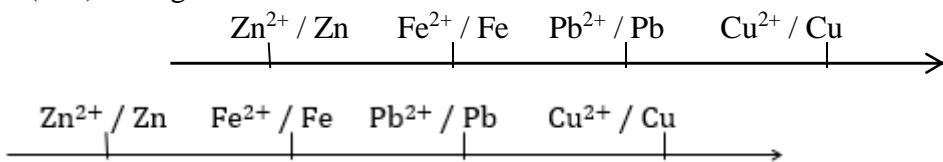
Dans une solution de nitrate de plomb, on plonge successivement et pendant plusieurs heures, une lame de cuivre, une lame de fer et enfin une lame de zinc.

1- Décrire les phénomènes observés et écrire les demi-équations électroniques et les équations bilans des réactions qui ont lieu.

**N.B. :** S'il y a réaction, on la supposera totale.

2- La solution initiale est à 0,1 mol.L<sup>-1</sup> de nitrate de plomb, son volume est de 150 mL. Calculer la concentration de l'ion métallique présent en fin d'expérience ainsi que la masse du dépôt de fer.

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



### **EXERCICE 3 :**

On fabrique 500 mL d'une solution de nitrate de plomb et de nitrate d'argent.

\* Une lame de zinc est plongée dans une moitié de cette solution ; et il se forme un dépôt métallique de masse  $m_1 = 21,15 \text{ g}$  sur la lame.

\* Dans l'autre moitié, on plonge une lame de cuivre ; le dépôt métallique est de  $m_2 = 10,80 \text{ g}$  sur la lame.

On supposera les réactions totales.

1- Préciser la nature de chacun des dépôts métalliques et écrire les équations d'oxydo-réduction correspondantes.

2- En déduire les concentrations initiales des ions  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Ag}^+$  et  $\text{NO}_3^-$ .

M(Pb) : 207 ; M(Ag) : 108 en g.mol<sup>-1</sup>

Ag Cu Pb Zn → P.R.C.

#### **EXERCICE 4 :**

On dissout m grammes de nitrate d'argent AgNO<sub>3</sub>, pur et sec dans un litre d'eau . On effectue un prélèvement de 50 ml de la solution obtenu **et** on y ajoute de la poudre de Zinc en excès

**1-Ecrire l'équation bilan de la réaction ?**

**2-Sachant que la masse d'argent libérée est de 0,33g, calculer la valeur de m.**

**3-On ajoute ensuite, dans le prélèvement après réaction et filtration de la soude. Qu'observe-t-on ? Quelle masse de précipité peut-on théoriquement obtenir ?**

#### **EXERCICE 5:**

10 g d'un mélange d'aluminium et de fer en poudre sont oxydés par une solution d'acide chlorhydrique de volume 250 mL.

**1- Ecrire les demi-équations électroniques et les équations bilan des réactions.**

**2- Sachant que la concentration des ions Al<sup>3+</sup> et Fe<sup>2+</sup> en solution sont égales lorsque l'acide a totalement oxydé les métaux, calculer la masse de chaque métal dans l'échantillon.**

En déduire le volume de dihydrogène dégagé dans les C.N.T.P. et la quantité minimale d'acide chlorhydrique utilisé. Quelle est alors la concentration minimale de l'acide à utiliser ?

M(Al) : 27 g.mol<sup>-1</sup> M(Fe) : 56 g.mol<sup>-1</sup>.

#### **EXERCICE 6:**

10 g d'un mélange de poudres de cuivre, d'aluminium et de zinc sont oxydés par de l'acide chlorhydrique en quantité suffisante.

1. Ecrire les équations bilan des réactions qui ont lieu.

2. On recueille 6,28 L de dihydrogène mesurés dans les C.N.T.P. et un résidu solide de masse 2,5 g.

Calculer la masse de chaque métal dans l'échantillon.

M(Al) : 27 g.mol<sup>-1</sup> M(Fe) : 56 g.mol<sup>-1</sup> M(Cu) : 63,5 g.mol<sup>-1</sup>

#### **EXERCICE 7 :**

1. On veut préparer 500mL d'une solution aqueuse S de sulfate de cuivre (Cu<sup>2+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) de concentration molaire volumique C = 0,1mol/L.

Déterminer la masse de sulfate de cuivre sec qu'il faut utiliser.

2. A partir de la solution S, on prépare V' = 100mL d'une solution diluée S' de sulfate de cuivre de concentration C' = 2,0.10<sup>-2</sup>mol/L. Déterminer le volume de la solution S qu'il faut prélever pour préparer cette solution S'.

3. On verse les 100mL de la solution S' dans un bêcher et on plonge dans cette solution une lame de plomb. On constate :

- la formation de cuivre métallique sur la lame de plomb ;
- la décoloration progressive de la solution ;
- une diminution de la masse de la lame de plomb.

**3.a-** Déduire de ces observations, la réaction qui s'est produite et écrire son équation-bilan.

**3.b-** Quelle masse de plomb a été consommée quand la solution est totalement décolorée ?

**4-** On récupère la lame de plomb que l'on débarrasse du dépôt de cuivre. Ensuite cette lame est plongée dans une solution de chlorure d'aluminium ( $\text{Al}^{3+}, 3\text{Cl}^-$ ). Aucun changement n'est alors observé.

A partir de cette expérience et celle de la question **2.3**, classer les couples  $\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}$  ;  $\text{Pb}^{2+}/\text{Pb}$  et  $\text{Al}^{3+}/\text{Al}$  par ordre de pouvoir oxydant croissant (P.O.C) et de pouvoir réducteur croissant (P.R.C).

### **EXERCICE 8 :**

On dissout une masse  $m_1 = 6,62\text{g}$  de nitrate de plomb  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  et une masse  $m_2 = 6,8\text{ g}$  de nitrate d'argent  $\text{AgNO}_3$  dans une fiole, que l'on complète à un litre avec de l'eau distillée.

**1-** Quels sont les ions présents en solution ? (Ne pas tenir compte des ions  $\text{OH}^-$  et  $\text{H}_3\text{O}^+$ )

**2-** Déterminer les concentrations molaires de ces différents ions présents en solution.

**3-** On effectue trois prélèvements, de la solution précédente, de volume  $V = 100\text{ mL}$  avec lesquels on effectue les expériences suivantes :

-on plonge dans le premier une lame de zinc.

-dans le second, on plonge une lame de cuivre.

-dans le troisième, une lame de d'argent.

**3.1-** Décrire dans chaque cas, ce que l'on observe.

**3.2-** Calculer la masse, si elle existe, du dépôt métallique dans chaque cas.

### **EXERCICE 9 :**

**1-** On réalise les expériences suivantes:

- On plonge une lame d'argent dans une solution de chlorure d'or ( $\text{AuCl}_3$ ). Elle se recouvre d'or.
- On plonge une lame de cuivre dans une solution de nitrate d'argent ( $\text{AgNO}_3$ ). Elle se recouvre d'argent.
- On plonge une lame de fer dans une solution de sulfate de cuivre II ( $\text{CuSO}_4$ ). elle se recouvre de cuivre.

**1.a-** Interpréter ces différentes réactions et en déduire une classification qualitative des couples  $\text{Ag}^+/\text{Ag}$ ,  $\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}$ ,  $\text{Au}^{3+}/\text{Au}$ ,  $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}$  suivant le pouvoir oxydant croissant.

**1.b-** Sachant que l'acide chlorhydrique dilué attaque le fer et non le cuivre, placer le couple  $\text{H}_3\text{O}^+/\text{H}_2$  dans la classification précédente.

**2-** On verse dans un bécher un peu de solution de nitrate d'argent et on y fait barboter du dihydrogène. Peu à peu, il apparaît de l'argent finement divisé noir.

**2.a-** Ecrire l'équation-bilan de la réaction d'oxydoréduction qui s'est produite.

**2.b-** Sachant que l'hydrogène a été préparé par action de l'acide chlorhydrique sur le zinc, avec un rendement de 100% et que seulement 10% du dihydrogène formé réagit avec le nitrate d'argent, (le reste s'échappe), quelle masse d'argent peut-on obtenir si on a consommé 4g de zinc ?

## **EXERCICE 10**

On réalise une solution de sulfate de cuivre (II) hydraté  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  en dissolvant 58g de cristaux bleus dans  $V=500\text{mL}$  de solution.

- 1-** Déterminer la concentration molaire de la solution ainsi obtenue.
- 2-** Déterminer les concentrations des ions (autres que  $\text{OH}^-$  et  $\text{H}_3\text{O}^+$ ) présents dans cette solution.
- 3-** On ajoute ensuite de la limaille de fer dans la solution.
  - 3.a-** Une réaction peut-elle avoir lieu ? Justifier.
  - 3.b-** Ecrire l'équation-bilan de la réaction.
- 4-** Déterminer la masse minimale de limaille de fer à ajouter dans un bêcher contenant  $V' = 50\text{cm}^3$  de la solution précédente si l'on veut faire disparaître la couleur bleue de la solution.
- 5-** Quelle *est* la quantité de matière d'électrons échangés ? En déduire la quantité d'électricité correspondante.
- 6-** Pendant combien de temps faut-il faire circuler un courant d'intensité  $I = 5\text{A}$  pour mettre en jeu cette quantité d'électricité ?

## **EXERCICE 11**

**2.1-** On dissout 130 g d'acétate de plomb  $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$  dans de l'eau distillée de manière à obtenir 1litre de solution .

- 2.1.a-** Calculer la concentration massique de solution ainsi obtenue. En déduire sa concentration molaire volumique.
- 2.1.b-** On verse dans un tube à essais 10 mL de la solution obtenue et on ajoute de l'aluminium en poudre en excès.  
Déterminer la concentration molaire des ions aluminium à la fin de la réaction.
- 2.2-**On dispose d'une statuette en bronze (alliage d'étain et de cuivre) de masse  $m = 6,80\text{g}$ . On plonge la statuette dans une solution d'acide chlorhydrique en excès. Le volume de gaz recueilli est de 275mL.
  - 2.2.a-** Ecrire l'équation bilan de la réaction qui s'est produite.
  - 2.2.b-** Déterminer la composition en masse du bronze.
  - 2.2.c-** A la fin de la réaction, on ajoute de la soude en excès. Le précipité obtenu est lavé puis séché. Déterminer la masse du composé obtenue.

## **EXERCICE 12**

Le duralumin est un alliage d'aluminium, de cuivre et de magnésium dont la dénomination en métallurgie est **AU4-G** : A pour aluminium ; U pour cuivre et G pour magnésium. Le chiffre 4 signifie que l'alliage contient 4% de cuivre en masse.

Pour déterminer les pourcentages massiques d'aluminium et de magnésium, on procède à l'oxydation d'une masse  $m=1\text{g}$  de duralumin par une solution d'acide chlorhydrique en excès. On obtient un volume  $V=1,192$  litre de dihydrogène (volume mesuré dans les CNTP) et un résidu solide.

- 1-** Quelle est la nature du résidu solide ?
- 2-** Ecrire les démi-équations électroniques et les équations-bilan de l'oxydation par l'acide chlorhydrique de l'aluminium et du magnésium.
- 3-** Calculer la masse totale de l'aluminium et du magnésium.

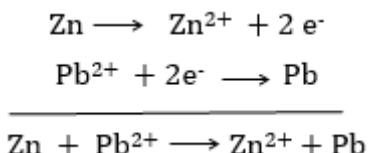
**4-** Déterminer la masse d'aluminium et celle du magnésium dans l'échantillon.

Masses molaires atomiques en g/mol : Zn= 65,4 ; Cu= 63,5 ; H= 1 ; O= 16 ; S= 32 ; N= 14 ; Ag= 108 ; Cl=35,5 ; Al= 27 ; Mg= 24,3 ; Fe= 56.

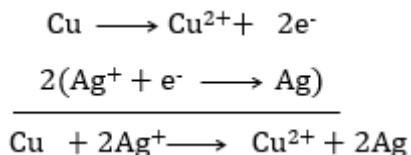
## D. CORRIGES DES EXERCICES

### EXERCICE 3 :

- 1) Pour la solution où on a trempé la lame de zinc, le dépôt métallique est le plomb



Pour la solution où on a trempé la lame de cuivre, le dépôt métallique est l'argent.

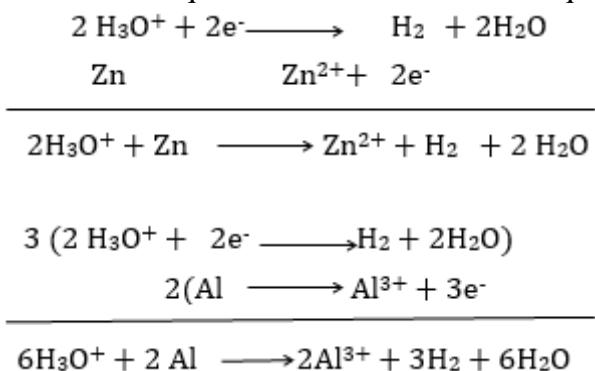


- 2) Calculons les concentrations des ions Pb<sup>2+</sup>; Ag<sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>

$$[\text{Pb}^{2+}] = \frac{m(\text{Pb})}{M(\text{Pb}) \times V} = 0,408 \text{ mol/L}; [\text{Ag}^+] = \frac{m(\text{Ag})}{M(\text{Ag}) \times V} = 0,4 \text{ mol/L}; [\text{NO}_3^-] = 1,216 \text{ mol/L}$$

### EXERCICE 6:

- 1) Ecrivons les équations-bilans des réactions qui ont lieu:



- 2) Calculons la masse de chaque métal:

$$m(\text{Cu}) = 2,5 \text{ g}; m(\text{Al}) + m(\text{Zn}) = 7,5 \text{ g}; n(\text{H}_2) = \frac{m(\text{Zn})}{M(\text{Zn})} + \frac{3m(\text{Al})}{2M(\text{Al})}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 0,015m(\text{Zn}) + 0,055m(\text{Al}) = 0,28 \\ m(\text{Zn}) + m(\text{Al}) = 7,5 \end{array} \right.$$

$$m(\text{Al}) = 4,18 \text{ g} \quad m(\text{Zn}) = 3,32 \text{ g}$$

### **EXERCICE 7:**

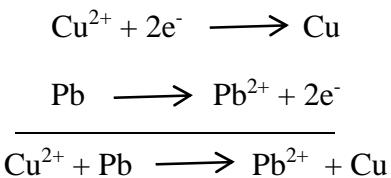
1) déterminons la masse de CuSO<sub>4</sub>

$$m(Cu^{2+}, SO_4^{2-}) = C \times V \times M(CuSO_4) = 7,975g$$

2) Déterminons le volume à prélever:

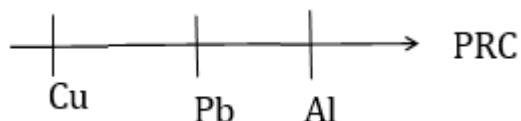
$$C_p \times V_p = C' \times V' ; V_p = 20mL$$

3) a) Equation bilan de la réaction



b) n(Cu<sup>2+</sup>) = n(Pb) ; m(Pb) = 0,414g

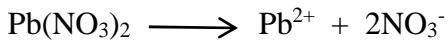
4)



### **EXERCICE 8:**

1) les ions présent dans la solution sont: Pb<sup>2+</sup>; Ag<sup>+</sup>; NO<sub>3</sub><sup>-</sup>

2) déterminons les concentrations des ions



$$[Pb^{2+}] = [Pb(NO_3)_2] = \frac{m_1}{M(Pb(NO_3)_2) \times V} = 0,02\text{mol/L}$$



$$[Ag^+] = [Ag] = \frac{m_2}{M(Ag) \times V} = 0,063\text{mol/L}$$

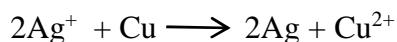
$$[NO_3^-] = 2[Pb^{2+}] + [Ag^+] = 0,103\text{ mol/L}$$

3)

a) réaction entre la lame de zinc et Pb<sup>2+</sup>



Réaction entre la lame de cuivre et Ag<sup>+</sup>

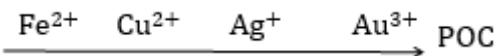


3cas : rien ne se passe

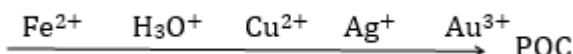
b) m(Pb) = [Pb<sup>2+</sup>]xVxM(Pb) = 0,662g ; m(Ag) = [Ag<sup>+</sup>]x V x M(Ag)= 0,68g

### **EXERCICE 9 :**

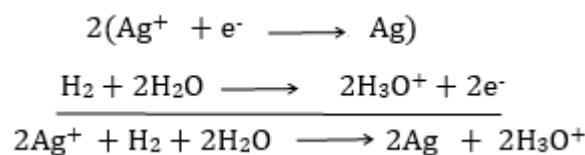
- 1) a) Il s'agit de réactions d'oxydoréduction



b)



- 2) a) Equation-bilan de la réaction :



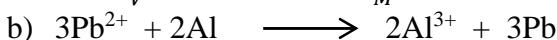
- b) calculons la masse de Ag:

$$m(\text{Ag}) = 2n(\text{H}_2) \times M(\text{Ag}) = 1,3176\text{g}$$

### **EXERCICE 11 :**

- a) Calculons la concentration massique, en déduire sa concentration molaire

$$C_m = \frac{m}{V} = 130\text{g/L} ; C = \frac{C_m}{M} = 0,4\text{mol/L}$$



$$[\text{Al}^{3+}] = \frac{2[\text{Pb}^{2+}]}{3} = 0,267\text{mol/L}$$

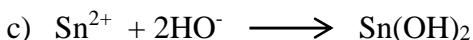
- 2) a) Ecrivons l'équation-bilan de la réaction qui s'est produit



- b) Calculons les masses :  $m(\text{Sn})$  et  $m(\text{Cu})$

$$m(\text{Sn}) = \frac{V(\text{H}_2)}{V_M} \times M(\text{Sn}) = 1,464\text{g}$$

$$m(\text{Cu}) = m(\text{alliage}) - m(\text{Sn}) = 5,336\text{g}$$



$$m(\text{Sn}(\text{OH})_2) = 1,88 \text{ g}$$

## CHAPITRE C8 CLASSIFICATION QUANTITATIVE DES COUPLES REDOX ION METALLIQUE/METAL

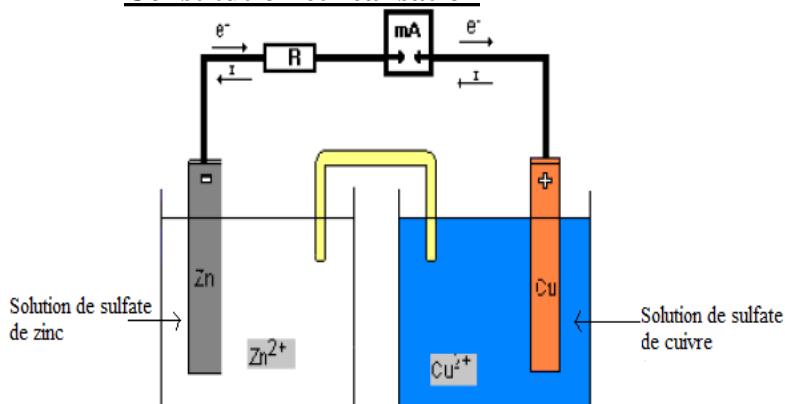
### A- OBJECTIFS

- Rappeler la définition de la force électromotrice;
- Rappeler la définition de de potentiel normal d'un couple redox;
- Rappeler le principe de fonctionnement d'une pile.
- Déterminer la polarité d'une pile;
- Déterminer la force électromotrice d'une pile;
- Ecrire l'équation bilan de la réaction de fonctionnement d'une pile;
- Placer le couple  $\text{H}_3\text{O}^+/\text{H}_2$  dans l'échelle de classification électrochimique des couples redox;
- Faire la représentation conventionnelle d'une pile;
- Classer les couples redox à partir de leurs potentiels;
- Prévoir la polarité à partir des potentiels normaux

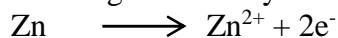
### B-L'ESSENTIEL DU COURS

#### PILE DANIELL

##### ➤ Constitution et réalisation



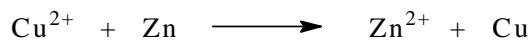
A la surface de l'électrode de Zn (anode) les atomes de zinc passent en solution sous forme d'ions  $\text{Zn}^{2+}$  en libérant deux électrons: Il s'agit d'une oxydation.



Lorsque les électrons arrivent à l'électrode de cuivre (cathode), ils sont consommés par la réaction de réduction des ions  $\text{Cu}^{2+}$  suivant la demi-équation:



Le bilan-global des réactions se produisant aux électrodes est celui de la réaction naturelle entre les couples:  $\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}$  et  $\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}$



La pile Daniell équivaut à un générateur électrique dont le pôle positif est l'électrode de Cu et celle de Zn le pôle négatif.

### **Remarque :** Rôle du pont salin

Le pont salin ou pont électrolytique qui peut être une colonne contenant du coton imbibé d'une solution électrolytique de KCl sert à fermer le circuit. Il permet aussi la migration des ions d'un compartiment à l'autre. Dans la demi-pile qui s'enrichit en cations (électrode négative) le pont salin apporte des anions et dans la demi-pile qui s'appauvrit en cations (électrode positive) le pont salin apporte des cations.

### **✓ Schéma conventionnel**

On représente symboliquement la pile Daniell par le schéma conventionnel suivant:



### **REALISATION D'UNE PILE**

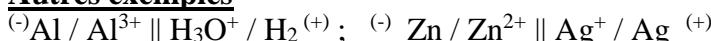
Une pile électrochimique type pile Daniell est toujours obtenue à partir de deux demi-piles faisant intervenir des couples rédox différents. On a entre autres:

- Les demi-piles faisant intervenir un couple ion métallique-métal;
- La demi-pile faisant intervenir le couple  $\text{H}_3\text{O}^+/\text{H}_2$

Quand une pile est utilisée comme générateur:

- Le réducteur le plus fort est présent dans le compartiment de la borne négative, il fournit des électrons au circuit extérieur. Donc le pôle négatif d'une pile est toujours le siège d'une réaction d'oxydation.
- L'oxydant le plus fort est présent dans le compartiment de la borne positive. Il capte des électrons venant du circuit métallique. Donc le pôle positif d'une pile est toujours le siège d'une réaction de réduction.

### **Autres exemples**



### **➤ Force électromotrice des piles**

### **✓ Cas de la pile Daniell**

Quand la pile ne débite pas, un voltmètre placé entre les deux électrodes mesure la tension à vide c'est-à-dire la force électromotrice (f.e.m) E.

$$E = U (\text{CuZn}) = E (\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}) - E (\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}) = 1,1 \text{ V}$$

E ( $\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}$ ) et E ( $\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}$ ) sont les potentiels d'électrode respectifs des couples  $\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}$  et  $\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}$ .

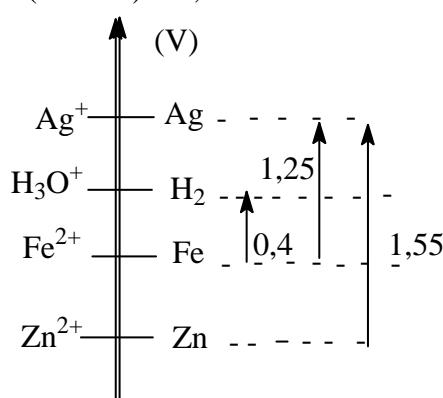
### **✓ Classification quantitative des couples redox**

En mesurant la f.e.m. de quelques piles, on obtient :

$$\text{Pile 1 : } E_1 = E (\text{Ag}^+ / \text{Ag}) - E (\text{Zn}^{2+} / \text{Zn}) = 1,55 \text{ V}$$

$$\text{Pile 2: } E_2 = E (\text{Ag}^+ / \text{Ag}) - E (\text{Fe}^{2+} / \text{Fe}) = 1,25 \text{ V}$$

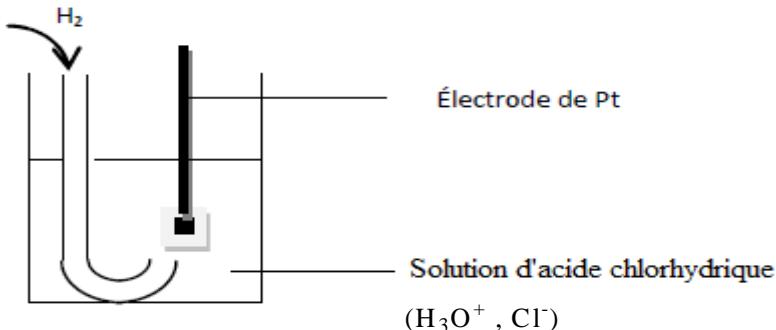
$$\text{Pile 3: } E_3 = E (\text{H}_3\text{O}^+ / \text{H}_2) - E (\text{Fe}^{2+} / \text{Fe}) = 0,40 \text{ V}$$



Il est donc possible à partir de la mesure des f.e.m. de plusieurs piles d'effectuer un classement quantitatif des couples redox.

## POTENTIEL D'OXYDOREDUCTION

✓ **Electrode de référence** (électrode standard à hydrogène ESH)



Le couple  $\text{H}_3\text{O}^+/\text{H}_2$  pris dans les conditions standard (pH de la solution d'acide chlorhydrique est égal à zéro ;  $[\text{HCl}] = 1 \text{ mol/L}$ , la pression du dihydrogène  $P(\text{H}_2) = 1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$ ) est le couple de référence. L'électrode normale à hydrogène est la demi-pile de référence, son potentiel est choisi nul à toute température, on la note  $E^\circ (\text{H}_3\text{O}^+/\text{H}_2) = 0$  (par convention)

✓ **Définition du potentiel redox**

Le potentiel redox d'un couple ion métallique/métal ( $\text{M}^{n+}/\text{M}$ ) est égal à la ddp (différence de potentiel) en circuit ouvert entre l'électrode métallique M et l'électrode de platine de la demi pile standard.

$$E(\text{M}^{n+}/\text{M}) = V_M - V_{\text{ESH}}$$

On distingue deux cas possibles :

- ESH est le pôle négatif de la pile  $(-) \text{ESH} \parallel \text{M}^{n+}/\text{M} (+)$  ; M est un réducteur plus faible que  $\text{H}_2$  ;  $\text{M}^{n+}$  est un oxydant plus fort que  $\text{H}_3\text{O}^+$ . La f.e.m. de la pile est :  
 $E = V_{\text{ESH}} - V_M = V_M$
- ESH est le pôle positif de la pile  $(+) \text{M} / \text{M}^{n+} \parallel \text{ESH} (-)$  ; M est un réducteur plus fort que  $\text{H}_2$  ;  $\text{M}^{n+}$  est un oxydant plus faible que  $\text{H}_3\text{O}^+$ . La f.e.m. de la pile est :  
 $E = V_{\text{ESH}} - V_M = -V_M$

✓ **Conditions standard – Potentiel standard**

Le potentiel redox standard est le potentiel redox du couple dans les conditions standard :

- Concentration des espèces chimiques en solution : 1 mol/L
- Pression des espèces gazeuses : 1 bar =  $10^5 \text{ Pa}$
- Température :  $25^\circ\text{C}$

Les potentiels standard sont notés par  $E^\circ$

**Exemples** :  $E^\circ (\text{H}_3\text{O}^+/\text{H}_2) = 0 \text{ V}$

$$E^\circ = (\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}) = +0,34 \text{ V}$$

$$E^\circ (\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}) = -0,76 \text{ V}$$

### Remarques :

- Plus le potentiel  $E^\circ$  est grand plus la forme oxydante est forte. Plus le potentiel redox est faible plus la forme réductrice est forte.
- Dans les conditions standards, on peut écrire :  
 $E = E^\circ(+) - E^\circ(-)$
- **Réaction totale :**

Une réaction d'oxydoréduction est totale si la différence en valeur absolue des potentiels standards des couples est supérieure à 0,3 V

- **Prévision des réactions :**

Une réaction d'oxydoréduction est possible si elle se produit entre l'oxydant du couple dont le potentiel standard est le plus grand et le réducteur du couple dont le potentiel standard est le plus petit.

## C - EXERCICES

### EXERCICE 1

Les piles constituées par l'association des deux couples  $\text{Ag}^+/\text{Ag}$  et  $\text{Pb}^{2+}/\text{Pb}$  d'une part, et par  $\text{Ag}^+/\text{Ag}$  et  $\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}$  d'autre part, ont respectivement des f.e.m. de 0,90V et 1,6V.

Dans les deux cas l'électrode d'argent est la borne positive de la pile.

**1-** Le potentiel normal de l'argent étant  $E^\circ_{\text{Ag}^+/\text{Ag}} = 0,80\text{V}$ , déterminer celui du plomb et du zinc.

**2-** Classer ces métaux par pouvoir réducteur croissant.

**3-** Calculer la f.e.m de la pile obtenue en associant les couples  $\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}$  et  $\text{Pb}^{2+}/\text{Pb}$ . Quel en est le pôle positif ?

### EXERCICE 2

Les équations des réactions qui se produisent aux électrodes d'une pile sont :



**1-** Quel est le métal qui constitue la borne positive de la pile ?

**2-** Quelle masse de plomb se sera déposée lorsque la perte de masse de l'électrode de chrome sera 1,56g ?

### EXERCICE 3 :

Une demi-pile est constituée par une lame de chrome plongeant dans une solution de nitrate de chrome  $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$  de concentration 1mol/l contenu dans un bêcher.

Une autre demi-pile est constituée par une lame d'argent plongeant dans une solution de nitrate d'argent à 1mol/l. L'association des deux demi-piles est faite par un pont ionique.

On relie les électrodes par un circuit électrique simple comportant un interrupteur et une résistance

**1-** Quels sont les couples mis en jeu ?

**2-** Lorsqu'on ferme l'interrupteur, à quelle électrode (argent ou chrome) se produit-il une oxydation ?

**3-** Quelle est la borne positive de la pile ?

**4-** Dans quel sens circulent les «électrons dans le circuit extérieur ?

**5-** Lorsqu'une mole d'électrons aura traversé une section droite de conducteur du circuit, quelle sera la variation de masse de chaque électrode ? Indiquer s'il s'agit d'une augmentation ou d'une diminution de masse.

### EXERCICE 4 :

On dose 10 cm<sup>3</sup> d'une solution de sel de Mohr  $\text{FeSO}_4(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  par une solution de sulfate de césum IV  $\text{Ce}(\text{SO}_4)_2$  à 0,1 mol.L<sup>-1</sup>.  $E^\circ_{\text{Ce}^{4+}/\text{Ce}^{3+}} = 1,41\text{ V}$   $E^\circ_{\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}} = 0,77\text{ V}$ .

**1-** Montrer que le dosage des ions  $\text{Fe}^{2+}$  par les ions  $\text{Ce}^{4+}$  est possible. Ecrire l'équation bilan de ce dosage.

**2-** Le virage en fin de réaction n'est pas visible car les ions  $\text{Ce}^{4+}$  et  $\text{Fe}^{3+}$  sont jaunes. On utilise alors un indicateur de fin de réaction tel que l'orthophénatroline ferreuse qui vire du rouge au

bleu pour un volume de  $\text{Ce}^{4+}$  versé égal à  $12,0 \text{ cm}^3$ . Calculer la concentration de la solution de sel de Mohr.

**3-** Calculer la masse de sel de Mohr qu'il a fallu dissoudre dans l'eau pour préparer 100 mL de cette solution.

### **EXERCICE 5 :**

On place 50 mg de cuivre dans 100 mL d'une solution de chlorure d'or ( $\text{AuCl}_3$ ) ; on agite jusqu'à ce que la réaction soit terminée.

**1-** Prévoir la réaction qui a lieu et écrire les demi-équations électroniques et l'équation bilan.

**2-** Calculer en fin de réaction :

**2.1-** La masse de dépôt métallique

**2.2-** La concentration de chacune des espèces en solution.

**3-** Quelle masse minimale de cuivre aurait-il fallu pour faire disparaître la couleur jaune de la solution  $\text{AuCl}_3$  ? Quelle est alors la couleur finale de la solution ?

$M(\text{Au}) : 197 \text{ M(Cu) : } 63,5 \text{ E } {}^0\text{Cu}^{2+}/\text{Cu} = 0,34 \text{ V E } {}^0\text{Au}^{3+}/\text{Au} = 1,5 \text{ V}$

### **EXERCICE 6**

On considère trois piles :

- La pile n°1 fait intervenir les couples redox  $\text{H}_3\text{O}^+/\text{H}_2$  et  $\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}$  de f.e.m 0,34V.
- La pile n°2 met en jeu les couples redox  $\text{Ag}^+/\text{Ag}$  et  $\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}$ . Elle a une f.e.m de 0,46V et sa borne positive est Ag.
- La pile n°3 dans laquelle les couples en interaction sont  $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}$  et  $\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}$  a pour f.e.m 0,78V et sa borne positive est Cu.

Toutes les piles fonctionnent dans les conditions standards.

**1-** Calculer les potentiels standards des couples :  $\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}$  ;  $\text{Ag}^+/\text{Ag}$  et  $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}$ .

**2-** Placer sur un axe vertical des potentiels standards, les couples  $\text{H}_3\text{O}^+/\text{H}_2$  ;  $\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}$  ;  $\text{Ag}^+/\text{Ag}$  et  $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}$ . On précisera l'échelle. Quelle réaction redox peut-on prévoir entre les couples  $\text{Ag}^+/\text{Ag}$  et  $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}$ .

**3-** Pour la pile n°3, le volume de solution dans chaque demi-pile est 50mL. Déterminer l'augmentation de masse de l'électrode de cuivre lorsque la concentration finale de l'ion  $\text{Fe}^{2+}$  vaut 1,4mol/L.

### **EXERCICE 7 :**

On réalise une pile Daniell à l'aide de deux bêchers et d'un pont électrolytique en U renversé contenant une solution gélifiée de chlorure de potassium. L'un des bêchers contient 100mL d'une solution de sulfate de cuivre (II) à  $0,2\text{mol.L}^{-1}$ , dans laquelle plonge une lame de cuivre. Dans l'autre bêcher, contenant 100 mL d'une solution de sulfate de zinc à 0,2 mol.  $\text{L}^{-1}$  dans laquelle plonge une lame de zinc. On relie les électrodes de la pile par un circuit conducteur comprenant un milliampèremètre.

**1-A** quels pôles faut-il relier, respectivement, les bornes positive et négative du milliampèremètre ?

**2-** La pile débite, pendant 50 heures, un courant d'intensité constante  $I = 5 \text{ mA}$ . Calculer :

**2.1-** La variation  $dm_1$  de la masse de l'électrode de zinc, ainsi que la variation  $dm_2$  de celle de cuivre ;

**2.2**-La variation  $dC_1$  de la concentration des ions  $Zn^{2+}$ , ainsi que la variation  $dC_2$  de la concentration des ions  $Cu^{2+}$  dans les solutions.

**EXERCICE 8 :**

On donne les potentiels normaux  $E^\circ(Ag^+/Ag) = 0,80V$  et  $E^\circ(Zn^{2+}/Zn) = -0,76V$ .

**1-** Faire le schéma du montage qui permettrait de mesurer ces potentiels. Préciser la polarité des piles réalisées.

**2-** On réalise la pile suivante A :

- Demie pile n°1 : Lame d'argent plongeant dans une solution de sulfate d'argent de concentration  $C_1 = 0,2\text{mol/L}$  et de volume  $V_1 = 200\text{mL}$ .
- Demie pile n°2 : Lame de zinc plongeant dans une solution de sulfate de zinc de concentration  $C_2 = 0,2\text{mol/L}$  et de volume  $V_2 = 200\text{mL}$ .

**2.1**- Représenter par un schéma le montage de la pile A et indiquer les polarités.

**2.2**- On relie les électrodes de la pile par un circuit conducteur comportant un milliampèremètre. Indiquer le sens de la circulation du courant et celui des électrons.

**2.3**- Ecrire la demi-équation dans chaque demi-pile lorsque la pile fonctionne et en déduire l'équation-bilan de fonctionnement.

**2.4**- En utilisant un point salin de chlorure de potassium ( $K^+$  ;  $Cl^-$ ), préciser dans laquelle des demi-piles les ions  $K^+$  se déplacent de même que les ions  $Cl^-$ .

**2.5**- Calculer la f.e.m E de la pile.

**2.6**- La pile débite pendant une durée  $\Delta t = 50$  heures un courant d'intensité  $I = 5\text{mA}$ . Déterminer :

- La variation  $\Delta C_2$ , de la concentration des ions  $Zn^{2+}$  ainsi que celle  $\Delta C_1$  des ions  $Ag^+$ .
- La variation  $\Delta m_2$  de l'électrode de zinc ainsi que celle  $\Delta m_1$  de l'électrode d'argent.

**EXERCICE 9 : Les questions 1- , 2- et 3- sont indépendantes.**

On dispose d'une lame de cuivre, d'une lame de nickel et de solutions aqueuses d'ions  $Ni^{2+}$  et  $Cu^{2+}$  de concentration molaire  $1\text{ mol.L}^{-1}$  chacune.

1- Préciser les polarités de la pile qu'on pourrait former avec ces deux couples, le sens de circulation des électrons, le sens du courant, les équations aux électrodes et l'équation bilan. Indiquer sa notation conventionnelle et la valeur de sa f.e.m. Qu'est-ce qui limite sa durée de vie ?

2- On dispose de  $400\text{ cm}^3$  de solutions contenant un mélange d'ions  $Ni^{2+}$  et  $Cu^{2+}$  en concentration inconnue. On fractionne cette solution en deux parts égales.

\* Dans la première, on plonge une lame de zinc ; le dépôt sur la lame a une masse de  $16,4\text{g}$ .

\* Dans la seconde moitié, on plonge une lame de plomb ; le dépôt métallique est de  $7,26\text{g}$ .

Indiquer la nature des dépôts ainsi que les réactions d'oxydo-réduction correspondantes.

En déduire la concentration des deux espèces ioniques dans la solution de départ.

3- On réalise une pile Daniell à l'aide de deux bêchers et d'un pont électrolytique.

\* Le bêcher n°1 contient  $200\text{ mL}$  d'une solution d'ions  $Ni^{2+}$  à  $1\text{ mol.L}^{-1}$  dans laquelle on plonge une lame de nickel.

\* Le bêcher n°2 contient  $200\text{ mL}$  d'une solution d'ions  $Cu^{2+}$  à  $1\text{ mol.L}^{-1}$  dans laquelle on plonge une lame de cuivre.

La pile débite pendant  $48\text{ h}$  un courant d'intensité  $10\text{ mA}$  ; calculer :

3.1- La variation de masse  $dm_1$  de l'électrode de nickel ainsi que la variation  $dm_2$  de celle de cuivre.

3.2- Les variations  $dC_1$  et  $dC_2$  des concentrations respectives des ions  $\text{Ni}^{2+}$  et  $\text{Cu}^{2+}$ .

Données :

$$E^0 \text{Cu}^{2+}/\text{Cu} = 0,34 \text{ V} \quad E^0 \text{Pb}^{2+}/\text{Pb} = -0,13 \text{ V} \quad E^0 \text{Zn}^{2+}/\text{Zn} = -0,76 \text{ V} \quad E^0 \text{Ni}^{2+}/\text{Ni} = -0,23 \text{ V}$$

$$-e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \quad N = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}; \quad M(\text{Cu}) : 63,5 \text{ g.mol}^{-1} \quad M(\text{Zn}) : 65,4 \text{ g.mol}^{-1}$$

$$F = 96500 \text{ C.}$$

### **EXERCICE 10 :**

On oxyde 100mg d'un échantillon de zamak-5(alliage zinc + aluminium + cuivre + magnésium) par l'acide chlorhydrique concentré. Cet alliage contient en masse : 0,05% de magnésium, 1% de cuivre et 4% d'aluminium.

- 1) Préciser les couples redox mis en jeu dans le mélange réactionnel.
- 2) Ecrire les équations-bilans des réactions qui ont lieu.
- 3) Quel volume minimal d'acide chlorhydrique de concentration 1 mol/L faut-il utiliser pour attaquer totalement la masse oxydable de l'échantillon de zamak-5 ?
- 4) Calculer le volume de gaz recueilli dans les CNTP.
- 5) Déterminer en fin de réaction, la masse résiduelle de l'échantillon.

$$E^0 \text{Cu}^{2+}/\text{Cu} = 0,34 \text{ V} ; \quad E^0 \text{Zn}^{2+}/\text{Zn} = -0,76 \text{ V} ; \quad E^0 \text{H}_3\text{O}^+/\text{H}_2 = -2,37 \text{ V} ;$$

$$E^0 \text{Al}^{3+}/\text{Al} = -1,76 \text{ V.}$$

## **D-CORRIGES DES EXERCICES**

### **EXERCICE 2 :**

- 1) Le métal qui constitue la borne positive de la pile est le plomb( Pb)
- 2) Calculons la masse de plomb qui se dépose



$$M(\text{Pb}) = \frac{3 \times m(\text{Cr}) \times M(\text{Pb})}{2 \times M(\text{Cr})} = 8,97 \text{ g}$$

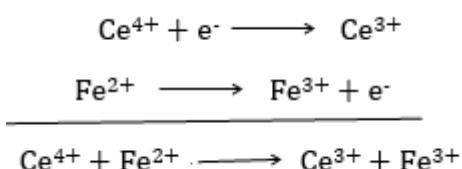
### **EXERCICE 4 :**

- 1)

$$E^0(\text{Ce}^{4+}/\text{Ce}^{3+}) = 1,41 \text{ V} \quad E^0(\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}) = 0,77 \text{ V.}$$

$$E^0(\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}) - E^0(\text{Ce}^{4+}/\text{Ce}^{3+}) > 0,3 \text{ V} \text{ la réaction est possible et totale}$$

Equation- bilan de la réaction



- 2) Calculons la concentration du sel de Mohr

$$[\text{Fe}^{2+}] = [\text{FeSO}_4(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}] = \frac{[\text{Ce}^{4+}] \times V_2}{V_1} = 0,12 \text{ mol/L}$$

3) Calculons la masse du sel de Mohr

$$C = \frac{M \times V}{M \times V} = 3,408 \text{ g}$$

### EXERCICE 6 :

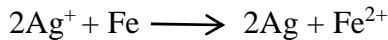
1) Calculons les potentiels standards :

$E^\circ(\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}) = 0,34 \text{ V}$  (pile 1);  $E^\circ(\text{Ag}^+/\text{Ag}) = E_2 - E^\circ(\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}) = 0,8 \text{ V}$  (pile 2) ;  $E^\circ(\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}) = -0,44 \text{ V}$

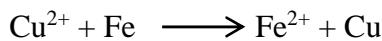
2)



Réaction entre  $\text{Ag}^+$  et Fe



3) Calculons la variation de masse du cuivre



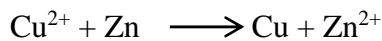
$$\Delta m(\text{Cu}) = [\text{Fe}^{2+}] \times V_S \times M(\text{Cu}) = 4,445 \text{ g}$$

### EXERCICE 7 :

1) La borne négative est constituée par la lame de cuivre et la borne positive la lame de zinc

(-)  $\text{Zn}/\text{Zn}^{2+}/\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}$  (+)

2.1) Calculons la variation  $dm_1$  et  $dm_2$



$$Q = I \times t = 5 \cdot 10^{-3} \times 50 \times 3600 = 900 \text{ C}$$

$$Q = n(e^-) \times F; \quad n(e^-) = \frac{Q}{F} = 9,32 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

$$dm_1 = n(\text{Zn}) \times M(\text{Zn}) = \frac{n(e^-)}{2} \times M(\text{Zn}) = 0,304 \text{ g}$$

$$dm_2 = n(\text{Cu}) \times M(\text{Cu}) = 0,29 \text{ g}$$

2.2) la variation  $dC_1$  et  $dC_2$

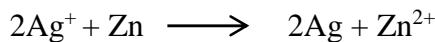
$$dC_1 = dC_2 = 4,66 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$$

### **EXERCICE 8 :**

2.1) (-) Zn/Zn<sup>2+</sup>//Ag<sup>+</sup>/Ag(+)

2.2) de la lame de zinc vers la lame de Argent

2.3) Equation-bilan de la réaction



2.4) K<sup>+</sup> se déplacent vers la demi-pile de la lame Ag et Cl<sup>-</sup> vers la demi-pile de la lame de Zn

2.5) calculons la f.e.m de la pile

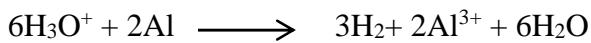
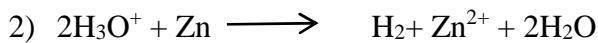
$$E^\circ = E^\circ(\text{Ag}^+/\text{Ag}) - E^\circ(\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}) = 1,56\text{V}$$

2.6)

$$dC_1 = 4,66 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}; dC_2 = 2,33 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}; dm_1 = 0,304\text{g}; dm_2 = 1,006\text{g}$$

### **EXERCICE 10:**

1) Zn<sup>2+</sup>/Zn ; Al<sup>3+</sup>/Al ; Cu<sup>2+</sup>/Cu ; H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>/H<sub>2</sub>



3) Calculons le volume minimal d'acide chlorydrique faut-il utilisé

$$V(\text{H}_3\text{O}^+) = \left[ \frac{2m(\text{Zn})}{M(\text{Zn})} + \frac{3m(\text{Al})}{M(\text{Al})} + \frac{2m(\text{Mg})}{M(\text{Mg})} \right] \times \frac{1}{C} = 3,35\text{mL}$$

4) Calculons le volume de gaz récupéré

$$V(\text{H}_2) = \left[ \frac{m(\text{Zn})}{M(\text{Zn})} + \frac{m(\text{Mg})}{M(\text{Mg})} + \frac{3m(\text{Al})}{2M(\text{Al})} \right] \times V_M = 35,5\text{ mL}$$

5) Déterminons la masse résiduelle de l'échantillon : m(Cu) = 1mg

## **CHAPITRE C9 GENERALISATION DE L'OXYDOREDUCTION EN SOLUTION AQUEUSE**

### **A-OBJECTIFS :**

Citer d'autres couples oxydant/réducteur

Ecrire les demi-équations électroniques d'autres couples redox

Ecrire les équations des réactions d'oxydoréduction de ces couples ;

Déterminer le potentiel d'oxydoréduction d'un couple

Appliquer la règle dite du gamma

Manipuler avec précaution certains produits comme le permanganate de potassium."

## B-L'ESSENTIEL DU COURS

### Existence d'autres couples oxydant-réducteur que les couples ion métallique/métal

Il existe d'autres couples rédox différents des couples ion métallique-métal.

Parmi ces couples, on peut distinguer :

- ceux qui font intervenir deux ions tels que  $\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}/\text{SO}_4^{2-}$  ;
- ceux qui mettent en jeu un ion et une molécule tels que  $\text{Cl}_2/\text{Cl}^-$ ,  $\text{I}_2/\text{I}^-$  ;
- ceux qui font intervenir deux molécules tels que  $\text{CH}_3\text{CHO}/\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ,  $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}/\text{CH}_3\text{CHO}$ .

### Demi-équations électroniques

A chaque couple il correspond des demi-équations électroniques.

- Demi-équation redox du couple ion permanganate /ion chrome II  $\text{MnO}_4^- / \text{Mn}^{2+}$

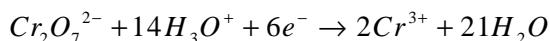
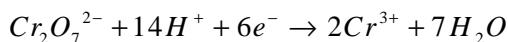
Pour établir la demi-équation électronique du couple on suit une démarche qui sera valable pour tous les autres couples en solution.

- On écrit les deux ions de partenaires du couple en équilibrant les atomes autres que O et H.
- On ajoute des molécules d'eau pour équilibrer les atomes O
- On ajoute des protons  $\text{H}^+$  pour équilibrer les atomes H
- Enfin on ajoute des électrons du côté de l'oxydant pour équilibrer les charges.



- Demi-équation redox du couple ion dichromate/ion chrome :  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} / \text{Cr}^{3+}$

On adopte la même méthode que précédemment pour écrire la demi-équation électronique du couple  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} / \text{Cr}^{3+}$ .



### Potentiel standard d'un couple oxydant-réducteur

On peut associer à chaque couple une demi-pile. Cette dernière comporte alors une électrode inattaquable (platine, graphite ...) dont la surface immergée dans la solution est en contact permanent avec les formes réduite et oxydée du couple mis en jeu.

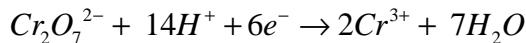
Le potentiel standard d'oxydoréduction d'un couple peut être déterminé. Il suffit de mesurer la d.d.p en circuit ouvert aux bornes de la pile mettant en jeu le couple considéré et l'ESH.

### Réaction d'oxydation ménagée de l'éthanol par l'ion dichromate en milieu acide

L'éthanol est oxydé par l'ion dichromate en éthanal et l'ion dichromate en ion chrome (III)

Les couples en jeu sont  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} / \text{Cr}^{3+}$  et  $\text{CH}_3\text{CHO} / \text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$

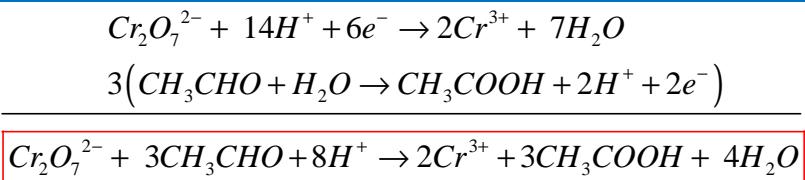
Les demi-équations électroniques et l'équation-bilan s'écrivent :



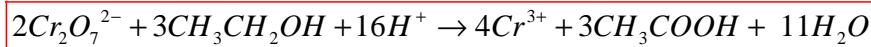
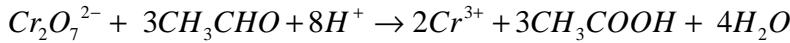
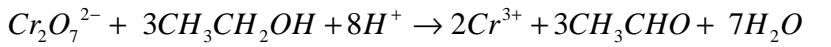
Equation : 
$$3(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} \rightarrow \text{CH}_3\text{CHO} + 2\text{H}^+ + 2e^-)$$



Si l'oxydant ( $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ) est en excès, la réaction se poursuit et l'éthanal est oxydé à son tour en acide éthanoïque. Les équations s'écrivent :



Soit l'équation générale :



## C- EXERCICES

### EXERCICE 1

1- Ecrire les demi- équations relatives aux couples :

- a) F<sub>2</sub>/F<sup>-</sup> ; b) MnO<sub>4</sub><sup>-</sup>/MnO<sub>2</sub> ; c) H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ; d) NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/NO ; e) IO<sub>3</sub><sup>-</sup>/I<sub>2</sub> ; f) NO<sub>2</sub><sup>-</sup>/N<sub>2</sub> ; g) ClO<sup>-</sup>/Cl<sup>-</sup>.

2- En solution, le diiode I<sub>2</sub> réagit sur les ions thiosulfate S<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>2-</sup> pour donner des ions iodure I<sup>-</sup> selon la réaction d'équation : I<sub>2</sub> + S<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>2-</sup> → 2I<sup>-</sup> + S<sub>4</sub>O<sub>6</sub><sup>2-</sup>

2.1- Quels sont les couples Ox/Réduisants mis en jeu ?

2.2- Ecrire les demi-équations d'oxydoréduction correspondant aux couples oxydant /réducteur mis en jeu.

2.3- Identifier l'oxydant et le réducteur qui agissent.

### EXERCICE 2 :

L'éthanol peut s'oxyder en éthanal CH<sub>3</sub>-CHO, et que l'éthanal peut s'oxyder en acide acétique CH<sub>3</sub>-CO<sub>2</sub>H.

1-Montrer que l'on peut définir deux couples redox CH<sub>3</sub>-CHO / CH<sub>3</sub>-CH<sub>2</sub>OH et CH<sub>3</sub>-CO<sub>2</sub>H / CH<sub>3</sub>-CHO.

2-Ecrire les demi-équations relatives à ces deux couples redox.

3-Ecrire les réactions de l'ion MnO<sub>4</sub><sup>-</sup>, en milieu acide sur l'éthanol , puis sur l'éthanal.

4-Situer les deux couples étudiés en 1-, par rapport au couple MnO<sub>4</sub><sup>-</sup> / Mn<sup>2+</sup>.

### EXERCICE 3:

Une solution d'acide nitrique HNO<sub>3</sub> contient les ions H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> et NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. L'ion nitrate NO<sub>3</sub><sup>-</sup> est l'oxydant dans le couple

NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/NO. Le monoxyde d'azote NO est un gaz incolore qui s'oxyde au contact de l'air pour donner NO<sub>2</sub>, le dioxyde d'azote, qui est un gaz roux. On montre que le couple NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/NO se situe entre les couples Ag<sup>+</sup>/ Ag et O<sub>2</sub>/ H<sub>2</sub>O.

1-Ecrire la demi réaction pour le couple NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/NO.

2-Montrer que le cuivre réagit sur l'acide nitrique. Ecrire la réaction correspondante.

3-Quel est l'ion obtenu par oxydation du fer par l'acide nitrique ? Ecrire la réaction.

4-Montrer que lorsqu'une solution contient deux oxydants (HNO<sub>3</sub>), c'est l'oxydant le plus fort qui intervient en premier.

#### **EXERCICE 4 :**

L'acide oxalique, constituant de l'oseille et du chocolat, est le réducteur du couple  $\text{CO}_2 / \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ . On dose 10mL de cet acide par du permanganate de potassium à  $10^{-1}\text{mol.L}^{-1}$ . Le virage a lieu pour 12mL de la solution oxydante.

1-Ecrire les demi équations redox et en déduire l'équation- bilan du dosage en milieu acide.

2-Déterminer la concentration molaire de l'acide oxalique.

3-Calculer le volume dioxyde carbone formé à l'équivalence.

#### **EXERCICE 5:**

1-Quelle masse de permanganate de potassium faut-il peser pour obtenir un litre de solution décimolaire ?

2-Cette solution est utilisée pour oxyder l'eau oxygénée (couple  $\text{O}_2 / \text{H}_2\text{O}_2$ ).

2.1-Ecrire l'équation bilan de la réaction redox entre l'ion permanganate et l'eau oxygénée, en milieu acide.

2.2-On dose 20mL d'eau oxygénée. A l'équivalence, on a ajouté 16mL de solution oxydante. Calculer la concentration de la solution d'eau oxygénée.

3-Calculer le volume de dioxygène formé.

#### **EXERCICE 6**

On verse une solution de dichromate de potassium de concentration molaire  $C_1 = 0,20 \text{ mol/L}$  dans un volume  $V_2 = 20\text{mL}$  de solution de sulfate de fer (II) de concentration molaire  $C_2 = 0,50 \text{ mol/L}$

1-) Ecrire l'équation bilan de la réaction qui se produit.

2-) Quel volume de solution oxydante faut-il utiliser pour oxyder tous les ions fer (II) ?.

3-) Lorsque tous les ions fer (II) ont été oxydés, on évapore la solution finale obtenue.

Quelles sont les formules des cristaux obtenus ?

En quelles quantités les obtient-on ?

#### **EXERCICE 7**

On prépare une solution  $S_1$  en disolvant 1,6g de permanganate de potassium ( $\text{KMnO}_4$ ) dans 0,5L d'eau distillée.

1- Montrer que la concentration  $C_1$  de la solution  $S_1$  est égale à  $0,02\text{mol.L}^{-1}$ .

2- On dispose, dans un erlenmeyer, d'une solution  $S_2$  de sulfate de fer II ( $\text{FeSO}_4$ ) de volume  $V_2 = 20\text{mL}$  additionnée de quelques gouttes d'acide sulfurique, à laquelle on ajoute goutte à goutte la solution  $S_1$  jusqu'à la disparition de la couleur violette. Le volume ainsi versé de  $S_1$  est  $V_1 = 10\text{mL}$ .

- Par quoi peut-on expliquer la disparition de la couleur violette de la solution  $S_1$  ?
- Ecrire pour chacun des couples ( $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ ) et ( $\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}$ ) la demi-équation redox correspondante. En déduire l'équation bilan.
- Quel est le rôle de l'acide sulfurique dans cette réaction ?
- Quelle est la valeur du rapport  $n(\text{Fe}^{2+})/n(\text{MnO}_4^-)$  à l'équivalence ?
- Déterminer la concentration  $C_2$  de la solution  $S_2$ .
- Déterminer la concentration des ions  $\text{Fe}^{3+}$  à l'équivalence dans le mélange final.

#### **EXERCICE 8**

Le fioul est un carburant utilisé pour le chauffage domestique et dans les centrales thermiques pour la production de l'électricité ect.... La teneur massique maximale légale en soufre dans le

fioul est de 0,3%. Pour déterminer la teneur en soufre d'un fioul, on brûle complètement 100g et on fait barboter les gaz de combustion, uniquement constitués de dioxyde de carbone, dioxyde de soufre et de vapeur d'eau, dans 500mL d'eau. On obtient une solution S dans laquelle tout le dioxyde de soufre formé est supposé dissous. On préleve un volume  $V_{\text{red}} = 10\text{mL}$  de la solution S que l'on dose avec une solution de permanganate de potassium de concentration  $C_{\text{ox}} = 5 \cdot 10^{-3}\text{mol.L}^{-1}$ . On admet que seul le dioxyde de soufre est alors dosé. L'équivalence est obtenue pour un volume versé de permanganate de potassium égal à  $V_{\text{oxE}} = 12,5\text{mL}$ .

- 1) Ecrire l'équation chimique de la réaction de dosage sachant que les couples redox mis en jeu sont  $\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}$  et  $\text{SO}_4^{2-}/\text{SO}_2$ . Préciser le rôle joué par le dioxyde de soufre.
- 2) Déterminer la concentration  $C_{\text{red}}$  du dioxyde de soufre dans la solution S.
- 3) Calculer la quantité de dioxyde de soufre dissoute dans la solution S.
- 4) En déduire le pourcentage massique en soufre du fioul. Ce fioul est-il conforme ?

### **EXERCICE 9**

Le propan-2-ol peut être oxydé par le dichromate de potassium en milieu acide pour donner la propanone

- 1°) Ecrire les formules semi-développées du propan-2-ol et de la propanone. Ecrire la demi-équation électronique correspondant à ce couple.
- 2°) Ecrire la demi-équation électronique correspondant au couple du dichromate.
- 3°) En déduire l'équation bilan de la réaction d'oxydation du propan-2-ol
- 4°) Quel volume minimale de solution du dichromate à 0,1mol/l faut-il utiliser pour oxyder intégralement une masse m = 0,12g de propan-2-ol?

### **EXERCICE 10:**

On donne les couples d'oxydoréductions suivants et leurs potentiels normaux respectifs  
 $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}/\text{SO}_4^{2-} : E^\circ_1 = 2,1\text{V}$ ;  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}/\text{Cr}^{3+} : E^\circ_2 = 1,33\text{V}$ ;  $\text{ClO}^-/\text{Cl}_2 : E^\circ_3 = 0,17\text{V}$ ; Acide éthanoïque / éthanol :  $E^\circ_4 = 0,03\text{V}$

- 1-Classer ces couples par pouvoir oxydant croissant.
- 2-Pour chaque couple, établir la demi-équation électronique qui lui correspond.
- 3-On verse une solution d'acide hypochloreux ( $\text{HClO}$ ) de concentration  $C_1 = 0,2\text{mol.L}^{-1}$  dans un volume  $V_2 = 40\text{ml}$  d'éthanol de concentration  $C_2 = 0,5\text{mol.L}^{-1}$ .
- 3.1-Donner l'équation bilan de la réaction qui a eu lieu.
- 3.2-Déterminer le volume d'acide nécessaire pour, doser tout l'éthanol.

### **EXERCICE 11:**

On place dans un bêcher  $10\text{cm}^3$  d'une solution de sulfure d'hydrogène  $\text{H}_2\text{S}$  à titrer. On y ajoute  $20\text{cm}^3$  d'une solution d'eau iodée contenant du diiode  $\text{I}_2$  à la concentration de  $0,025\text{mol.L}^{-1}$

- 1-Ecrire les demi équations électroniques des couples  $\text{S} / \text{H}_2\text{S}$  et  $\text{I}_2 / \text{I}^-$  et l'équation bilan de la réaction redox.
- 2-La réaction est-elle totale ? Justifier votre réponse.
- 3-Pour doser le diiode en excès,  $12,5\text{cm}^3$  d'une solution de thiosulfate de sodium  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  de concentration  $10^{-2}\text{mol.L}^{-1}$  sont alors nécessaires.
- 3.1-Ecrire l'équation bilan de la réaction de dosage.
- 3.2-Quelle est la concentration en  $\text{H}_2\text{S}$  de la solution initiale ?
- 3.3-Quelle est la masse de précipité de soufre qui se forme lors de l'addition de l'eau iodée ?

## **EXERCICE 12**

**A)** On veut doser la vitamine C ou acide ascorbique  $C_6H_8O_6$  contenu dans une ampoule de jus de fruit. Dans un bêcher on introduit le jus de fruit contenu dans une ampoule. On se propose de doser la vitamine C contenue dans ce jus de fruit par une solution de diiode de concentration molaire  $C=2,0 \cdot 10^{-3}$  mol/L .

1-) Faire un schéma légendé du montage à utiliser.

2-) Ecrire les demi équations relatives au deux couples  $I_2/I^-$  et  $C_6H_8O_6/C_6H_8O_6^-$ . En déduire l'équation –bilan support du dosage.

3-) Le volume versé pour avoir l'équivalence est  $V'=15,1\text{mL}$ . Comment peut-on repérer l'équivalence ?

Calculer la quantité de vitamine C contenue dans l'ampoule de jus de fruit.

L'étiquette collée sur l'ampoule indique 5 mg de vitamine C . Les résultats du dosage sont-ils en accord avec cette indication ?

**On donne : masse molaire de la vitamine C :  $M=176$  g/mol.**

**B)** Le dichlore  $Cl_2$  peut se préparer au laboratoire par oxydation des ions chlorure  $Cl^-$  par les ions permanganate  $MnO_4^-$  en milieu acide .

1-) Ecrire les demi équations relatives aux deux couples.

2-) Dans une solution d'acide chlorhydrique de volume  $V_a = 100\text{ mL}$  de concentration molaire  $C_a = 0,05\text{ mol/L}$  , on ajoute 3 g de cristaux de permanganate de potassium. Préciser le réactif limitant.

Calculer le volume de dichlore mesuré dans les CNTP qu'on peut obtenir.

On donne les masses molaires : K : 39 g/mol ; O : 16 g/mol ; Mn : 55 g/mol.

## **EXERCICE 13 :**

On désire étudier le dosage appelé dosage en retour.

A 20mL d'une solution ferreuse décimolaire, on ajoute une solution oxydante de  $Cr_2O_7^{2-}$  en défaut, soit 10mL dans ce cas, en milieu acide.

**1-Que se passe-t-il ?**

**2-Comment peut-on constater expérimentalement qu'il y a défaut de  $Cr_2O_7^{2-}$  ?**

**3-On ajoute ensuite l'ion  $MnO_4^-$  ; la solution oxydante décimolaire de  $MnO_4^-$  n'est plus décolorée pour un volume de 10mL. Calculer la concentration molaire de la solution de  $Cr_2O_7^{2-}$  .**

## **EXERCICE 14 :**

Afin de doser une solution de dichromate de potassium  $K_2Cr_2O_7$ , on fabrique une solution titrée de sulfate de fer II  $FeSO_4$  à  $0,02\text{ mol.L}^{-1}$

**1-Ecrire les demi équations des couples  $Cr_2O_7^{2-}/Cr^{3+}$  et  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$ . Que peut –on dire de cette réaction**

**2-Il n'est pas possible de procéder à un dosage simple, car les ions  $Cr_2O_7^{2-}$  sont jaune-orangé,  $Cr^{3+}$  verts et  $Fe^{3+}$  rouille. On ne verrait aucun changement de couleur à l'équivalence. On procède alors de la façon suivante :**

Dans 50mL de la solution titrée de sulfate de fer (II), on verse 10mL de la solution de dichromate de potassium. On admettra que les ions  $Fe^{2+}$  sont en excès par rapport aux ions  $Cr_2O_7^{2-}$ . On admettra que les ions  $Fe^{2+}$  sont en excès par rapport aux ions  $Cr_2O_7^{2-}$ .

Il suffit alors de doser les ions  $Fe^{2+}$  restant par le permanganate de potassium  $KMnO_4$ . Pour cela, on utilise une solution à  $0,01\text{ mol.L}^{-1}$  de permanganate de potassium  $KMnO_4$  .La teinte violette persiste pour un volume versé de cette solution de  $12,0\text{ cm}^3$ .

**2.1-Calculer la quantité de matière d'ions permanganate  $MnO_4^-$  versés à l'équivalence.**

**2.2-Calcular la quantité de matière d'ions  $\text{Fe}^{2+}$  oxydés par les ions  $\text{MnO}_4^-$ .**

**2.3-Calcular la quantité de matière d'ions  $\text{Fe}^{2+}$  contenus dans les 50 ml du prélèvement initial.**

**2.4-Quelle est la quantité de matière d'ions  $\text{Fe}^{2+}$  oxydés par les ions  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  ?**

**2.5-Quelle est la quantité de matière d'ions  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  qui ont réagi ? En déduire la concentration, en mol.L<sup>-1</sup>, de la solution de dichromate de potassium étudiée.**

### **EXERCICE 15:**

**1- On réalise la combustion complète d'un hydrure de carbone  $\text{CxHy}$  dans du dioxygène**

**1.1-Ecrire l'équation bilan générale de la réaction de combustion.**

**1.2-La combustion complète dans du dioxygène de 2,24 L d'un hydrure de carbone a entraîné la formation de 5,40 g d'eau et un dégagement de 6,72 L de dioxyde de carbone, volume mesuré dans les CNTP.**

**1.2.1-Trouver la formule brute de l'hydrure de carbure.**

**1.2.2-Ecrire sa formule développée, donner son nom.**

**2-Dans certaines conditions, l'addition d'eau sur cet hydrocarbure conduit à la formation d'un alcool de formule**

**$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{OH}$ . Cet alcool est oxydé, en milieu acide, par l'ion dichromate donnant alors l'acide propanoïque**

**2.1-Ecrire les demi-équations relatives au deux couples.**

**2.2-Ecrire l'équation bilan.**

**3-On réalise maintenant un mélange équimolaire de propan-1-ol et d'acide propanoïque.**

**3.1-Quelle est la nature de la réaction qui se produit ?**

**3.2-Ecrire l'équation bilan de la réaction et donner les noms des produits obtenus.**

**3.3-A propos de cette réaction, on parle d'équilibre chimique. Qu'est-ce que cela signifie ?**

### **EXERCICE 16**

On réalise l'oxydation totale d'une masse  $m = 180\text{mg}$  d'un composé de formule  $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}$  par les ions permanganate. On obtient entre autres produits, un composé organique de formule  $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_2$ . On admettra que la réaction est une oxydoréduction mettant en jeu les couples oxydant/réducteur  $\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}$  et  $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_2/\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}$ . L'oxydation de la masse  $m$  du composé organique oxygéné nécessite exactement un volume  $V = 10\text{mL}$  de la solution  $S$  de permanganate de potassium de concentration molaire  $C = 0,1 \text{ mol/L}$ .

- 1) Ecrire les demi-équations électroniques relatives aux couples oxydant/réducteur.
- 2) En déduire l'équation-bilan de la réaction d'oxydoréduction réalisée.
- 3) Exprimer la masse molaire  $M$  du composé organique oxygéné oxydé en fonction de  $m$ ,  $C$  et  $V$ . Faire l'application numérique.
- 4) Déduire du résultat précédent, la formule brute du composé organique oxygéné étudié. Préciser son nom sachant que sa chaîne principale est non ramifiée.
- 5) Quelle masse de permanganate de potassium faut-il peser pour préparer un volume  $V_0 = 1,0\text{L}$  de solution mère  $S_0$  de concentration  $C_0 = 1\text{mol/L}$  ?
- 6) Indiquer un mode opératoire permettant de réaliser la pesée.
- 7) Expliquer comment préparer la solution  $S$  de permanganate de potassium utilisée dans l'expérience à partir de la solution mère  $S_0$ . On précisera la verrerie à utiliser.

### **EXERCICE 17 :**

On réalise l'oxydation totale d'une masse  $m = 22\text{mg}$  d'un composé organique A de formule  $\text{C}_{n+2}\text{H}_{2n+2}\text{O}$  par le permanganate de potassium. On obtient entre autres produits, un composé organique B de formule  $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}$  qui donne un précipité jaune orangé avec la 2,4-DNPH mais

ne réduit pas la liqueur de Fehling. On admettra que la réaction est une oxydoréduction mettant en jeu les couples oxydant/réducteur  $\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}$  et  $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}/\text{C}_n\text{H}_{2n+2}\text{O}$ .

- 1) Préciser la nature de A.
- 2) Ecrire l'équation-bilan de la réaction d'oxydoréduction réalisée.
- 3) L'oxydation totale de A nécessite un volume exact  $V = 10\text{mL}$  de solution de permanganate de potassium de concentration  $0,01\text{mol/L}$ . En déduire la formule brute de A.
- 4) Quelles sont les formules semi-développées possibles de A et B ? Nommer les isomères correspondants.
- 5) Préciser la formule exacte de A sachant qu'il peut être obtenu majoritairement par hydratation du 3-méthylbut-1-ène. En déduire la formule exacte de B.
- 6) Donner les noms des isomères possibles de B.
- 7) Quels produits obtient-on en réalisant l'oxydation ménagée de chacun de ces isomères ? les nommer.

### **EXERCICE 18 :**

Par définition, le degré chlorométrique d'une solution d'eau de javel est le nombre de litres de dichlore mesuré dans les CNTP qu'il faut utiliser, pour fabriquer 1,0L d'eau de javel selon la réaction de dismutation :



Une dismutation est une réaction au cours de laquelle une espèce chimique subit à la fois une oxydation et une réduction.

#### **Données:**

potentiels d'oxydoréduction :  $E^0(\text{I}_2/\text{I}^-) = 0,54\text{ V}$ ;  $E^0(\text{S}_4\text{O}_6^{2-}/\text{S}_2\text{O}_3^{2-}) = 0,08\text{ V}$ ;  
 $E^0(\text{ClO}^-/\text{Cl}) = 1,63\text{ V}$ ;  $E^0(\text{I}_3^-/\text{I}^-) = 0,53\text{ V}$

Eau de Javel : solution aqueuse d'hypochlorite de sodium ( $\text{Na}^+ + \text{OH}^-$ )

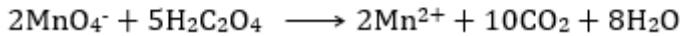
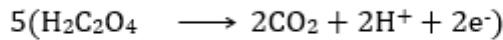
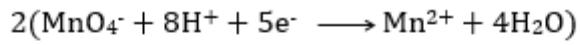
On fait réagir 10mL d'eau de Javel avec un excès d'iodure de potassium en milieu acidifié. Le diiode formé est alors dosé par une solution aqueuse de thiosulfate de sodium ( $2\text{Na}^+ + \text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ ) de concentration molaire  $0,1\text{mol/L}$ . L'équivalence est atteinte lorsque l'on a versé 10,8 mL de solution titrée.

- 1) Ecrire l'équation-bilan de la réaction entre le diiode et la solution de thiosulfate de sodium. En déduire la quantité de matière d'ions iodures ayant réagi.
- 2) Ecrire l'équation-bilan de la réaction d'oxydoréduction mettant en jeu l'eau de Javel et la solution d'iodure de potassium.
- 3) En exploitant les deux équations, déterminer la concentration C de l'eau de Javel utilisée. En déduire son degré chlorométrique exprimé en °Cl.

### **D-CORRIGE D'EXERCICES**

#### **EXERCICE 4 :**

- 1) Equation-bilan de la réaction



2) Déterminons la concentration molaire de  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$

$$[\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4] = \frac{5 \times [\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4] \times V_2}{2V_1} = 0,3 \text{ mol/L}$$

3) Calculons le volume de  $\text{CO}_2$

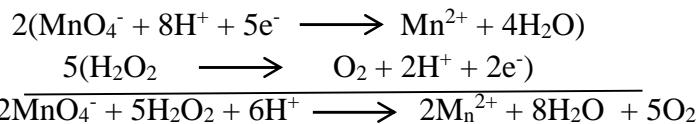
$$V(\text{CO}_2) = 2n(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) \times V_M = 0,134 \text{ L}$$

### EXERCICE 5:

1) Calculons la masse de permanganate de potassium

$$m = C \times M \times V = 15,8 \text{ g}$$

2) a) Ecrire l'équation bilan de la réaction



b) calculons la concentration de  $\text{H}_2\text{O}_2$

$$[\text{H}_2\text{O}_2] = \frac{5 \times [\text{MnO}_4^-] \times V_1}{2V_2} = 0,2 \text{ mol/L}$$

3) calculons le volume de dioxygène formé

$$V(\text{O}_2) = \frac{5 \times [\text{MnO}_4^-] \times V_1 V_M}{2} = 0,0896 \text{ L}$$

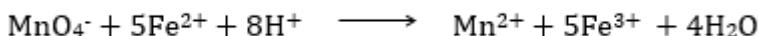
### EXERCICE 7 :

1) montrons que  $C_1 = 0,02 \text{ mol/L}$

$$C_1 = \frac{m_1}{M_1 V} = 0,02 \text{ mol/L}$$

2) a) par la disparition des ions  $\text{MnO}_4^-$

b) Equation bilan de la réaction



c) l'acide sulfurique joue le rôle d'un catalyseur.

d) Le rapport entre  $n(\text{Fe}^{2+})$  et  $n(\text{MnO}_4^-)$

$$\frac{n(\text{Fe}^{2+})}{n(\text{MnO}_4^-)} = 5$$

e) Déterminons la concentration de  $\text{Fe}^{2+}$

$$\frac{C_2 V_2}{C_1 V_1} = 5 ; C_2 = 0,05 \text{ mol/L}$$

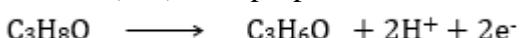
f) Calculons la concentration de  $\text{Fe}^{3+}$

$$[\text{Fe}^{3+}] = \frac{5C_1 V_1}{V_S} = 3,33 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$$

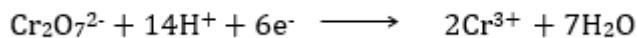
### EXERCICE 9 :

1) Donnons les formules semi-développé du propan-2-ol et du propanone

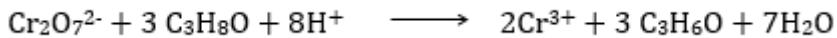
$\text{CH}_3\text{-CH(OH)-CH}_3$  propan-2-ol ;  $\text{CH}_3\text{-C(=O)-CH}_3$  propanone



2) Demi-équation du couple  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}/\text{Cr}^{3+}$



3) En déduire l'équation-bilan

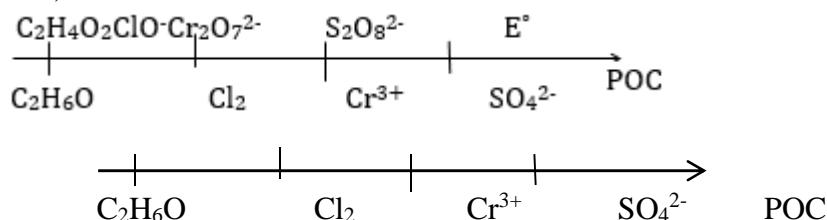


4) Calculons le volume minimal de  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$

$$V(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}) = \frac{m(\text{C}_3\text{H}_8\text{O}) \times V_M}{3M(\text{C}_3\text{H}_8\text{O})} = 0,0149\text{L}$$

### EXERCICE 10 :

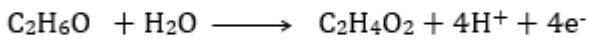
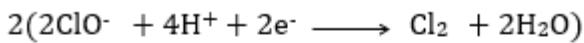
1)



2) Etablissons les demi-équations électroniques des couples



3) a) Ecrire l'équation- bilan de la réaction



b) déterminons le volume d'acide nécessaire

$$V_1 = \frac{4C_2V_2}{C_1} = 400\text{mL}$$

### EXERCICE 14 :

1) Equation bilan de la réaction :



2) a) Calculons la quantité de matière de  $\text{KMnO}_4$

$$n(\text{KMnO}_4) = CV = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

b) calculons la quantité d'ion  $\text{Fe}^{2+}$  oxydés par l'ion  $\text{MnO}_4^-$



$$n_1(\text{Fe}^{2+}) = 5n(\text{MnO}_4^-) = 0,0006\text{mol}$$

c) calculons la quantité de matière de  $\text{Fe}^{2+}$

$$n(\text{Fe}^{2+}) = CV = 0,001$$

d) quantité de matière oxydée par  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$

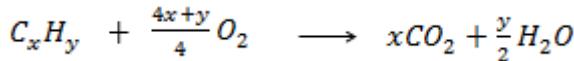
$$n_2(\text{Fe}^{2+}) = 0,0004 \text{ mol}$$

e) quantité de matière de  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$

$$n(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}) = \frac{n_2(\text{Fe}^{2+})}{6} = 6,67 \cdot 10^{-5} \text{ mol}$$

### **EXERCICE 15 :**

1.1) Equation-bilan de la réaction

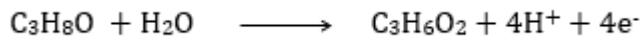
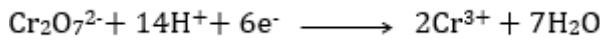


1.2) Trouvons la formule brute

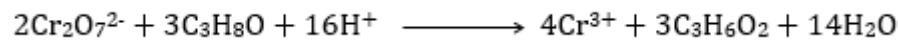
$$n(C_x\text{H}_y) = \frac{n(\text{CO}_2)}{x}; \quad x = \frac{V(\text{CO}_2)}{V(\text{C}_x\text{H}_y)} = 3; \quad y = \frac{2 \times m(\text{H}_2\text{O}) \times V_M}{M(\text{H}_2\text{O}) \times V(\text{C}_x\text{H}_y)} = 6$$

Formule brute :  $\text{C}_3\text{H}_6$ ; formule semi-développé :  $\text{CH}_3\text{-CH=CH}_2$  propène

2.1) Ecrire les demi-équations des couples



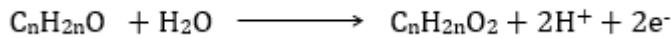
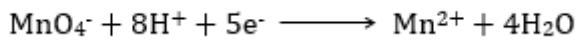
2.2) Equation-bilan de la réaction



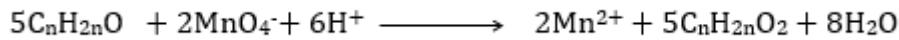
3.1) Réaction esterification.

### **EXERCICE 16:**

1) Ecrire les demi-équations électroniques



2) En déduire l'équation-bilan



3) Exprimons la masse molaire M

$$M(\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}) = \frac{2m}{5 \times c \times V} = \frac{72g}{mol}; n = 4$$

4) Déduisons sa formule brute

FB:  $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}$       FSD:  $\text{CH}_3\text{-CH(CH}_3\text{)-COH}$     2-méthylpropanal

5) Calculons la masse de  $\text{KMnO}_4$

$$m_0 = C_0 \times V_0 \times M = 158g$$

## **CHAPITRE C 10      ELECTROLYSE**

### **A – OBJECTIFS**

Réaliser quelques expériences d'électrolyse.

Appliquer la théorie simplifiée de l'électrolyse.

Citer quelques applications de l'électrolyse

## B- L'ESSENTIEL DU COURS

### Définition

L'électrolyse est l'ensemble des réactions localisées à la surface des électrodes et qui se produisent lors du passage du courant électrique dans une solution ou dans une substance fondue.

### Oxydation anodique et réduction cathodique

L'équation-bilan d'une électrolyse se ramène en général à une réaction d'oxydoréduction provoquée qui se déroule en sens inverse de la réaction spontanée entre les couples mis en jeu.

- Au niveau de l'anode se produisent des réactions d'oxydation (oxydation anodique).
- A la cathode se produisent les réactions de réduction (réduction cathodique).

### Réactions prioritaires

Pour que les réactions d'oxydoréduction démarrent, il faut que la tension aux bornes de l'électrolyseur atteigne une valeur qui dépend des potentiels rédox des couples en interaction.

A priori toute espèce réductrice peut subir une oxydation au niveau de l'anode et toute espèce oxydante peut subir une réduction au niveau de la cathode.

Si on fait croître la tension  $u_{AC}$  entre l'anode et la cathode à partir de la valeur zéro :

\* **la première oxydation** qui se produit à l'anode et celle qui fait intervenir le réducteur le plus fort.

\* **la première réduction** qui se produit à la cathode est celle qui fait intervenir l'oxydant le plus fort.

- Si  $u_{AC}$  continue de croître, il peut se produire au niveau de chaque électrode 2 ou plusieurs réactions.

Nous nous placerons très souvent dans le cas où la tension  $u_{AC}$  a une valeur telle qu'il se produise au niveau de chaque électrode une seule réaction.

Cependant en raison de divers phénomènes, surtension ou autres, les réactions observées peuvent être très complexes et différentes de celles prévues.

En général :

- la réaction d'oxydation anodique est celle des anions du soluté ou des molécules d'eau (solvant) ou de l'anode (électrode) ;
- la réduction cathodique fait intervenir les cations du soluté ou les molécules d'eau (solvant).

### Aspect quantitatif de l'électrolyse

Les variations de quantité de matière des réactifs ou produits de la réaction d'électrolyse sont proportionnelles à la quantité d'électricité transportée par le courant.

### Applications

Les applications de l'électrolyse sont nombreuses et importantes : préparation de certains gaz ( dichlore, dioxygène, dihydrogène ...) ou de certains produits telle que la soude, purification et affinage des métaux (zinc, sodium, argent, cuivre, nickel...), dépôts métalliques (plaques d'or en bijouterie, chromage des pièces métalliques ...)

## C- EXERCICES

### EXERCICE 1 :

- 1-Rappeler brièvement les règles qui permettent de prévoir les réactions qui se produisent aux électrodes en début d'électrolyse.
- 2-Ecrire les équations aux électrodes lors de l'électrolyse de la solution sulfate de sodium avec électrodes inattaquables.
- 3-Ecrire les équations aux électrodes lors de l'électrolyse de la solution sulfate de cuivre avec anode en cuivre.

### EXERCICE 2 :

On peut utiliser l'électrolyse de l'eau pour stocker l'énergie sous forme de dihydrogène. Celui-ci peut ensuite être brûlé ou utilisé dans les piles à combustion.

Dans certains installations, on travaille sous une tension  $U=1,85$  V et une intensité  $I= 104$  A.

- 1-Ecrire les demi-équations des réactions aux électrodes.
- 2-Quel volume de dihydrogène mesuré dans les CNTP obtient-on en 12 h de fonctionnement ?
- 3-Calculer l'énergie électrique consommée pour produire un mètre cube de dihydrogène.

### EXERCICE 3 :

On veut purifier par la méthode de l'électrolyse à anode soluble, une barre de 10 g de cuivre comportant, en masse, 2% d'impuretés inoxydables.

- 1-Décrire la méthode utilisée.
- 2-En maintenant l'intensité du courant à la valeur  $I = 2A$ , combien de temps l'électrolyse durera-t-elle ?

### EXERCICE 4:

On effectue l'électrolyse d'une solution aqueuse de  $\text{CuSO}_4$  avec électrodes inattaquables.

- 1-Ecrire les équations différentes réactions au niveau des électrodes.
- 2- Quelles réactions peut-on prévoir au cours de l'électrolyse?
- 3-Quelle différence constate-t-on avec l'électrolyse de  $\text{CuSO}_4$ , l'anode étant en cuivre ?
- 4-Si on fait l'électrolyse de 1L d'une solution de  $\text{CuSO}_4$ ,  $10^{-2}$  mol.L<sup>-1</sup>, quelle est la quantité d'électricité nécessaire pour faire disparaître tous les ions  $\text{Cu}^{2+}$ ? Quel volume de gaz obtient-on à l'anode ?

### EXERCICE 5:

Une solution contient du nitrate de plomb (II) et du nitrate d'argent. Afin de séparer les deux métaux, on effectue l'électrolyse de la solution avec des électrodes inattaquables (électrolyse à potentiel contrôlé). A l'anode, on observe l'oxydation de l'eau en dioxygène.

- 1-Quelles sont les réactions qui se déroulent à la cathode lorsque l'on augmente lentement la tension entre les électrodes ? Dans quel domaine faut-il fixer cette tension pour que l'un des métaux se dépose ?

2-Si l'on admet qu'initialement les deux solutions ont la même concentration (par exemple  $1\text{ mol.L}^{-1}$ ), détermine la concentration en ions argent lorsque le plomb commence à se déposer.

Le potentiel du couple  $\text{Ag}^+/\text{Ag}$  varie en fonction de la concentration en cations  $\text{Ag}^+$  selon la relation :

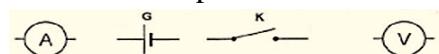
$$E(\text{Ag}^+/\text{Ag}) = 0,80 + 0,06n$$

E étant exprimé en volts et n désignant l'entier relatif tel que  $[\text{Ag}^+] = 10^n \text{ mol.L}^{-1}$ .

### **EXERCICE 6:**

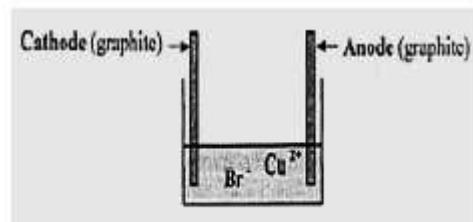
Sous la hotte d'un laboratoire, on obtient le cuivre métallique par électrolyse d'une solution aqueuse de bromure de cuivre II ( $\text{Cu}^{2+}, 2\text{Br}^-$ ). La **figure 1** représente le schéma **incomplet** du dispositif d'électrolyse.

- 1. En vue d'avoir le schéma complet du dispositif d'électrolyse, recopier la figure 1 et la compléter à l'aide des composants suivants :



**2-** On ferme l'interrupteur K, l'électrolyse est réalisée sous une tension E avec une intensité constante I. Au bout d'une durée  $\Delta t$ , on constate que la cathode se couvre d'un dépôt de cuivre métallique et au voisinage de l'anode, il se forme du dibrome gaz ( $\text{Br}_2$ ).

- 2.a-** Sur le schéma précédent du dispositif d'électrolyse, indiquer par des flèches, le sens de déplacement des anions et celui des cations.
- 2.b-** Préciser l'électrode siège d'une oxydation et celle siège d'une réduction. Ecrire les demi-équations correspondantes. En déduire l'équation-bilan de la réaction chimique qui se produit au cours de l'électrolyse.
- 2.c-** La réaction chimique ayant lieu est-elle spontanée ou provoquée ? Justifier.
- 3-** Au bout de la durée  $\Delta t$ , la masse de cuivre déposée est  $m = 63,5 \cdot 10^{-2} \text{ g}$ . Déterminer le volume de dibrome libéré dans les conditions où le volume molaire vaut  $V_m = 24 \text{ L/mol}$ .

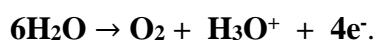


**figure 1**

### **EXERCICE 7 :**

On dissout une masse m de sulfate de nickel ( $\text{NiSO}_4$ ) dans de l'eau pure afin d'obtenir une solution aqueuse (S) de volume  $V = 0,5 \text{ L}$  et de concentration molaire  $C = 0,1 \text{ mol/L}$ .

- 1-** Déterminer la valeur de m.
- 2-** Pour recouvrir une plaque  $P_1$  de fer par une couche de nickel métallique, on réalise l'électrolyse de la solution (S). La plaque  $P_1$  constitue l'une des électrodes de l'électrolyseur. L'autre électrode est une plaque  $P_2$  inattaquable, au niveau de laquelle se produit la transformation schématisée par l'équation :



**2.a-** La réaction ayant lieu au niveau de  $P_2$ , est-elle une oxydation ou une réduction ? Justifier.

**2.b-** Ecrire l'équation schématisant la réaction qui se produit au niveau de  $P_2$ .

2.c- La plaque P<sub>1</sub> joue-t-elle le rôle d'une anode ou d'une cathode lors de l'électrolyse ? Justifier.

2.d- Pour réaliser cette électrolyse, on utilise un générateur de tension G. Laquelle des deux plaques P<sub>1</sub> ou P<sub>2</sub> doit être liée au pôle positif de G ?

3- Après une durée électrolyse Δt, la concentration de la solution en ions Ni<sup>2+</sup> est à 5.10<sup>-2</sup> mol/L. Le volume de la solution (S) est supposé constant au cours de l'électrolyse.

3.a- Justifier la diminution de la concentration en ion Ni<sup>2+</sup> de la solution.

3.b- La concentration de la solution en ion SO varie-t-elle ? Justifier.

3.c- Déterminer la masse du nickel déposé sur la plaque P<sub>1</sub>.

On donne M(Ni)= 59g/mol.

4.- Ecrire l'équation-bilan de l'électrolyse. Cette réaction est-elle spontanée ?

5- Déterminer le volume de dioxygène dégagé au bout de la durée Δt.

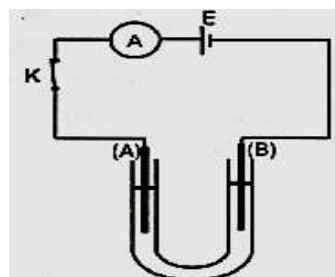
On prendra V<sub>m</sub>= 24L/mol.

### EXERCICE 8 :

On réalise l'électrolyse d'une solution (S) de chlorure d'étain (SnCl<sub>2</sub>), de concentration molaire C et de volume V= 50mL. Le dispositif expérimental est constitué, essentiellement, d'un tube en U contenant la solution (S), d'un générateur de tension, de deux électrodes (A) et (B) en graphite, plongées dans une solution (S) comme le montre la figure ci-contre.

Après une certaine durée de l'électrolyse, on constate :

- La formation d'un dépôt d'étain (Sn), de masse m= 5,95 mg au niveau de la cathode.
- Un dégagement de dichlore au niveau de l'anode schématisée par :  $2\text{Cl}^- \rightarrow \text{Cl}_2 + 2\text{e}^-$ .



1- Ecrire l'équation de la transformation qui a lieu au niveau de la cathode. Préciser, en le justifiant, s'il s'agit de l'oxydation ou d'une réduction de Sn<sup>2+</sup>.

2- En déduire l'équation-bilan de la réaction chimique qui a lieu durant cette électrolyse. Dire, en le justifiant, s'il s'agit d'une réaction chimique spontanée.

3- Déterminer le volume de dichlore dégagé.

### EXERCICE 9 :

On souhaite protéger une lame de fer parallélépipédique en le recouvrant de zinc .Pour ce faire on réalise une électrolyse à électrodes solubles. Le bain est une solution concentrée de chlorure de zinc ( ZnCl<sub>2</sub>).

1- Représenter par un schéma le dispositif

2- Quelle réaction s'opère à chaque électrode ? En déduire l'équation bilan de la réaction d'électrolyse.

3- Comment varie la concentration molaire de [Zn<sup>2+</sup>] ?

4. On désire déposer une épaisseur de 50 μm de zinc sur l'intégralité de la surface de la lame de fer

4.a. Calculer la masse de zinc correspondante.

On donne : ρ<sub>Zn</sub>=7,14 g.cm<sup>-3</sup>; Dimension de la plaque de fer : (L= 7cm ; ℓ= 2,5cm ; h= 0,2cm)

**4.b.** Calculer la durée de l'électrolyse si on applique un courant électrique d'intensité  $I = 0,5 \text{ A}$

On donne  $F = 96500 \text{ C.mol}^{-1}$ ; masse molaire de zinc  $M_{\text{Zn}} = 65 \text{ g.mol}^{-1}$

## D - CORRIGE DES EXERCICES

### EXERCICE 2 :

**1-Les demi-équations des réactions aux électrodes.**

A la cathode, il y a réduction avec formation de dihydrogène :



A l'anode il y a oxydation avec formation de dioxygène :



**2-Volume de dihydrogène mesuré dans les CNTP en 12 h**

$$V(\text{H}_2) = n(\text{H}_2) \cdot V_0 \quad \text{et} \quad n(\text{H}_2) = \frac{1}{2} n(\text{e}^-) = \frac{1}{2} \frac{It}{F} \quad \text{d'où} \quad V(\text{H}_2) = \frac{1}{2} \frac{It}{F} V_0$$

**3-Energie électrique consommée pour produire un mètre cube de dihydrogène.**

$E = U I t = U n(\text{e}^-) F$  avec  $n(\text{e}^-)$ . = le nombre de mol d'électrons qui traverse le circuit pour la formation d'un mètre cube de dihydrogène ;  $n(\text{e}^-) = 2 n(\text{H}_2) = 2 \frac{V(\text{H}_2)}{V_0}$

### EXERCICE 3 :

**1-Méthode à utiliser :** électrolyse solution aqueuse de sulfate de cuivre II avec une anode constituée par la barre impure de cuivre et une cathode inattaquable..

L'électrolyse se soldera par un transport du cuivre pur de l'anode à la cathode.

**2-Durée de l'électrolyse**

On exprime la quantité d'électricité transportée :

On a  $Q = It = n F = \frac{m(\text{Cu pur})}{M(\text{Cu})} F$ ; relation où  $F = 1 \text{ Faraday} = 96500 \text{ C}$ ,  $m(\text{Cu pur})$  = masse

de cuivre pur dans la barre et  $M(\text{Cu})$  = masse molaire du cuivre =  $64 \text{ g.mol}^{-1}$

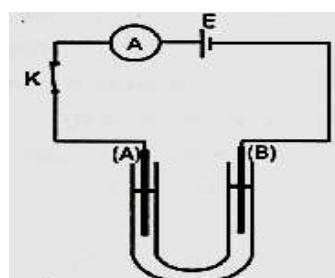
$m(\text{Cu}) = 0,02 \times 10 = 0,2 \text{ g}$

$$t = \frac{m(\text{Cu pur})F}{I \cdot M(\text{Cu})} ; \quad t = 150 \text{ s} = 2,5 \text{ min}$$

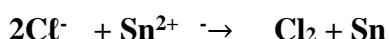
### EXERCICE 8 :

-

**1- Equation de la transformation qui a lieu au niveau de la cathode :** il y a dépôt de Sn d'où l'équation  $\text{Sn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Sn}$   
Il s'agit d'une réduction de  $\text{Sn}^{2+}$ .puisque'il y a gain d'électrons.



**2 Equation-bilan de la réaction chimique qui a lieu durant cette électrolyse.**



C'est une réaction chimique provoquée.

3- Le volume de dichlore dégagé.

D'après l'équation-bilan de la réaction on n :  $n(Cl_2) = n(Sn) = \frac{m(Sn)}{M(Sn)}$

Le volume de gaz dégagé :  $V(Cl_2) = n(Cl_2) \cdot V_m = \frac{m(Sn)}{M(Sn)} V_m$

## CHAPITRE C11 OXYDOREDUCTION PAR VOIE SECHE

### A-OBJECTIFS

Citer des exemples de réactions d'oxydoréduction par voie sèche ;

Utiliser les règles d'attribution des nombres d'oxydation ;

Utiliser les nombres d'oxydation pour identifier une réaction d'oxydoréduction ;

Utiliser les nombres d'oxydation pour distinguer un oxydant d'un réducteur

Utiliser les nombres d'oxydation pour distinguer une oxydation d'une réduction

Utiliser les nombres d'oxydation pour équilibrer une réaction redox

Généraliser le concept d'oxydoréduction

Expliquer la corrosion

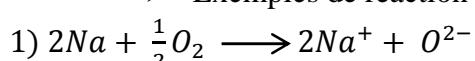
Citer les différents types de corrosion

Citer quelques méthodes de protection des métaux

### B-L'ESSENTIEL DU COURS

#### ❖ Réaction d'oxydoréduction par voie séché :

➤ Exemples de réaction avec transfert d'électron :



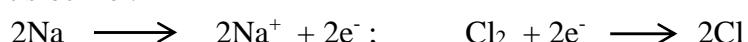
Au cours de la réaction le sodium a été oxydé :  $2Na \longrightarrow 2Na^+ + 2e^-$

L'oxygène a été réduit :  $\frac{1}{2}O_2 + 2e^- \longrightarrow O^{2-}$

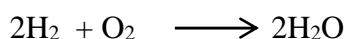
En définitive il y a eu un transfert d'électrons du sodium vers l'oxygène.



Au cours de la réaction, il y a eu transfert d'électrons du sodium au chlore, les équations peuvent s'écrire :



➤ Réaction du dihydrogène avec le dioxygène :



Il n'y a pas transfert total d'électrons d'une espèce à une autre, puisque dans la molécule d'eau l'atome d'oxygène et les atomes d'hydrogènes sont unis par des liaisons de covalence.

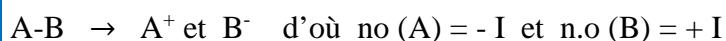
**NB : Toute réaction qui se solde par un transfert réel d'électrons est une oxydoréduction. Mais toute réaction d'oxydoréduction ne se solde pas par un transfert réel d'électrons**

❖ **Nombre d'oxydation :**

➤ **Définition**

Le nombre d'oxydation d'un élément dans une combinaison donnée égale la valeur algébrique de la charge que posséderait l'atome de cet élément si tous les doublets d'électrons établis avec d'autres atomes étaient accaparés par le plus électronégatif

Soit la combinaison A-B avec B plus électronégatif que A. Si le doublet d'électrons était accaparé par B on aurait les ions  $A^+$  et  $B^-$ ; on considère que dans A-B le n.o de A est  $+I$  et celui de B est  $-I$



➤ **Règles d'attribution du nombre d'oxydation**

Cas d'un ion simple : Le nombre d'oxydation d'un élément dans un composé monoatomique est égal à la charge de l'ion

Exemples :  $Na^+(n.o = +1)$  ;  $Cl^-(n.o = -1)$  ;  $Al^{3+}(n.o = +3)$  ;  $S^{2-}(n.o = -2)$

Cas des molécules : Le nombre d'oxydation d'un élément dans la molécule est la charge (fictive) qui serait présente dans un atome de l'élément si les électrons de chaque liaison covalente étaient attribués à l'atome le plus électronégatif.

Exemples :  $H-Cl$  ( $n.o(H) = +1$  ;  $n.o(Cl) = -1$ ) ;  $H_2O$  ( $n.o(H) = +1$  ;  $n.o(O) = -2$ ).

➤ **Evolution des nombres d'oxydation :**

**Exemple :**  $2Na + \frac{1}{2} O_2 \longrightarrow 2Na^+ + O^{2-}$

Dans cette réaction le n.o de Na initial est égal à 0 et le n.o de Na final est +1 : le n.o de Na à augmenter, le sodium est oxydé.

Par contre le n.o de l'oxygène est passé de 0 à -2 : il a diminué ; l'oxygène est réduit .

➤ **Définitions**

L'oxydation correspond à une augmentation du n.o

La réduction correspond à une diminution du n.o

Un oxydant est une espèce chimique qui contient un élément dont le n.o peut diminuer.

Un réducteur est une espèce chimique qui contient un élément dont le n.o peut augmenter.

## C - EXERCICES

### EXERCICE 1

**1-** Calculer le nombre d'oxydation de l'azote dans les espèces chimiques suivantes : NO<sub>2</sub> ; N<sub>2</sub>O ; N<sub>2</sub> ; NO ; N<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ; NH<sub>3</sub> ; NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ; NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Conclure

**2-** Calculer le nombre d'oxydation du soufre dans les espèces chimiques suivantes S<sup>2-</sup> ; S ; H<sub>2</sub>S ; H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ; SO<sub>2</sub> ; S<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>2-</sup> ; S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup>. Classer sur un axe horizontal ces espèces par nombre d'oxydation croissant du soufre.

**3-** Calculer le nombre d'oxydation de l'élément manganèse dans les espèces chimiques suivantes : Mn<sup>2+</sup> ; MnO<sub>4</sub><sup>-</sup> ; MnO<sub>2</sub> ; MnO<sub>4</sub><sup>2-</sup> ; MnO<sub>4</sub><sup>3-</sup> ; Mn<sub>2</sub>O<sub>7</sub> ; Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

### EXERCICE 2:

**1-C**alculer le nombre d'oxydation de l'azote dans les espèces chimiques suivantes : NO<sub>2</sub> (dioxyde d'azote) ; N<sub>2</sub>O hémioxyde d'azote ) ; N<sub>2</sub>(diazote ) ; NO (monoxyde d'azote ) N<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (sesquioxyde d'azote); NH<sub>3</sub> (ammoniac) , NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (ion nitrate ) ; NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (ion ammonium ) Conclure

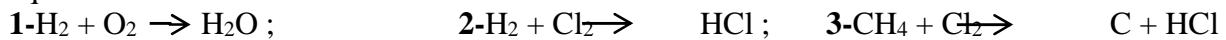
**2-C**alculer le nombre d'oxydation du soufre dans les espèces chimiques suivantes S<sub>2</sub><sup>-</sup> (ion sulfure) ; S (soufre) ; H<sub>2</sub>S (sulfure d'hydrogène) ; H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (acide sulfuriques ) SO<sub>2</sub> (dioxyde de soufre) ; S<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>2-</sup> (ion thiosulfate) ; S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup> (ion péroxodisulfate)

Classer sur un axe horizontal, ces espèces par nombre d'oxydation croissant du soufre.

**3-C**alculer le nombre d'oxydation de l'élément manganèse dans les espèces chimiques suivantes : Mn<sup>2+</sup> ; MnO<sub>4</sub><sup>-</sup> ; MnO<sub>2</sub> ; MnO<sub>4</sub><sup>2-</sup> ; MnO<sub>4</sub><sup>3-</sup> ; Mn<sub>2</sub>O<sub>7</sub> ; Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

### EXERCICE 3 :

Les équations suivantes traduisent-elles des réactions redox ? Si oui, utiliser les n.o. pour les équilibrer.



### EXERCICE 4 :

**1-Q**uels sont les nombres d'oxydation des éléments présents dans l'oxyde d'aluminium (alumine), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ?

**2-A**u cours de la préparation industrielle de l'aluminium (métal), l'alumine est transformé, dans un premier temps, en ion aluminate, Al(OH)<sub>4</sub><sup>-</sup>. S'agit-il d'une réaction d'oxydoréduction ?

### EXERCICE 5 :

L'oxyde magnétique a pour formule Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. Dans ce cristal ionique, l'élément oxygène est présent sous forme d'ions oxyde O<sup>2-</sup>.

**1-C**alculer le nombre d'oxydation de l'élément fer. En quoi le résultat obtenu est-il surprenant

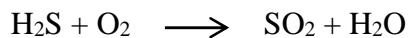
**2-O**n peut montrer que le cristal comporte des ions Fe<sup>2+</sup> et des ions Fe<sup>3+</sup>. On écrit dans ce cas la formule de l'oxyde magnétique sous la forme : (x Fe<sup>2+</sup> + y Fe<sup>3+</sup> + 4 O<sup>2-</sup>).

Déterminer x et y.

### EXERCICE 6:

**1-M**ontrer que la réaction d'équation, à équilibrer en utilisant les n.o., est une réaction d'oxydoréduction : H<sub>2</sub>S + SO<sub>2</sub> → S + H<sub>2</sub>O

**2-C**e réaction permet d'obtenir du soufre à partir du sulfure d'hydrogène H<sub>2</sub>S .On brûle d'abord une partie du sulfure d'hydrogène, selon l'équation, à équilibrer :



Puis on fait réagir le sulfure d'hydrogène, selon l'équation donnée en 1-. On dispose de 1m<sup>3</sup> de gaz H<sub>2</sub>S que l'on veut transformer en soufre

**2.1-**Quel volume de H<sub>2</sub>S faut-il d'abord oxyder en SO<sub>2</sub> ?

**2.2-**Quel volume de dioxygène cela consomme-t-il ?

Tous les volumes gazeux sont mesurés dans les mêmes conditions.

### **EXERCICE 7:**

**1-**L'oxyde de manganèse Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub> est constitué de manganèse aux nombres d'oxydation II et III. Déterminer, pour une mole Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, le nombre d'« atomes » de manganèse au nombre d'oxydation II et au nombre d'oxydation III.

**2-A** 1000°C, le sulfate de manganèse MnSO<sub>4</sub> se décompose en donnant : l'oxyde Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, le dioxyde de soufre SO<sub>2</sub> et le trioxyde SO<sub>3</sub>.

**2.1-**Déterminer le nombre d'oxydation du soufre dans les trois composés où il est présent.

**2.2-**Equilibrer l'équation bilan de la réaction.

L'oxygène est toujours au nombre d'oxydation -II.

### **EXERCICE 8:**

Dans un four électrique, l'alumine anhydre réagit avec le carbone pour donner du monoxyde de carbone et un composé ionique, le carbure d'aluminium, Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub>.

**1-**Ecrire l'équation bilan de la réaction et l'analyser à l'aide des n.o.

**2-Traité par l'eau**, le carbure d'aluminium donne du métal et de l'hydroxyde d'aluminium.

**2.1--** Ecrire l'équation bilan de la réaction.

**2.2-S'**agit-il d'une réaction d'oxydoréduction ?

### **EXERCICE 9**

A 10mL d'eau de javel contenant 6.10<sup>-2</sup>mol d'ion hypochlorite (ClO<sup>-</sup>), on ajoute une solution d'iodure de potassium (KI) contenant 8.10<sup>-2</sup>mol d'iode (I<sup>-</sup>). A ce mélange on ajoute quelques gouttes d'une solution d'acide sulfurique ; on observe alors une coloration brune suite à la formation de la diiode (I<sub>2</sub>).

**1-** Déterminer le nombre d'oxydation de l'iode (I) dans les entités chimiques suivantes : I<sup>-</sup> et I<sub>2</sub>.

**2-** L'un des couples redox mis en jeu dans cette expérience est le couple (ClO<sup>-</sup>/Cl<sup>-</sup>). Préciser l'autre couple redox en justifiant votre réponse.

**3-** Ecrire l'équation-bilan de la réaction d'oxydoréduction. S'agit-il d'une réaction redox par voie sèche ou humide ? Justifier.

**4-** Le mélange est-t-il dans les proportions stoechiométriques ? Déterminer la quantité de matière de diiode formé en supposant que la réaction est pratiquement totale.

### **EXERCICE 10 :**

On fait barboter du sulfate d'hydrogène H<sub>2</sub>S dans une solution aqueuse d'acide nitrique HNO<sub>3</sub>. Une réaction se produit donnant du soufre et du monoxyde d'azote NO et de l'eau.

**1-** Montre qu'il s'agit d'une réaction d'oxydo-réduction. Identifier la forme oxydée et la forme réduite.

**2-** Lesquels sont les couples redox mis en jeu ? Écrire les équations du demi- réaction correspondantes.

**3-** En utilisant le nombre d'oxydation, écrire l'équation de cette réaction.

## D – CORRIGE DES EXERCICES

### EXERCICE 5 :

1 : L'application des règles de calcul des n.o à la formule  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  permet d'écrire

$$3x + 4(-2) = 0 \text{ d'où } x = 8/3$$

Le résultat est surprenant du fait que le nombre d'oxydation trouvé n'est pas entier

**2-**

L'application des règles de calcul des n.o à la formule à la formule ( $x \text{ Fe}^{2+} + y \text{ Fe}^{3+} + 4 \text{ O}^{2-}$ ). donne :  $2X + 3Y + 4(-2) = 0$  ;  $X+Y = 3$  (l'atomicité est 3 pour Fe)

La résolution du système d'équation donne :  $Y = 8-6 = 2$  et  $X = 3-2 = 1$

### EXERCICE 10 :

**1-** Le nombre d'oxydation de S croit de - 2 dans  $\text{H}_2\text{S}$  à 0 dans S ; ce qui correspond à une oxydation ; donc c'est une réaction redox.

Le nombre d'oxydation x de N dans  $\text{HNO}_3$  est donné par :  $1+x+3(-2) = 0$  d'où  $x = +5$

Le nombre d'oxydation y de N dans NO est :  $y +(-2) = 0$  d'où  $y = +2$

Le n.o de N décroît de +5 à +2 ; ce qui correspond à une réduction

L'élément oxydé est S et l'élément réduit est N

3 Les couples redox mis en jeu :



Les demi- équations correspondantes.



3 Equation-bilan de la réaction..



## **DEUXIEME PARTIE : EXERCICES CORRIGES DE PHYSIQUE**

# CHAPITRE P1 TRAVAIL -PUISSEANCE

## A-OBJECTIFS

Calculer le travail d'une force d'intensité constante.

Distinguer travail moteur et travail résistant.

Calculer une puissance moyenne ou instantanée.

Donner des ordres de grandeur de quelques de puissance

## B- LESSENTIEL DU COURS

### Travail

Une force effectue un travail lorsque son point d'application se déplace.

Expression du travail d'une force constante sur un déplacement AB rectiligne

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \overrightarrow{AB} = \mathbf{F} \cdot \overrightarrow{AB} \cos(\vec{F}, \overrightarrow{AB})$$

- Si  $\vec{F}$  et  $\overrightarrow{AB}$  sont de même sens  $W(\vec{F}) > 0$  : le travail est moteur et la force est dite motrice
- Si  $\vec{F}$  et  $\overrightarrow{AB}$  sont de sens contraire  $W(\vec{F}) < 0$  : le travail est dit résistant et la force est résistante
- Si  $\vec{F}$  et  $\overrightarrow{AB}$  sont perpendiculaires sens  $W(\vec{F}) = 0$  : la force n'effectue aucun travail

**Unité :** Dans le système international le travail s'exprime en joule ( J)

Une autre unité de travail et d'énergie est le wattheure (Wh) ; 1Wh=3600J

Un multiple du wattheure est le kilowattheure= 1000Wh utilisé par la SENELEC

Cas où la force n'est pas constante et/ou le trajet n'est pas rectiligne, on détermine les travaux élémentaires de la force puis on les additionne.

### Applications :

- Travail du poids d'un corps  $w(\vec{P}) = mg(Z_A - Z_B)$  ;  $Z_A$  et  $Z_B$  sont les coordonnées des points A et B sur un axe vertical ascendant.
- Travail de la force élastique exercé par l'opérateur :  $W(\vec{F}) = \frac{1}{2}K(x_f^2 - x_i^2)$  ; ainsi le travail de la tension du ressort s'écrit :  $W(\vec{T}) = -\frac{1}{2}K(x_f^2 - x_i^2)$
- Travail du couple de torsion :  $W^c = -\frac{1}{2}C(\theta_f^2 - \theta_i^2)$

### Puissance

$$\text{Puissance moyenne} : P_m = \frac{W}{t}$$

$$\text{Puissance instantanée} : P(\vec{F}) = \frac{dW(\vec{F})}{dt}$$

### Conséquences :

- sur un déplacement rectiligne :  $P(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{V}$
- pour un mouvement de rotation autour d'un axe fixe de rotation  $\Delta$  :

$$P(\vec{F}) = M_\Delta(\vec{F}) \times \omega$$

## C- EXERCICES

### EXERCICE 1

Une caisse dont l'intensité du poids  $P= 10 \text{ N}$  glisse à la vitesse constante  $v$  sur un plan incliné d'un angle  $\alpha=20^\circ$ .

Le contact entre la caisse et le plan s'effectue avec frottement.

- 1- Faire le bilan des forces qui s'exercent sur la caisse
- 2- Enoncer le principe de l'inertie
- 3- Calculer l'intensité de la réaction  $\vec{R}$  du support de la caisse.
- 4- La caisse parcourt une distance  $l=2\text{m}$  à la vitesse  $v= 1,5 \text{ m/s}$ . Calculer pour ce parcours le travail effectué par le poids et par la réaction
- 5- Calculer les puissances moyennes  $P_m(\vec{P})$  du poids et  $P_m(\vec{R})$  de la réaction
- 6- Calculer les puissances instantanées  $P(P)$  du poids et  $P(\vec{R})$  de réaction
- 7- Comparer  $P_m(\vec{P})$  et  $P(\vec{P})$  puis  $P_m(\vec{R})$  et  $P(\vec{R})$

### EXERCICE 2

Une voiture de masse  $M=1,2 \text{ t}$  tracte à la vitesse  $v=60 \text{ km/h}$  une caravane de masse  $M'=800 \text{ kg}$  dans une montée rectiligne de pente 8%

Les forces de frottement diverses qui s'opposent à l'avancement équivalent à une force unique parallèle à la roue de sens opposé à celui du vecteur vitesse d'intensité constante ; elle vaut : Pour la voiture  $f=100 \text{ N}$  et pour la caravane  $f'=200 \text{ N}$

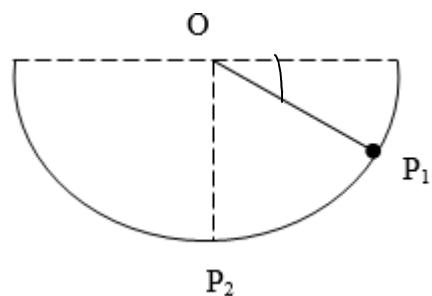
- 1- Faire le bilan des forces qui agissent sur la voiture puis sur la caravane. On notera  $\vec{F}$  la force de traction de la voiture et  $\vec{F}'$  la force exercée par le crochet de la voiture sur la caravane
- 2- En appliquant le principe de l'inertie au véhicule puis à la caravane calculer les intensités de  $\vec{F}$  et  $\vec{F}'$
- 3- Quelle puissance la force  $\vec{F}$  développe-t-elle ? Même question pour la force  $\vec{F}'$
- 4- Quelle est la puissance totale des forces résistantes  $\vec{f}$  et  $\vec{f}'$

### EXERCICE 3

Un palet autoporteur  $P$  de masse  $M=100\text{g}$  glisse sans frottement à l'intérieur d'une auge cylindrique de rayon  $r=1\text{m}$  d'axe horizontal passant par  $O$ .

Recenser les forces qui s'appliquent sur le palet et Calculer leur travail quand ce dernier glisse de la position  $P_1$  à la position  $P_2$ .

Prendre  $g=9,8 \text{ SI}$



#### **EXERCICE 4**

Un ressort de longueur  $l_0=20$  cm et de constante de raideur  $k =25$  N/m est suspendu à un support

- 1- Calculer le travail de la force qu'il faut exercer sur l'extrémité du ressort pour l'allonger de

10 cm

- 2- A l'extrémité libre, on suspend un corps de masse  $m=300$ g Calculer la longueur du ressort à l'équilibre
- 3- Le corps de 300g étant suspendu au ressort, on tire verticalement sur lui vers le bas. Calculer le travail à fournir pour le faire descendre de 5 cm.

#### **EXERCICE 5**

A l'extrémité d'une barre mobile autour d'un axe passant par son centre d'inertie. On applique une force  $\vec{F}$  de moment  $M (\vec{F})=50$  N.m

- 1- Calculer le travail produit par cette force lorsque la barre a tourné de 75 tours.
- 2- Quelle est la puissance moyenne développée pour une durée de 4 min.

#### **EXERCICE 6**

On remonte un seau d'eau du fond d'un puits en enroulant la corde autour d'un cylindre d'axe horizontal de rayon  $r=10$ cm. Il suffit pour cela d'exercer à l'extrémité A de la manivelle une force  $\vec{F}$  perpendiculaire à OA d'intensité constante  $F=23,5$  N.

- 1- Combien de tours la manivelle doit-elle effectuer par seconde pour que le seau se déplace à la vitesse  $v=1$ m/s
- 2- La longueur OA de manivelle est 50 cm. Calculer de deux façons différentes le travail  $W$  que l'opérateur doit fournir pour remonter le seau de masse  $m=12$  kg du fond du puits de profondeur  $H=40$ m
- 3- Calculer la puissance  $P$  développée par l'opérateur (la vitesse étant constante)

#### **EXERCICE 7**

Un train de masse totale  $m=1000$  tonnes roule sur une voie rectiligne horizontale à la vitesse  $v= 40$  m/s. Sur une rampe de pente 1% la vitesse devient 25m/s les moteurs développant la même puissance.

Les forces résistantes sont équivalentes à une force unique  $F$  de même direction que la vitesse mais de sens contraire. Son intensité est  $F=Kv^2$ ,  $v$  est la vitesse instantanée

- 1- Calculer la constante K
- 2- Calculer la puissance développée par les moteurs
- 3- Sur une voie rectiligne le train parcourt une distance  $d$  avec la vitesse  $v$ . Exprimer le travail fournit par la force motrice en fonction de  $d$  et  $v$

Application numérique :  $d=1$ km

1<sup>er</sup> cas  $v=120$ km/h      2<sup>ème</sup> cas  $v=180$ km/h

### **EXERCICE 8 :**

On considère un treuil couplé à un arbre moteur qui exerce sur l'axe un couple de moment  $M$ . Sur le tambour de rayon  $r=30$  cm est enroulé un fil qui soulève à une vitesse constante une charge de poids  $2000$  N

1. Calculer le moment du couple moteur
2. Calculer le travail du couple moteur pour 25 tours de treuil
3. De quelle hauteur s'est élevée la charge pour 25 tours. Calculer le travail du poids de la charge
4. Quelle est la puissance du moteur si la vitesse angulaire du treuil est  $\omega=1$  tour/s

### **EXERCICE 9**

Un solide S de masse  $m=500$  g repose sur un plan incliné d'un angle  $\alpha = 30^\circ$  par rapport à l'horizontale. Il est maintenu en équilibre par l'intermédiaire d'un ressort de constante de raideur  $k=40$  N/m. Les frottements sont supposés négligeables.

- 1- Calculer l'allongement du ressort.
- 2- On déplace le solide S de sa position d'équilibre d'une distance  $d=20$  cm
- 2-1- Calculer le travail du poids du solide au cours de ce déplacement.
- 2-2- Calculer le travail de la tension du ressort au cours du même déplacement.

### **EXERCICE 10**

Une barre homogène AB, de longueur  $2l=40$  cm est suspendu en son milieu à un fil de torsion vertical, de constante de torsion  $C=1,5 \cdot 10^{-4}$  Nm/rad.

Le fil n'est pas initialement tordu. On fixe en A et B deux masselottes ponctuelles de fer et on approche de A un aimant perpendiculairement à la direction initiale de AB. La barre effectue alors une rotation d'un angle  $\theta=15^\circ$  puis s'immobilise.

- 1- Calculer l'intensité de la force magnétique s'exerçant sur A (on ne tiendra compte que la force magnétique s'exerçant sur ce point).
- 2- Calculer le travail du couple de torsion du fil.

### **EXERCICE 13**

Un solide ponctuel de masse  $m=100$  g effectue le trajet ABM : la partie AB est inclinée d'un angle

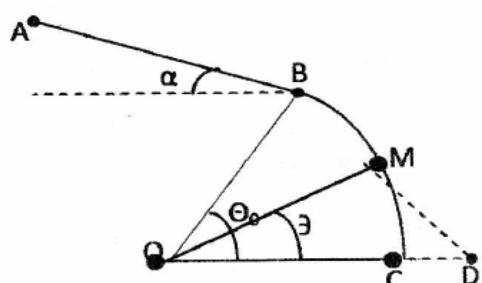
$\alpha=30^\circ$  par rapport à l'horizontale de longueur

$AB=L=5$  m ; BC est une portion de cercle de centre O, de rayon  $r=2$  m et d'angle  $\theta_0=(\overrightarrow{OC}, \overrightarrow{OB})=60^\circ$ .

Les forces de frottement sont équivalentes à une force unique  $\vec{f}$  d'intensité  $f=0,8$  N.

On donne  $\theta=(\overrightarrow{OC}, \overrightarrow{OM})=30^\circ$ .

- 1- Déterminer le travail du poids au cours des déplacements AB et BM.
- 2- Déterminer le travail de la force de frottement pour ces mêmes déplacements.
- 3- En M, le solide se libère de la piste et tombe au point D sous l'action de son poids. Déterminer le travail du poids au cours du déplacement MD.



## **EXERCICE 12**

- 1-** Un ressort de raideur  $K = 100\text{N/m}$  est fixé en un point A. A l'extrémité libre, on accroche un solide de masse  $m = 200\text{g}$ . Le ressort s'allonge verticalement d'une longueur  $x$  et le solide s'immobilise.

Calculer pendant ce déplacement :

**1.1-** Le travail effectué par le poids

**1.2-** Le travail de la tension du ressort.

- 2-** On possède un ressort à spires non jointives de longueur à vide 10 cm. La limite d'élasticité de ce ressort correspond à  $\square_{\max} = 20 \text{ cm}$ . L'étude de l'allongement sous l'influence d'un corps masse  $m$  a donné les résultats suivants :

m(g)	10	20	30	40	50	60	70	100
$\Delta \square(\text{mm})$	5	9,5	15	20,5	25	30	35,5	51

$$\|T\| = f(\|\Delta \square\|)$$

- 2.1-** Tracer la courbe ; en déduire le coefficient de raideur de ce ressort.

- 2.2-** Le ressort n'étant pas chargé, on tire progressivement sur l'une de ses extrémités de manière à ce qu'il mesure 15 cm. Déterminer le travail de la force qui a permis cet allongement.

- 2.3-** On place à l'extrémité du ressort une masse de 80 g. Le ressort s'allonge. On tire alors progressivement sur la masse de manière à atteindre la limite d'élasticité de ce ressort. Calculer le travail de la force qui a permis d'obtenir ce résultat.

## **EXERCICE 13**

- Un mobile de masse  $m= 200 \text{ g}$  considéré comme ponctuel se déplace le long d'une glissière lisse ABCDE située dans un plan vertical. La piste ABCDE comprend quatre parties (*voir figure*) :
- une partie AB rectiligne de longueur  $L=2\text{m}$  inclinée d'angle  $\beta= 30^\circ$  par rapport à l'horizontale.
- une partie circulaire  $\widehat{BC}$  de rayon  $r_1 = 50 \text{ cm}$  tel que  $\widehat{BOC} = \alpha= 60^\circ$  ;
- une partie circulaire CD de rayon  $r_2= r_1$  tel que  $\widehat{CO'D}= \theta= 45^\circ$  ;
- une partie rectiligne DE.

Tout au long de la piste, les frottements sont équivalents à une force unique  $\vec{f}$  d'intensité  $f = 0,5\text{N}$ .

Sur la partie horizontale, on place un ressort de constante de raideur  $K= 50\text{N.m}^{-1}$  dont l'extrémité libre coïncide avec le point D de la piste.

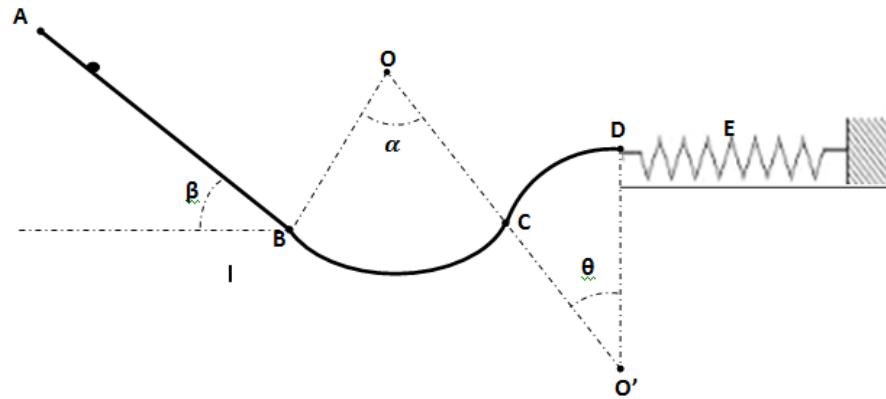
- 3.1-** Déterminer le travail de chacune des forces qui s'exercent sur le mobile pendant les trajets AB et BC

- 3.2-** Le mobile a parcouru la distance AB à la vitesse constante  $V= 1,5 \text{ m/s}$ .

**3.2.a-** Evaluer la puissance développée par chacune de ces forces au cours du trajet AB.

**3.2.b-** Calculer la durée  $\Delta t$  de parcours du mobile sur le tronçon AB.

- 3.3-** Déterminer le travail de chaque des forces qui s'exercent sur le mobile



figure

#### **EXERCICE 14**

Un treuil de rayon  $r = 10\text{cm}$  est actionné à l'aide d'une manivelle de longueur  $L = 50\text{cm}$ . On exerce une force  $\vec{F}$  perpendiculaire sur la manivelle afin de faire monter un charge de masse  $m = 50\text{kg}$  qui glisse le long d'un angle  $\alpha = 30^\circ$  par rapport à l'horizontal (**voir figure**). Le poids du treuil, de la manivelle et de la corde sont négligeables devant les autres forces qui leurs sont appliquées.

Les frottements sont négligés au cours de la montée de la charge.

**4.1-** Déterminer la valeur de la force  $\vec{F}$  pour qu'au cours de la montée, le centre de la charge soit en mouvement rectiligne uniforme.

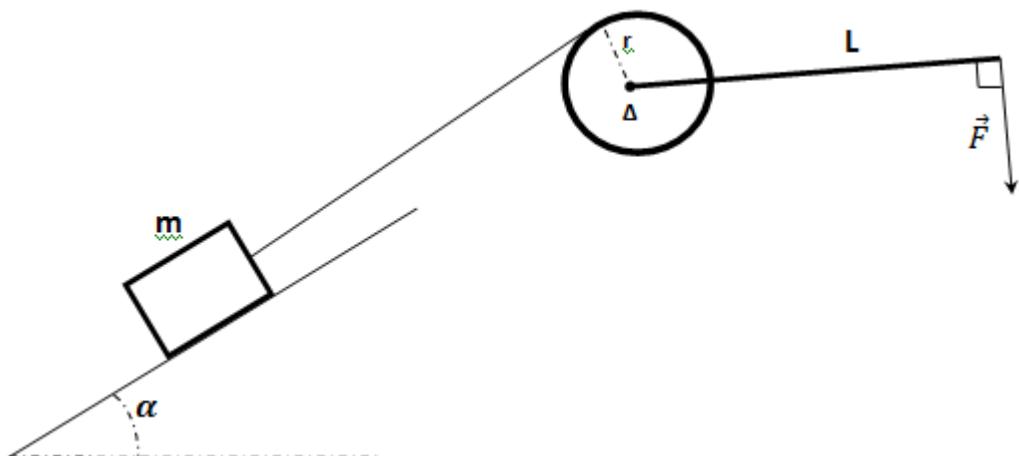
**4.2-** Déterminer le travail effectué par la force  $\vec{F}$  quand la manivelle effectue  $n = 10$  tours.

**4.3-** Déterminer le travail du poids de la charge.

**4.4-** la manivelle est supprimée. La charge descend à vitesse constante. Sur le tambour du treuil apparaissent des forces de frottement qui se traduisent par l'existence d'un couple de moment  $M\vec{f}_{/\Delta}$ .

**4.4.a-** Déterminer le moment  $M\vec{f}_{/\Delta}$  du couple des forces de frottement.

**4.4.b-** Que vaut alors la puissance développée par le couple de frottement ainsi que la puissance développée par le poids de la charge sachant que la vitesse angulaire tambour est  $\omega = 2\text{tours/s}$ .



figure

## **EXERCICE 15**

**1-** Un pendule simple est constitué d'une bille de petite dimension, de masse  $m = 50\text{g}$ , reliée à un support fixe par un fil inextensible de longueur  $L = 60,0\text{cm}$  et de masse négligeable.

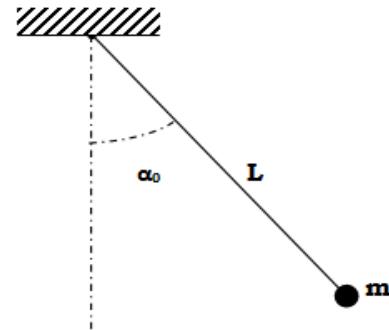
(voir figure 1).

On écarte ce pendule de sa position d'équilibre d'un angle  $\alpha_0 = 30^\circ$  et on le lâche sans vitesse initiale.

**1.1-** Déterminer l'expression littérale du travail du poids de la bille du pendule entre sa position initiale et une position quelconque repérée par l'angle  $\alpha$ .

**1.2-** Calculer le travail du poids de cette bille entre la position initiale et la position d'équilibre  $\alpha_E$ .

**1.3-** Déterminer le travail du poids de la bille entre les positions repérées par  $\alpha_0$  et  $-\alpha_0$ .



**figure 1**

**1.4-** Déterminer le travail de la tension du fil entre deux positions quelconques du pendule.

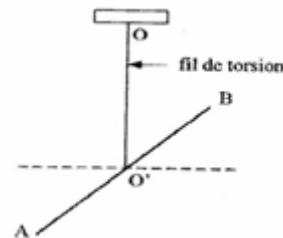
**2-** On considère le pendule de torsion, de constante de torsion  $C = 4,8 \cdot 10^{-2}\text{N.m.rad}^{-1}$ , représenté par la figure ci-contre.

On tourne la barre AB d'un angle  $\theta_0 = 30^\circ$  autour de l'axe vertical OO' puis on le lâche. AB prend un mouvement oscillatoire autour de OO' tout en restant dans un plan horizontal.

Calculer le travail effectué par le couple de torsion entre la position  $\theta_0 = 30^\circ$  et les positions suivantes :

a)  $\theta_1 = 10^\circ$  ; b)  $\theta_2 = 0^\circ$  ; c)  $\theta_3 = -10^\circ$  ; d)  $\theta_4 = -30^\circ$ .

pendant la montée CD.



**3.4-** Arrivé au point D, le mobile rencontre l'extrémité libre d'un ressort placé horizontalement. Le ressort subit alors une compression  $DE = x = 10\text{cm}$ .

Calculer le travail effectué par la force élastique d'un ressort et celui du poids du mobile lors la compression de D à E.

## **D- CORRIGE DES EXERCICES**

**EXERCICE 3** :  $\vec{R}$  et  $\vec{P}$  ;  $W_{\vec{R}} = 0$  et  $W_{\vec{P}} = 0,49\text{J}$

**EXECICE 5** ; Puissance =98,125W

**EXERCICE 11** : 1) 196 N ;2) 100 rds 3) 3920 J et 4) 392W

## CHAPITRE P2 ENERGIE CINETIQUE

### A- OBJECTIFS

Déterminer l'énergie cinétique d'un système (calcul, exploitation d'enregistrement)

Déterminer pour certains cas simples le moment d'inertie d'un solide par rapport à un axe fixe.

Appliquer le théorème de l'énergie cinétique à un système donné.

### B - L'ESSENTIEL DU COURS

C'est l'énergie acquise par un système du fait de mouvement, elle est liée à la vitesse.

La grandeur physique caractérisant l'énergie est notée  $E_c$  et elle s'exprime en Joule.

#### Energie cinétique d'un point matériel

L'énergie cinétique d'un point matériel de masse  $m$  à un instant où sa vitesse est  $V$  est donnée par l'expression :

$$E_c = \frac{1}{2} m V^2$$

L'énergie cinétique est une grandeur positive. Sa valeur croît soit avec la masse, soit avec le carré de sa vitesse. L'énergie cinétique d'un corps dépend du référentiel dans lequel on l'évalue.

#### Energie cinétique d'un solide en translation

Considérons un solide de masse  $M$  en mouvement de translation de vitesse  $V$ . On dit qu'un solide est en mouvement de translation si tous les points matériels du solide ont des vecteurs vitesses égales durant le mouvement.

Soit un solide constitué d'une infinité de points matériels  $A_1, A_2, A_3, \dots$  de masses respectives  $m_1, m_2, m_3, \dots$

L'énergie cinétique du solide ( $S$ ) est la somme des énergies cinétiques de tous les points matériels :

$$E_c = E_{c1} + E_{c2} + E_{c3} + \dots$$

$$E_c = \frac{1}{2} m_1 V_1^2 + \frac{1}{2} m_2 V_2^2 + \frac{1}{2} m_3 V_3^2 + \dots$$

Comme  $V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V$  (car le solide est en translation)

$$E_c = \frac{1}{2} (m_1 + m_2 + m_3 + \dots) V^2$$

D'où l'expression donnant l'énergie cinétique d'un solide :

$$E_c = \frac{1}{2} M V^2 ; \quad \left\{ \begin{array}{l} M : \text{en kg} \\ V : \text{en m/s} \\ E_c : \text{en J} \end{array} \right. \text{ avec } M = m_1 + m_2 + m_3 + \dots$$

#### Cas d'un Système en rotation

Considérons un solide animé d'un mouvement de rotation autour d'un fixe ( $\Delta$ ).

Tous les points matériels du solides ( $A_1, A_2, A_3, \dots$ ) décrivent des cercles centrés sur l'axe de rotation, de rayons respectifs  $R_1, R_2, R_3, \dots$ . Les vitesses angulaires  $\omega$  de tous les points sont les mêmes.

L'expression de l'énergie cinétique du solide à un instant où sa vitesse angulaire est  $\omega$  sera donnée par :

$$E_c = E_{c1} + E_{c2} + E_{c3} + \dots$$

$$E_c = \frac{1}{2} m_1 V_1^2 + \frac{1}{2} m_2 V_2^2 + \frac{1}{2} m_3 V_3^2 + \dots$$

Or  $\mathbf{V} = \mathbf{R} \omega$

$$Ec = \frac{1}{2} m_1 (\mathbf{R}_1 \omega_1)^2 + \frac{1}{2} m_2 (\mathbf{R}_2 \omega_2)^2 + \frac{1}{2} m_3 (\mathbf{R}_3 \omega_3)^2 + \dots$$

La quantité positive  $\sum m_i R_i^2$ , est appelée moment d'inertie par rapport à l'axe ( $\Delta$ ). Elle est notée  $J_\Delta$  et s'exprime en  $\text{kg.m}^2$  dans le système international. Il ne dépend que de la forme du système. L'expression de l'énergie cinétique d'un objet en mouvement de rotation autour d'un axe fixe s'écrit  $Ec = \frac{1}{2} (m_1 R_1^2 + m_2 R_2^2 + m_3 R_3^2 + \dots) \omega^2$

car  $\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \dots = \omega$

$$Ec = \frac{1}{2} J_\Delta \omega^2$$

$\left\{ \begin{array}{l} J_\Delta : \text{kg.m}^2 \\ \omega : \text{en rad/s} \\ Ec : \text{en J} \end{array} \right.$

#### Moment d'inertie de quelques solides par rapport à un axe passant par leurs centres.

Cas d'un cerceau :  $J_\Delta = MR^2$

Cas d'un disque homogène :  $J_\Delta = \frac{1}{2} MR^2$

Cas d'un cylindre creux :  $J_\Delta = MR^2$

Cas d'un cylindre homogène plein :  $J_\Delta = \frac{1}{2} MR^2$

Cas d'une sphère homogène :  $J_\Delta = \frac{2}{5} MR^2$

#### Théorème de HUYGENS

Le théorème de HUYGENS (aussi appelé le théorème de l'axe parallèle) facilite le calcul du moment d'inertie par rapport à un axe quelconque. Soit  $J_0$  le moment d'inertie par rapport à un axe passant par le centre de masse et  $J$  le moment d'inertie par rapport à un autre axe, parallèle au premier et à une distance  $d$  de celui-ci, alors ce théorème stipule que :

$$J = J_0 + Md^2$$

#### Théorème de l'énergie cinétique

##### Enoncé du théorème

La variation de l'énergie cinétique d'un système entre deux instants  $t_i$  et  $t_f$  est égale à la somme algébrique des travaux de toutes les forces et couples qui sont appliqués à ce système entre les instants  $t_i$  et  $t_f$ . Nous noterons :

$$\Delta Ec = \square W(F_{ext.})$$

Le théorème est applicable pour la translation, la rotation et la combinaison d'une translation et rotation.

## C- EXERCICES

### EXERCICE 1

Une mouche de masse 1g vole à la vitesse de 5 m/s sur une trajectoire rectiligne. Elle rencontre un cycliste roulant en sens inverse à la vitesse 15 m/s.

- 1- Calculer dans le référentiel terrestre la valeur de l'énergie cinétique de la mouche

2- Calculer, par rapport au cycliste, la valeur de l'énergie cinétique de la mouche. En déduire la valeur de l'énergie transmise par la mouche, par millimètre carré de la surface de contact, au cycliste lorsqu'ils se heurtent.

Conclure quant aux mesures de sécurité à prendre par les cyclistes.

## **EXERCICE 2**

Un skieur de masse  $m = 80 \text{ kg}$  glisse sur un début de piste formée de trois parties AB, BC et CD.

- La partie AB représente un sixième de circonférence verticale de rayon  $R = 5\text{m}$  et de centre O.
- BC est une partie rectiligne horizontale de longueur  $R$ .
- CD est un quart de circonférence verticale de rayon  $R$  et de centre O.

Toute la trajectoire a lieu dans le même plan vertical.

Le skieur part de A sans vitesse initiale. Pour simplifier ses calculs, son mouvement sera dans tout le problème, assimilé à celui d'un point matériel.

1°) Lors d'un premier essai, la piste ABC est verglacée. Les frottements sont alors suffisamment faibles pour être négligés.

Calculer dans ces conditions, les valeurs des vitesses  $v_B$  et  $v_C$  avec lesquelles le skieur passe en B et en C.

2°) Au cours d'un autre essaie, la piste ABC est recouverte de neige. Le skieur est donc freiné. On supposera pour simplifier que la résultante des forces de frottement, constamment tangente à la trajectoire, garde un module constant  $F$  sur tout le trajet ABC.

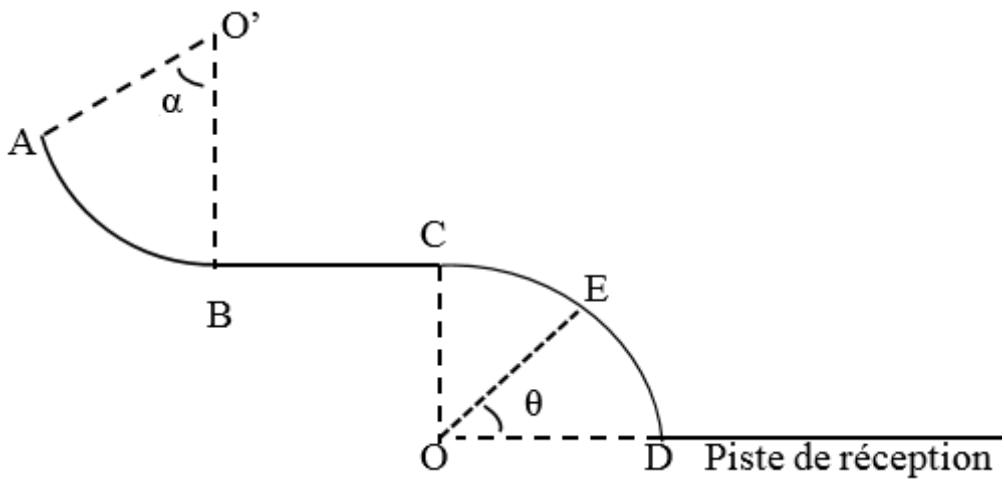
- Exprimer  $v_C$  et fonction de  $m$ ,  $R$ ,  $F$   $v_B$ .
- Exprimer  $v_B$  en fonction de  $m$ ,  $R$ ,  $F g$ .
- Calculer l'intensité de la force de frottement si le skieur arrive en C avec une vitesse nulle.

3°) Le skieur arrive en C avec une vitesse nulle ; il aborde la partie CD qui est verglacée ; les frottements seront donc négligés.

- Le skieur passe en un point E de la piste CD, défini par  $(OD, OE) = \theta$  ; OD étant porté par l'horizontale. Exprimer la norme  $v_F$  de son vecteur vitesse en fonction de  $g$ ,  $R$  et  $\theta$ .
- Le skieur quitte la piste en E avec la vitesse  $v_E = 5,77\text{m/s}$ , calculer la valeur de l'angle  $\theta$ .

Avec quelle vitesse, le skieur atterrit-il sur la piste de réception en un point X ?

Donnée :  $g = 10\text{m/s}^2$



### EXERCICE 3

Une sphère de masse  $m = 100 \text{ g}$  de dimensions négligeables est suspendue à un point fixe  $O$  par un fil sans masse de longueur  $l = 0,8\text{m}$ .

Tous ses mouvements ont lieu dans le plan vertical (voir figure).

1°) On écarte le fil de la verticale d'un angle  $\alpha_1 = 40^\circ$  puis on l'abandonne sans vitesse initiale.

- Déterminer la valeur de la vitesse avec laquelle la sphère passe à sa position d'équilibre stable
- De quelle hauteur va remonter la sphère par rapport à sa position d'équilibre stable ?

2-a°) Quelle doit être la valeur de la vitesse minimale qu'il faut communiquer à la sphère à partir de la position initiale où  $\alpha_1 = 40^\circ$  pour qu'elle effectue un tour complet ?

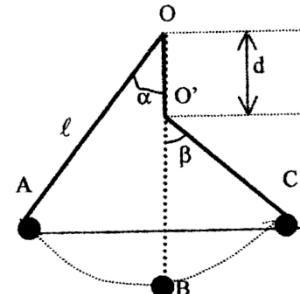
2-b°) On communique à la sphère à partir de la position où  $\alpha_1 = 40^\circ$ , une vitesse initiale

$v_0 = 4\text{m/s}$ . Calculer alors la valeur de l'angle  $\alpha_2$  de remontée de la sphère.

3°) Maintenant on place à la verticale du point  $O$ , au dessous du point  $O$ , une butée à la distance  $OO' = d = 35\text{cm}$ .

Le pendule est écarté de nouveau d'un angle  $\alpha_1 = 40^\circ$  puis abandonné sans vitesse. Après le choc entre le fil et la butée sans perte d'énergie cinétique, la sphère remonte que d'un angle  $\beta$ .

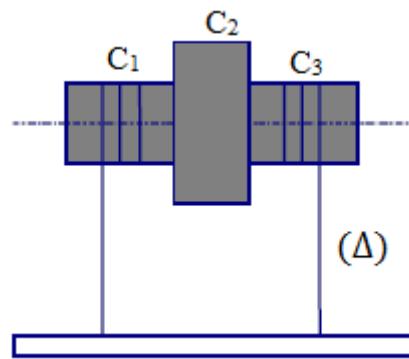
Calculer la valeur de  $\beta$



#### EXERCICE 4

N.B. : On rappelle que le moment d'inertie d'un cylindre homogène de masse  $M$  et de rayon  $R$  par rapport à son axe de révolution est  $J_{\Delta} = \frac{1}{2}MR^2$ .

Un solide ( $S$ ) homogène est formé de trois cylindres ( $C_1$ ), ( $C_2$ ) et ( $C_3$ ) accolés et ayant le même axe de révolution. Les cylindres ( $C_1$ ) et ( $C_3$ ) sont identiques ; ils ont la même masse  $m$  et le même rayon  $r$ .



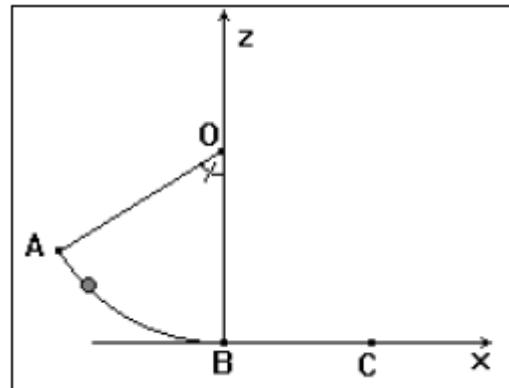
Le cylindre ( $C_2$ ) a une masse  $M = 4 m$  et un rayon  $R = 2r$ .

Le solide ( $S$ ) est mobile sans frottement autour d'un axe ( $\Delta$ ) horizontal confondu avec son axe de révolution. La barre ( $B$ ) homogène, de masse  $M' = 3m$ , est suspendue par deux fils verticaux, inextensibles et de masse négligeable, enroulés sur les cylindres ( $C_1$ ) et ( $C_3$ ) auxquels ils sont fixés par leurs extrémités. La barre ( $B$ ) est abandonnée sans vitesse initiale

- 1) Déterminer, en fonction de  $m$  et de  $r$ , l'expression du moment d'inertie du solide ( $S$ ) par rapport à l'axe ( $\Delta$ ).
- 2) Exprimer en fonction de  $m$  et  $v$  (vitesse du centre d'inertie  $G$  de la barre), l'énergie cinétique du système ( $S$ ) et ( $B$ ).
- 3) En appliquant le théorème de l'énergie cinétique que l'on énoncera, donner l'expression de  $v$  en fonction de  $g$  et de  $h$ , hauteur de chute de la barre.
- 4) Pour une hauteur de chute  $h = 2m$ , calculer valeur de la vitesse acquise par la barre ( $B$ ) et la vitesse de rotation du solide ( $S$ ) Donnée :  $g = 10 \text{ N/kg}$

#### EXERCICE 5

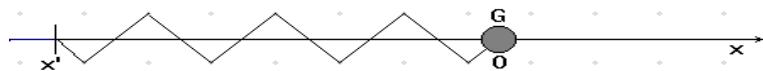
Un skieur de masse  $m = 80 \text{ kg}$  glisse sur un début de piste formée de deux parties AB et BC. La piste AB représente un sixième de circonférence de rayon  $r = 10 \text{ m}$  ; BC est une partie rectiligne horizontale d'une longueur  $L = 50 \text{ m}$ . Toute la trajectoire a lieu dans un même plan vertical. Le skieur part de A sans vitesse initiale. On peut remplacer le mouvement du skieur par le mouvement de son centre d'inertie.



- 1) La piste verglacée : on peut alors supposer les frottements négligeables. Calculer la valeur de la vitesse du skieur en B et C.
- 2) La piste est recouverte de neige. La force de frottement est toujours tangente à la trajectoire et a une intensité constante  $f$ .
  - a) Exprimer  $v_A$  et  $v_B$  en fonction de  $m$ ,  $r$ ,  $f$  et  $L$ .
  - b) Calculer l'intensité  $f$  qui amène le skieur en C avec une vitesse nulle.  
On prendra  $g = 10 \text{ N/kg}$

## EXERCICE 6

Un solide de masse  $m = 100 \text{ g}$  est enfilé sur une tige horizontale sur laquelle il peut glisser. Il est attaché à un ressort, à spires non jointives, de constante de raideur  $k = 20 \text{ N/m}$  dont l'autre extrémité est fixe et qui est aussi enfilé sur la tige.



On tire sur le solide en allongeant le ressort. Quand son allongement vaut  $6 \text{ cm}$ , on lâche le solide sans lui communiquer de vitesse.

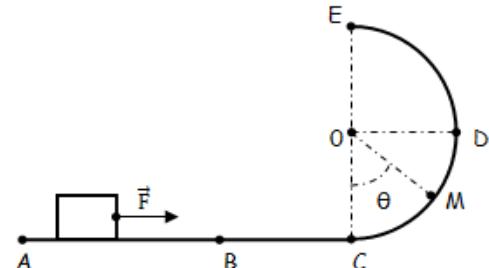
- 1) Avec quelle vitesse le solide repasserait-il par sa position d'équilibre s'il n'y avait pas de frottement ?
- 2) Lorsqu'il passe pour la première fois par sa position d'équilibre, le solide est animé d'une vitesse de  $0,53 \text{ m/s}$ . Evaluer la force de frottement exercée par la tige sur le solide en la supposant constante.

## EXERCICE 7

Un solide ponctuel ( $S$ ), de masse  $m = 0,5 \text{ kg}$ , est initialement au repos en  $A$ . On le lance sur une piste  $ACDE$ , en faisant agir sur lui, le long de la partie  $AB$  de sa trajectoire, une force  $\vec{F}$  horizontale et d'intensité  $F$  constante. On pose  $AB=L=1\text{m}$  et On suppose le mouvement sans frottement.

**N.B : On précise que  $\vec{F}$  n'agit sur le solide que sur le long de la partie AB.**

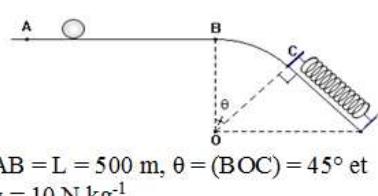
La portion  $AC$  de la trajectoire est horizontale et la portion  $CDE$  est un demi-cercle de centre  $O$  et de rayon  $r = 1\text{m}$ . Ces deux portions sont dans un même plan vertical. (voir figure).



1. Exprimer, en fonction  $F$ ,  $L$  et  $m$  la valeur de la vitesse de ( $S$ ) en  $B$ .
2. Montrer que l'énergie cinétique du solide en  $B$  est la même qu'en  $C$ .
3. Au point  $M$  défini par l'angle  $\theta = (\overrightarrow{OC}, \overrightarrow{OM})$ .
  - 3.a- Etablir, en fonction de  $F$ ,  $L$ ,  $m$ ,  $r$ ,  $\theta$  et  $g$  l'expression de la vitesse de ( $S$ ) en  $M$ .
  - 3.b- En déduire la valeur minimale notée  $F_0$  de la norme de  $\vec{F}$  pour que ( $S$ ) arrive au point  $E$ .
- 4- On applique maintenant au solide à partir du point  $A$  et sur la même distance  $AB = L$ , une force d'intensité  $F = 1,5F_0$ .
  - 4.1- Déterminer alors la valeur de la vitesse  $V_D$  du solide au point  $D$ .
  - 4.2- Calculer la valeur de la vitesse avec laquelle le solide retombe sur le plan  $ABC$ .

## EXERCICE 8

Une petite bille de masse  $m = 300 \text{ g}$  glisse sans roulement sur le trajet  $ABC$  (voir **figure** ). Il existe des forces de frottement d'intensité constante  $f = 0,03 \text{ N}$  durant tout le parcours de la bille. Le trajet  $BC$  est un arc de cercle de centre  $O$  et de rayon  $R = 2 \text{ m}$ .



$$AB = L = 500 \text{ m}, \theta = (\overrightarrow{BOC}) = 45^\circ \text{ et } g = 10 \text{ N.kg}^{-1}$$

- 1- Quelle est la vitesse  $V_A$  de la bille lors de son passage en  $A$  sachant qu'elle s'arrête en  $B$ ?

**2-** L'équilibre de la bille en B est instable, celle-ci glisse alors vers le point C. Déterminer la vitesse  $V_C$  de la bille au point C.

**3-** Au point C est placée l'extrémité d'un ressort de constante raideur  $k = 500 \text{ N.m}^{-1}$ . La bille bute en C sur le ressort avec la vitesse  $V_C = 3,4 \text{ ms}^{-1}$  qu'il comprime. Soit  $x$  la compression maximale du ressort ( $x$  est positif).

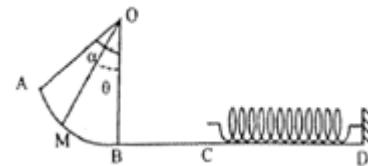
**3.1-** Par application du théorème de l'énergie cinétique, monter la relation :

$$kx^2 + 2x(f - mg \sin\theta) - mV^2c = 0$$

**3.2-** calculer la compression maximale  $x$  du ressort.

### EXERCICE 9

Un jouet, considéré comme ponctuel de masse  $m = 500\text{g}$ , glisse sur une piste constituée de trois parties :



- La partie AB représente un arc de cercle de centre O et de rayon  $R = 1,6\text{m}$  et d'angle  $\alpha = \widehat{AOB} = 60^\circ$  ;
- BC une partie rectiligne horizontale d'une longueur  $L = 1,5\text{m}$  ;
- Une portion horizontale CD.

Juste au point C, on met un ressort de raideur  $k = 1000\text{N/m}$  pour arrêter le mouvement de le jouet (voir figure ci-contre). Le jouet part de A sans vitesse initiale.

**1-** On suppose, dans un premier temps, que les frottements sont négligeables.

**1.a-** Exprimer la vitesse de l'objet au point M sur l'arc AB en fonction de  $g$ ,  $R$ ,  $\alpha$  et  $\theta$  sachant que  $\theta = \widehat{MOB}$ .

**1.b-** En déduire une expression de la vitesse  $V_B$  du jouet au point B. Faire l'application numérique.

**1.c-** Montrer que l'énergie cinétique du jouet au point C est égale à celle, au point B.

**1.d-** Déterminer la compression  $x_0$  de ressort pour arrêter le jouet.

**2-** En réalité il existe des forces de frottements sur les portions BC et CD équivalentes à une force unique  $\vec{f}$  d'intensité 10N.

**2.a-** Quelle doit être la valeur de la vitesse de passage en B pour que le jouet arrête en C avec la même vitesse calculée à la question 1.c ?

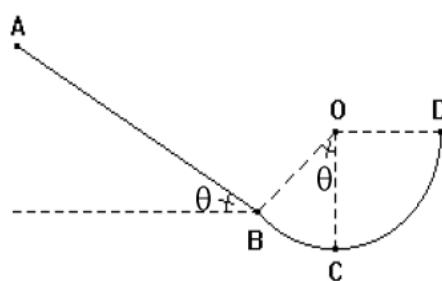
**2.b-** L'objet arrive en C avec la même vitesse calculée à la question 1.c. Déterminer la compression  $x$  du ressort pour arrêter le jouet.

### EXERCICE 10

Une piste verticale est formée (*voir figure ci-contre*) :

- d'une portion rectiligne AB de longueur  $L = 1,2\text{m}$ , inclinée d'un angle  $\theta = 45^\circ$  par rapport à l'horizontale.
- et d'une partie circulaire BCD, de rayon  $r = 25\text{cm}$ .

Un solide S, ponctuel, de masse  $m = 180\text{g}$  est abandonné en A sans vitesse initiale.



**1-** En négligeant les forces de frottement, déterminer les vitesses du solide aux points B et C.)

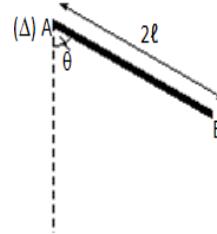
**2-** En réalité, sur la portion AB, il existe des forces de frottement assimilables à une force unique  $\vec{f}$  constante et colinéaire à la trajectoire. Le solide arrive alors au point D avec une vitesse  $V_D = 2\text{m/s}$ .

**2.a-** Déterminer la valeur de la vitesse réelle  $V_B$  du solide S au point B. )

**2.b-** En déduire l'intensité  $f$  des forces de frottement qui s'exerce sur le solide S.

### **EXERCICE 11**

Une règle homogène AB de masse  $m = 400\text{g}$ , de longueur  $2\ell = 1\text{m}$  et de moment d'inertie  $J_\Delta$ , peut tourner autour d'un axe horizontal  $\Delta$  passant à l'une de ses extrémités A. On suppose le mouvement sans frottement.



On lâche la règle, sans vitesse, dans la position où elle forme l'angle  $\theta_0 = 60^\circ$  avec la verticale (figure).

**1-** En utilisant le théorème de Huygens, établir l'expression du moment d'inertie  $J_\Delta$  de la règle AB en fonction de  $m$  et  $\ell$ . Calculer  $J_\Delta$ .

**2-** Déterminer la valeur de la vitesse de son centre d'inertie G lorsqu'elle passe :

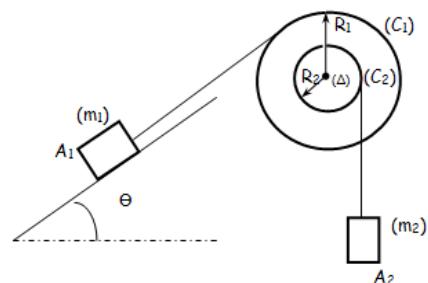
**2.1-** par la position d'angle  $\theta = 30^\circ$  avant la verticale.

**2.2-** à la position d'équilibre stable.

**3-** La règle se trouve initialement au repos à sa position d'équilibre stable. Déterminer la valeur de la vitesse minimale qu'il faut communiquer au centre d'inertie G de la règle pour qu'elle fasse un tour complet

### **EXERCICE 12**

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  $m_2 = 120\text{g}$  (figure ci-contre). Les fils étant verticaux et leur sens d'enroulement tel que ( $A_1$ ) et ( $A_2$ ) se déplacent en sens contraire, on libère ce dispositif sans vitesse initiale.



**1.** Dans quel sens va tourner le système (S) ? Justifier.

**3.** Exprimer l'énergie cinétique du système formé par (S) – ( $A_1$ ) – ( $A_2$ ) en fonction de  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $J_\Delta$ ,  $R_1$ ,  $R_2$  et  $V_1$  vitesse de ( $A_1$ ) à l'instant t.

**3.** Exprimer le travail des forces de pesanteur entre l'instant initial et l'instant t où la hauteur de ( $A_1$ ) à varier de  $h_1$  en fonction de  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $g$ ,  $\Theta$  et  $h_1$ .

**4.** En appliquant le théorème de l'énergie cinétique au système (S) - ( $A_1$ ) – ( $A_2$ ) entre l'instant de départ et l'instant où la vitesse de ( $A_1$ ) est  $V_1 = 2\text{m/s}$ , Déterminer la hauteur  $h_1$ .

On prendra :  $R_1=20\text{cm}$ ,  $R_2=10\text{cm}$ ,  $\Theta=30^\circ$  et  $J_\Delta=4,5 \cdot 10^{-3}\text{kg.m}^2$

### EXERCICE 13

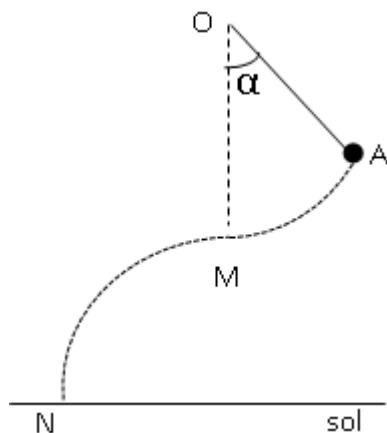
Un pendule simple est formé d'une bille, assimilable à un point matériel, qui est suspendue à l'extrémité d'un fil inextensible OA de longueur  $l = 75 \text{ cm}$ . Le fil est accroché par son autre extrémité en un point fixe O. On écarte le pendule de sa position d'équilibre d'un angle  $\alpha = 30^\circ$  et on l'abandonne sans vitesse initiale. On néglige tout frottement.

1°) Déterminer :

a) La vitesse de la bille lors du passage par la position d'équilibre M ;

b) L'angle  $\alpha'$  dont s'écarte le fil par rapport à la position d'équilibre après avoir dépassé celle-ci.

2°) On recommence l'expérience précédente. Mais cette fois le fil casse lors du passage par la position d'équilibre. Déterminer la valeur de la vitesse de la bille lorsqu'elle atteint le sol au point N. Le point M est à 2 m au-dessus du sol.

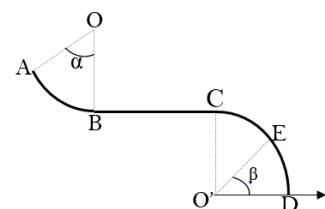


### EXERCICE 14

Un solide de masse  $m = 60\text{kg}$  glisse sur une portion de piste formée de trois parties AB, BC et CD.

- AB représente une portion de circonférence de rayon R et de centre O et telle que  $\alpha = (\overrightarrow{OA}, \overrightarrow{OB}) = \frac{\pi}{4} \text{ rad}$
- BC est une partie rectiligne horizontale de longueur  $l = 2R$ .
- CD est un quart de cercle de centre O' et de rayon R.

Toute la trajectoire est située dans le plan vertical.



1. Le solide est lâché en A avec une vitesse nulle.

On admettra que le long du trajet ABC, les forces de frottement exercées par la piste se réduisent à une force unique  $\vec{f}$  de même direction que  $\vec{V}$  mais de sens contraire et de norme constante.

- Exprimer la vitesse du solide (S) en B et en C en fonction de f, R, m et g.
- Le solide (S) arrive en C avec une vitesse nulle ;

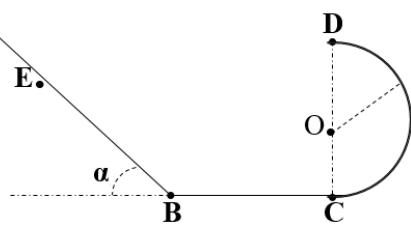
Déterminer l'expression littérale de f et sa valeur numérique.

2. Le solide aborde la partie CD. La piste est maintenant verglacée (les frottements sont négligés). Il perd le contact avec la piste en un point E tel que  $(\overrightarrow{O'D}, \overrightarrow{O'E}) = \beta$ . Exprimer la vitesse en E en fonction de  $\beta$ , R et g.

### **EXERCICE 15**

Une gouttière est constituée d'une partie rectiligne AB de longueur 5,0 m incliné d'un angle

$\alpha = 30^\circ$  par rapport au plan horizontal, d'une partie rectiligne BC de longueur 2 m et d'une partie circulaire de rayon  $r = 0,50\text{m}$ .



1) Un solide assimilable à un point matériel de masse  $m = 200\text{ g}$  est lâché sans vitesse initiale. Il est soumis le long du trajet AB à une force de frottement d'intensité  $f$  de sens contraire au vecteur vitesse. Il arrive en B avec une vitesse  $V_B = 5\text{ m.s}^{-1}$ . Exprimer et calculer  $f$ .

2) Le mobile se déplace maintenant sans frottement. On le lâche sans vitesse initiale d'un point E situé entre A et B tel que  $EB = x$ .

a) Décrire qualitativement la nature du mouvement entre B et C et justifier.

b) Exprimer la vitesse du mobile en D en fonction de  $r$ ,  $\alpha$ ,  $x$  et  $g$ .

c) Quelle doit être la valeur de  $x$  pour que le solide arrive en D avec une vitesse nulle ?

### **EXERCICE 16**

Sur un plan incliné d'un angle  $\alpha=30^\circ$  par rapport à l'horizontale, on lance un solide (S) de masse  $m = 250\text{ g}$  assimilable à un point matériel à partir d'un point B avec une vitesse  $V_B = 6,1\text{ m.s}^{-1}$ .

1) En supposant les frottements négligeables et le plan incliné suffisamment long, quelle longueur  $\ell$  devrait parcourir (S) sur le plan incliné avant que sa vitesse ne s'annule ?

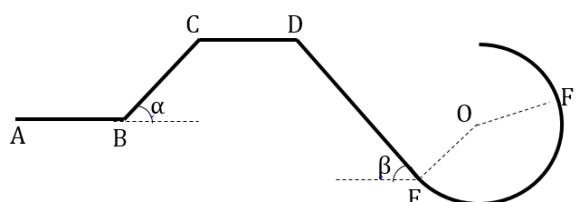
2) En réalité on constate que (S) parcourt une distance  $BC = \ell_1 = 3,2\text{ m}$  le long du plan incliné à cause des frottements. Calculer l'intensité de cette force de frottement supposée constante entre B et C.

3) A l'extrémité C du plan incliné BC, le mobile (S) aborde sans vitesse une piste circulaire CD, de centre B et de rayon  $\ell_1 = 3,2\text{ m}$ . La position de (S) sur la piste circulaire CD est repérée par l'angle  $\beta = (\overrightarrow{BD}, \overrightarrow{BM})$ . Les frottements sont négligés. Exprimer la vitesse V de (S) au point M, en fonction de  $\ell_1$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $g$ . Calculer cette vitesse pour  $\beta = 20^\circ$ .

### **EXERCICE 17**

On considère la piste représentée ci-contre :

- AB est un plan horizontal rugueux de longueur  $l_1 = 2\text{ m}$
- BC est un plan lisse incliné d'un angle  $\alpha = 30^\circ$  par rapport à l'horizontale, de longueur  $l_2 = 1\text{ m}$
- CD est un plan horizontal lisse de longueur  $l_3$ .
- DE est un plan lisse incliné d'un angle  $\beta = 45^\circ$  par rapport à l'horizontale, de longueur  $l_4 = 1,414\text{ m}$
- EF est une portion circulaire de centre O et de rayon  $r = 1\text{ m}$ .



- Un solide ponctuel de masse  $m = 0,5\text{kg}$  est lancé du point A avec une vitesse horizontale  $V_A = 4\text{m.s}^{-1}$ . Calculer la vitesse du solide au point B, sachant que l'intensité des forces de frottement est  $f = 0,5\text{N}$ .
- Le solide aborde le plan BC, calculer la valeur de sa vitesse au point C.
- Quelle est Déterminer la valeur de la vitesse du solide au point D ? Cette vitesse dépend-elle de la longueur l3 ? Justifier.
- Avec quelle vitesse le solide arrive-t-il au point E ?
- Sachant que sur la portion EF, les force de frottement développent un travail  $W(\vec{f})$  égal en valeur absolue à 3 joules jusqu'à l'arrêt du solide en F, calculer alors la hauteur h de remontée du solide par rapport au point

### **EXERCICE 18**

Une gouttière ABC (voir figure), sert de parcourt à un mobile supposé ponctuel, de masse  $m = 0,1\text{kg}$ . Le mouvement a lieu dans un plan vertical. On donne  $g = 10 \text{ ms}^{-2}$

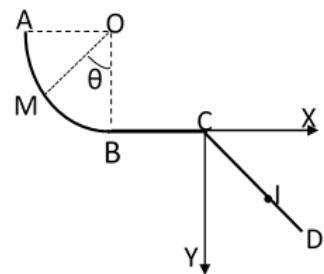
1. Sa partie curviligne AB est un arc de cercle parfaitement lisse, de rayon  $R = OA = OB = 1\text{m}$ . Le segment OA est horizontal et perpendiculaire à OB. Le mobile, lancé en A avec une vitesse verticale, dirigée vers le bas et de norme  $V_A = 5\text{ms}^{-1}$ , glisse sur la portion curviligne AB.

Etablir l'expression littérale de la vitesse  $V_M$  du mobile en un point M tel que  $(\overline{OM}, \overline{OB}) = \theta$  en fonction de  $V_A$ ,  $r$ ,  $g$  et  $\theta$ . Calculer numériquement  $V_M$  en B.

2. La portion rectiligne BC est horizontale.

On donne  $BC = L = 1,5\text{m}$ .

- a- En négligeant les frottements, déterminer la valeur de la vitesse  $V_C$  du mobile en C. Cette vitesse dépend-elle de la distance BC ? Justifier la réponse.
  - b- En réalité, le mobile arrive en C avec la vitesse  $V'_C = 5\text{ms}^{-1}$ . Déterminer l'intensité  $f$  de la résultante des forces de frottements supposée constante.
3. En C, le mobile quitte la piste avec la vitesse  $V'_C$  et tombe en I sur un plan CD incliné d'un angle  $\alpha = 45^\circ$  par rapport à l'horizontal, avec la vitesse  $V_I = 11,2\text{ms}^{-1}$ . Déterminer les coordonnées du point I dans le repère ( $Cx$ ,  $Cy$ ).



### **EXERCICE 19**

On considère la piste représentée ci-dessous (*figure*) :

- AB : plan lisse, incliné de  $\alpha = 30^\circ$  et de longueur  $l = 5\text{m}$ .
- BC : plan horizontal rugueux de longueur L.
- CD : quart de cercle, supposé lisse, de centre O et de rayon  $r = 0,5\text{m}$ .
- DF: plan horizontal.

Un solide ponctuel (S) de masse  $m= 1\text{Kg}$  est abandonné en A sans vitesse initiale.

- 3.1-** Déterminer  $V_B$ , valeur de la vitesse du solide (S) en B.

**3.2-** L'intensité des forces de frottements sur BC vaut  $f = 15\text{N}$ , sachant que (S) arrive en C avec une vitesse nulle, déterminer alors la longueur L du plan BC.

**3.3-** Le solide (S) aborde la portion circulaire avec une vitesse nulle comme décrit précédemment.

**3.3.a-** Exprimer la vitesse du solide (S) au point M en fonction de r, g et  $\theta$ .

**3.3.b-** Sachant que le solide (S) quitte la portion circulaire au point K avec une vitesse  $v_k = \sqrt{\frac{2gr}{3}}$ , déterminer alors l'angle

$$\theta_0 = (\overrightarrow{OC}, \overrightarrow{OK}).$$

**3.3.c-** En réalité, sur la portion circulaire CD, il existe des frottements d'intensité  $f'$ . Ainsi le solide (S) passe en un point N situé entre C et K avec une vitesse  $V_N = 0,5 \text{ m/s}$  tel que l'angle  $(\overrightarrow{ON}; \overrightarrow{OK}) = \beta = 10^\circ$ . Déterminer  $f'$ .

**3.4-** Avec quelle vitesse (S) atterrit-il au point X sur le plan DF ?

**3.5-** En touchant le plan DF, le solide (S) rebondit en perdant  $\frac{2}{5}$  de son énergie cinétique. Jusqu'à quelle hauteur h va-t-elle remonter ?

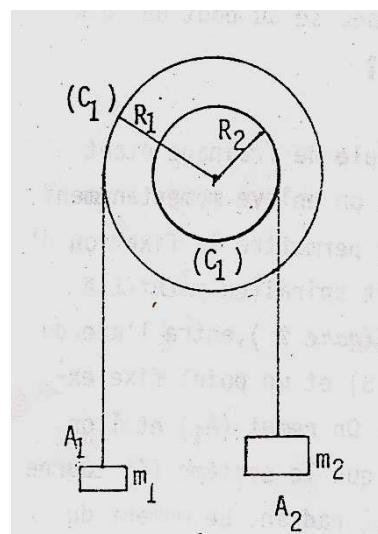
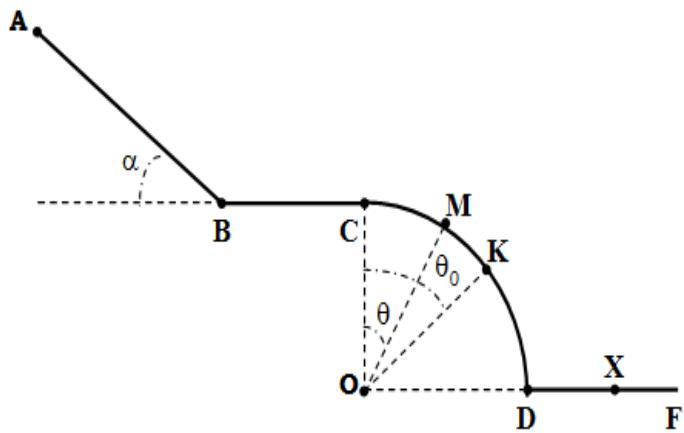
### **EXERCICE 20**

**NB:** Dans tout le problème on considérera que les frottements sont négligeables sauf à la dernière question.

Deux cylindres ( $C_1$ ) et ( $C_2$ ), coaxiaux, solidaires l'un de l'autre ont respectivement pour rayon  $R_1 = 10\text{cm}$  et  $R_2 = 5\text{cm}$ . Ils constituent un système (S) pouvant tourner au tour 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  $J_\Delta$  vaut  $27.10^{-4}\text{kg.m}^2$ .

Les cylindres ( $C_1$ ) et ( $C_2$ ) soutiennent les corps ( $A_1$ ) et ( $A_2$ ) de masses  $m_1 = 100\text{g}$  et  $m_2 = 120\text{g}$  respectivement par l'intermédiaire des fils inextensibles, de masses négligeables (*voir figure*).

Les fils étant verticaux et leur sens d'enroulement tel que ( $A_1$ ) et ( $A_2$ ) se déplacent en sens contraire, on libère ce dispositif sans vitesse initiale.



**4.1-** Dans quel sens va tourner le système (S) ? Justifier.

**4.2-** Exprimer l'énergie cinétique du système formé par (S) – (A<sub>1</sub>) – (A<sub>2</sub>) en fonction de m<sub>1</sub>, m<sub>2</sub>, J<sub>Δ</sub>, R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> et V<sub>1</sub> vitesse de (A<sub>1</sub>) à l'instant t.

**4.3** Exprimer le travail des forces de pesanteur entre l'instant initial et l'instant t où la hauteur de (A<sub>1</sub>) à varier de h<sub>1</sub> en fonction de m<sub>1</sub>, m<sub>2</sub>, g et h<sub>1</sub>.

**4.4-** Enoncer le théorème de l'énergie cinétique. En l'appliquant au système (S) - (A<sub>1</sub>) – (A<sub>2</sub>) entre l'instant de départ et l'instant où la vitesse de (A<sub>1</sub>) est V<sub>1</sub> = 2m/s, déterminer la hauteur h<sub>1</sub>.

**4.5.** A cet instant (V<sub>1</sub> = 2m/s), on coupe le fil maintenant (A<sub>2</sub>) et l'on freine le système (S) en le soumettant à un couple de frottement de moment constant. Les mouvements de (S) et (A<sub>1</sub>) sont alors ralentis.

Quelle doit être la valeur du moment du couple de freinage pour que l'arrêt se produise au bout de dix tours de (S)?

### **EXERCICE 21**

On considère une couronne assimilable à un cylindrique homogène de rayon intérieur

R<sub>1</sub> = 10 cm, de rayon extérieur R<sub>2</sub> = 20 cm et de hauteur h = 5cm (*figure*). Elle est mise en rotation autour de son axe (Δ) passant par son centre de gravité G. La masse volumique de la substance constituant la couronne est ρ = 7800kg/m<sup>3</sup>.

**1-** Démontrer que le moment d'inertie J<sub>Δ</sub> de la couronne peut se mettre sous la forme : J<sub>Δ</sub> = C (R<sub>2</sub><sup>4</sup> – R<sub>1</sub><sup>4</sup>) où C est une constante qui dépend de la masse volumique ρ de la couronne et de h.

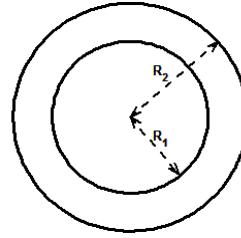
**2-** Après avoir déterminé l'unité de la constante C dans le SI, calculer le moment d'inertie J<sub>Δ</sub> de la couronne.

**3-** Calculer l'énergie cinétique de la couronne animée d'un mouvement de rotation à la vitesse angulaire ω = 600 tours/min autour de son axe de révolution (Δ).

**4-** Un frein exerce sur le cylindre (la couronne) une force constante tangente au cylindre et opposé au sens du mouvement de valeur f = 80,0N.

**4.1-** Enoncer le théorème de l'énergie cinétique.

**4.2-**Déterminer le nombre n de tours qu'effectuera le cylindre avant de s'arrêter



### **D-CORRIGE DES EXERCICES**

#### **EXERCICE 2**

$$1) \quad v_B = v_C = 7 \text{ m.s}^{-1}$$

$$2) \quad a) : v_C^2 = gR - \frac{2FR(1+\frac{\pi}{3})}{m}, \quad b) : v_B^2 = gR - \frac{2FR(+\frac{\pi}{3})}{m} \quad \text{et c) } F=191,6\text{N}$$

$$3) \quad : a) : v_E^2 = 2gR(1-\sin\theta)$$

$$b) \Theta = 41^\circ$$

**EXERCICE 7 :** 1)  $v_B = \sqrt{\frac{2FL}{m}}$ ,  $E_{c(C)} - E_{c(B)} = W_p = 0$ , 3) : a)  $v_M^2 = v_C^2 - 2gR(1-\cos\theta)$

b)  $v_E^2 = v_C^2 - 4gR$ , c) F est minimale pour  $v_E \rightarrow F_{min} = F_0 = \frac{2mgR}{L}$  et 4)  $v_D = 19,8 \text{ m.s}^{-1}$

**EXERCICE 15 :** 1)  $f = 0,48 \text{ N}$ ; 2) a – mouvement accéléré car  $p > f$  et c-  $x=3,92 \text{ m}$

---

## CHAPITRE P3- ENERGIE POTENTIELLE-ENERGIE MECANIQUE

### A-OBJECTIFS

Déterminer l'énergie potentielle d'un système.

Déterminer l'énergie mécanique d'un système

Enoncer le théorème de l'énergie potentielle.

Appliquer le théorème de l'énergie potentielle.

Enoncer le théorème de l'énergie mécanique.

Appliquer le théorème de l'énergie mécanique

### B-L'ESSENTIEL DU COURS

#### Énergie potentielle

C'est l'énergie que possède un système du fait de l'existence de forces d'interaction à distance entre ses différents CONSTITUANTS

Considérons un corps qui effectue une chute d'un point A vers un point B.

La diminution de l'énergie potentielle est égale au travail des forces intérieures conservatives :

$$W_{AB} (\vec{P}) = Ep_A - Ep_B$$

Le travail du poids ne dépend pas du chemin suivi pour aller de A vers B. Avec un axe oz orienté vers le haut, on écrit:

$$W_{AB} (\vec{P}) = mg (z_A - z_B) = mgz_A - mgz_B$$

L'énergie potentielle de pesanteur en un point d'altitude z n'est connue qu'à une constante additive près d'où son expression :

$$Ep = mgz + \text{cte}$$

Il faut donc choisir un état de référence pour la détermination de la valeur de l'énergie potentielle.

*L'état de référence est l'état du système pour lequel son énergie potentielle est nulle : cet état est choisi arbitrairement.*

A la référence :  $z = z_{ref}$  et  $Ep(z_{ref}) = 0$

$$0 = mgz_{\text{ref}} + \text{cte} \quad \text{cte} = -mgz_{\text{ref}}$$

$$\mathbf{Ep(z) = mg(z - z_{\text{ref}})}$$

En prenant comme altitude de référence l'origine des espaces,

l'énergie potentielle en un point **M** de l'espace est donnée par la relation : **Ep=mgz**

### **Energie potentielle élastique**

L'énergie potentielle élastique d'un ressort de raideur k, tendu ou comprimé d'une longueur x vaut

$$\mathbf{Ep = \frac{1}{2}K(x^2 - x_{\text{ref}})^2}$$

### **Cas d'un pendule de torsion**

L'énergie potentielle élastique d'un couple de torsion de constante de torsion C, tordu d'un angle  $\alpha$  vaut:

$$\mathbf{Ep = \frac{1}{2}C(\alpha^2 - \alpha_{\text{ref}}^2)}$$

C'est l'énergie que possède un système élastique du fait de sa déformation E uniquement fonction de la position et telle que:

### **Énergie mécanique**

L'énergie mécanique correspond à la somme des énergies cinétique et potentielle.

$$\mathbf{Em = Ec + Ep}$$

### **Conservation de l'énergie mécanique**

Pour un système conservatif l'énergie mécanique se conserve.

$$\Delta E = E_m(B) - E_m(A) = 0 \Rightarrow E = \text{cte}$$

### **Non conservation de l'énergie mécanique**

Pour un système non conservatif l'énergie mécanique se dégrade

$$\Delta E_m = \sum \left( \overline{F} \right)_{\text{nonconservatives}}$$

## A-EXERCICES

### EXERCICE 1

Un enfant lance verticalement vers le haut une balle de masse  $m=20\text{g}$ . A une hauteur de  $1,30\text{m}$  au-dessus du sol, sa vitesse est de  $4\text{m.s}^{-1}$ . On néglige la résistance de l'air.

1°) Calculer l'énergie mécanique de la bille en précisant le niveau de référence pour l'énergie potentielle de pesanteur.

2°) Jusqu'à quelle hauteur la bille va t-elle monter ?

3°) Avec quelle vitesse va t-elle repasser par le point d'altitude  $1,30\text{m}$  ?

4°) Avec quelle vitesse va t-elle atteindre le sol ?

### EXERCICE 2

Un solide de centre d'inertie G peut glisser sans frottement sur un banc à coussin d'air incliné d'un angle  $\alpha$  par rapport à l'horizontale.

En A le mobile a une vitesse dirigée vers le haut. Il s'élève jusqu'en B, puis fait demi-tour.

- 1) Quelle est l'énergie mécanique du solide en A ? On prendra l'énergie potentielle de pesanteur nulle en C.
- 2) Avec quelle vitesse a t-il été lancé en A ?
- 3) Quelle est son énergie cinétique et sa vitesse en C ?

**Données :**  $m = 75 \text{ g}$  A, B et C sont sur une ligne de plus grande pente et A est au milieu du segment BC ; AB = AC =  $60 \text{ cm}$  ;  $\alpha = 15^\circ$ . On néglige les frottements.

### EXERCICE 3

Une glissière est constituée d'une partie rectiligne AB de longueur  $\ell = 1\text{m}$ , incliné d'angle  $\alpha = 30^\circ$  et d'un arc de cercle BC de centre O, de rayon  $r = 2\text{m}$ , d'angle au sommet

$$\theta_0 = (\widehat{OB}, \widehat{OC}) = 60^\circ \quad (\text{figure}).$$

Un solide ponctuel de masse  $m = 100\text{g}$  est lâché du point A sans vitesse initiale.

1- Déterminer l'énergie potentielle de pesanteur du solide aux points A, B et C.

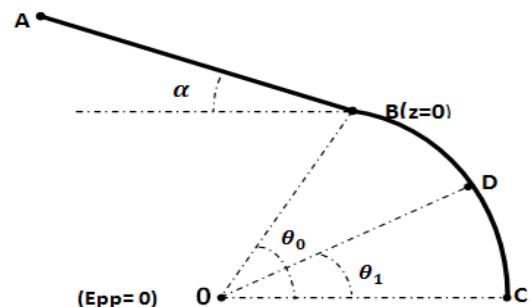
**N.B- On choisira l'état de référence le plan horizontal passant par O, et l'origine des altitudes en B.**

2- En supposant les frottements négligeables, déterminer :

2.a- La vitesse  $V_B$  du solide lors de son passage en B.

2.b- La valeur de l'angle  $\theta_1 = (\widehat{OD}, \widehat{OC})$  sachant que le solide arrive en D avec la vitesse  $V_D = 3,85 \text{ m/s}$ .

3. En réalité sur la partie circulaire BC, il existe des frottements. Ainsi, la vitesse du solide en D a diminué de un tiers de sa valeur sans frottement. Déterminer l'intensité  $f$  des forces de frottements, supposées constantes, responsables de cet écart.



#### **EXERCICE 4**

Un solide assimilable à un point matériel de masse  $m = 100\text{g}$ , glisse sur un début de piste formée de trois parties AB, BCD (*voir figure*).

- La partie AB représente un douzième de circonference verticale ( $\alpha = 30^\circ$ ) de rayon  $R = 5\text{m}$  et de centre O.
- BCD est une partie rectiligne horizontale telle que la distance  $BC = R = 5\text{m}$ .

**1-** Déterminer l'énergie potentielle de pesanteur du solide aux points A et C.

**N.B :** Le plan horizontal passant par B est comme état de référence et l'origine des altitudes.

**2-** Le solide part de A sans vitesse initiale.

**2.a-** Calculer son énergie mécanique en A.

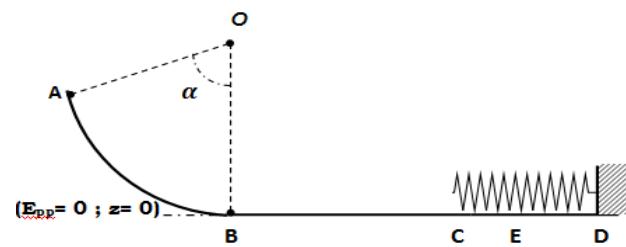
**2.b-** Que devient cette énergie si les frottements sont négligeables ?

**2.c-** Déterminer alors dans ces conditions, la vitesse du solide en B.

**3-** En réalité sur le plan BC il existe des forces de frottement d'intensité constante  $f$ . Ainsi, le solide arrive en C avec une vitesse  $V_C = 1,66\text{m/s}$ .

Déterminer alors l'intensité  $f$  des forces de frottement.

**4-** Arrivé en C avec la vitesse  $V_C = 1,66\text{m/s}$ , le solide rencontre l'extrémité libre d'un ressort placé horizontalement dont la constante de raideur est  $K$ . Le ressort subit alors une compression maximale  $CE = x_0 = 2\text{cm}$ . Déterminer la constante de raideur  $K$  du ressort.



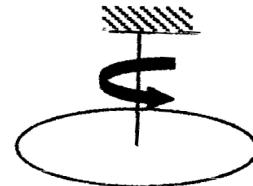
#### **EXERCICE 5**

Un pendule de torsion est constitué d'un fil de torsion vertical auquel est suspendu par son centre un disque.

Le moment d'inertie du disque par rapport à l'axe de rotation  $\Delta$  est  $J_\Delta$ .

La constante portion du fil est  $C$ . On tord le fil d'un angle  $\theta_0$  correspondant à une rotation de deux tours, l'extrémité supérieure étant fixe, puis on abandonne le système sans vitesse initiale. Calculer la vitesse angulaire du disque lorsque la torsion du fil est égale à la moitié de  $\theta_0$ , puis lorsqu'elle est nulle.

**Données :**  $C = 0,010\text{Nm/rad}$  ;  $J_\Delta = 0,02\text{kg.m}^2$ .



#### **EXERCICE 6**

Un pendule constitué d'une bille ponctuelle, de masse  $m = 100\text{g}$ , suspendue à un fil de masse négligeable de longueur  $\ell = 60\text{cm}$ . L'autre extrémité est attachée en O, situé à  $H = 1,50\text{m}$  au-dessus du sol (*figure*).

Dans tout le problème, on appliquera les propriétés relatives à l'énergie mécanique en choisissant comme origine des espaces le point B et comme origine des énergies potentielles de pesanteur le plan horizontal passant par B. On négligera l'action de l'air sur la bille pour les questions 1) et 2).

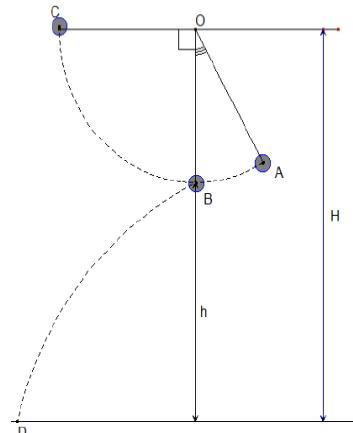
**1-** On écarte le pendule d'un angle  $\theta = 30^\circ$  à partir de sa position d'équilibre puis on l'abandonne sans vitesse initiale au point A.

Déterminer la vitesse  $V_B$  de la bille à l'instant où elle passe à sa position d'équilibre.

**2-** La sphère est désormais lancée à la position A avec une vitesse  $V_A$ . Quelle doit être la valeur minimale de cette vitesse pour que le pendule puisse atteindre la position horizontale C.

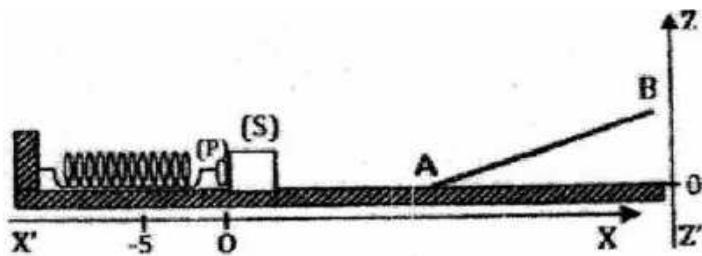
**3-** En réalité, l'action de l'air n'est pas négligeable. On constate que la bille s'arrête en un point E situé entre B et C tel que  $\text{COE} = \alpha = 30^\circ$ . On suppose qu'il existe une force de frottement d'intensité constante de même direction que la vitesse mais de sens opposé qui agit sur la bille. Calculer  $f$ .

**4-** A l'instant où la bille ; lâchée en A sans vitesse, passe par sa position d'équilibre, le fil se détache et la bille poursuit son mouvement sur une sur une trajectoire parabolique. Avec quelle vitesse  $V_D$  arrive-t-elle au sol ? On néglige l'action de l'air dans cette question.



### EXERCICE 7

Pour lancer un solide (S) de masse  $m=600\text{g}$  sur une rampe incliné d'un angle sur le plan horizontal, on utilise le dispositif représenté à la figure ci-contre.



#### 1- La rampe est bien lubrifiée.

Le ressort de raideur  $k$  est comprimé jusqu'à  $x=5\text{cm}$  ; on pose (S) contre la butée (P) et on libère le ressort. En O, (S) quitte (P) et poursuit son mouvement sur la portion horizontale puis sur le plan incliné AB de pente 20%.

**1.a-** D'où provient l'énergie cinétique acquise par le solide (S) ;

**1.b-** Le système {ressort-solide} dans le champ de pesanteur est conservatif. Que peut-on dire de son énergie mécanique au cours du déplacement.

**1.c-** Etablir la relation entre  $x$ ,  $m$ ,  $g$ ,  $z$  et  $V$  vitesse du solide lors de son passage au point d'altitude  $z$ . ( $E_{pp}=0$  pour  $z=0$ ).

**1.d-** L'altitude maximale atteinte par le solide (S) est  $z_{\max}=20\text{cm}$ . Déterminer  $k$ .

#### 2. La rampe est mal lubrifiée.

Les forces de frottement d'intensité constante  $f=1,2\text{N}$ , existe sur la rampe. On désire connaître la valeur minimale  $V_{\min}$  de la vitesse que le solide (S) doit posséder en A pour atteindre le point B situé à l'altitude  $z_B=40\text{cm}$ .

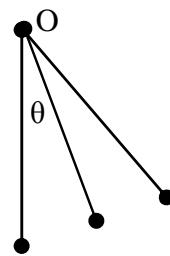
**2.a-** Evaluer la somme des travaux de toutes les forces qui s'appliquent sur le solide (S) entre A et B. En déduire  $V_{\min}$ .

**2.b-** Etablir la relation entre  $V_{\min}$  et  $x_{\min}$ , valeur minimale de  $x$  qui permet au solide (S) d'atteindre B . En déduire la valeur numérique de  $x_{\min}$ .

## **EXERCICE 8**

Une sphère de masse  $m = 100\text{g}$  de dimension négligeables, est suspendue en un point fixe O par un fil sans masse et de longueur  $L = 1\text{m}$ . Tous ses mouvements ont lieu dans le plan vertical (voir figure).

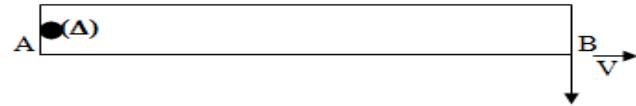
On écarte ce fil d'un angle  $\theta = 60^\circ$  et on l'abandonne sans vitesse.



- On choisit par convention l'énergie potentielle de la masse nulle lorsque celle-ci est dans le plan horizontal passant par O.
- Calculer l'énergie mécanique de la sphère au départ du mouvement. Que devient-elle si les oscillations s'effectuent sans frottement. Exprimer l'énergie mécanique de la sphère en fonction de sa masse, de sa vitesse V et de l'inclinaison  $\theta$  du pendule (voir figure). Calculer en joule, l'énergie cinétique  $E_c$  et l'énergie potentielle  $E_p$  de la sphère lorsqu'elle passe par sa position la plus basse.

## **EXERCICE 9**

Une barre AB, homogène, de section constante, de masse  $M = 4\text{kg}$  et de longueur  $L = 1,4\text{m}$  est mobile sans frottement au tour



d'un axe horizontal situé au voisinage immédiat de son extrémité A. A l'instant  $t = 0$ , La barre est horizontale et son énergie potentielle est nulle, on communique alors son extrémité B une vitesse  $\vec{V}$  verticale, dirigée vers le bas, de valeur  $V = 5\text{m/s}$ .

1- Calculer l'énergie mécanique de la barre au début de son mouvement /

$$\text{On donne } J_{\Delta} = \frac{1}{3}ML^2$$

2- Quelle est au cours du mouvement, la hauteur maximale atteinte par le point B ; La repérer en prenant comme référence le niveau de l'axe.

3- Quelle est la vitesse angulaire  $\omega$  de la barre lorsque le centre d'inertie G passe par l'altitude  $z_B = -1\text{m}$  ? Pour quelle valeur de  $z_B$  la vitesse angulaire est – elle maximale ? Calculer numériquement  $\omega_{\max}$  correspondante.

4- Quelle valeur minimale  $V_{\min}$  faut-il donner à la vitesse initiale du point B pour que la barre fasse le tour complet.

5- On lance désormais la barre à partir de la même position horizontale, mais en imprimant au point B une vitesse verticale  $V$  dirigée vers le haut de valeur  $V' = 10\text{m/s}$ . Quelles sont les vitesses  $V_1$  et  $V_2$  du point B lorsqu'il passe à la verticale, respectivement, au dessus de l'axe puis au dessous ?

## **EXERCICE 10**

**N.B- Cet exercice sera traité en utilisant exclusivement les propriétés de l'énergie mécanique. A cet effet, on prendra comme état de référence le plan horizontal passant par OD et comme origine des altitudes celui passant par AC (voir figure 1).**

Un solide de masse  $m = 1\text{kg}$  assimilable à un point matériel se déplace sur une piste constituée de trois parties:

- Une partie rectiligne AB inclinée d'un angle  $\alpha = 30^\circ$  par rapport à l'horizontale ;
- Une partie circulaire BC, de centre O et de rayon  $r = 1m$
- Une partie circulaire CD, de centre O' et de rayon  $r' = \frac{r}{2}$ .

**3.1** Déterminer les altitudes  $z_A$ ,  $z_B$ ,  $z_C$  et  $z_D$  des points A, B, C et D respectivement.

**3.2**- Le solide est lancé à partir du point A avec une vitesse  $V_A = 6 m/s$ .

**3.2.a-** En supposant les frottements négligeables sur la partie AB, déterminer l'énergie cinétique  $E_{CB}$  du solide au point B.

**3.2.b-** En réalité, il existe des forces de frottements équivalentes à une force unique  $\vec{f}$  s'exerçant sur le solide sur toute la partie AB. Déterminer l'intensité de  $f$ , sachant que le solide arrive au point B avec une vitesse nulle.

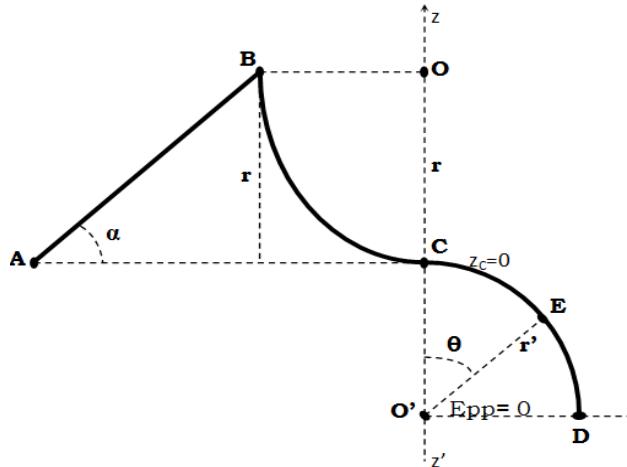
**3.3**-Le solide aborde maintenant, sans vitesse initiale, la partie circulaire BC. Il existe des forces de frottements équivalentes à une force unique  $\vec{f}'$  s'exerçant tangentiellement sur toute la partie BC. Déterminer l'intensité  $f'$ , sachant que la vitesse au point C est  $V_C = 2m/s$ .

**3.4**- Le solide arrive au point C avec une vitesse  $V_C = 2m/s$  ; où il aborde enfin la partie circulaire CD qui est verglacée ; les frottements seront donc négligés. Le solide passe en un point E de la partie CD, défini par  $(\overrightarrow{O'C}, \overrightarrow{O'E}) = \theta$ ; OD étant porté par l'horizontale.

**3.4.a-**Exprimer sa vitesse  $V_E$  en fonction de g,  $r'$ ,  $V_C$  et  $\theta$  ?

**3.4.b-** Le solide quitte la piste en E avec la vitesse  $V_E = 3m/s$ . Calculer la valeur de l'angle  $\theta$ .

**3.4.c-** Avec quelle vitesse, le solide atterrit- il sur la piste de réception en un point P?

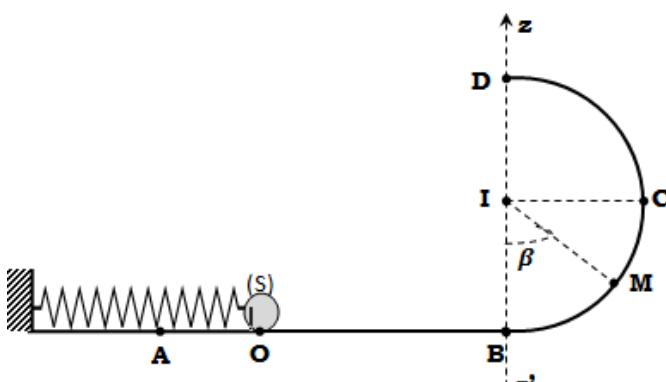


**figure 1**

### **EXERCICE 11**

Un jouet est constitué d'une gouttière A, B, C, D et E. AB est horizontal, BCD est un demi-cercle de centre I, de rayon  $R = 0,50m$ . Les points B, I et D se trouvent sur la même verticale.

Un solide (S), considéré comme ponctuel masse  $m = 0,10kg$ , peut être lancé du point A par l'intermédiaire, d'un ressort de constante de raideur  $k = 10N/m$  (*voir figure*).



**4.1**- La gouttière est bien lubrifiée ; les frottements sont négligés.

**4.1.a-** Que peut-on dire de l'énergie mécanique du système {ressort-solide(S)} au cours du déplacement ? Justifier.

**4.1.b-** Etablir la relation entre  $k$ ,  $x$ ,  $m$ ,  $g$ ,  $r$ ,  $\beta$  et  $V_M$  vitesse du solide (S) au point M. **N.B :**  
*On prendra comme état de référence le plan horizontal passant par AB coïncidant avec l'origine des altitudes.* ( $E_{pp}(B)=0$  pour  $z_B=0$ ).

**4.1.c-** En déduire la diminution de longueur minimale  $x_0$  qu'il faut imprimer au ressort pour qu'il puisse envoyer le solide (S) jusqu'en C.

On prendra  $\beta = 60^\circ$ .

**4.1.d-** On imprime maintenant au ressort une diminution de longueur  $x = 2x_0$ . Trouver la vitesse du solide (S) de masse  $m$  au point C.

**4.2-** La gouttière est mal lubrifiée. Les forces de frottement tangente à la trajectoire et d'intensité constante  $f' = 1,2\text{N}$ , existe sur la portion BCD.

**4.2.a-** Evaluer le travail de chacune des forces qui s'appliquent sur le solide (S) entre B et D.

**4.2.b-** En déduire la valeur minimale  $V_{min}$  de la vitesse que le solide (S) doit posséder en B pour atteindre le point D.

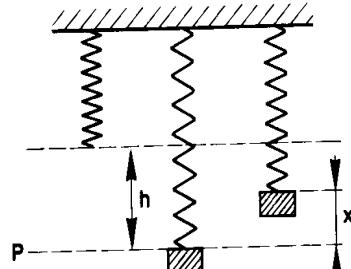
**4.2.c-** Déterminer la valeur minimale  $x_{min}$  de  $x$  qui permet au solide (S) d'atteindre le point D.

## **EXERCICE 12**

Une masse  $m$  est suspendue à l'extrémité inférieure d'un ressort vertical, de masse négligeable, dont l'autre extrémité est fixe. En étirant le ressort, on amène son extrémité inférieure dans un plan horizontal P qui sera pris comme plan de référence d'altitude 0 puis on abandonne la masse m.

L'extrémité du ressort effectue alors des oscillations verticales. On représente par  $x$  l'altitude de l'extrémité du ressort à l'instant t et par  $h$  son Altitude quand le ressort est au repos.

L'énergie potentielle du système « masse m, Terre » sera prise égale 0 pour  $x=0$



- 1- Exprimer l'énergie mécanique du système au début du mouvement et à l'instant t. En déduire une relation entre la vitesse  $v$  de la masse m à l'instant t et la variable de position  $x$ .
- 2- Pour quelles valeurs de  $x$  observe-t-on une vitesse nulle de la masse m ?
- 3- Montrer que l'énergie cinétique du système est maximale quand la masse m passe à sa position d'équilibre.

Données :  $m = 0,100\text{kg}$  ;  $g = 10\text{m/s}^2$  ;  $h = 0,15\text{m}$  ;  $k = 10\text{N/m}$

## **EXERCICE 13**

Un solide de masse  $m$  peut glisser sans frottement sur plan incliné d'un angle  $\alpha$  par rapport à l'horizontal il est abandonné sans vitesse initiale. Après un parcours de  $L$ , il comprime un ressort de raideur  $k$  ( voir croquis).

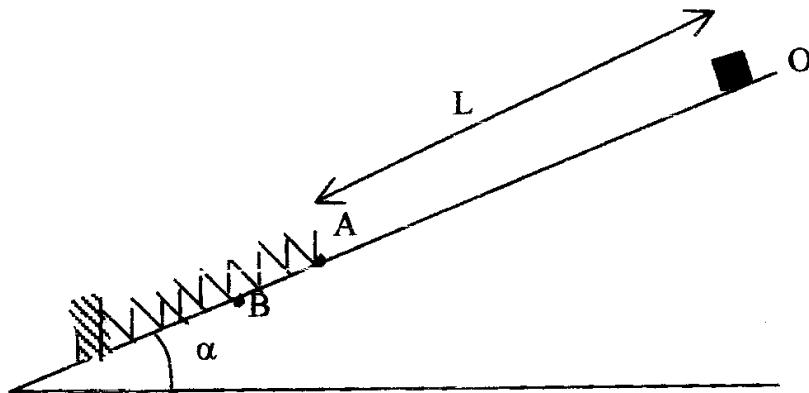
1-) Considérant le système (ressort +masse m) dans le champ de pesanteur, dire sans calcul les transformations d'énergie qui se produisent :

-Lorsque le solide se déplace de O à A,

-Lorsque le solide comprime le ressort de A à B.

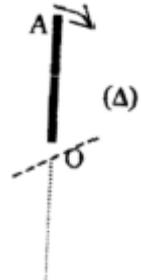
2-) Trouve la diminution de longueur du ressort au moment où le solide s'immobilise avant de faire demi-tour.

**On donne :**  $m = 100 \text{ g}$ ;  $k = 100 \text{ N/m}$ ;  $\alpha = 30^\circ$ ;  $l = 20 \text{ cm}$ .



### EXERCICE 14

Une barre homogène OA de longueur  $l = 1,00 \text{ m}$ , de masse  $m = 2,00 \text{ kg}$  est mobile autour d'une axe horizontal ( $\Delta$ ) passant par O. La barre peut tourner autour d'un axe sans frottement. L'énergie potentielle de pesanteur de la barre est nulle lorsqu'elle est horizontale.



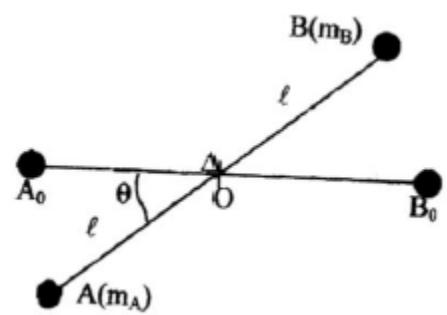
1°) On écarte la barre de sa position d'équilibre en la faisant tourner de  $180^\circ$  puis on l'abandonne sans vitesse à la date 0.

2°) Calculer l'énergie mécanique de la barre à la date 0.

3°) Calculer l'énergie cinétique de la barre et la vitesse du point A au moment où la barre passe par sa position d'équilibre stable.

### EXERCICE 15

Une barre de masse négligeable de longueur  $AB = 2l = 1 \text{ m}$  est mobile sans frottement autour d'un axe horizontal ( $\Delta$ ) passant par son milieu. Le mouvement s'effectue dans plan vertical. La barre porte aux voisinages immédiats de ses extrémités, deux masses de petites dimensions     $m_A = 400 \text{ g}$  et  $m_B = 100 \text{ g}$ .



La barre est maintenue initialement immobile dans position horizontale puis lâchée sans vitesse.

L'énergie potentielle de pesanteur du système est supposée nulle lorsque la barre est horizontale.

1°) Calculer le travail effectué par les poids des masses lorsque la barre de la position horizontale  $A_0B_0$  à la position  $A_1B_1$ . On donne :  $g = 9,80 \text{ SI}$ .

2°) Calculer au moment où la barre passe la position A<sub>1</sub>B<sub>1</sub>.

- l'énergie potentielle du système
- son énergie cinétique
- la vitesse du point A.

3°) On remet la barre dans la position horizontale, puis on l'abandonne sans vitesse.

Calculer au moment où la barre fait avec le plan horizontal un angle  $\theta$ .

- l'énergie potentielle de pesanteur du système.
- L'énergie cinétique du système
- La vitesse du point A

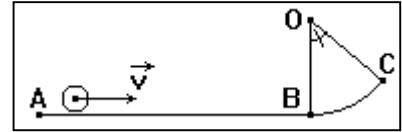
$$A.N : \theta = 30^\circ$$

### **EXERCICE 16**

Une piste horizontale AB dont la longueur est  $L = 1,5$  m, se termine par une portion circulaire BC, de centre O, de rayon  $R = 2$  m et d'angle au centre  $\alpha = 50^\circ$ .

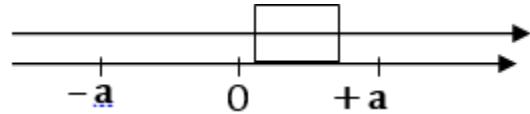
On lance un petit objet S, de masse  $m = 100$  g ; sa vitesse, lorsqu'il passe au point A est  $v_A = 5$  m/s.

- 1) Calculer la longueur totale de la piste (ABC).
- 2) Déterminer l'altitude du point C (on pose  $z_A = 0$ ).
- 3) Déterminer les caractéristiques du vecteur vitesse  $\vec{v}_C$  de l'objet lorsqu'il arrive au point C dans l'hypothèse où l'on néglige tous les frottements.
- 4) En fait, on mesure la vitesse réelle  $v_C = 2,8$  m/s. Montrer qu'il existe des frottements et déterminer la quantité d'énergie mécanique dégradée par les frottements. Que devient cette énergie dégradée ?



### **EXERCICE 17:**

Un solide de masse  $m = 100$  g peut coulisser sans frottement sur une tige horizontale ; Il est relié à un ressort de constante de raideur  $k$ . A l'équilibre, son centre d'inertie est en O. Lorsqu'il oscille entre les points d'abscisses  $-a$  et  $+a$ , avec  $a = 5$  cm, sa vitesse de passage à la position d'équilibre est  $v_0 = 2$  m.s<sup>-1</sup>.



1-Calculer la constante de raideur  $k$  du ressort.

2-Calculer la vitesse de passage au point d'abscisse  $a/2$ .

3-En réalité, la vitesse de passage au point d'abscisse  $a/2$  n'est que de 1,5 m.s<sup>-1</sup> lorsque le centre d'inertie du solide part du point d'abscisse  $+a$ . Calculer l'intensité, supposée constante, de la force de frottement.

## D-CORRIGE DES EXERCICES

**EXERCICE 1 :** 1-  $E_m = 4,15J$ , 2-  $h=2,12m$  ; 3-  $4m.s^{-1}$  4-  $6,45ms^{-1}$

**EXERCICE 3 :** 1-  $E_{mA} = 2,089J$ ,  $E_{mB} = 1,6J$  et  $E_{mC}=0J$ , 2)-a :  $V_B=3,13m.s^{-1}$  et b :  $\theta_1=48^\circ$

---

## CHAPITRE P4 CALORIMETRIE

### A-OBJECTIFS

Expliquer la dégradation de l'énergie mécanique.

Distinguer haleur et température.

Utiliser les différents modes de transfert de chaleur.

Donner la convention de signe des échanges de quantité de haleur.

Exprimer une quantité de chaleur changée.

Calculer une quantité de haleur.

Déterminer des grandeurs calorimétriques :

### B- L'ESSENTIEL DU COURS

La calorimétrie s'intéresse à la mesure de quantité de chaleurs échangées par un système avec le milieu extérieur.

Lorsqu'un cycliste descend une pente en freinant de manière à maintenir sa vitesse constante, son énergie mécanique décroît et nous notons une élévation de température au niveau des freins et de la jante.

L'élévation de la température et la diminution de l'énergie mécanique correspond à Un transfert d'énergie sous forme de chaleur.

Cette apparition de chaleur correspond à la perte de l'énergie mécanique du cycliste  $\Delta E_m = Q$ .  $Q$  est la quantité d'énergie échangée (ou quantité de chaleur)

### **Quantité de chaleur**

**La quantité de chaleur échangée** par un corps dépend de plusieurs facteurs :

La masse du corps, sa nature, son état physique et sa température.

### **Convention de signe**

Intéressons à la quantité de chaleur  $QS$  échangée par un système  $S$  avec le milieu extérieur

#### **Par convention :**

Si le système  $S$  reçoit de la chaleur du milieu extérieur, nous attribuons à  $QS$

une mesure positive :  $QS > 0$

Si le système  $S$  cède de la chaleur au milieu extérieur, nous attribuons à  $QS$

une mesure négative :  $QS < 0$

Principe des échanges d'énergie entre deux corps

Lorsqu'un corps chaud est en contact avec un corps froid ; le corps chaud se refroidit et le corps froid se réchauffe.

Le refroidissement et le réchauffement sont deux phénomènes inverses dus à un échange de chaleur.

### **Équilibre thermique**

Lorsqu'on met en présence de deux corps pris à des températures différentes, au bout d'un certain temps, leur température finit par devenir la même : il y a alors équilibre thermique . Si A et B sont ces deux corps on a :  $QA + QB = 0$

### **Enceinte adiabatique**

C'est un récipient qui n'échange pas de chaleur avec le milieu extérieur s'il est fermé.

### **Cas d'une variation de température**

L'expérience montre que la quantité de chaleur  $Q$  échangée par un corps de masse  $m$  dont sa température varie de  $\theta_{\text{initial}}$  à  $\theta_{\text{final}}$  peut s'écrire :

$$Q = m c (\theta_{\text{initial}} - \theta_{\text{final}})$$

### **Chaleur massique ou capacité thermique massique**

La chaleur massique  $c$  d'un corps est égale à la quantité de chaleur qu'il faut fournir à un corps de masse 1 kg pour lever sa température de 1°C.

Pour de nombreuses substances pures, on utilise souvent une autre unité :

le joule par mole et par kelvin ( $\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ) appelée **chaleur molaire** :  $c_M = M \cdot c$

### Capacité calorifique

Elle est la quantité de chaleur nécessaire reçue par un corps de masse  $m$  pour éléver de  $1^\circ\text{C}$  sa température.

Elle est notée  $C = m \cdot c$  et s'exprime en  $\text{J} \cdot \text{K}^{-1}$  ou  $\text{J} \cdot {}^\circ\text{C}^{-1}$ .

La capacité calorifique d'un système constitué de plusieurs corps est égale à la somme des capacités calorifiques des différents corps du système

### Cas d'un changement d'état

La chaleur latente de changement d'état d'un corps noté  $L$  est la quantité de chaleur échangée par une unité de masse ( $m=1\text{kg}$ ) de ce corps, au cours de son changement

d'état physique à température constante. Elle s'exprime en  $\text{J} \cdot \text{Kg}^{-1}$ .

$L$  est une grandeur algébrique. Elle est positive pour une fusion, une vaporisation et une sublimation ; et négative dans les autres cas :

$$\begin{aligned} L_{\text{fusion}} &= -L_{\text{solidification}} ; L_{\text{sublimation}} = -L_{\text{condensation}} ; L_{\text{vaporation}} \\ &= -L_{\text{liquéfaction}}. \end{aligned}$$

La quantité de chaleur échangée  $Q$ , par un corps pur de masse  $m$  pris à sa température de changement d'état est :

$$Q = m \cdot L$$

**Chaleur de réaction** Elle est notée  $Q_r$  et est exprimée en  $\text{kJ/mol}$

La chaleur de réaction est la quantité de chaleur échangée du système réactionnel avec l'extérieur lors d'une réaction chimique.

Si la réaction est **exothermique**, la chaleur de réaction  $Q_r$  est donc négative. Et inversement, si la réaction est **endothermique**, la chaleur de réaction  $Q_r$  est positive.

### Détermination de la chaleur de réaction

Si une équation chimique correspond à une combinaison de plusieurs équations chimiques la chaleur de réaction de la transformation bilan sera la combinaison des chaleurs des réactions considérées

## C-EXERCICES

### EXERCICE 1

- 1- Un bloc de plomb de masse  $M = 5\text{kg}$ , lâché sans vitesse du premier étage d'une maison situé à la hauteur  $H = 4\text{m}$ , s'écrase en arrivant au sol et s'immobilise. Quelle est la quantité de chaleur  $Q$  dissipée par le choc ?
- 2- Le bloc de plomb est remplacé par une bille de cuivre de masse  $m = 2\text{kg}$  qui, lâchée dans les mêmes conditions, rebondit à la vitesse  $v = 1\text{m/s}$ . Quelle est la quantité de chaleur  $Q'$  produite au cours du rebond ?

## **EXERCICE 2**

Une mitrailleuse tire des balles de masse  $m = 20\text{g}$  au rythme de 10 par seconde ; leur vitesse à la sortie de l'arme vaut  $V = 500\text{m/s}$ .

Calculer la quantité de chaleur libérée en une minute lorsque les balles viennent frapper une plaque d'acier si on suppose :

- a- Que les balles s'immobilisent à leur impact sur la plaque de blindage ;
- b- Que les balles rebondissent sur cette plaque avec la vitesse  $v = 50\text{m/s}$ .

## **EXERCICE 3**

La quantité de chaleur nécessaire pour provoquer la fusion d'un kilogramme de glace à la température de  $0^\circ\text{C}$  est  $L = 3,3 \cdot 10^5\text{J}$ .

1- Un grêlon de masse  $m = 5\text{g}$  frappe le sol à la vitesse  $v = 20\text{m/s}$  et s'y immobilise.

On admet que la quantité de chaleur dissipée au moment du choc sert exclusivement à provoquer la fusion d'une partie du grêlon, dont la température est de  $0^\circ\text{C}$ , calculer la masse de glace qui fond.

2- Quelle devrait être la vitesse du grêlon pour que le choc produise sa fusion complète ?

## **EXERCICE 4**

Un ballon de masse  $M = 300\text{g}$  est lancé verticalement jusqu'à une hauteur  $H = 20\text{m}$ . Après le premier rebond, il ne s'élève plus qu'à la hauteur  $H_1 = 16\text{m}$ .

1- Calculer l'énergie mécanique du ballon lorsqu'il est au sommet de sa course, à la hauteur  $H = 20\text{m}$ . L'énergie potentielle de pesanteur est, conventionnellement, prise nulle au niveau du sol.

On admet dans ce qui suit que la seule cause de non conservation de l'énergie mécanique du ballon est le choc entre ce dernier et le sol.

2- Calculer l'énergie mécanique du ballon juste avant le premier rebond, puis juste après.

- Quelle est la fraction  $x$  de l'énergie mécanique perdue au cours de ce rebond ? Exprimer également le pourcentage de cette énergie perdue.
- Quelle est la vitesse  $v_1$  du ballon juste après le premier rebond ?

3- On admet que chaque rebond fait perdre au ballon la même fraction  $x$  de son énergie mécanique.

En déduire :

- Les hauteurs  $H_2, H_3, \dots, H_n$  atteintes par le ballon après les rebonds n° 2, 3, ..., n
- Les valeurs des vitesses  $v_2, v_3, \dots, v_n$  du ballon juste après les rebonds correspondants.

4- Combien de rebonds celui-ci doit-il effectuer pour qu'après le dernier d'entre eux il ne remonte qu'à une hauteur  $h$  comprise entre 8,0m et 8,3m ?

- Quelle est, dans ces conditions, la quantité de chaleur totale  $Q$  dissipée par les chocs successifs ?

### **EXERCICE 5**

On admet que dans un calorimètre seuls le vase intérieur (masse  $m_1 = 300\text{g}$ , capacité thermique massique  $c_1 = 0,38\text{kJkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ ) et l'agitateur (masse  $m_2 = 50\text{g}$ , capacité thermique massique  $c_2 = 0,90 \text{ kJ kg}^{-1}\text{K}^{-1}$ ) sont susceptibles de participer aux échanges thermiques avec le contenu de l'appareil.

- 1- Calculer la capacité thermique  $C$  du calorimètre
- 2- Ce dernier contient  $400\text{g}$  d'éthanol à la température  $t_1 = 17,5^\circ\text{C}$  ; on y verse  $200\text{g}$  d'eau à la température  $t_2 = 24,7^\circ\text{C}$  et on note la température lorsque l'équilibre thermique est réalisé, soit  $t_e = 20,6^\circ\text{C}$ . En déduire la valeur de la capacité  $c$  de l'éthanol.  
Capacité thermique massique de l'eau  $c_e = 4,19 \text{ kJkg}^{-1}\text{K}^{-1}$

### **EXERCICE 6**

Un calorimètre renferme  $200\text{g}$  d'eau à la température  $t_1 = 15,4^\circ\text{C}$ . On y introduit un cylindre d'aluminium de masse  $M = 80\text{g}$  préalablement porté dans une étuve à la température  $t_2 = 86,8^\circ\text{C}$ .

La température d'équilibre se fixe à  $t_e = 20,0^\circ\text{C}$ .

On recommence l'expérience en plaçant, cette fois,  $150\text{g}$  d'eau dans le calorimètre à la température  $t'_1 = 15,8^\circ\text{C}$  ; le même cylindre d'aluminium, désormais porté à la température  $t'_2 = 95,5^\circ\text{C}$  est réintroduit dans le calorimètre ; le nouvel équilibre est caractérisé par la température  $t'_e = 22,1^\circ\text{C}$ .

En déduire :

- 1- La capacité thermique massique  $c$  de l'aluminium
- 2- La capacité thermique  $C$  du calorimètre
- 3- Quelle quantité de chaleur minimale faut-il mettre en œuvre pour fondre  $1$  tonne d'aluminium prise à une température initiale de  $15^\circ\text{C}$  ?

Données : - Chaleur massique de l'eau :  $c_e = 4,19\text{kJkg}^{-1}\text{K}^{-1}$

- température de fusion de l'aluminium :  $t_f = 660^\circ\text{C}$
- chaleur latente de fusion de l'aluminium à  $660^\circ\text{C}$  :  $L_f = 330\text{kJkg}^{-1}$

### **EXERCICE 7**

Un calorimètre contient de l'eau à la température  $t_1 = 18,3^\circ\text{C}$  ; sa capacité thermique totale a pour valeur  $C = 1350\text{JK}^{-1}$ .

- On introduit un bloc de glace, de masse  $m = 42\text{g}$  prélevé dans le compartiment surgélation d'un réfrigérateur à la température  $t_2 = -25,5^\circ\text{C}$ . Il y'a fusion complète de la glace et la température d'équilibre est  $t = 5,6^\circ\text{C}$

- On recommence l'expérience (même calorimètre, même quantité d'eau initiale, même température), mais on introduit cette fois un glaçon de masse  $m' = 35\text{g}$  à la température de  $0^\circ\text{C}$ . La nouvelle température d'équilibre est  $t' = 8,8^\circ\text{C}$ .

Déduire des deux expériences précédentes :

- 1- La chaleur latente de fusion  $L_f$  de la glace.
  - 2- La capacité thermique massique  $c_s$  de la glace.
  - 3- On introduit un nouveau glaçon, de masse  $43\text{g}$ , à la température  $-25,5^\circ\text{C}$ , dans l'eau du calorimètre à la température  $t'$  issue de la dernière expérience.
  - Quelle est la température atteinte à l'équilibre thermique ?
  - Reste-t-il de la glace ? Si oui, quelle est sa masse ?
- Donnée : Chaleur massique de l'eau liquide  $c_e = 4,19\text{kJ}\text{kg}^{-1}\text{K}^{-1}$

## **EXERCICE 8**

- a) La combustion d'une mole de méthane dans le dioxygène, sous la pression atmosphérique normale, produit du dioxyde de carbone et de la vapeur d'eau. La chaleur de la réaction est  $Q_1 = -802,5\text{kJ}$

Ecrire l'équation-bilan de la réaction. Celle-ci est-elle exothermique ou endothermique ?

- b) On fait brûler, dans un chalumeau, un mélange contenant une mole de méthane, 2moles de dihydrogène et un excès de dioxygène.

La quantité de chaleur cédée au milieu extérieur par cette réaction est  $Q = 1286,1\text{kJ}$ .

Tous les produits formés sont gazeux.

Ecrire l'équation bilan de la réaction de combustion d'une mole de dihydrogène dans le dioxygène et calculer la chaleur de réaction  $Q_2$  correspondante, l'eau formée étant à l'état de gaz.

## **EXERCICE 9**

- 1- Un calorimètre de capacité thermique négligeable contient  $100\text{g}$  d'eau à  $20^\circ\text{C}$  on y introduit un morceau de glace de masse  $20\text{ g}$  initialement à la température  $0^\circ\text{C}$ .

Montrer qu'il ne reste pas de glace lorsque l'équilibre est atteint .Calculer la température d'équilibre.

- 2- Dans le système précédent, on ajoute alors un second morceau de glace de masse  $20\text{g}$  dont la température est, cette fois  $-18^\circ\text{C}$ .

Montrer que lorsque l'équilibre thermique est atteint, il reste de la glace et que la température d'équilibre est  $0^\circ\text{C}$ .

Calculer alors les masses d'eau liquide et de glace en présence.

- 3- Dans l'ensemble précédent, on introduit un autre glaçon de masse  $20\text{g}$  à la température  $-18^\circ\text{C}$ .

- Quelle est la nouvelle température d'équilibre ?
- Calculer la masse d'eau qui se congèle.

Donnée : Capacité thermique massique de l'eau liquide :  $c_e = 4190\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

## **EXERCICE 10**

1-) le vase calorimétrique d'un calorimètre est en aluminium, sa masse est  $m_1 = 50 \text{ g}$  et sa capacité thermique massique vaut  $c = 920 \text{ J}.\text{kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ . le calorimètre contient une masse d'eau  $m_2 = 100 \text{ g}$ . le thermomètre et les accessoires du calorimètre ont une capacité thermique de  $15 \text{ J}.\text{K}^{-1}$ . Calculer la capacité thermique totale  $C$  du calorimètre.

2-) On mélange 1kg de glace à  $0^\circ\text{C}$  et 1kg d'eau liquide à  $100^\circ\text{C}$ .

a-) Quel est l'état physique final du système ?

b-) Déterminer la température d'équilibre.

Données :  $c_e = 4,19 \cdot 10^3 \text{ J}.\text{kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ , chaleur latente de fusion de la glace  $L_f = 334 \text{ kJ}.\text{kg}^{-1}$

## **EXERCICE 11**

On place 200 mL de solution d'acide chlorhydrique de concentration  $0,4 \text{ mol}.\text{L}^{-1}$  dans un vase de Dewar de capacité thermique  $C = 150 \text{ J}.\text{K}^{-1}$ .

Une solution d'hydroxyde de sodium de concentration  $1 \text{ mol}.\text{L}^{-1}$  est versée progressivement dans la solution d'acide chlorhydrique, tandis qu'on relève, après chaque addition, la température dans le calorimètre.

Initialement, les solutions d'acides chlorhydriques et d'hydroxyde de sodium sont à la même température  $t_1 = 16,1^\circ\text{C}$ . La température du calorimètre s'élève régulièrement jusqu'à  $t_2 = 19,5^\circ\text{C}$ , puis décroît lentement.

1-) Ecrire l'équation bilan qui se produit dans le calorimètre et interpréter qualitativement les phénomènes observés.

2-) Pour quel volume  $v$  de la solution d'hydroxyde de sodium versé observe-t-on la température maximale  $t_2$  ?

3-) En déduire la chaleur de réaction entre une mole d'ions  $\text{H}_3\text{O}^+$  et une mole d'ions  $\text{OH}^-$

4-) Quelle est la température  $t_3$  lorsque l'on a versé 150 mL de solution d'hydroxyde de sodium ?

- *Les capacités thermiques massiques des solutions d'acide chlorhydrique et d'hydroxyde de sodium sont égales :  $c = 4,2 \text{ kJ}.\text{kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$*
- *Les masses volumiques de ces solutions sont égales :  $\rho = 10^3 \text{ kg}.\text{m}^{-3}$*

## **EXERCICE 12**

Pour déterminer la capacité thermique massique d'un alcool organique, on le chauffe légèrement, puis on en introduit une masse connue dans un calorimètre :  $m_1 = 220 \text{ g}$ . Après quelques instants, on note la température :  $t_1 = 28,2^\circ\text{C}$ .

On ajoute alors une masse  $m_2 = 200 \text{ g}$  du même alcool, mais à la température  $t_2 = 16,4^\circ\text{C}$ , puis à l'aide d'une résistance électrique préalablement installée, on chauffe le liquide calorimétrique jusqu'à ce que la température redienne égale à la température initiale  $t_1$ .

La quantité de chaleur apportée par la résistance à pour valeur  $Q = 5,43 \text{ kJ}$ .

1-) En déduire la capacité thermique massique  $c$  de l'alcool étudié. Quel est l'intérêt de cette méthode ?

2-) Lorsque la température atteint  $28,2^\circ\text{C}$ , on ajoute 120 g d'eau à la température  $t_3 = 15,0^\circ\text{C}$ . On note la température  $t_e = 24,4^\circ\text{C}$  à l'équilibre thermique.

Déduire de cette expérience

a-) La valeur de la capacité thermique  $C$  du calorimètre

b-) La température d'équilibre obtenue juste après le mélange des 220 g d'alcool à  $t_1 = 28,2^\circ\text{C}$  et des 200 g du même alcool à  $t_2 = 16,4^\circ\text{C}$

### **EXERCICE 13**

Un vase Dewar renferme de l'eau à la température  $t_1 = 18,5^\circ\text{C}$ . La capacité thermique du calorimètre, de l'eau et des accessoires, est  $C_c = 1700 \text{ J.K}^{-1}$ .

- 1) On introduit dans l'eau un morceau de glace pris dans un congélateur, à la température  $t_2 = -17,0^\circ\text{C}$ . L'augmentation de masse du calorimètre étant  $m = 30 \text{ g}$ , quelle est la température finale  $t$  à l'équilibre ?
- 2) On plonge ensuite dans le vase, un morceau d'aluminium de masse  $m' = 200 \text{ g}$ . Quelle doit être la température  $t'$  de l'aluminium pour ramener la température dans le calorimètre à sa valeur initiale  $18,5^\circ\text{C}$  ?
  - Chaleur massique de l'eau :  $4190 \text{ J.kg}^{-1}.K^{-1}$ ;
  - Chaleur massique de la glace :  $2100 \text{ J.kg}^{-1}.^\circ\text{C}^{-1}$ ;
  - Chaleur massique de l'aluminium :  $880 \text{ J.kg}^{-1}.K^{-1}$ ;
  - Chaleur latente de fusion de la glace :  $335 \text{ kJ.kg}^{-1}$ .

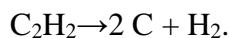
### **EXERCICE 14**

La réaction :  $\text{C}_2\text{H}_2 + 5 \text{ O}_2 \rightarrow 2 \text{ CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$  se fait avec un dégagement de chaleur de 1300 kJ.

La réaction  $\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$  se fait avec un dégagement de chaleur de 400 kJ.

La réaction :  $\text{H}_2 + \frac{1}{2} \text{ O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$  se fait avec un dégagement de chaleur de 248 kJ.

Calculer la chaleur produite par la décomposition de 1 kg d'acétylène, suivant la réaction :



Toutes les réactions ci-dessous se font sous la pression atmosphérique, constante.

## D-CORRIGE DES EXERCICES

**EXERCICE 1 :** 1- Energie Q=196J ; 2- Q'= 77,4J

**EXERCICE 5 :** 1- C=1600J.Kg<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup> 2- Lf= 330KJ.Kg<sup>-1</sup> et cg= 2,15KJ.Kg<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>

---

## CHAPITRE P5 FORCE ET CHAMP ELECTROSTATIQUES

### A-OBJECTIFS

Déterminer les caractéristiques des forces électrostatiques.

Utiliser la loi de Coulomb.

Déterminer les caractéristiques du champ électrique créé par une charge ponctuelle et celles du champ électrique existant entre les armatures d'un condensateur plan chargé (vecteur , lignes de champ )

### B- L'ESSENTIEL DU COURS

#### **Champ électrostatique**

Il existe un champ électrostatique, en une région de l'espace lorsqu'une charge électrique y est soumise à une force électrostatique

\* Lorsqu'une charge q est placée en un point M d'un espace champ, la force électrostatique  $\vec{F}$  à laquelle elle est soumise ne dépend que :

- de la valeur q cette charge test
- du champ électrostatique qui existe en M indépendamment de la charge q. On pose  $\vec{F} = q\vec{E}_M$  ; q est une grandeur scalaire et  $\vec{E}_M$  et  $\vec{F}$  sont des grandeurs vectorielles

On définit le champ électrostatique en M :  $\vec{E}_M = \frac{\vec{F}}{q}$

#### **Caractéristiques du vecteur champ**

- Support de  $\vec{E}_M$  confondu avec la ligne d'action de  $\vec{F}$
- Sens de  $\vec{E}_M$  : de même sens que  $\vec{F}$  si q est positive ; l'opposé de  $\vec{F}$  si q est négative ;
- Origine le point M ;
- Intensité  $E = \frac{F}{|q|}$  et son unité dans le SI est N.C<sup>-1</sup> ou encore V.m<sup>-1</sup>

#### **Topographie d'un champ électrostatique**

- Lignes de champ : sont des lignes continues tangentes au vecteur champ électrique en chacun de leurs points et orientées dans le sens des vecteurs champs.
- Spectre électrostatique : l'ensemble des lignes de champ

#### **Champ créé par des charges ponctuelles :**

Le champ est divergent à partir d'une charge -source positive et le champ est convergent vers la charge -source négative

Le vecteur champ électrique créé par un ensemble de charges est égal à la somme des vecteurs champs électriques créés en ce point par chacune des charges :  $\vec{E} = \sum \vec{E}_i$

#### **Champ uniforme**

Le champ est uniforme dans une région de l'espace, en tout point de cette région, il conserve la même direction , le même sens et la même intensité.

on obtient un champ uniforme en appliquant une tension continue entre deux plaques métalliques planes et parallèles (Condensateur plan)

## C- EXERCICES

### EXERCICE 1

Trois (3) charges ponctuelles  $q_A = 10^{-6}C$ ,  $q_B = 10^{-6}C$ ,  $q_C = -310^{-6}C$  sont placées respectivement en A, B et C sommet d'un triangle équilatéral  $AB = a = 10\text{cm}$ .

Préciser les caractéristiques du vecteur champ électrostatique au centre de gravité du triangle et aux milieux des côtés du triangle.

### EXERCICE 2

**1** Une charge  $Q= 10 \text{nC}$  est placée en un point en point A de l'espace.

**1-a** Déterminer les caractéristiques du champ électrostatique en un point B situé à 1cm de A

**1-b** On place en B une charge  $q= 5 \text{nC}$ . Déterminer les caractéristiques de la force  $\vec{F}$  exercée par Q sur A.

**2** Une charge  $q= -60 \text{nC}$  est placée en un point A de l'espace.

**2-a** Déterminer les caractéristiques du vecteur champ électrostatique en un point B situé à une distance  $AB= 10\text{cm}$ .

**2-b** On place en B une charge  $Q= 10\text{nC}$ . Déterminer les caractéristiques de la force  $\vec{F}$  exercée par q sur Q.

**3** Dans une certaine région de l'espace, on a créé un champ électrostatique uniforme  $\vec{E}$  d'intensité  $E= 1000\text{V.m}^{-1}$ .

**3-1** Comment sont les lignes de champ électrostatique de champ.

**3-2** Un ion  $\text{Cu}^{2+}$ , placé en B, subit une force  $\vec{F}= F_x \vec{i}$ , où  $F_x > 0$  et  $\vec{i}$  est un vecteur unitaire.

Déterminer les caractéristiques du vecteur champ électrostatique  $\vec{E}_{(B)}$  et la force  $\vec{F}$ . Représenter ces deux vecteurs avec des échelles à préciser.

**3-3** On place maintenant au point B un ion  $\text{SO}_4^{2-}$ . Déterminer les caractéristiques de la force  $F'$  qui s'exerce sur cet ion considéré comme ponctuel.

### EXERCICE 3

**1-** Deux boules métalliques ponctuelles  $B_1$  et  $B_2$  s'attirent avec une force de 2N. La boule  $B_1$  porte une charge électrique  $q_1= - 10^{-4}\text{C}$  ; son centre se trouve à 15cm de celui de  $B_2$ .

**1.a-** Enoncer la loi de Coulomb.

**1.b-** Rappeler l'expression vectorielle de la force électrostatique. Faire un schéma dans le cas de  $q_1$  et  $q_2$ .

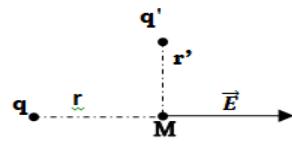
**1.c-** Déterminer la valeur de la charge  $q_2$  portée par la boule  $B_2$ .

**2-** Sur le schéma ci-contre, on a représenté le champ électrostatique  $\vec{E}$  d'intensité  $E = 250 \text{ V.m}^{-1}$  crée au point M par une charge q.

**2.a-** Quel est le signe de q ? Justifier votre réponse.

**2.b-** Sachant que  $q = 2q'$  et que  $r = 2r'$ , déterminer la valeur du champ électrostatique  $\vec{E}'$  créé au point M par la charge  $q'$ .

**2.c-** Donner les caractéristiques du champ électrostatique total  $\vec{E}_t = \vec{E} + \vec{E}'$  au point M.



#### **EXERCICE 4**

Deux charges positives  $q = 5\mu\text{C}$  et  $q' = 3\mu\text{C}$  sont placées respectivement en deux points A et B distants de  $2a = 10\text{cm}$ .

**1-** Déterminer le vecteur champ électrique :

**1.a-** Au milieu du segment [AB] ;

**1.b-** En un point N situé sur la droite (AB) à la distance  $3a$  du point M.

**2-** Montrer qu'il existe entre A et B un point O, où le champ électrique est nul et déterminer la position de ce point.

**3-** On place une charge négative  $q''$  telle que  $q'' = -q$  en un point C, situé sur la médiatrice de [AB] à une distance  $2a$  de A.

**3.a-** Déterminer les caractéristiques de la force électrostatique exercée sur  $q''$  par q et  $q'$ .

**3.b-** En déduire le vecteur champ électrostatique créé au point C par q et  $q'$ .

#### **EXERCICE 5**

Dans la molécule de chlorure d'hydrogène, on peut considérer que les atomes d'hydrogène et de chlore portent respectivement les charges  $+q$  et  $-q$  placées à une distance  $d$  l'une de l'autre.

**1** Représenter les lignes de champs électrostatiques au voisinage de ces deux charges.

**2** La molécule de chlorure d'hydrogène est caractérisée par un moment dipolaire mesurable  $p = q.d$ . Celui-ci vaut  $3,5.10^{-30}\text{C.m}$  avec  $d = 2,126\text{nm}$ . Calculer q.

**3** Soit O le milieu du segment joignant les centres A et B des atomes de chlore et d'hydrogène et P un point de la droite AB. On pose  $OP = x$ .

Exprimer en P :

**3-a** le champ  $\vec{E}_1(P)$  créé par la charge  $-q$  placée en A, en fonction de x et de d ;

**3-b** Le champ  $\vec{E}_2(P)$  créé par la charge  $+q$  placée en B.

**4** Déterminer le champ  $\vec{E}(P)$  créé au point P par les charges.

**5** On se place à une distance x très grande devant d. Montrer que  $\vec{E}$  se met sur la forme approchée :  $\vec{E} = C \frac{p}{x^3} \vec{i}$  avec C une constante que l'on exprimera.

Donnée :  $(1+\varepsilon)^n \approx 1+n\varepsilon$  pour  $\varepsilon \ll 1$ .

#### **EXERCICE 6**

Dans l'expérience de Millikan, on cherche à déterminer les caractéristiques d'une goutte d'huile de charge  $q_0$  de masse m maintenue en équilibre dans un champ de pesanteur par un champ électrostatique.

**1** Faire un schéma indiquant les forces qui s'exercent sur la goutte d'huile, la position et le signe des plaques qui créent le champ électrostatique.

2. La goutte d'huile est dans un champ électrostatique d'intensité  $E = 6.108 \text{ V/m}$ . Déterminer le rapport  $\frac{q}{m}$ .

3. La goutte d'huile porte une charge  $q$  égale à vingt (20) fois la charge élémentaire.

3.1 Quelle est sa masse ?

3.2 En déduire son rayon sachant que sa masse volumique est  $890 \text{ kg.m}^{-3}$

### EXERCICE 7

1On superpose dans un domaine **D**, deux champs électrostatiques uniformes  $\vec{E}_1$  et  $\vec{E}_2$  orthogonaux :

$E_1 = 3.10^4 \text{ V/m}$  et  $E_2 = 4.10^4 \text{ V/m}$ .

1-a Montrer qu'en tout point de ce domaine, il existe un champ électrostatique uniforme  $\vec{E}$ . Déterminer sa norme.

1-b Calculer l'intensité de la force subie par un ion  $A\ell^{3+}$  placé en un point de ce champ et la valeur de l'angle  $\alpha = (\vec{E}_1, \vec{F}_e)$ .

1-c Répondre aux mêmes questions qu'au 2°) s'il s'agit de l'ion sulfate  $SO_4^{2-}$ .

2Une charge ponctuelle  $q$  est placée dans une région où règne un champ électrique de vecteur  $\vec{E}$  vertical et dirigé de haut vers le bas.

2-aDonner les caractéristiques de la force  $\vec{F}$  qui s'exerce sur la charge  $q$

On donne  $q=+2,0\mu\text{C}$  ;  $E=1,0.10^3 \text{ V/m}$ .

2-bdonner la valeur de la charge  $q'$  qui est placée dans ce même champ subirait une force  $\vec{F}'$  verticale, dirigée de bas en haut et telle que  $F'=4,0.10^{-3} \text{ N}$ .

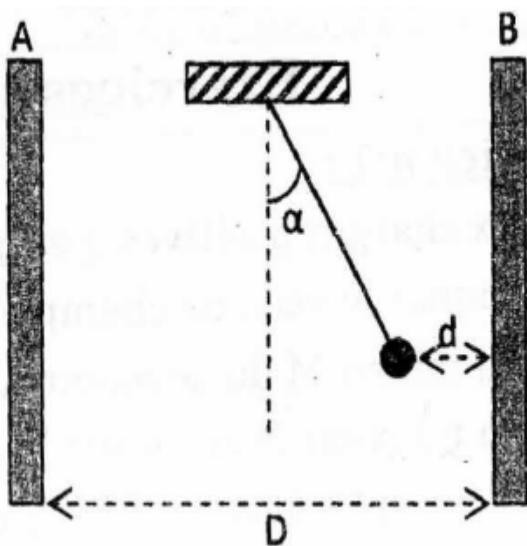
### EXERCICE 8

Deux armatures A et B planes, parallèles, verticales et distantes de  $D=10\text{cm}$ , portent respectivement les charges  $Q_A$  et  $Q_B$ .

On place, à égale distance de A et B, un pendule électrostatique constitué d'un fil isolant électrique inextensible de longueur  $\ell=20,0\text{cm}$  et d'une boule ponctuelle de masse  $m=200\text{mg}$  portant une charge  $q=-2,0\mu\text{C}$ . A l'équilibre, le centre d'inertie de la boule est à la distance  $d$  de l'armature A (voir figure ci-contre). Le champ électrique régnant entre A et B est uniforme et sa norme vaut  $E=170 \text{ V/m}$ .

1- Qu'est-ce-que champ électrique uniforme ? Préciser les signes de  $Q_A$  et  $Q_B$  et représenter  $\vec{E}$ .

2- Représenter toutes les forces appliquées sur la boule.



**3-** Trouver la valeur de l'intensité  $F_e$  de la force électrostatique et celle de l'angle  $\alpha$  de déviation du pendule à l'équilibre.

**4-** Déterminer l'intensité de la force exercée par le fil et la distance d.

**5-** On suppose au champ électrostatique précédent un autre champ électrique uniforme  $\vec{E}'$ , vertical. Quels doivent être le sens et l'intensité du champ  $\vec{E}'$  pour que le fil s'incline sur la verticale de la moitié de  $\alpha$  ?

### **EXERCICE 9**

On considère une goutte d'huile de diamètre  $d = 0,4$  mm et de masse volumique  $\rho = 7,8$  g/cm<sup>3</sup>. Cette sphère est chargée négativement et elle est placée entre deux plaques horizontales métalliques A et B.

1- Faire le schéma du dispositif pour qu'il y'ait équilibre de la sphère entre les deux plaques.

2- Donner les polarités des deux plaques ainsi que le sens du champ électrique  $\vec{E}$

3- Calculer la valeur de E si  $|q| = 1,6 \cdot 10^{-19}$  C et  $g = 10$  N/kg

### **EXERCICE 10**

Deux charges ponctuelles  $q_1 = 5\mu\text{C}$  et  $q_2 = 7.5\mu\text{C}$  initialement situées respectivement en A et B d'abscisses respectives  $x_0$  et  $-x_0$  se déplacent à la même vitesse et dans le même sens sur l'axe xx' .

1. Déterminer en fonction de x l'expression du champ résultant au point M d'abscisse nulle et d'ordonnée  $y_0$ .

On donne  $x_0 = 4$  cm et  $y_0 = 10$  cm

2. Tracer la courbe  $E = f(x)$  lorsque la charge  $q_1$  passe de  $x_0$  à 0. En déduire l'allure de la courbe lorsque  $q_2$  passe de  $-x_0$  à 0

## **C - CORRIGE DES EXERCICES**

### **EXERCICE 7**

**1**

**1-a** En tout point du domaine, le champ est donné par :  $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$

$\vec{E}$  est constant puisque  $\vec{E}_1$  et  $\vec{E}_2$  sont constants ; d'où le champ est uniforme.

Norme de  $\vec{E}$ . On a :  $E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2}$  ;  $E = 5 \cdot 10^4$  V/m.

**1-b** Intensité de la force subie par un ion  $\text{Al}^{3+}$  placé en un point de ce champ

$F_e = 3$  eV

La valeur de l'angle  $\alpha = (\vec{E}_1, \vec{F}_e)$

C'est donné par :  $\cos \alpha = \frac{E_1}{E} = \frac{3}{5} = 0,6$

**1-c** Même raisonnement ; on tient compte du signe négatif de la charge

**2** Une charge ponctuelle q est placée dans une région où règne un champ électrique de vecteur  $\vec{E}$  vertical et dirigé de haut vers le bas.

**2-a** Les caractéristiques de la force

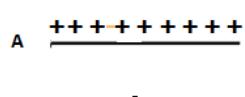
On a :  $\vec{F} = q \vec{E}$  d'où la force a même direction et même sens que le champ et de norme  $F = q E = 2 \cdot 10^{-3} \text{ N}$

**2-b** La valeur de la charge q' :

En valeur absolue on a  $|q'| = \frac{F'}{E} = 4 \cdot 10^{-6} \text{ C} = 4,0 \mu\text{C}$  ; comme  $\vec{F}'$  est de sens contraire du champ la charge est négative ; d'où  $q' = -4,0 \mu\text{C}$

## **EXERCICE 9**

On considère une goutte d'huile de diamètre  $d = 0,4 \text{ mm}$  et de masse volumique  $\rho = 7,8 \text{ g/cm}^3$ . Cette sphère est chargée négativement et elle est placée entre deux plaques horizontales métalliques A et B.

1- Schéma du dispositif pour qu'il y ait équilibre de la sphère      A 

entre les deux plaques.

2- Polarités des deux plaques et sens du champ électrique E

La sphère étant chargée négativement la force électrostatique étant dirigée vers le haut pour compenser le poids, la plaque inférieure est chargée négativement et la supérieure positivement.

Par conséquent le champ est dirigé du haut vers le bas (sens des potentiels décroissants)

3- Calculer la valeur de E

On a :  $F_{\text{elect}} = P$  puisqu'il y a équilibre de la sphère ; d'où  $|q| \cdot E = mg$  on en tire  $E$

---

## **CHAPITRE P6 TRAVAIL DE LA FORCE ELECTROSTATIQUE- ENERGIE POTENTIELLE ELECTROSTATIQUE**

### **A- OBJECTIFS**

Donner l'expression du travail d'une force électrostatique dans le cas d'un champ électrique uniforme ou non.

Utiliser la relation entre la différence de potentiel et le champ électrique uniforme.

Calculer l'énergie d'une particule.

Appliquer la conservation

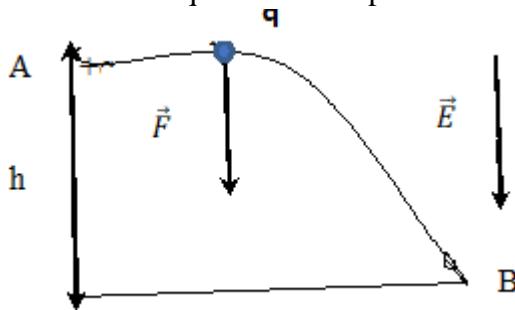
## B- L'ESSENTIEL DU COURS

Le travail de la force électrostatique qui s'exerce sur une particule qui porte une charge électrique  $q$

### Travail de la force électrostatique dans le cas d'un champ uniforme $\vec{E}$

Dans un champ électrostatique uniforme, le travail de la force électrostatique qui s'exerce sur une particule de charge électrique  $q$  est indépendant du chemin suivi ; il ne dépend que de la position du point de départ (A) et du la position du point d'arrivée (B) :  $W_{\vec{F}_e} = q\vec{E} \cdot \overrightarrow{AB}$

La force électrostatique comme le poids est une force conservative



$$W_{\vec{F}_e} = qEh = qE(z_B - z_A)$$

*Notion de différence de potentiel*

En posant  $V_z = -Ez + \text{Constante}$  ;  $V_A = -Ez_A + \text{Constante}$  ;  $V_B = -Ez_B + \text{Constante}$

$$\text{on a } W_{\vec{F}_e} = qEh = qE(z_B - z_A) \text{ soit } W_{\vec{F}_e} = q(V_A - V_B); V_A - V_B = \vec{E} \cdot \overrightarrow{AB}$$

( $V_A - V_B$ ) est la différence de potentiel entre les points A et B ou tension  $U_{AB}$ . Elles s'expriment en volts (V)

**Différence de potentiel entre A et B= Tension entre A et B**

$$V_A - V_B = U_{AB}$$

Pour le champ uniforme :  $V_A - V_B = \vec{E} \cdot \overrightarrow{AB} = El$  soit  $E = \frac{U_{AB}}{l}$  ;  $l = AB$  ; l'unité de E est  $\text{V.m}^{-1}$

Le champ électrostatique est dirigé vers les potentiels décroissants

**Généralisation : le champ électrostatique n'est pas uniforme**

Dans un champ quelconque, le travail de la force électrostatique est indépendant du chemin suivi et ne dépend que de la position de départ et de la position du point d'arrivée.

$$W_{\vec{F}_e} = q(V_A - V_B) = qU_{AB}$$

**Energie potentielle d'une charge électrique**

Le travail d'une force électrostatique appliquée à une charge entre deux points est égal à la diminution de l'énergie potentielle de la charge entre les deux points : La valeur de l'énergie potentielle de la charge  $q$  placée au point où potentiel est  $V$

## C- EXERCICES

### EXERCICE 1

Une particule qui porte une charge  $q = 10^{-7}$  C se déplace en ligne droite, de A vers B, dans un champ électrostatique uniforme  $\vec{E}$ , d'intensité  $E = 600\text{V/m}$ , tel que  $\widehat{AB}, \vec{E} = 30^\circ$ . Calculer :

- le travail de la force électrostatique qui s'exerce sur la particule au cours du déplacement AB.

b) La valeur de la tension  $U_{AB}$ . Distance  $AB = l = 15\text{cm}$ ,

### EXERCICE 2 :

Dans une région de l'espace règne un champ électrostatique uniforme d'intensité  $E_0 = 10^6\text{ V/m}$ .

Dans un repère orthonormé, ce champ a pour expression  $\vec{E} = -E_0 \cdot \vec{k}$ .

- Calculer le travail de la force électrostatique qui s'exerce sur un électron lorsque cette particule passe du point A (1, 3, 4) au point B (5, 6, 0), l'unité de longueur étant le centimètre.
- Donner la variation d'énergie cinétique (en eV) de cet électron.

### EXERCICE 3 :

Soit  $R(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$  un repère orthonormal associé à une région de l'espace. On crée un champ uniforme  $\vec{E} = E \cdot \vec{k}$ , avec  $E = 500\text{ V/cm}$ .

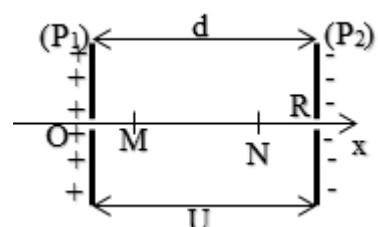
- Calculer l'énergie potentielle d'un porteur de charge  $q$  en un point M ( $x, y, z$ ) de cette région. On prendra  $E_p(O) = 0$ .
- Un ion  $\text{Cl}^-$  passe d'un point A (1, 1, 1) au point B (-4, 3, -1) ; calculer la variation de l'énergie potentielle de cet ion. En déduire le travail de la force au cours de ce déplacement. On exprimera les résultats en joule et en électrons-volts. L'unité de longueur est le cm.

L'ion  $\text{Cl}^-$  est-il freiné ou accéléré lorsqu'il passe de A en B ?

### EXERCICE 4

Deux plaques  $P_1$  et  $P_2$ , planes et parallèles, entre lesquelles règne un vide poussé, sont distantes de  $d = 10\text{ cm}$ . Elles sont reliées respectivement aux pôles + et - d'un générateur haute tension qui délivre une tension continue  $U = 500\text{V}$ .

- Quels sont la direction, le sens et l'intensité du champ électrostatique  $E$ , supposé uniforme, qui règne dans le domaine D situé entre les deux plaques ?



b) Sur l'axe x'Ox perpendiculaire aux plaques, dont l'origine O est sur P<sub>1</sub> et qui orienté de P<sub>1</sub> vers P<sub>2</sub>, on place les points M et N d'abscisses x<sub>M</sub> = 2 cm et x<sub>N</sub> = 7 cm.

Calculer les différences de potentiels : V<sub>o</sub> - V<sub>M</sub> ; V<sub>o</sub> - V<sub>N</sub> ; V<sub>M</sub> - V<sub>N</sub>.

c) Un électron pénètre dans le domaine D, au point R, avec une vitesse négligeable.

Donner les caractéristiques de la force électrostatique f<sub>e</sub> qui s'exerce sur lui.

Déterminer la vitesse de l'électron à son passage en N, en M puis en O

d) Calculer le travail W<sub>NM</sub>(f<sub>e</sub>) de la force f<sub>e</sub> lorsque l'électron se déplace de N à M.

#### Données relatives à l'électron :

Masse : m = 9,1.10<sup>-31</sup> kg . Charge : -e = -1,6.10<sup>-19</sup> C.

#### EXERCICE 5:

Un faisceau homocinétique d'électrons pénètre entre les plaques A et C d'un oscilloscope avec une vitesse v<sub>o</sub> = 10<sup>7</sup> m.s<sup>-1</sup>. La longueur des plaques est l = 10 cm, leur écartement est d = 4 cm.

1. : En l'absence de champ électrique, le faisceau sort des plaques par le point H sans être dévié (voir croquis 1).

Lorsqu'on établit entre A et C une d.d.p. U<sub>AC</sub>, le faisceau est dévié et sort par le point S tel que SH = 8,9 mm avec une vitesse v.

Quels sont les signes des charges portées par les plaques A et C ?

2. Calculer v sachant qu'en valeur absolue la tension entre les plaques est de 40 V. Comparer ce résultat à la valeur de v<sub>o</sub> et conclure.

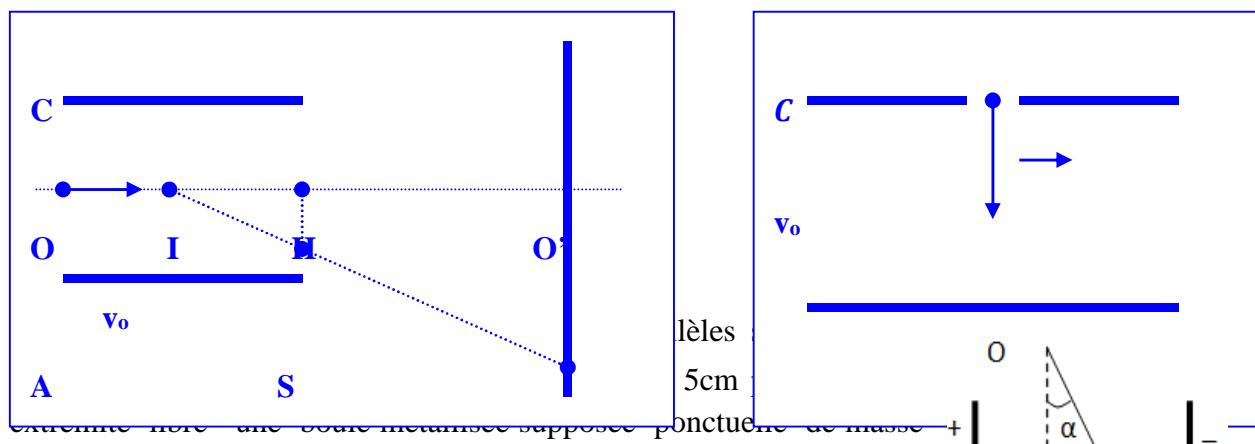
3. Quelle serait la valeur de la vitesse en A si on injectait les électrons entre les plaques comme indiqué sur le croquis 2 ?

4. La trajectoire OS des électrons dans le champ est une branche de parabole. A la sortie du champ cette trajectoire est une droite dont le support passe par le point I milieu de OH.

Un écran est placé à une distance D du point I.

Calculer la déviation Y = O'K du faisceau.

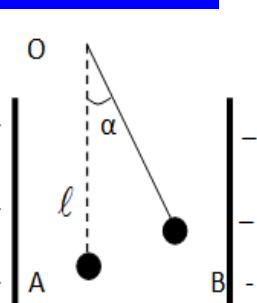
On donne D = 45 cm ; masse de l'électron m = 9. 10<sup>-31</sup> kg ; charge élémentaire e = 1,6.10<sup>-19</sup>C



m est suspendue en un point O. On établit entre A et B une tension

U = V<sub>A</sub> - V<sub>B</sub>, le fil s'écarte alors de la verticale d'un angle  $\alpha$ .

1-) Exprimer la charge q portée par la boule en fonction de m,  $\alpha$ , d, U et g. calculer q.



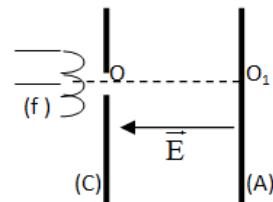
2-) Exprimer lors du déplacement précédent ;

2.1. le travail de la force électrique en fonction de  $q$ ,  $\alpha$ ,  $d$ ,  $\ell$  et  $U$ .

Calculer ce travail pour  $U = 1000 \text{ V}$ ;  $g = 10 \text{ SI}$ ;  $\alpha = 30^\circ$ ;  $m = 0,50 \text{ g}$ .

2.2. le travail du poids

B) Un électron émis en O par une plaque (f) positive portée au rouge a au voisinage de C une vitesse pratiquement nulle. Il est soumis à l'action d'un champ électrique uniforme représenté ci-contre, produit par la d.d.p imposée entre les plaques C et A;  $|V_A - V_C| = 200 \text{ V}$ .



1-) Quel doit être le signe de  $V_A - V_C$  pour que l'électron se dirige vers A ? Justifier ce signe ainsi que le sens de  $\vec{E}$ .

2-) Calculer le travail de la force électrostatique qui s'exerce sur l'électron lors du déplacement OO<sub>1</sub>.

3-) Avec quelle vitesse la particule partie de O sans vitesse parvient-elle en O<sub>1</sub> ?  
*L'expérience est réalisée dans le vide.*

### **EXERCICE 7**

On donne maintenant  $\vec{E} = E\hat{i}$  avec  $E = 105 \text{ V/m}$ . Une particule de charge  $q > 0$  et de masse  $m = 9,32 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$  de déplace dans ce champ d'un point A de coordonnées (1 ; 1) à un point B de coordonnées (2 ; 1).

**1-** Déterminer la valeur de la tension  $U_{AB} = V_A - V_B$ .

**2-** Exprimer en fonction de  $q$  et de  $E$  les énergies potentielles électrostatiques  $Ep(A)$  et  $Ep(B)$  par rapport à O (état de référence).

**3-** Exprimer la variation de l'énergie potentielle entre A et B en fonction de  $q$  et  $U_{AB}$ .

**4-** On suppose que la seule force appliquée à la particule est la force électrostatique. Cette particule part du point A sans vitesse initiale et arrive au point B avec une vitesse  $V_B = 8,5 \cdot 10^2 \text{ km/s}$ .

**4.a-** Exprimer la variation de l'énergie potentielle entre les points A et B en fonction de  $m$  et  $V_B$ .

**4.b-** Exprimer l'expression littérale de la charge  $q$  en fonction de  $m$ ,  $V_B$  et  $U_{AB}$ . Calculer sa valeur.

**4.c-** Calculer en joules puis en électron-volts, la variation de l'énergie potentielle électrostatique  $\Delta Ep$ .

**4.d-** Etablir la relation entre le travail  $W(\vec{F}_e)_{AB}$  de la force électrostatique et la variation  $\Delta Ep$  de l'énergie potentielle électrostatique. En déduire la valeur de  $W(\vec{F}_e)_{AB}$ .

### **EXERCICE 8**

Des ions  $^{24}\text{Mg}^{2+}$  et  $^{26}\text{Mg}^{2+}$  (ion magnésium) de masses respectives  $m_1 = 24u$  et  $m_2 = 26u$  sortent d'une chambre d'ionisation avec une vitesse initiale négligeable et sont accélérés par une d.d.p  $U = V_F - V_0 = 100 \text{ V}$ . L'expérience se déroule dans le vide. On néglige le poids des particules devant la force électrostatique. On donne  $1u = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ Kg}$ .

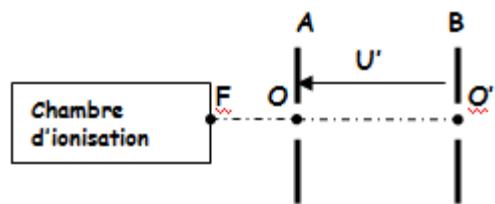
1- Montrer que les ions arrivent en O avec la même énergie cinétique mais avec des vitesses différentes que l'on déterminera.

2. En O, les ions entrent dans un champ électrique qui règne entre deux plaques parallèles A et B distantes de  $d' = 10 \text{ cm}$ . Entre les plaques, on applique une d.d.p  $|U'| = 300 \text{ V}$ .

2.a- Quelle devrait être le signe de  $U'$  pour accélérer ces ions ? Justifier.

2.b- Quelle est la vitesse minimale  $v_{m1}$  des ions  $^{24}\text{Mg}^{2+}$  en O pour qu'ils puissent arriver en  $O'$  lorsque  $U' = -300 \text{ V}$ .

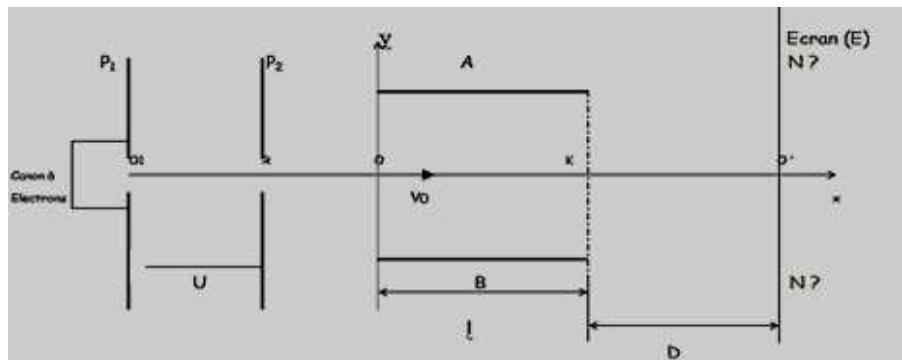
2.c- On suppose que les ions  $^{24}\text{Mg}^{2+}$  quittent le point O avec une vitesse  $V_{01} = 50 \text{ km/s}$ . A quelle distance de la plaque B, ces ions vont-ils rebrousser chemin lorsque  $U' = -300 \text{ V}$ .



### EXERCICE 9

#### Partie I

1- Un électron est émis par un canon à électron, au voisinage du point  $O_1$  avec une vitesse négligeable. (voir figure ci-contre)



1.1- Déterminer la valeur de la tension  $U_{P2P1} = U$  qu'il faut-il appliquer entre les plaques  $P_1$  et  $P_2$ , distantes de  $d = 20 \text{ cm}$ , pour que l'électron traverse la plaque  $P_2$  en R, à la vitesse  $V_0 = 10^4 \text{ km/s}$ .

1.2- Donner les caractéristiques du champ électrostatique  $\vec{E}$  supposé uniforme entre les plaques.

1.3- On choisit  $V = 0$  pour potentiel de la plaque négative. A quelle distance  $d'$  de la plaque positive se trouve l'équipotentielle 100V ?

1.4- Quelle est, en joules et en électrons-volts, l'énergie cinétique de l'électron à son passage au point M appartenant à l'équipotentielle 100V ?

1.5- Calculer l'énergie potentielle de l'électron aux points M et R.

#### Partie II

2- A sa sortie des plaques  $P_1$  et  $P_2$  en R, l'électron pénètre à partir d'un point O dans un autre domaine où règne un champ électrostatique uniforme  $\vec{E}'$  créé par deux plaques horizontales A et B distantes de  $d' = 6 \text{ cm}$  et dont leur longueur est  $\ell = 4 \text{ cm}$  à la vitesse horizontale  $\vec{V}_0$  et ressort en un point S tel que  $KS = 2 \text{ cm}$ .

2.1- On établit entre les plaques la tension  $U_{AB} = U_1 = 600 \text{ V}$ . Déterminer la direction, le sens et l'intensité du champ électrostatique  $\vec{E}'$ , supposé uniforme, qui règne entre les plaques.

2.2- Donner les caractéristiques (directions, sens et intensité) de la force électrostatique  $\vec{F}_e$  qui agit sur l'électron puis la comparer à son poids et conclure.

2.3- Montrer que la différence de potentiel entre les points O et K est nulle.

2.4- Déterminer la valeur de la d.d.p  $V_S - V_K$ . En déduire la valeur de la d.d.p  $V_0 - V_S$ .

**2.5-** En appliquant le théorème de l'énergie cinétique à l'électron entre ses passages en O et S, déterminer la vitesse  $V_s$  acquise par ce dernier à sa sortie du champ au point S.

### **Partie III**

**3-** Un écran (E) est placé à une distance  $D = 40$  cm du point K, ainsi à sa sortie du champ en S, l'électron vient frapper l'écran en un point N

**3.1-** Donner la nature du mouvement de l'électron entre S et N ? Justifier la réponse.

**3.2-** Sachant que le point I (milieu de OK) les points S et N sont alignés, déterminer la distance  $O'N$  du point d'impact de l'électron sur l'écran par rapport au point  $O'$  ( $O'N$  est appelée déflexion électrique).

### **EXERCICE 10**

Une gouttelette (G) d'huile de masse  $m = 0,5mg$ , porte une charge électrique  $q$ . Elle est animé d'un mouvement rectiligne uniforme entre deux plaques A et B qui sont horizontales et distantes de  $d = 4$  cm. Une tension  $U_{AB} = U = 1000$  V est appliquée entre A et B (*voir figure 1*).

**1-** Sa trajectoire ( $O'O$ ) est horizontale ?

**1.a-** Enoncer le principe d'inertie.

**1.b-** Représenter les deux forces qui s'exercent sur la gouttelette (G) entre  $O'$  et O.

**1.c-** Donner les caractéristiques du champ électrostatique uniforme  $\vec{E}$  qui règne entre les plaques A et B.

**1.d-** Quel est le signe de  $q$  ? Justifier votre réponse.

**1.e** Déterminer la valeur de  $q$ .

**2-** A la sortie O, (G) pénètre entre deux plaques C et D horizontales distantes de  $d' = 8$  cm. O est au milieu de C et D ; (G) arrive en O avec une vitesse  $V_0 = 8$  m/s.

Une tension  $U_{CD} = 1500$  V =  $U'$  est appliquée entre C et D. Le système est repéré par un repère d'axe Ox et OY.

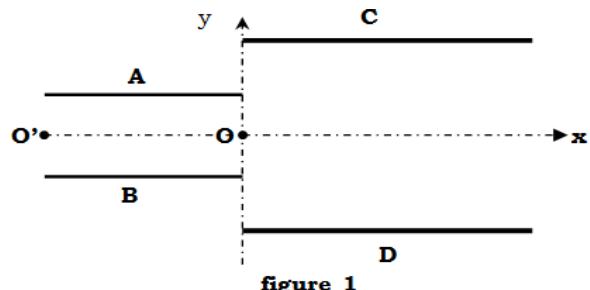
**2.a-** Vers quelle plaque la gouttelette (G) est-elle déviée ? Justifier.

**2.b-** Exprimer la vitesse de (G), en un point M( $x, y$ ) situé entre les plaques C et D, fonction de  $V_0$ ,  $g$ ,  $m$ ,  $q$ ,  $d'$ ,  $U'$  et  $y$ .

**3.** L'énergie potentielle électrique est nulle en C et l'énergie potentielle de pesanteur est nulle en O.

**3.a-** Etablir l'expression de l'énergie potentielle de (G) au point M en fonction de  $q$ ,  $m$ ,  $U'$ ,  $g$ ,  $d'$  et  $y$ .

**3.b-** Calculer sa valeur en O et puis en M où  $y = -3$  cm.



**figure 1**

## D-CORRIGE DES EXERCICES

### EXERCICE 2 :

1) Calcul du travail de la force électrostatique :

$$W_{\vec{F}_e} = q \vec{E} \cdot \vec{AB} = -e (-E_0 \vec{k}) \cdot \vec{AB} = e E_0 \vec{k} \cdot \vec{AB} = -4.10^{-2} \times 1.6.10^{-19} \times 10^6 = -6.4.10^{-15} \text{ J}$$

2) La variation d'énergie cinétique (en eV) de cet électron.

On applique le théorème de l'énergie cinétique :  $\Delta E_C = W_{\vec{F}_e} = -6.4.10^2 \text{ eV}$

### EXERCICE 4

a) Direction, le sens et l'intensité du champ électrostatique E,

Le champ est de direction perpendiculaire à P<sub>1</sub> et P<sub>2</sub> et orienté vers les potentiels décroissants ; donc de P<sub>1</sub> vers P<sub>2</sub>

$$\text{Intensité } E = \frac{U}{d} = 5.10^3 \text{ V/m}$$

b) Calculer des différences de potentiels : V<sub>o</sub> – V<sub>M</sub> ; V<sub>o</sub> – V<sub>N</sub> ; V<sub>M</sub> – V<sub>N</sub>.

On a  $V_A - V_B = \vec{E} \cdot \vec{AB}$  ;

$$\text{Application } V_o - V_M = \vec{E} \cdot \vec{OM} = E \cdot OM = 100 \text{ V} ; V_o - V_N = \vec{E} \cdot \vec{ON} = 350 \text{ V}$$

$$V_M - V_N = \vec{E} \cdot \vec{MN} = 250 \text{ V} \text{ ou } V_M - V_N = (V_M - V_o) + (V_o - V_N) = -100 + 350 = 250 \text{ V}$$

c) Les caractéristiques de la force électrostatique f<sub>e</sub> qui s'exerce sur l'électron :

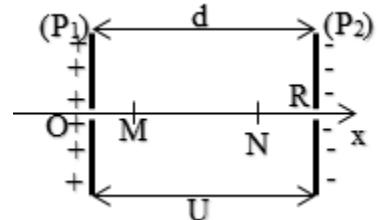
La force électrostatique est de même direction que le champ  $\vec{E}$  et de sens contraire car q > 0  
Elle est perpendiculaire à P<sub>1</sub> et P<sub>2</sub> et orientée de P<sub>2</sub> vers P<sub>1</sub>. Son intensité  $f_e = e \cdot E = 8.10^{-16} \text{ N}$

La vitesse de l'électron à son passage en N, en M puis en O

On applique le théorème de l'énergie cinétique à chaque fois

d) Calculer du travail W<sub>NM</sub>(f<sub>e</sub>) de la force f<sub>e</sub> lorsque l'électron se déplace de N à M.

$$\text{On applique : } W_{\vec{F}_e} = q(V_N - V_M) = -e(V_N - V_M) = -1.6.10^{-19} \times 250 =$$



## CHAPITRE P7 ÉNERGIE ÉLECTRIQUE MISE EN JEU DANS UN CIRCUIT ÉLECTRIQUE

### A- OBJECTIFS

Appliquer la loi d'ohm pour un récepteur.

Déterminer les caractéristiques d'un récepteur.

Utiliser les expressions des puissances électriques échangées par un récepteur.

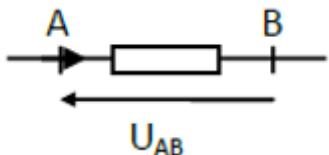
Distinguer les différentes puissances mises en jeu dans un dipôle

## B - L'ESSENTIEL DU COURS

L'énergie électrique échangée par un dipôle AB traversé par un courant  $\mathbf{I}$  pendant un temps  $t$  s'exprime par  $E_{AB} = U_{AB} I_{AB} t$ .

La puissance échangée par ce dipôle pendant la durée  $t$  est :  $P = UI$ .

Convention récepteur : Dans une portion de circuit



L'énergie électrique échangée par un résistor AB est exprimée par  $E_{\text{reçue}} = U I t = RI^2t = E_J$ . Cette énergie est dissipée par effet joule. Puissance dissipée =  $UI$

On appelle récepteur tout dipôle capable de transformer l'énergie électrique sous une forme autre que thermique. (électrolyseur, moteur, etc.) Il est caractérisé par une f.c.e.m et une résistance interne.

La tension entre les bornes d'un récepteur AB s'exprime par :  $U_{AB} = U = E' + rI_{AB} = E' + r'I$   $E'$  = f.c.e.m. du récepteur et  $r'$  sa résistance interne.

L'énergie reçue par un récepteur pendant son fonctionnement s'exprime par :

$$E_{\text{reçue}} = EI + rI^2t.$$

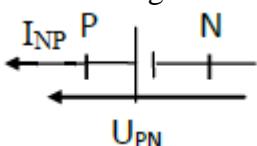
$E'I = E_u$  = énergie utile (énergie transformée en énergie mécanique, chimique) et  $E_J =$  énergie dissipée par effet joule.

La puissance reçue par un récepteur est :  $P = E'I + r'I^2 = P_u + P_J$

Le rendement d'un récepteur comme étant le rapport entre la puissance utile produite (mécanique ou chimique) et la puissance qu'il reçoit (puissance reçue).

$$\rho = \frac{P_u}{P_{\text{reçue}}} = \frac{EI}{EI + r'I^2} = \frac{1}{1 + \frac{r'I}{E'}} < 1$$

Convention générateur



$$U_{PN} = E - rI_{NP} \text{ avec } E = \text{force électropotrice.m et } r = \text{résistance interne}$$

L'énergie électrique fournie au reste du circuit par un générateur pendant son fonctionnement s'exprime par  $E_{\text{fournie}} = EI - rI^2t$

$EIt = E_{\text{eng.}}$  = énergie engendrée par le générateur

$rI^2t = E_{\text{th}}$  = énergie dissipée par effet joule.

$$E_{\text{eng.}} = E_{\text{fournie}} + E_{\text{th}}$$

La puissance fournie au reste du circuit par un récepteur est :  $P = EI - rI^2 = P_{\text{eng.}} - P_{\text{th}}$

$$\text{Le rendement d'un générateur} = R = 1 - \frac{rI}{e} < 1$$

## C - EXERCICES

### EXERCICE 1

Une lampe de poche est formée d'une pile de f.e.m.  $E = 4,5 \text{ V}$  en série avec une lampe L. En fonctionnement, la tension entre les bornes de L est  $U=3,8\text{V}$  et la valeur de l'intensité du courant est  $I=0,250\text{A}$ .

- 1° Calculer la valeur de la puissance consommée par la lampe
- 2° Calculer la valeur de la résistance interne de la pile
- 3° Calculer le rendement du circuit

### EXERCICE 2

Un radiateur est constitué de deux résistances de  $10 \Omega$ . Il est alimenté par une tension supposée continue de  $110\text{V}$ .

Calculer la puissance de ce radiateur dans les deux cas suivants

- a) les deux résistances sont en série
- b) les deux résistances sont en parallèle

### EXERCICE 3

Un générateur de f.e.m.  $E_1=15\text{V}$  et de résistance interne  $r_1= 0,5\Omega$  est utilisé pour charger une batterie d'accumulateurs de f.e.m.  $E_2 = 6\text{V}$  et de résistance interne  $r_2= 0,5 \Omega$ . Un conducteur ohmique de résistance  $R=2\Omega$  est en série avec le générateur et la batterie

- 1) Faire un schéma du montage. Calculer l'intensité du courant et la tension aux bornes de chaque dipôle.
- 2) Calculer l'énergie électrique fournie par le générateur au circuit en 5min
- 3) Calculer l'énergie transformée en énergie chimique dans la batterie en 5min.
- 4) Calculer la quantité de chaleur apparue dans le circuit en 5min.

### EXERCICE 4

Un calorimètre de capacité thermique  $C = 180\text{J/K}$  contient une masse  $m = 400\text{g}$  d'eau.

Une résistance chauffante R, de capacité thermique négligeable, porte la température de cette eau de  $t_1 = 16,4^\circ\text{C}$  à  $t_2 = 23,1^\circ\text{C}$ .

La durée du chauffage est de 4min20s pour une intensité constante  $I = 2,2\text{A}$ .

Calculer :

- a) La valeur de la résistance R.
  - b) La valeur de la tension U aux bornes du générateur branché aux bornes de R.
  - c) La valeur de la f.e.m. du générateur, celui-ci ayant une résistance interne r égale à  $1\Omega$
- Capacité thermique massique de l'eau :  $C_e = 4,19\text{kj/kg/k}$ .

### EXERCICE 5

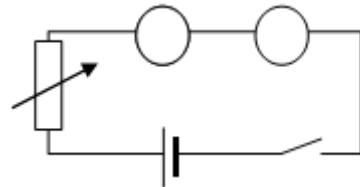
Un moteur électrique de résistance interne négligeable transforme 95% de l'énergie électrique qu'il reçoit en énergie mécanique disponible. Le moment du couple développé par le moteur vaut  $M = 12\text{N.m}$  pour un régime de rotation de  $1200 \text{ tr}.\text{min}^{-1}$ .

- a) Calculer, dans ces conditions, la puissance électrique reçue par le moteur.
- b) Déterminer la valeur de sa f.c.e.m. sachant qu'il est parcouru par un courant d'intensité  $I = 30\text{A}$ .

## EXERCICE 6

On réalise le montage ci-dessous comprenant en série

- un générateur (f.e.m.  $E_0 = 30V$ , résistance interne  $r_0$  négligeable) ;
  - une résistance ajustable  $R$  ;
  - un électrolyseur (f.c.e.m.  $E'_1 = 1,6V$ , résistance interne  $r_1 = 2\Omega$ ) ;
  - un moteur (f.c.e.m.  $E'_2 = 20V$ , résistance  $r_2 = 0,5\Omega$ ) ;
  - un interrupteur K.
- a) On choisit  $R = 10 \Omega$  et on ferme l'interrupteur. Calculer l'intensité  $I$  du courant.
  - b) Calculer la valeur de la puissance utile  $P_u$  disponible sur l'arbre du moteur.
  - c) L'électrolyte présent dans l'électrolyseur a pour masse  $m = 100 g$  ; sa capacité thermique massique  $c$  est égale à  $4,2 \text{ kJ/kg/k}$  et on néglige la capacité thermique de la cuve. Pendant combien de temps le courant doit-il circuler pour que la température de l'électrolyte s'élève de  $2^\circ\text{C}$  ?



## EXERCICE 7

Un électrolyseur dont les électrodes sont en fer contient une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium. On le soumet à une tension continue réglable  $U$  ;  $I$  est l'intensité du courant qui le traverse.

1. Faire un schéma du montage en mettant en place les éléments suivants :

- générateur continu à tension de sortie réglable ;
- interrupteur.
- Rhéostat, électrolyseur, ampèremètre, voltmètre.

2. Les résultats des différentes mesures sont consignés dans le tableau suivant :

$U(V)$	0	0,5	1,0	1,5	1,6	1,7	1,8	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
$I(A)$	0	0	0	0	0,02	0,03	0,05	0,10	0,29	0,50	0,71	0,92	1,10	1,32

3. Tracer la caractéristique intensité-tension de l'électrolyseur en prenant comme échelle : en abscisses : 1 cm pour  $100 \text{ mA}$  ; en ordonnées : 1 cm pour  $0,5V$ .

4. Etablir l'équation de la partie linéaire de cette caractéristique sous la forme :  $U = a + bI$ .

5. En déduire les valeurs, en unités S.I., de la f.c.e.m.  $E'$  et de la résistance  $r'$  de l'électrolyseur lorsqu'il fonctionne dans la partie linéaire de sa caractéristique.

6. L'électrolyseur précédent est désormais branché aux bornes d'une pile de f.e.m.  $E = 4,5V$  et de résistance interne  $r = 1,5\Omega$ .

a. Calculer l'intensité  $I$  du courant qui le traverse.

b. Calculer la valeur de la puissance électrique  $P_e$  qu'il reçoit.

c. Calculer la valeur de la puissance  $P_j$  qu'il dissipe par effet joule.

d. Calculer la valeur de la puissance utile  $P_u$  dont il dispose pour effectuer les réactions chimiques aux électrodes

7. Ecrire les équations-bilan des réactions aux électrodes sachant qu'on observe :

- à l'anode : une oxydation des ions  $\text{OH}^-$  avec dégagement de dioxygène ;

- à la cathode : une réduction de l'eau avec production de dihydrogène. Faire le bilan de l'électrolyse. Commenter.

## **EXERCICE 8**

Un moteur est alimenté par un générateur de f.e.m. constante  $E = 110V$ . Il est en série avec un ampèremètre et la résistance totale du circuit vaut  $R = 10\Omega$ .

1°) Le moteur est muni d'un frein qui permet de bloquer son rotor ; déterminer est alors l'indication de l'ampèremètre.

2°) On desserre progressivement le frein ; le rotor prend un mouvement de plus en plus rapide tandis que l'intensité du courant diminue. Justifier cette dernière constatation.

3°) Lorsque le moteur tourne, il fournit une puissance mécanique  $P_u$

- Etablir l'équation qui permet de calculer la valeur de l'intensité  $I$  dans le circuit en fonction de la puissance fournie  $P_u$
- Montrer que si la puissance  $P_u$  est inférieure à une valeur  $P_0$  que l'on déterminera, il existe deux régimes de fonctionnement du moteur.
- Pour  $P_u = 52,5W$ , calculer :
  - les valeurs des intensités du courant,
  - les valeurs des f.c.é.m.  $E'$  du moteur,
  - les rendements de l'installation, dans les deux cas possibles.

3°) A partir de l'équation établie au 3°) a), écrire l'équation donnant la puissance fournie  $P_u$  en fonction de l'intensité  $I$  et représenter les variations de la fonction  $P_u = f(I)$ .

**Echelles :** en abscisses : 1cm pour 1A ; en ordonnées : 4cm pour 100W.

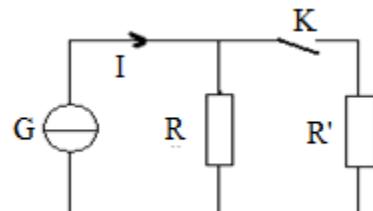
Retrouver, grâce à la courbe, les résultats des questions 3°) b) et c).

## **EXERCICE 9**

On donne le circuit ci-contre. G est un générateur de courant (il débite un courant d'intensité constante  $I=2A$  quel que soit le circuit).  $R=33\Omega$  ;  $R'=47\Omega$

Calculer la puissance fournie par le générateur

- 1) lorsque l'interrupteur k est ouvert
- 2) lorsque l'interrupteur k est fermé



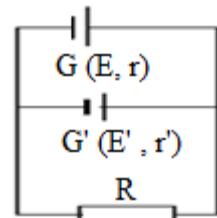
## **EXERCICE 10**

On considère le circuit ci-contre.

On donne  $E=120V$  ;  $E'=135V$  ;  $r=1\Omega$  ;  $r'=2\Omega$  ;  $R=6\Omega$ .

1) Calculer les intensités des courants dans les différentes branches du circuit. Préciser le sens de chaque courant

2) Le générateur G se comporte-t-il comme un générateur ou un récepteur ? Faire le bilan énergétique du circuit.



## **EXERCICE 11**

La f.e.m e d'un moteur est proportionnelle à sa vitesse de rotation. Pour une vitesse de 3000 tours par minute la f.e.m. est de 200V. La résistance interne du moteur est  $r=2\Omega$ .

Le moteur ne peut supporter un courant dont l'intensité est supérieure à 30A.

1) Le moteur est calé. Quelle serait l'intensité du courant si on branchait le moteur seul avec un générateur de f.e.m  $E = 220V$  et de résistance négligeable ?

2) On place en série avec le moteur un rhéostat dit de démarrage.

Quelle doit être la valeur minimale de la résistance du rhéostat :

- a) au démarrage ?
- b) quand la vitesse du moteur atteint les valeurs successives 500tours/min ; 1000tours/min ; 2000tours/min ?
- 3) Lorsque le moteur tourne à 3000 tours/min, on met le rhéostat à 0.
  - Calculer la puissance électrique reçue par le moteur
  - Calculer la puissance mécanique fournie par le moteur

## EXERCICE 12

Un électrolyseur dont les électrodes sont en fer contient une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium. On le soumet à une tension continue réglable  $U$ .  $I$  est l'intensité du courant qui le traverse.

- Faire un schéma du montage en mettant en place les éléments suivants :

- Générateur continu à tension variable,
- Interrupteur,
- Electrolyseur, ampèremètre, voltmètre.

- L'électrolyseur possède une caractéristique intensité tension idéale conforme à la figure ci-dessous. En déduire les valeurs dans le système international, de la f.e.m.  $E'$  et de la résistance interne  $r'$  de l'électrolyseur

- L'électrolyseur précédent est branché aux bornes d'une pile de f.e.m.  $E = 4,5V$  et de résistance interne  $e = 1\Omega$

- Calculer l'intensité du courant qui le traverse
- Calculer la valeur de la puissance électrique reçue par l'électrolyseur
- Quelle est la puissance dissipée par l'électrolyseur par effet joule ?
- Calculer la valeur de la puissance transformée en énergie chimique pour les réactions aux électrodes

- Définir et calculer le rendement de l'électrolyseur.

- Calculer le rendement du circuit.

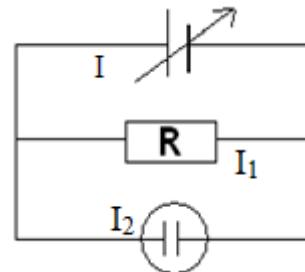
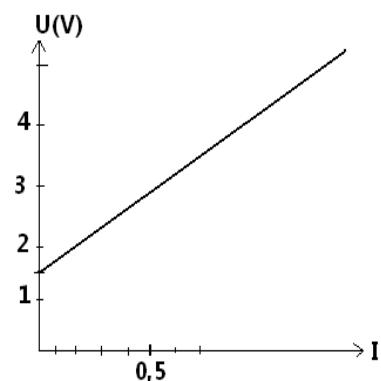
- On réalise le montage de la figure ci-contre dans lequel :

- Le générateur a une f.e.m.  $E$  réglable et une résistance interne nulle
- Le conducteur ohmique a une résistance  $R=10\Omega$
- L'électrolyseur a une f.e.m.  $E'=1,5V$  et une résistance interne  $r'=3\Omega$

Calculer les valeurs des intensités  $I_1$ ,  $I_2$ , et  $I$  dans les cas suivants

- On fixe la f.e.m. du générateur à  $1,2V$

- On fixe la f.e.m. du générateur à  $2V$ .



## EXERCICE 13

On considère le circuit électrique schématisé ci-contre :

- ❖  $G$  est un générateur de f.e.m  $E$  et de résistance interne  $r$  ;
- ❖  $M$  est un moteur de f.c.e.m  $E'_1 = 2,5V$  et de résistance interne  $r'_1 = 1,5\Omega$  ;
- ❖  $E$  est un électrolyseur de f.c.e.m  $E'_2 = 1,5V$  et de résistance interne  $r'_2 = 1\Omega$ .
- ❖  $R_1$  et  $R_2$  sont des résistors de résistances respectives  $3 \Omega$  et  $6 \Omega$ .

$K_1$  et  $K_2$  sont des interrupteurs.

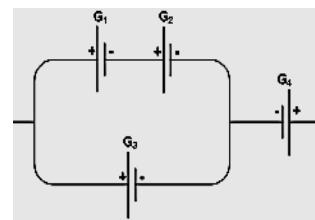
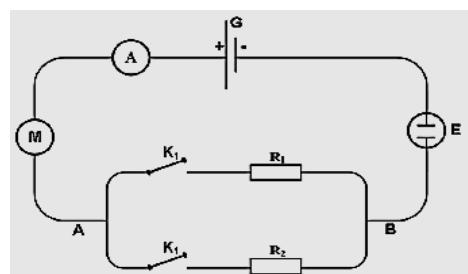
- En réalité  $G$  une association de 4 générateurs montés comme l'indique le schéma de la figure ci-dessous avec :

$$G_1(E_1=1,3V; r_1=1\Omega); G_2(E_2=7V; r_2=0,5\Omega);$$

$$G_3(E_3=20V; r_3=3\Omega); G_4(E_4=8V; r_4=1,5\Omega).$$

Trouver la f.e.m  $E$  et la résistance interne  $r$  du générateur équivalent  $G$ .

- On prend pour la suite de l'exercice  $E=12V$  et  $r=2,5\Omega$ . On ferme l'interrupteur  $K_1$  et on laisse  $K_2$  ouvert.



**2.a-** Déterminer la valeur de l'intensité  $I$  du courant indiquée par l'ampèremètre.

**2.b-** Calculer la puissance électrique  $P_G$ , fournie par le générateur au circuit extérieur.

**2.c-** Evaluer la valeur de la puissance électrique  $P_J$  dissipée par effet Joule dans le circuit extérieur.

**2.d-** Calculer la valeur de la puissance électrique  $P_u$ , transformée en puissance utile par le circuit extérieur.

**2.e-** Si on bloque le moteur, est-ce que l'ampèremètre indiquera une autre valeur ? Si oui la calculer.

**3-** On ferme les deux interrupteurs  $K_1$  et  $K_2$ . L'ampèremètre indique une nouvelle valeur  $I'$ . Le résistor  $R_1$  dissipe 28,8 J en une minute de fonctionnement.

**3.a-** Déterminer la valeur de l'intensité  $I'_1$  du courant qui traverse le résistor  $R_1$ . En déduire  $I'_2$  et  $I'$ .

**3.b-** Calculer la valeur de la d.d.p  $U_{AB}$  et celles des tensions aux bornes du générateur, du moteur et de l'électrolyseur.

#### **EXERCICE 14**

Une batterie d'accumulateurs au cadmium-nickel est constituée de  $n = 40$  éléments montés en série.

- A la charge, chaque élément se comporte comme un récepteur de f.c.e.m  $e' = 1,40V$  et de résistance interne  $r = 0,40\Omega$ .
- A la décharge, chaque élément se comporte comme générateur de f.e.m  $e = 1,30V$ , de même résistance interne  $r$ .

**1.** L'accumulateur est chargé pendant une durée  $\Delta T = 5h$  par un générateur de f.e.m  $E$ , de résistance interne  $R = 5,0\Omega$ . L'intensité du courant de charge est  $I = 5,00A$ .

**1.a.** Déterminer la valeur de la f.e.m  $E$  du générateur.

**1.b.** Faire un bilan énergétique de la charge.

**1.c.** Définir et calculer le rendement de la charge.

**2.** La batterie d'accumulateur, après la charge, est maintenant utilisée pour alimenter un moteur de f.c.e.m  $E' = 40V$ , de résistance interne  $R' = 3,2\Omega$ .

**2.a.** Déterminer la valeur de l'intensité  $I'$  du courant dans le circuit.

**2.b.** Afin de ne pas effectuer de décharge profonde (« batterie à plat »), la batterie ne peut restituer une quantité d'électricité supérieure à 90% de celle qui a circulé à la charge.

Déterminer la durée  $\Delta t$  de fonctionnement du montage.

**2.c.** Si  $W_m$  est le travail mécanique fourni et  $\epsilon_T$  l'énergie consommée lors de la charge, le rendement énergétique est  $\eta = \frac{W_m}{\epsilon_T}$  : le calculer.

**2.d.** Calculer l'énergie totale dissipée par effet Joule (charge et décharge).

#### **EXERCICE 15**

On considère le circuit électrique schématisé ci-dessous comportant :

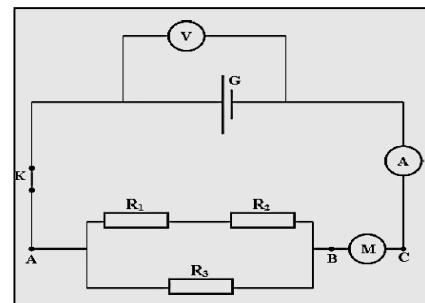
- $G$  : un générateur de f.e.m  $E = 12V$  et de résistance interne  $r$  ;
- ( $M$ ) : un moteur de f.c.e.m  $E'$  et de résistance interne  $r'$  ;
- $R_1$ ,  $R_2$  et  $R_3$  résistors tels que :  $R_1 = R_2 = 5\Omega$  et  $R_3 = 3R_1$  ;
- $K$  : un interrupteur ; (A) : un ampèremètre et (V) : un voltmètre.

**3.1-**  $K$  est ouvert. Déterminer les indications du voltmètre et de l'ampèremètre

**3.2-** Le moteur est bloqué, l'ampèremètre indique  $I_1 = 1A$  et le voltmètre indique  $U_1 = 8V$ .

**3.2.a-** Calculer valeur de la résistance  $r$  du générateur.

**3.2.b-** Calculer valeur de l'énergie électrique  $E_e$  reçue par la portion A C du circuit pendant



2 min.

3.2.c- Montrer que la résistance équivalente vue entre les points A et B est s'exprime par  $R_{eq} = \frac{6}{5} R_1$ . En déduire la résistance interne  $r'$  du moteur.

3.2.d- Calculer la valeur de la puissance dissipée par effet Joule dans le circuit.

3.3.- Le moteur fonctionne maintenant normalement et l'ampèremètre indique  $I' = 0,8A$ .

3.3.a- Déterminer la valeur de la tension  $U_G$  au borne du générateur et  $U_M$  aux entre les bornes du moteur.

3.3.b- Calculer la valeur de la f.c.e.m  $E'$  du moteur.

3.3.c- Calculer la valeur de la puissance mécanique développée par le moteur ainsi que celle de son rendement  $\rho$ .

## D- CORRIGE DES EXERCICES

### EXERCICE 6

a) Calcul de l'intensité  $I$  du courant

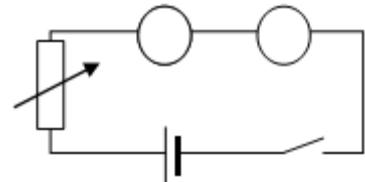
On applique la loi de Pouillet :  $I = \frac{E_0 - E'1 - E'2}{R + r_1 + r_2}$ .

b ) Calcul de la valeur de la puissance utile  $P_u$  disponible sur l'arbre du moteur.

$$P_d = E'2 \cdot I =$$

c) La durée de passage du courant :

$$Q = m c \cdot \Delta\theta = r_2 I^2 t \text{ d'où l'on tire : } t = \frac{m c \cdot \Delta\theta}{r_2 I^2}$$

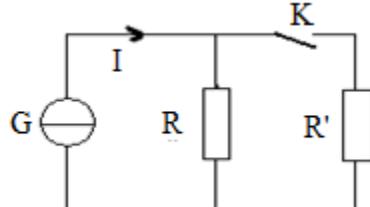


### EXERCICE 9

1) lorsque l'interrupteur k est ouvert

Seul la résistance  $R$  est traversée par le courant  $I$

$$P = RI^2 = 13,2 \text{ W}$$



2) lorsque l'interrupteur k est fermé

$P' = Re \cdot I^2$  où  $Re$  est la résistance équivalente aux résistances en

$$\text{parallèle : } Re = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

## CHAPITRE P8 CONDENSATEUR : CAPACITÉ, ENERGIE EMMAGASINÉE.

### A- OBJECTIFS

Distinguer charge et décharge d'un condensateur.

Définir la capacité d'un condensateur

Utiliser les expressions de la charge et de l'énergie emmagasinée par un condensateur.

## B - L'ESSENTIEL DU COURS

Un condensateur est formé par deux surfaces métalliques en regard, séparées par un isolant (= diélectrique). Les surfaces métalliques en regard sont appelées les armatures du condensateur.

Schéma pour le condensateur dans un circuit électrique :

La « charge Q » du condensateur est la valeur absolue de la charge qui s'accumule sur l'une de ses armatures. (La charge totale des 2 armatures est évidemment nulle !)

La charge Q du condensateur est proportionnelle à la tension U entre ses armatures :

$$Q = CU$$

La constante C est appelée capacité du condensateur et elle s'exprime en « farad » (F).

La capacité d'un condensateur plan a pour expression :  $C = \epsilon S d$  avec S la section commune aux deux armatures, d la distance qui les sépare et  $\epsilon$  la permittivité du diélectrique.

Très souvent, on exprime la permittivité  $\epsilon$  d'un diélectrique à l'aide de celle du vide  $\epsilon_0$ . On définit la permittivité relative du diélectrique  $\epsilon_r$  à l'aide de :  $r = 0$

D'où  $C = r \epsilon_0 S d$  avec  $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$  u.S.I.

Le condensateur est utilisé dans tout genre de circuit électronique. Sa première raison d'utilisation est d'emmagerer temporairement des charges électriques et donc de l'énergie électrique. L'énergie emmagasinée par un condensateur de capacité C, chargé sous la tension U (et portant alors la charge Q) est déterminée par la relation :

$$E_{el} = \frac{1}{2} C U^2 = \frac{1}{2} Q U = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$$

La capacité du condensateur équivalent à n condensateurs de capacité C associés en série est donnée par la relation :

$$\frac{1}{C_{eq}} = \sum_i^n \frac{1}{C_i}$$

La capacité du condensateur équivalent à n condensateurs de capacité C associés en parallèle est donnée par la relation :

$$C_{eq} = \sum_i^n C_i$$

## C- EXERCICES

### EXERCICE 1 Les quatre questions sont indépendantes.

1. L'armature d'un condensateur de capacité  $C = 220 \text{ pF}$  porte la quantité d'électricité  $Q_A = 275 \text{ nC}$ .

- Que vaut la quantité d'électricité  $Q_B$  portée par l'armature B ?
- Calculer la tension  $U_{AB}$  aux bornes du condensateur.

**2.** Calculer la surface S des armatures d'un condensateur plan de capacité  $C = 1 \text{ F}$ , formées de deux feuilles d'aluminium séparées par une feuille de papier d'épaisseur  $e = 0,08 \text{ mm}$  et de permittivité relative  $\epsilon_r$  l'énergie  $W_0$  emmagasinée initialement.

**1.2.** Le condensateur précédent, isolé après la charge, est par la suite branché aux bornes d'un second condensateur = 2,5.

**3.** Calculer la capacité C d'un condensateur qu'il faut réunir en série avec un condensateur de capacité  $C_0 = 470 \mu\text{F}$  pour obtenir un condensateur de capacité  $C_e = 0,10 C_0$ .

**4.** Calculer la tension de claquage  $U_m$  d'un condensateur dont le diélectrique est une feuille de mylar d'épaisseur  $e = 15 \mu\text{m}$ , sachant que le champ du mylar est  $E_d = 200.10^6 \text{ V.m}^{-1}$ .

### **EXERCICE 2 Les deux questions sont indépendantes.**

**1-** Un condensateur de capacité  $C = 2 \mu\text{F}$  est chargé sous une tension constante  $U_0 = 1000 \text{ V}$ .

**1.1.** Calculer sa charge  $Q_0$  et

initialement déchargé, de capacité  $C' = 0,5 \mu\text{F}$ . Calculer, à l'équilibre :

**1.2.1.** la tension U aux bornes de chaque condensateur ;

**1.2.2.** les charges Q et Q' des deux condensateurs ;

**1.2.3.** l'énergie W' totale emmagasinée dans l'association des condensateurs. Comparer cette énergie à  $W_0$ . Qu'est devenue la différence d'énergie

**2-** On charge un condensateur de capacité  $C = 0,8 \mu\text{F}$  à l'aide d'une source de courant qui débite, pendant le temps  $t = 2,5 \text{ s}$ , un courant d'intensité constante  $I = 22 \mu\text{A}$ .

2.1. Calculer la charge acquise par le condensateur.

2.2.-Calculer la tension entre ses armatures.

### **EXERCICE 3**

Un condensateur de capacité C est relié à un générateur de courant délivrant un courant d'intensité constante  $I = 10 \text{ microampères}$ . Un voltmètre de résistance infinie permet de mesurer la tension  $u_{(AB)}$  entre les bornes du condensateur. Le condensateur étant initialement déchargé, on ferme l'interrupteur K à la date  $t = 0$ . A la date  $t = 7,2 \text{ s}$  le voltmètre indique 6 V.

1) Ecrire l'expression de la capacité C du condensateur à une date t en fonction de t, de l'intensité I du courant, et de la tension u(AB). En déduire la valeur de C.

2) Calculer à la date  $t = 7,2 \text{ s}$  l'énergie emmagasinée par le condensateur

### **EXERCICE 4**

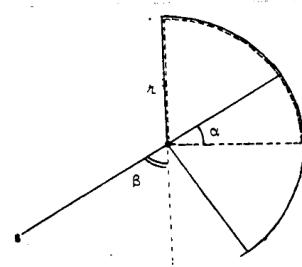
Un condensateur à air est formé de deux armatures métalliques de masses négligeables ayant la forme de deux quarts de cercle de rayon  $r = 10 \text{ cm}$  et séparée, l'un de l'autre, par une distance  $e = 1 \text{ mm}$ .

L'une des armatures est fixe, l'autre mobile est solidaire d'une tige de masse négligeable portant à son extrémité inférieure une masse m que l'on peut considérer comme ponctuelle.

1) Déterminer la capacité  $C_0$  de condensateur lorsque  $\alpha=2\text{rad}$  (donc  $\beta = 0$ ) c'est à dire lorsque la valeur S des surfaces en regard est maximum.

2) Donner l'expression de la capacité C de ce condensateur en fonction de  $C_0$  et de  $\alpha$ . On précise que :  $0 < \alpha < 2$ .

3) On soumet, maintenant, les deux armatures à une tension  $U_0 = 1000 \text{ volts}$  lorsque  $\alpha=2 \text{ rad}$ ; calculer la charge  $Q_0$  prise par le condensateur.



### EXERCICE 5

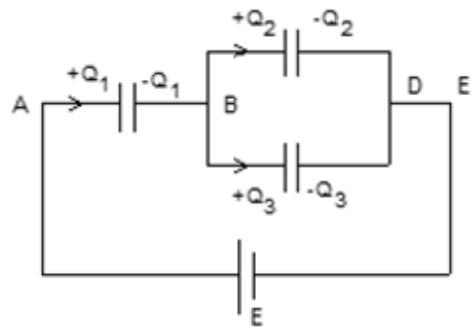
On considère le montage de la figure ci-contre.

On donne :  $C_1 = 3 \mu F$  ;  $C_2 = 2 \mu F$  ;  $C_3 = 4 \mu F$  ;  $E = 120 V$ .

1- Calculer la capacité équivalente  $C_e$  du condensateur entre A et D.

2- Calculer la charge finale Q du condensateur équivalent.

3- Calculer les valeurs des tensions  $U_{AB}$  et  $U_{BD}$  et en déduire les valeurs des charges  $Q_1$ ,  $Q_2$  et  $Q_3$ .

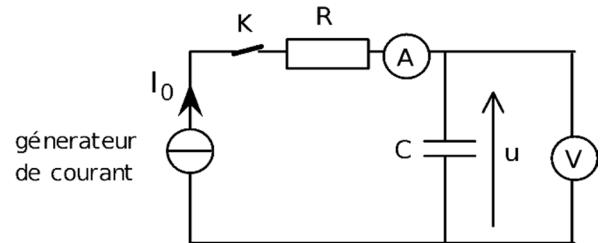


### EXERCICE 6

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 :



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- Déterminer la loi de variation de U en fonction de t

3- Déduire de la courbe tracée la valeur de la capacité C du condensateur.

4. Calculer l'énergie électrostatique emmagasinée par le condensateur à l'instant  $t = 40 \text{ s}$ .

### EXERCICE 7

On étudie la charge puis la décharge d'un condensateur. Pour ce faire, on réalise le montage schématisé ci-après (figure1).

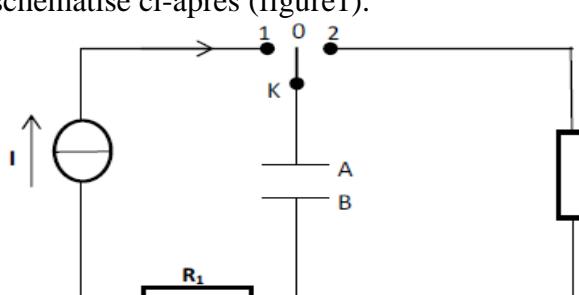


Figure 1

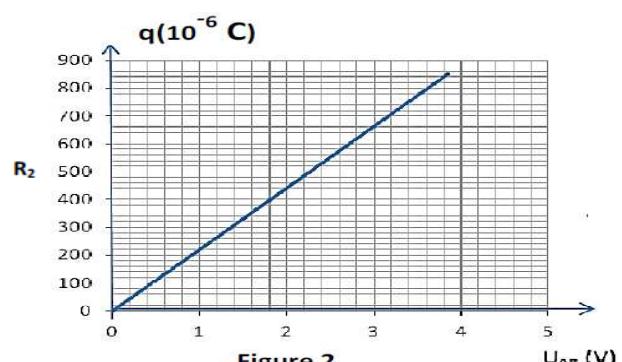


Figure 2

1- Le condensateur étant initialement déchargé, on ferme l'interrupteur K en position 1 (figure 1) à la date  $t = 0$ . On considère, dans cette étape, qu'un courant d'intensité constante  $I = 17 \mu\text{A}$  traverse le circuit.

On enregistre, par un dispositif approprié, les valeurs de la tension  $u_{AB}$  entre les armatures du condensateur au cours du temps  $t$ . L'enregistrement étant terminé, on calcule, pour chaque valeur de  $t$  la charge  $q(t)$  de l'armature A du condensateur.

**1.1.** Tenant compte de l'orientation du circuit, donner l'expression qui permet de calculer la charge  $q$  en fonction de la date  $t$ .

**1.2.** Le graphe de la charge  $q$  en fonction de la tension  $u_{AB}$  est représenté à la figure 2.

Déduire, par exploitation du graphe : la capacité C du condensateur et la date à laquelle la tension  $u_{AB} = 1,80 \text{ V}$ .

**2-** Lorsque la tension entre les armatures vaut  $U_0 = 3,85$  V, on bascule l'interrupteur en position 2, à une date prise comme origine des temps  $t = 0$ .

**2.1.** Quel est le nom du phénomène que l'on observe ? Expliquer. Représenter la courbe traduisant la variation de la tension  $u_{AB}(t)$  aux bornes du condensateur en fonction du temps.

**2.2.** En supposant que cette énergie a pu être restituée, totalement, par le flash d'un appareil photo, en une durée égale à 0,1 ms, calculer la puissance moyenne de ce « flash ».

## D - CORRIGE DES EXERCICES

### EXERCICE 6

1- Tracé de la courbe de la fonction  $u = f(t)$ .

La courbe est une droite passant par l'origine.

2 La loi de variation de  $U$  en fonction de  $t$

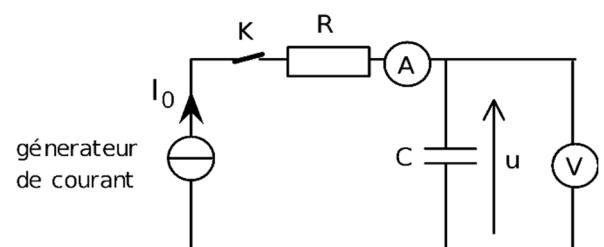
On a une droite passant par l'origine ; d'où  $u = k t$   
avec  $k$  = pente de la droite  $k = 0,09$  SI

3 La capacité  $C$  du condensateur.

$$Q = C u = I t ; \text{ d'où } C u = C k t = I t \rightarrow C = \frac{I}{k} = 5,55 \cdot 10^{-2} \text{ F}$$

4 Energie électrostatique emmagasinée par le condensateur à l'instant  $t = 40$  s.

$$E = \frac{1}{2} C u^2 ; \text{ on détermine } u \text{ graphiquement à } t = 40 \text{ s ou bien on le calcule par } u = k t$$



### EXERCICE 7

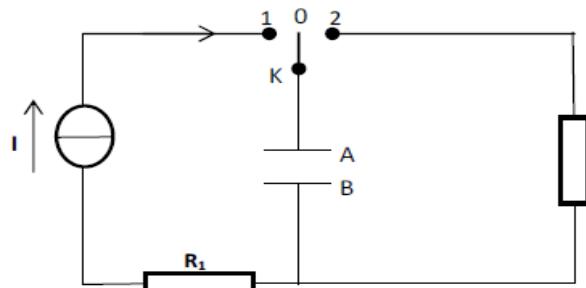


Figure 1

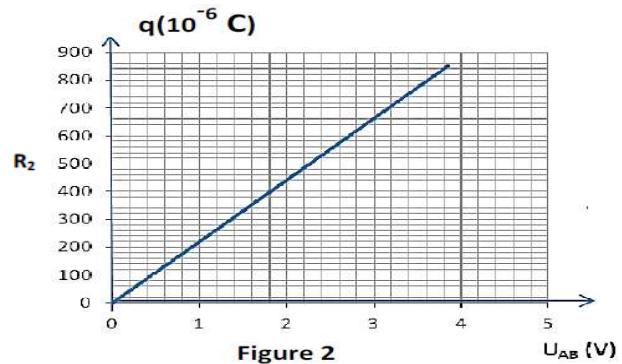


Figure 2

1)

1.1 Expression qui permet de calculer la charge  $q$  en fonction de la date  $t$ .

Avec l'orientation du circuit on a :  $I = \frac{dq}{dt}$  or  $I = \text{Cte}$  ; donc la dérivée de  $q$  en fonction du temps est constante ; d'où  $q = I t + \text{Cte}$  ; à  $t = 0$  on a  $q = 0$ .  $\rightarrow q = I t$

1.2 La capacité  $C$  du condensateur

$$q = C u \rightarrow C = \frac{q}{u} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ F}$$

La date à laquelle la tension  $u_{AB} = 1,80$  V ;  $Q = It = C u \rightarrow t = \frac{Cu}{I} = 21$  s

2)

2.1 Nom du phénomène que l'on observe : décharge du condensateur.

Le condensateur initialement chargé restitue l'énergie emmagasinée pendant la charge

2.2 La courbe traduisant la variation de la tension  $u_{AB}(t)$  aux bornes du condensateur en fonction du temps :

$u_{AB}(t)$  décroît exponentiellement en fonction du temps  $t$ .

**2.3** La puissance moyenne du « flash ».  $P = \frac{E}{t} = \frac{1}{2} C \frac{U^2}{t}$

---

## CHAPITRE P 10 PROPAGATION DES SIGNAUX ONDES PROGRESSIVES ET INTERFERENCES MECANIQUES

### A- OBJECTIFS

Au terme de ce chapitre les apprenants devront être capables de :

Distinguer l'émetteur, le récepteur et le milieu de propagation d'un signal.

Expliquer la différence entre propagation d'un signal (transport d'énergie) et déplacement d'une particule (transport de matière)

Citer des exemples d'onde

Distinguer un signal et une onde

Passer de  $y = f(t)$  à  $y = g(x)$   $y$  étant l'elongation et  $x$  l'abscisse de l'onde

Déterminer la longueur d'onde ou période spatiale à partir des caractéristiques temporelles (période et fréquence) de l'onde

Déterminer la position des franges d'amplitude maximale et celle d'amplitude nulle.

Citer des applications de ces phénomènes.

### B - L'ESSENTIEL DU COURS

#### Phénomènes périodiques

□ Définition : Un phénomène est périodique s'il se répète identiquement à lui-même à intervalle de temps régulier appelé période et noté  $T$ .

Exemples :

- Le mouvement circulaire uniforme.
- Le mouvement sinusoïdal.....

Le nombre de répétition du phénomène par unité de temps est sa fréquence  $N$

$N = \frac{1}{T}$   $T$  en s et  $N$  en Hz (unités du système international)

L'amplitude d'un phénomène périodique est son élongation maximale.

□ Etude expérimentale d'un phénomène périodique

Cette étude se fait de diverses façons :

- Par les graphes représentés par des enregistreurs ou des appareils tels que les oscilloscopes.
- Par utilisation d'un stroboscope. Cet appareil émet des éclairs de période  $T_e$ . Eclairant le système de période  $T$  il permet d'avoir un mouvement apparent du système. On montre que :  $\frac{1}{T} - \frac{1}{T_e} = \frac{1}{T_a}$   $T_a$  est la période apparente du mouvement

On a une immobilité apparente si  $N_e = \frac{N}{k}$

## **NOTION DE SIGNAL**

Un signal est une brève perturbation d'un milieu. Un signal peut être mécanique, sonore, lumineux (électromagnétique).

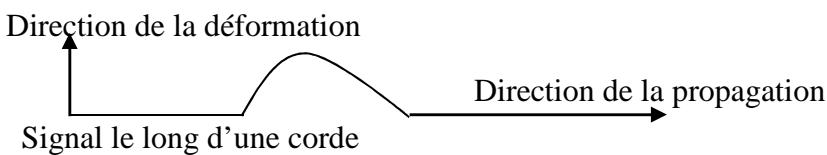
L'existence d'un signal suppose :

- Qu'il est produit ; le système qui produit le signal est l'émetteur.
- Qu'il s'est déplacé de la source à d'autres positions ; le milieu dans lequel il se déplace est son milieu de propagation. Le milieu de propagation d'un signal est élastique
- Qu'il a été détecté. Le système qui permet de détecter le signal est le récepteur.

□ Types de signaux :

- Le signal transversal : La direction de la déformation est perpendiculaire à son (ses) direction(s) de propagation.

Exemple



- Signal longitudinal : La direction de la déformation est parallèle à celle de la propagation.
- Signal de torsion/ Il se propage en provoquant des modifications de propriétés analogues à celle qu'engendre la source émettrice.

□ Célérité d'un signal dans un milieu homogène : C'est la rapidité avec laquelle le signal se propage appelée aussi vitesse de propagation elle est constante et noté  $c$ . Le long d'une corde elle a pour expression :  $\sqrt{\frac{T}{\mu}}$  T est la tension de la corde et  $\mu$  sa masse linéique. Si le signal se déplace de  $d$  en un temps  $t$  on écrit :  $c = \frac{d}{t}$

## **ONDES PROGRESSIVES**

□ Définition : L'onde est ce qui véhicule un signal entretenu. Ce signal entretenu en déplacement est appelé onde progressive. Ce déplacement se fait sans transport de matière. L'onde véhicule une énergie.

□ Double périodicité d'une onde :

- La période temporelle  $T$  : C'est le temps minimale pour que l'elongation  $y(t)$  prennent deux valeurs identiques.
- Une période spatiale appelée longueur d'onde : c'est la distance minimale séparant deux points de l'onde dans le même état vibratoire. C'est aussi la distance parcourue par l'onde en un temps égal à sa période temporelle  $T$ . on écrit  $\lambda = c \times T$

## **INTERFERENCES MECANIQUES**

□ Définition : On appelle interférences mécaniques le système obtenu lorsqu'on superpose deux ondes mécaniques de même fréquence, de même longueur d'onde et telles que la différence de phase de ces ondes reste constante. On dit alors que les ondes sont cohérentes et synchrones.

□ Exemples : Interférences à la surface de l'eau

On observe alors des points d'amplitude maximales : On dit alors que l'on a des interférences constructives et des points d'amplitude nulle : on dit alors que les interférences destructives.

□ Positions des points d'amplitude maximale et positions des points d'amplitude nulle.

- Différence de marche en un point du champ interférentiel : On appelle différence de marche en un point de la zone d'interférence la différence entre les distances parcourues par les ondes qui se superposent. On écrit  $d = d_1 - d_2$
- Positions des points d'amplitude maximale : Ces points sont obtenus lorsque les deux ondes qui se superposent sont en phase. Donc on a :

$$d = d_1 - d_2 = k \lambda \quad k \text{ est un entier relatif}$$

- Positions des points d'amplitude minimale : Ces points sont obtenus lorsque les ondes qui se superposent sont en opposition de phase. On a alors :

$$d = d_1 - d_2 = (2k + 1) \frac{\lambda}{2} \quad k \text{ est un entier relatif}$$

## C - EXERCICES

### EXERCICE 1:

Les deux extrémités  $S_1$  et  $S_2$  d'un vibreur émettent en phase des ondes circulaires à la surface de l'eau d'une cuve à onde.

La célérité de ces ondes est égale à  $0,25 \text{ m.s}^{-1}$  et leur période à  $100 \text{ ms}$ .

**1**-Calculer leur longueur d'onde.

**2**-Quel est l'état vibratoire d'un point M de la surface tel que  $S_1M = 15 \text{ cm}$  et  $S_2M = 11,25 \text{ cm}$  ?

**3**-Même question pour un point N tel que  $S_1N = 12 \text{ cm}$  et  $S_2N = 17 \text{ cm}$ .

### EXERCICE 2 :

On a réalisé des interférences à la surface de l'eau d'une cuve à onde à partir de deux points sources  $S_1$  et  $S_2$  animés par un même vibreur. On se propose d'utiliser deux vibreurs distincts.

**1**-Quelles conditions doivent-ils remplir pour que l'on observe des interférences ?

**2**-Les vibreurs vibrent à la même fréquence, avec la même amplitude et sont constamment en opposition de phase. Qu'observe-t-on ? (Faire éventuellement un schéma).

**3**-Les vibreurs vibrent à la même fréquence, en phase, l'un avec une amplitude double de l'autre. Qu'observe-t-on ?

**4**-Les vibreurs vibrent avec la même amplitude, mais avec des fréquences différentes. Qu'observe-t-on ?

**5**-Les vibreurs vibrent avec la même fréquence, la même amplitude et sont en phase. Le dispositif d'entretien de l'un d'eux s'arrête, de fonctionner : les vibrations s'amortissent progressivement. Qu'observe-t-on ?

L'un des dispositifs d'entretien souffre d'un mauvais contact : il s'arrête, repart, s'arrête de nouveau, etc., et ceci, à intervalles de temps brefs et irréguliers. Qu'observe-t-on ?

### EXERCICE 3:

On éclaire, à l'aide d'un stroboscope une lame vibrante. La fréquence maximale des éclairs pour laquelle la lame paraît s'immobiliser dans une position où elle est tordue est de  $120 \text{ Hz}$ .

**1** Déterminer la fréquence de la lame.

**2**-Pour quelles autres fréquences la lame paraît-elle immobile dans une position où elle est tordue ?

**3**-Montrer qu'il existe une fréquence supérieure à 120 Hz pour laquelle on voit une lame immobile, non tordue.

**EXERCICE 4:**

La pointe d'un vibreur frappe la surface de l'eau contenue dans une cuve à onde avec une fréquence  $f = 15 \text{ Hz}$ . On mesure la distance entre 5 rides consécutives et on trouve  $d = 12 \text{ cm}$ .

1-Calculer la célérité de l'onde entretenue à la surface de l'eau.

2-On éclaire la surface de la cuve avec la lumière émise par un stroboscope. La fréquence des éclairs est  $f_1 = 15 \text{ Hz}$ . Quel est l'aspect de la surface de l'eau ?

3-La fréquence des éclairs est maintenant portée à  $f_2 = 16 \text{ Hz}$ .

3.1-Qu'observe-t-on ?

3.2- Déterminer la célérité de déplacement apparent de l'onde.

4-La fréquence des éclairs est maintenant portée à  $f_3 = 14 \text{ Hz}$ .

4.1-Qu'observe-t-on ?

4.2-Déterminer la célérité de déplacement apparent de l'onde

**EXERCICE 5:**

L'extrémité d'un vibreur est munie d'une fourche dont les deux points  $S_1$  et  $S_2$  trempent dans un liquide. La fréquence des vibrations est  $f = 35 \text{ Hz}$ . La distance séparant les deux pointes est  $d = 72 \text{ mm}$ . La célérité des ondes à la surface du liquide est  $c = 0,45 \text{ m.s}^{-1}$ .

1-Calculez la longueur d'onde des ondes à la surface de l'eau.

2-Qu'observe-t-on à la surface du liquide ?

3- Déterminer le nombre de franges d'amplitude maximale coupant le segment  $[S_1S_2]$ .

**EXERCICE 6 :**

Un navire dispose de deux émetteurs sonores placés sur la ligne verticale, l'un juste au - dessus de la surface de l'autre, l'autre juste au – dessous. Un second navire dispose de deux récepteurs sonores, placés dans les mêmes conditions. Un signal est émis par les deux émetteurs en même temps ; les récepteurs les reçoivent en deux instants séparés de 6,5 s.

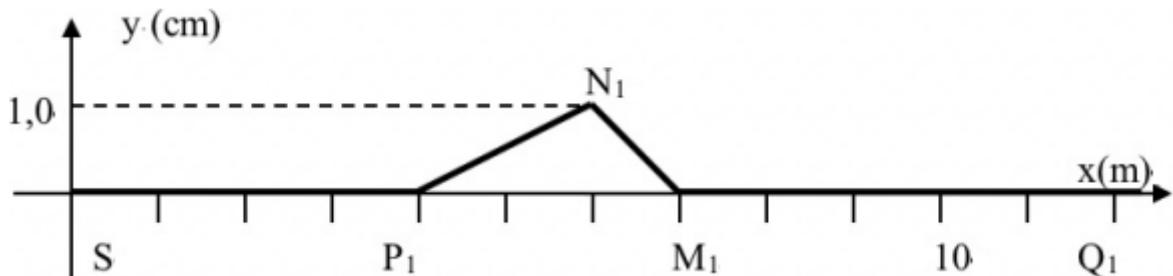
Déterminer la distance entre émetteurs et récepteurs. La célérité du son dans l'air est  $340 \text{ m.s}^{-1}$

**EXERCICE 7:**

On étudie la propagation sans amortissement ni réflexion d'une perturbation le long d'une corde élastique. A la date  $t = 0$ , le front de l'onde quitte l'extrémité  $S$  de la corde. A la date  $t_1 = 2,3 \text{ s}$ , on prend un cliché photographique de la corde reproduit schématiquement sur le graphe ci-dessous. (Les échelles sont différentes pour la coordonnée horizontale  $x$  et la coordonne verticale  $y$ ).  $M_1$  est la position du front de l'onde à l'instant  $t_1$ ,  $N_1$  celle de la crête et  $P_1$  celle de la queue de l'onde de déformation.

1. L'onde qui se propage est-elle transversale ou longitudinale ? Déterminer son amplitude.
2. Calculer la célérité de l'onde le long de la corde.
3. Déterminer la durée  $\tau$  du mouvement d'un point de la corde au passage de l'onde.
4. A la date  $t_1$ , quels sont les points de la corde qui s'élèvent ? ceux qui descendent ?
5. Reprendre le graphe ci-dessous et ajouter sur ce graphe l'aspect de la corde à la date  $t_2 = 3,6 \text{ s}$ .
6. Soit  $Q_1$ , point de la corde situé à 12 m de l'origine  $S$ .
  - a) A quelle date  $t_3$   $Q_1$  commence-t-il à bouger ?
  - b) A quelle date  $t_4$  passe-t-il par un maximum d'altitude ?

- c) A quelle date  $t_5$  cesse-t-il de bouger ?  
d) A l'aide des résultats précédents, schématiser l'allure de la courbe  $y_{Q1} = f(t)$  représentant l'évolution de l'élargissement  $y_{Q1}$  au point  $Q_1$  en fonction du temps.



Réponse : 1 cm ;  $3,0 \text{ m.s}^{-1}$  ;  $t = 1,0 \text{ s}$  ; front d'onde à l'abscisse 11 m à la date  $t_2$  ;  $t_3 = 4,0 \text{ s}$  ;  $t^4 = 4,3 \text{ s}$  ;  $t^5 = 5,0 \text{ s}$ .

## D - CORRIGE DES EXERCICES

### EXERCICE 1:

- 1-La longueur d'onde.  $\lambda = CT = 0,025 \text{ m} = 2,5 \text{ cm}$   
2 Etat vibratoire d'un point M de la surface tel que  $S_1M = 15 \text{ cm}$  et  $S_2M = 11,25 \text{ cm}$   
On a  $S_1M - S_2M = 3,75 \text{ cm} = \frac{3}{2} \lambda$  ; la différence de marche est un nombre impair de demie longueur d'onde ; en ce point il y a interférence destructive ; le point M est au repos.  
3-Etat vibratoire du point N tel que  $S_1N = 12 \text{ cm}$  et  $S_2N = 17 \text{ cm}$ .  
On vérifie que la différence de marche vaut  $S_2N - S_1N = 2 \lambda$  ; il y a interférence constructive ; le point N vibre avec une amplitude maximale

### EXERCICE 4:

- 1-Calcul de la célérité de l'onde entretenue à la surface de l'eau.  
La longueur d'onde vaut  $\lambda = \frac{d}{4} = 3 \text{ cm}$   
On a  $\lambda = \frac{c}{f}$  d'où  $C = \lambda f = 45 \text{ cm.s}^{-1}$   
2. L'aspect de la surface de l'eau  
 $f_1 = f$  : il y a immobilité apparente : succession de rides et de creux immobiles.  
3- )  
3.1 On a  $f_2 > f$  mouvement ralenti de propagation d'une onde circulaire dans le sens inverse du sens réel  
3.2- Célérité de déplacement apparent de l'onde.  $f_2 = f_1 - f = 1 \text{ Hz}$   
4- 4.1-Mouvement ralenti dans le sens réel  
4.2-La célérité de déplacement apparent de l'onde  $f_3 = 1 \text{ Hz}$

---

## CHAPITRE P 11 ÉTUDE EXPERIMENTALE DES LENTILLES

### A- OBJECTIFS

Identifier une lentille.

Déterminer les caractéristiques de l'image d'un objet soit par une lentille convergente, soit par une lentille divergente.

Distinguer foyer objet et foyer image.

Déterminer une distance focale.

Construire l'image d'un objet réel par une lentille mince convergente, par une lentille mince divergente.

Appliquer les formules de conjugaison.

Calculer et/ou mesurer sur un schéma, un grandissement.

Utiliser la formule de conjugaison.

### B - L'ESSENTIEL DU COURS

#### **Définition :**

Une lentille sphérique est un milieu transparent (en général de verre) limité par deux calottes sphériques ou une calotte sphérique et un plan.

La face d'une lentille peut donc être bombée (convexe), creuse (concave) ou plane.

On peut considérer que c'est tout milieu transparent limité par deux surfaces dont l'une au moins est non plane. L'axe de symétrie principal d'une lentille est son axe optique. Cet axe passe par son centre optique O.

#### **Les différents types de lentilles :**

Il existe deux types de lentilles :

- ❑ La lentille convergente : son épaisseur est plus grande au centre que sur les bords.
- ❑ La lentille divergente : son épaisseur est plus grande à ses bords qu'à son centre.

Des rayons incidents parallèles traversant une lentille convergente à la sortie de la lentille convergent en un point de l'axe optique F' appelé foyer – image pour une lentille convergente ; ils divergent si la lentille est divergente et semble provenir d'un point de l'axe optique appelé foyer – objet F. F et F' sont symétriques.

#### **Marche d'un rayon à travers une lentille :**

##### **❑ Cas d'une lentille convergente :**

Un rayon passant par le centre optique n'est pas dévié

Un rayon parallèle à l'axe optique passe le foyer – image.

Un rayon passant par le foyer objet émerge de la lentille parallèlement à l'axe optique.

##### **❑ Cas d'une lentille divergente :**

Un rayon passant par le centre optique n'est pas dévié.

Un rayon parallèle à l'axe optique semble provenir du foyer – objet.

**Remarque :** Pour construire l'image d'un objet il suffit de tracer les marches de deux rayons particuliers.

#### **Distance focale et vergence d'une lentille :**

La distance focale  $f$  d'une lentille est la distance entre un de ses foyers et son centre optique.  $OF = OF' = f$ .  $f$  est en mètres (m) dans le système international.

La vergence  $c$  d'une lentille est l'inverse de sa distance focale. Elle s'exprime, dans le S.I en dioptries ( $\delta$ ).

### **Caractéristiques de l'image d'un objet :**

#### **☒ A travers une lentille convergente :**

- Si la distance lentille - objet est supérieure à la distance focale de la lentille alors l'image est située après la lentille et renversée. Elle peut être recueillie sur un écran.
- Si la distance lentille – objet plus petite que la distance focale alors l'image est droite située avant la lentille. Elle ne peut être recueillie sur un écran.

#### **☒ A travers une lentille divergente :**

Si l'objet est placé avant le foyer image elle est virtuelle droite et plus petite. Elle est placée entre le foyer image et le centre optique.

### **Grandissement et relations de conjugaison:**

#### **☒ Grandissement : C'est le rapport de la taille de l'image sur celle de l'objet**

On a  $\gamma = \frac{A'B'}{AB}$  AB est l'objet et A'B' l'image.

#### **☒ Relations de conjugaison :**

On a :  $\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{OF'}$ . Ces relations sont algébriques. L'axe optique est orienté dans le sens de la propagation de la lumière

**NB :** L'image d'un objet très éloigné de la lentille se situe au foyer – image de la lentille

## **C - EXERCICES**

### **EXERCICE 1 :**

Soit une lentille convergente de distance focale  $f' = 10$  cm et de centre optique O. En un point A de l'axe principal, entre la source et la lentille, tel que  $OA = 9$  cm, on place un objet lumineux AB de hauteur  $h = 2$  cm ; la lumière se propage de la gauche vers la droite.

- 1) Placer sur un schéma en précisant l'échelle les points F, F', l'objet AB et l'axe principal.
- 2) Tracer la marche d'un rayon lumineux issu de B et parallèle à l'axe principal.
- 3) Tracer la marche d'un rayon lumineux issu de B et passant par le centre optique O.
- 4) En déduire l'image A'B'. Caractériser l'image obtenue.
- 5) Déterminer géométriquement la position de A' (distance OA') et la grandeur  $h' = A'B'$  de l'image.

### **EXERCICE 2 :**

- 1) Une lentille divergente a une distance focale de 20 cm. Où doit – on placer un objet réel pour en obtenir une image virtuelle deux fois plus grande.
- 2) On place une source lumineuse à mi – chemin entre le foyer principal et le centre d'une lentille divergente dont la longueur focale est de 5 cm. Déterminer la distance qui sépare la position de l'image et foyer principal. Quelles sont ses caractéristiques de l'image ?

### **EXERCICE 3 :**

Un appareil photographique est constitué d'un boîtier opaque muni d'une lentille sur la face avant. L'image se forme sur une pellicule située à la face arrière.

- 1) L'objectif est – il une lentille convergente ou divergente ?
- 2) L'image obtenue sur la pellicule est – elle droite ou renversé par rapport au sujet ?
- 3) Quand on photographie un paysage (très éloigné), la distance entre l'objectif et la pellicule vaut 38 mm.
  - a) Déterminer la distance focale de l'objectif ?
  - b) Pour un sujet plus proche de l'objectif, la distance focale objectif – pellicule est-elle supérieure ou inférieure à 38 mm quand la mise au point est réalisée ?
  - c) Calculer cette distance pour un sujet situé à 30 cm, distance minimale de mise au point.
  - d) de combien se déplace l'objectif quand on passe de la mise au point à l'infini à la mise au point sur un objectif à 30 cm ?

### **EXERCICE 4 :**

A 25 cm d'une lentille convergente de distance focale 10 cm on place un objectif plan AB perpendiculaire à l'axe optique, de hauteur 2,0 cm. A est sur l'axe optique.

- 1) En appliquant la relation de conjugaison, déterminer la position de l'image. Cette image peut – elle être recueillie sur un écran ?
- 2) En appliquant la relation de grandissement, déterminer la hauteur de l'image. Est – elle droite ou renversée ?
- 3) Mêmes questions si l'objectif est placé à 4,0 cm de la lentille.

### **EXERCICE 5 :**

La lentille convergente d'une loupe a une distance focale de 10 cm.

- 1) A 25 cm de la lentille, on place un objet plan, perpendiculaire à l'axe optique, de hauteur 2 cm. Sur un schéma :
  - a) Représenter la lentille, l'axe optique, les foyers et l'objet que l'on notera AB, le point A étant sur l'axe optique. On prendra l'échelle 1/5 suivant l'axe optique, placé horizontalement, et l'échelle ½ suivant l'axe vertical.
  - b) Tracer deux rayons, issus du point B, qui permettent de situer son image.
  - c) Tracer les rayons, issus du point B, qui passent par les bords de la lentille.
  - d) Déterminer la position du point A' image du point A.
  - e) Déterminer graphiquement la distance entre l'image A'B' et la lentille.
  - f) Déterminer la hauteur de cette image
  - g) Calculer le grandissement.
- 2) On place maintenant l'objet à 4 cm de la lentille. Répondre aux mêmes questions en adoptant l'échelle ½ pour tout le schéma.
- 3) Parmi les deux situations laquelle correspond à l'utilisation de la lentille en tant que loupe.

### **EXERCICE 6 :**

Une loupe est constituée par une lentille convergente de vergence 20 dioptries. Un objet AB de hauteur 0,5 cm est placé à 4 cm du centre optique, le point A étant sur l'axe optique.

- 1) Faire le schéma correspondant.
- 2) Calculer la position et la hauteur de l'image.
- 3) Calculer l'angle  $\Theta'$  sous lequel l'œil d'un observateur, situé au foyer image  $F'$ , voit l'image  $A'B'$ . on considérera l'angle  $\Theta'$  petit.
- 4) Quelle serait l'angle  $\Theta$  sous lequel l'observateur verrait l'objet AB placé à 25 cm de l'œil ?
- 5) En déduire le grossissement de la loupe.

### **EXERCICE 7 :**

Un projecteur de diapositives est muni d'un objectif de distance focale de 105 mm. Les diapositives mesurent 24 mm sur 36 mm (caches non compris). La distance diapositive – objectif est réglable entre 105 et 150 mm.

- 1) Peut – on obtenir une image nette sur un écran situé à 4 m de l'objectif ? Si oui quelles seront ses dimensions ? Pourquoi doit – on renverser la diapositive quand on l'introduit dans le projecteur ?
- 2) En appliquant la formule de conjugaison calculer la distance diapositive – objectif, puis la formule de grossissement.
- 3) Calculer la distance diapositive – objectif quand l'image se forme à 4 m de celui – ci La valeur trouvée est-elle compatible avec les réglages indiqués ?
- 4) Calculer le grossissement, à partir des distances objet – lentille et lentille – écran. En déduire la hauteur et la largeur de l'image.
- 5) Pourquoi doit – on renverser la diapositive quand on l'introduit dans le projecteur ?

### **EXERCICE 8:**

Un microscope est constitué de deux lentilles convergentes  $L_1$  et  $L_2$  de même axe principal.  $L_1$  a pour distance focale  $f_1 = 1\text{cm}$ ,  $L_2$  a pour distance focale  $f_2 = 2\text{cm}$ . La distance  $O_1O_2 = 13\text{cm}$ .

Un petit objet AB ayant pour dimension 0,1mm est placé devant  $L_1$  à la distance  $O_1A=1,1\text{cm}$ .

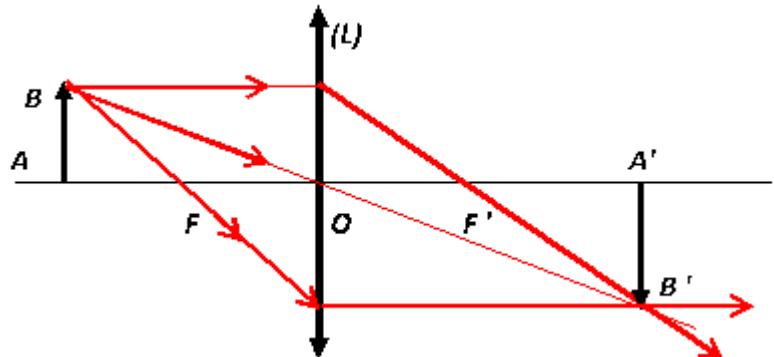
1. Préciser la position, la nature et la dimension de l'image donnée par  $L_1$ .
2. Faire une figure, à l'échelle 1 pour les distances parallèles à l'axe principal.
3. Pour  $L_2$ ,  $A'_1 B'_1$  joue le rôle d'objet réel. Préciser la position, la nature et la dimension de l'image finale  $A'B'$ .
4. Evaluer le diamètre apparent  $\alpha'$  sous lequel on observe l'image

## D – CORRIGE DES EXERCICES

### EXERCICE 5 :

- 1) La distance  $OA > f$ ; donc l'objet AB est tel que le point A est situé avant le foyer objet F

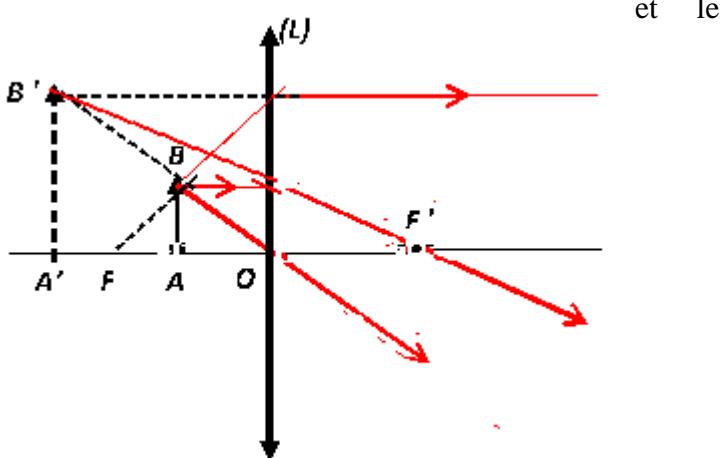
Le schéma a l'allure ci-contre (échelle non respectée)



- 2 La distance  $OA < f$ ; l'objet est tel que le A est entre le foyer objet F centre optique O de la lentille. Le schéma a l'allure suivante :

L'échelle n'est pas respectée

- 3) La deuxième situation



### EXERCICE 6 :

- 1) Le schéma correspondant.

La distance focale est  $f = 1/C = 0,05 \text{ m} = 5 \text{ cm}$

$OA = 4 \text{ cm} < f$ ; l'objet est situé entre le foyer objet F et le centre optique O de la lentille

Le schéma correspond au schéma de la question 2 de l'exercice 5

- 2) Calcul de la position de l'image.

On applique la relation de conjugaison :  $\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{OF'}$ .

On en tire  $\overline{OA'} = -20 \text{ cm}$ ; l'image est à 20 cm en avant de la lentille.

La hauteur de l'image :

Le grossissement est  $20/4 = 5$

$$A'B' = 5 AB = 2,5 \text{ cm}$$

- 3) Calcul de l'angle  $\Theta'$  sous lequel l'œil d'un observateur, situé au foyer image F, voit l'image A'B'.

$$\text{On fait } \tan(\Theta') = \Theta = \frac{A'B'}{F'A'} = 0,1$$

- 4) Ce que serait  $\Theta$  :

$$\Theta' = \frac{AB}{d} = \frac{0,5}{25} = 0,02$$

$$\text{Le grossissement de la loupe. : } G = \frac{\Theta}{\Theta'} = 5$$