



SCIENCES PHYSIQUES

THEME : ELECTRICITE-ENERGIE ELECTRIQUE

Données numériques

Charge élémentaire : $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$	Perméabilité du vide : $\mu_0 = 4 \pi \cdot 10^{-7} \text{ SI}$
Constante de Boltzmann : $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J.K}^{-1}$	Constante d'Avogadro : $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
Permittivité du vide : $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ SI}$	Célérité de la lumière dans le vide : $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

TEXTE INTRODUCTIF

Depuis l'antiquité les hommes connaissaient déjà les phénomènes magnétiques et électriques. Dans le domaine électrique, on savait (600 ans avant Jésus Christ) que certains corps, comme l'ambre peuvent acquérir par frottement la propriété d'attirer des corps légers tels que du duvet d'oiseaux, par exemple.

Le médecin anglais William Gilbert (1544-1603) publia son ouvrage "De magnete" dans lequel il introduisit le nom d'électricité pour désigner la force d'attraction qui apparaît lorsqu'on frotte l'ambre (le nom grec de l'ambre est « elektron »). Gilbert expérimenta par frottement sur un grand nombre de substances et il constata que certaines d'entre elles, qu'il appela « electric » possédaient comme l'ambre une certaine force d'attraction, tandis que les autres qu'il appela « nonelectrics » ne la possédaient pas. Il s'agit, dans le premier cas, de ce que nous appelons aujourd'hui les corps isolants électriques, et dans le second cas, ce que nous appelons corps conducteurs électriques. Les corps isolants n'ont pas la capacité de conduire le courant électrique, ils peuvent ainsi emmagasiner les charges. Les conducteurs sont parcourus par des courants avec une vitesse relativement élevée et perdent donc leurs charges en un temps très court, qu'on ne pouvait pas mesurer à l'époque où travaillait Gilbert.

En 1629, l'Italien Cabeo découvrit que l'électricité ne possédait pas seulement une force d'attraction, mais aussi une force de répulsion : de fines feuilles de métal, attirées par l'ambre frotté, se repoussent lorsqu'elles sont portées au contact l'une de l'autre.

Vers 1730, le français Du Fay expliquait ces phénomènes en supposant que les corps contenaient deux substances distinctes. Ces « fluides » devaient être les porteurs d'une attraction et d'une répulsion électriques. Et il appela ces deux sortes d'électricité, électricité négative et électricité positive. Comme les corps naturels sont électriquement neutres ; Dufay supposa que les deux « fluides » devaient exister en quantité équivalentes, mais qu'on pouvait les séparer par frottement, le corps frotté acquérant un excès de l'une ou l'autre forme d'électricité.

A la même époque, on avait découvert que l'électricité pouvait également être emmagasinée dans un conducteur si l'on séparait celui-ci du milieu environnant à l'aide d'un autre corps isolant. En 1745, on put ainsi montrer, en Allemagne, que de grandes quantités d'électricité pouvaient être emmagasinées dans un dispositif formé par deux plaques conductrices séparées par un isolant, et qui constituait un condensateur.

En 1785 Charles coulomb (1730-1806) montra l'analogie entre les forces d'interactions électriques avec celles de la gravitation universelle : les intensités des forces exercées entre charges électriques sont inversement proportionnelles au carré de la distance qui les sépare. Ces interactions à distance sont décrites par un champ électrique  $\vec{E}$  analogue au champ de gravitation  $\vec{G}$ . Ainsi un corps chargé de charge  $q$  placé dans un champ électrique est soumis à une force électrique  $\vec{F}_e = q\vec{E}$  comme le serait soumis un corps de masse  $m$  placé dans un champ de gravitation  $\vec{G}$  à une force de gravitation  $\vec{F}_g = m\vec{G}$

Tous les travaux énumérés précédemment ne concernaient que l'électricité statique ou électrostatique.

L'appareil appelé pile Volta construit en 1799 par le physicien italien Alessandro Volta a permis la production du courant électrique (résultant d'un mouvement des porteurs de charges). Cette pile marqua le début de l'aventure électrique.

Dès lors que cette production de courant électrique eût vu le jour de grandes découvertes se succédèrent :

- l'électrolyse par les anglais Davy et Faraday qui a permis d'établir une relation entre la chimie et l'électricité ;
- la création des champs magnétiques (Ampère, Ersted, Biot, Savat, Maxwell).
- le phénomène d'induction électromagnétique (par Faraday en 1831) qui est à la base de la production du courant alternatif délivré par les centrales électriques.
- l'accumulateur au plomb (Planté 1859), la Dynamo (Gramme, 1871), l'ampoule à incandescence (Edison, 1879), le transformateur (Gouard, 1884), le moteur électrique (Tesla, vers 1885).

Ainsi, dans une pile électrochimique, par exemple l'énergie chimique libérée apparaît sous forme d'énergie électrique. On caractérise une pile par une force électromotrice (f.é.m) qui est la tension  $U$  entre ses bornes en circuit ouvert. Ce sont les forces électriques qui permettent aux porteurs de charge de se déplacer dans un conducteur électrique.

Le travail total de ces forces électriques au cours de ces déplacements de charges (correspondant au courant électrique) est appelé travail électrique ou énergie électrique tout court.

Dans un circuit électrique, l'énergie fournie par le générateur se répartit entre les différents dipôles : conducteurs ohmiques et récepteurs.

Les récepteurs reçoivent un travail électrique et le convertissent en d'autres formes d'énergie : ce sont des convertisseurs d'énergie. C'est le cas des moteurs électriques, des appareils électroménagers, des électrolyseurs, des téléviseurs, des ordinateurs ainsi que des machines – outils et des robots utilisés dans l'industrie.

Indépendamment des autres formes d'énergie qui peuvent apparaître dans les récepteurs, le passage de courant y provoque toujours un dégagement d'énergie sous forme de chaleur plus ou moins important appelé effet Joule (1841).

Pour les dipôles conducteurs ohmiques l'effet Joule est plus manifeste et les applications sont nombreuses : fers à repasser électrique, fers à souder ou à friser, les réchauds, les grille-pains, ...

Depuis le 19<sup>e</sup> siècle, pour ses besoins domestiques et énergétiques, l'homme utilise dans la vie de tous les jours le courant électrique.

**Partie I : Questions sur le texte (05 points)**

Lire attentivement le texte ci-dessus puis répondre aux questions suivantes :

- I-1- A quelle période remonte la connaissance des premiers aspects portant sur les phénomènes électriques et magnétiques ?
- I-2- Donner le nom du physicien qui est le premier à affirmer l'existence de deux sortes de charges appelés classiquement électricité positive et électricité négative.
- I-3- Donner l'analogie existant entre forces gravitationnelles et forces électriques.
- I-4- Donner le nom du premier appareil de production de courant électrique et en quelle année a-t-il été construit ? Donner le nom du physicien qui l'a conçu.
- I-5- Citer les conséquences qui ont suivi après la découverte de la production du courant électrique

**Partie II : Electrostatique**

Une des propriétés importantes de l'électrostatique est que des charges électriques immobiles interagissent avec d'autres charges par l'intermédiaire d'un vecteur champ électrique  $\vec{E}$ .

**II-1- Loi de Coulomb - Champ créé par une charge ponctuelle**

II-1-1- Un pendule électrostatique (figure 1a) est formé d'une petite boule métallisée très légère, suspendue à un fil isolant. Lorsqu'on approche de la boule un bâton de verre frotté avec de la laine, elle est attirée (figure 1b) ; après contact il y a répulsion (figure 1c).

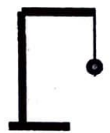


Figure 1a



Figure 1b



Figure 1c

Interpréter ces observations.

II-1-2- Soient deux particules de charges électriques  $q_0$  et  $q$  et ayant des masses respectives  $m_0$  et  $m$ , placées en deux points  $P_0$  et  $P$  d'un espace de permittivité  $\epsilon_0$  (figure 2). Soit le vecteur  $\vec{r} = \overrightarrow{P_0P} = r\vec{u}$

avec :  $\vec{u} = \frac{\overrightarrow{P_0P}}{\|\overrightarrow{P_0P}\|}$  vecteur unitaire.

D'après Coulomb (1780) la force électrique exercée par la particule de charge  $q_0$  sur la particule  $q$  est donnée par l'expression vectorielle :  $\vec{f}_e = k \frac{q_0q}{r^2} \vec{u}$  dans le système

international d'unités avec  $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ SI}$

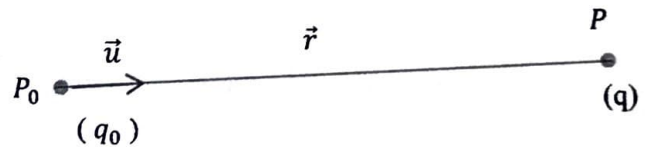


Figure 2

II-1-2-1- Donner l'expression vectorielle de la force  $\vec{f}_e'$  exercée par la particule de charge  $q$  sur la particule de charge  $q_0$ . Représenter schématiquement les deux vecteurs forces dans le cas où les deux charges sont de même signe puis dans le cas où la charge  $q_0$  est positive et  $q$  négative.

II-1-2-2 - Donner les expressions des intensités des forces électriques  $\vec{f}_e$  et de  $\vec{f}_e'$ .

II-1-3- La force gravitationnelle exercée par un corps de masse  $m_0$  sur un autre corps de masse  $m$  placés respectivement aux points  $P_0$  et  $P$  a pour expression :  $\vec{f}_g = -G \frac{m_0m}{r^2} \vec{u}$  ; avec  $G$  : constante de gravitation universelle  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ S.I}$

On écrit  $\vec{f}_g = m \vec{G}$  pour la force gravitationnelle s'exerçant sur le corps de masse  $m$  et  $\vec{f}_e = q\vec{E}$  la force électrique s'exerçant sur la particule de charge  $q$ .

**II-1-3-1-** Etablir les expressions des vecteurs  $\vec{G}$  et  $\vec{E}$  appelés respectivement vecteur champ gravitationnel et vecteur champ électrique créés au point P par la particule de masse  $m_0$  et portant la charge  $q_0$ .

**II-1-3-2-** Faire une analogie entre les grandeurs physiques électriques et mécaniques figurant dans les expressions des champs gravitationnel et électrique.

**II-1-4- Application:**

On considère le modèle de Bohr de l'atome d'hydrogène. Il est composé d'un noyau contenant un proton de masse  $m_p = 1,67.10^{-27}$  kg et de charge  $e = 1,60.10^{-19}$  C. Autour du noyau gravite, suivant une trajectoire circulaire, un électron de masse  $m_e = 9,1.10^{-31}$  kg et de charge électrique  $-e = -1,60.10^{-19}$  C.

**II-1-4-1-** Représenter, par un schéma annoté, le modèle de Bohr de l'atome d'hydrogène.

**II-1-4-2-** Préciser les caractéristiques du vecteur champ électrique créé par le noyau de l'atome d'hydrogène en un point distant de  $r_0 = 5,33.10^{-11}$  m ; ( $r_0$  étant le rayon de la première orbite de Bohr).

**II-1-4-3-** En déduire les caractéristiques de la force électrique exercée par le noyau de l'atome d'hydrogène sur l'électron gravitant à la distance  $r_0$ .

**II-1-4-4-** Calculer l'intensité de la force d'interaction gravitationnelle entre le proton et l'électron de l'atome d'hydrogène. Calculer le rapport entre les intensités des forces gravitationnelle et électrique. Conclure.

**II-2 : Champ créé par un système de charges électriques.**

**II-2-1-** Rappeler l'expression du vecteur champ électrique  $\vec{E}$  en un point M créé par une charge ponctuelle  $q$  placée au point O. on notera  $r = OM$ .

**II-2-2-** Deux charges ponctuelles  $-q$  et  $+q$  sont placées en deux points A et B d'abscisses respectives  $-a$  et  $+a$  sur un axe Ox de vecteur unitaire  $\vec{i}$  (voir figure 3).

Représenter les vecteurs champs électriques et donner leurs expressions aux points M et M' d'abscisses respectives telles que :  $0 \leq x < a$  et  $x > a$ .

**II-2-3-** Donner le module du vecteur champ électrique résultant en fonction de  $\epsilon_0$ ,  $q$  et  $a$  dans le cas particulier où  $x=0$ .

**II-3- Action d'un champ électrique uniforme sur un dipôle électrique**

Un dipôle électrique est un système constitué de deux charges ponctuelles  $-q$  et  $+q$ , rigidement lié, placées respectivement en A et B distants de  $a$ . C'est un modèle simplifié qui décrit le comportement électrique des molécules hétéro polaires.

Soit un dipôle électrique  $(-q, +q)$  placé dans un champ électrique uniforme  $\vec{E}$  (voir figure 3). L'axe du dipôle forme avec le vecteur champ électrique un angle  $\theta = (\vec{AB}, \vec{E})$ .

**II-3-1-** Reproduire le schéma et représenter les deux forces électriques exercées par le champ électrique uniforme sur les charges du dipôle.

**II-3-2-** On considère que sous l'action des forces électriques, le dipôle peut être en rotation autour d'un axe  $\Delta$  passant par O et perpendiculaire à l'axe AB du dipôle ;  $\vec{u}$  est un vecteur unitaire porté par l'axe  $\Delta$ .

Le produit vectoriel entre deux vecteurs  $\vec{p}$  et  $\vec{E}$  s'écrit  $\vec{p} \wedge \vec{E}$  ; son module est  $p \cdot E \cdot \sin\theta$  et sa direction est perpendiculaire au plan formé par  $\vec{p}$  et  $\vec{E}$ .

**II-3-2-1-** Montrer que les forces électriques s'exerçant sur le dipôle constituent un couple de forces.

**II-3-2-2-** Exprimer le moment de ce couple de force agissant sur le dipôle AB par rapport à  $\Delta$  qu'on note  $M_{/\Delta}$ .

**II-3-2-3-** Le moment des forces résultantes par rapport à  $\Delta$  est une projection suivant cet axe du moment vectoriel  $\vec{M}$  des forces résultantes auquel est soumis ce dipôle par rapport au point O et s'écrit :  $\vec{M} = \vec{p} \wedge \vec{E}$  ; on appelle moment du dipôle électrique la grandeur  $\vec{p} = q\vec{AB}$ . Etablir la relation entre les moments  $M_{/\Delta}$  et  $\vec{M}$ .

**II-3-3-** Etudier les conditions d'équilibre du dipôle électrique placé dans le champ électrique  $\vec{E}$ .

**II-3-4 Application :**

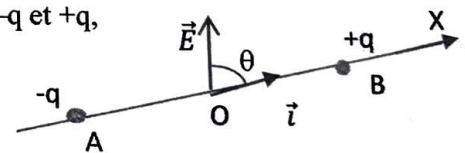


Figure 3

La molécule d'eau est un exemple de molécule hétéro polaire (dont le moment dipolaire résultant est  $\vec{p}$  ; avec  $\|\vec{p}\| = 6,2 \cdot 10^{-30} \text{C.m}$  (Coulomb-mètre)).

**II-3-4-1-** On introduit du gaz chlorhydrique ou chlorure d'hydrogène (HCl) dans l'eau. Proposer une explication simple de la dissociation ionique du chlorure d'hydrogène dans l'eau.

**II-3-4-2-** Comment pourrait-on expliquer la solvatation dans l'eau des cations tels que :  $H^+$  et  $Cu^{2+}$ .

**II-3-4-3-** En prenant  $+q = 10 e$ , déterminer la distance  $a$  entre le centre de gravité  $G^+$  des charges positives et  $G^-$  centre de gravité des charges négatives de la molécule d'eau.

Comparer le résultat trouvé avec la valeur  $0,0038 \text{nm}$  ( $1 \text{nm} = 10^{-9} \text{m}$ ) donnée par D.Larcher.

## II-4 – Condensateur

L'étude des condensateurs est à la base de l'élaboration par le physicien écossais James Clark Maxwell (1831-1879) de la théorie des ondes.

Un condensateur est un ensemble de deux surfaces conductrices parallèles séparées par un milieu isolant. Les surfaces conductrices parallèles sont appelées armatures du condensateur et l'isolant le diélectrique. Quand l'une des armatures, notée A porte une charge positive, l'autre armature notée B porte une charge négative. Les deux charges ont même valeur absolue. C'est un moyen d'avoir un champ électrique uniforme entre les armatures. La valeur absolue  $Q$  de la charge des armatures est appelée charge du condensateur ; l'énergie emmagasinée par le condensateur est :  $W = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2} C \cdot U_{AB}^2$  avec  $C$  : la capacité du condensateur et  $U_{AB}$  : la tension électrique entre les armatures.

La distance  $d$  entre les deux armatures est petite devant leurs dimensions. Dans le cas d'un condensateur plan les armatures sont des plans parallèles.

**II-4-1-** Représenter un condensateur plan par son symbole.

**II-4-2-** Pour un condensateur dont la surface en regard des armatures est  $S$ , comportant un diélectrique d'épaisseur  $d$  et de permittivité relative  $\epsilon_r$ , rappeler l'expression de la capacité  $C$  en fonction de  $S$ ,  $d$ ,  $\epsilon_r$  et  $\epsilon_0$  (permittivité du vide).

**II-4-3-** Un condensateur plan a une armature A qui porte une charge  $q_A = +275 \text{nC}$  ; sa capacité  $C = 220 \text{pF}$  ( $1 \text{pF} = 10^{-12} \text{F}$ ).

**II-4-3-1-** Que vaut la charge  $q_B$  de l'armature B ?

**II-4-3-2-** Faire le schéma de ce dispositif et représenter le champ électrique régnant entre les armatures de ce condensateur.

**II-4-3-3-** Calculez la valeur de la tension  $U_{AB}$  aux bornes de ce condensateur.

**II-4-4-** Lorsqu'on augmente la tension aux bornes d'un condensateur, l'intensité du champ électrique croît, lorsqu'elle atteint une certaine valeur  $E_d$  (champ disruptif) qui dépend de la nature du diélectrique, il se produit une ionisation du diélectrique : le condensateur se décharge par passage d'une étincelle d'une armature à l'autre ; il en résulte une fusion locale des armatures et une perforation du diélectrique à laquelle on associe une carbonisation (sauf pour le vide et pour l'air). Un court-circuit réunit les armatures et rend le condensateur inutilisable. On dit alors de façon imagée que « le condensateur a claqué ».

**II-4-4-1-** Calculer la tension de claquage  $U_m$  d'un condensateur dont le diélectrique est une feuille de mylar de permittivité  $\epsilon_r = 3,2$  et avec  $\epsilon_0 = 8,84 \cdot 10^{-12} \text{F.m}^{-1}$  et d'épaisseur  $d = 15 \mu\text{m}$ .  $E_d = 200 \text{MV.m}^{-1}$ .

### II-4-4-2- Flash d'un appareil photo

Le condensateur d'un appareil photo de capacité  $C = 1,0 \mu\text{F}$  est chargé sous une tension  $U = 600 \text{V}$

**II-4-4-2-1-** Calculer l'énergie  $W$  emmagasinée par ce condensateur.

**II-4-4-2-2-** Les 90% de cette énergie sont restitués, lors de la décharge, en une durée  $t = 0,8 \text{ms}$  ; calculer la puissance moyenne de la décharge du flash.

## II-5- L'éclair- foudre

Un nuage N de surface  $S$ , situé à l'altitude  $h$  constitue avec la terre un condensateur que nous supposons plan. Soit  $U_{NT} = V_N - V_T$  la différence de potentiel entre le nuage et la terre.

**II-5-1-** Calculer la capacité de ce condensateur

**II-5-2-** Donner les caractéristiques du champ électrostatique entre le nuage et la terre.

**II-5-3-** L'éclair qui se produit est une décharge du condensateur nuage-terre à travers le diélectrique constitué par l'air. Il se produit un échange de puissance électrique  $p$  entre les armatures du condensateur. Soit  $\tau$  la durée de la décharge, calculer :

**II-5-3-1-** la puissance moyenne échangée.

**II-5-3-2-** L'intensité moyenne du courant de décharge.

Données :  $S = 1 \text{ km}^2$ ,  $h = 500 \text{ m}$ ,  $U_{NT} = 5.10^5 \text{ V}$ ,  $K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9.10^9 \text{ SI}$  et  $\tau = 1,0.10^{-6} \text{ s}$ .

**II-6- Détermination de la charge élémentaire par Millikan (1910)**

Une très petite sphère de rayon  $r$ , en mouvement dans l'air, est soumise à une force de frottement  $\vec{f}$  qui pour des vitesses faibles, est proportionnelle à la vitesse  $\vec{v}$  et au rayon  $r$  de la sphère :  $\vec{f} = -\alpha.r.\vec{v}$ ; on a :  $\alpha = 3,40.10^{-4} \text{ S.I}$ . On observe à l'aide d'un microscope, les fines gouttelettes sphériques d'un brouillard d'huile. Ces gouttelettes, de même rayon  $r$ , porteuses de charges électriques négatives  $q$ , sont introduites entre les armatures horizontales A et B d'un condensateur plan (figure 4). En l'absence de champ électrique les gouttelettes tombent verticalement avec une vitesse limite  $v_0$  telle que  $\vec{v}_0 = v_0\vec{k}$ ;  $\vec{k}$  vecteur unitaire vertical dirigé vers le bas.

**II-6-1-** On établit un champ électrostatique  $\vec{E}$  uniforme vertical, descendant, entre A et B ; on constate que la vitesse uniforme de chute des gouttelettes prend diverses valeurs et l'on peut même observer l'immobilité ou un mouvement descendant toujours à vitesse constante.

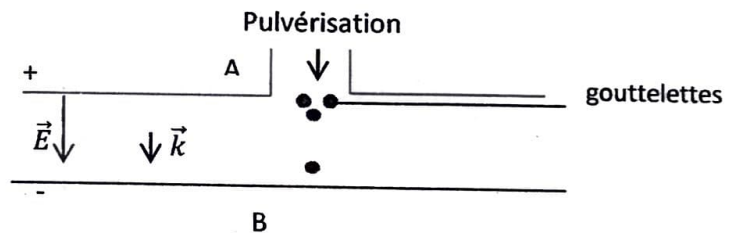


Figure 4

**II-6-1-1-** Faire l'inventaire des forces qui agissent sur une goutte d'huile en présence du champ.

Donner la condition d'équilibre.

**II-6-1-2-** Etablir l'expression de la charge  $q$  d'une gouttelette en fonction de  $\alpha$ ,  $r$ ,  $E$ ,  $v_0$  et  $v_l$ , telle que  $\vec{v}_l = v_l\vec{k}$  est la vitesse limite d'une gouttelette en présence du champ électrique.

**II-6-2-** Pour des gouttelettes de rayon  $r = 1,44.10^{-6} \text{ m}$ , la mesure de la vitesse de chute en l'absence de champ électrique donne  $v_0 = 2,25.10^{-4} \text{ m.s}^{-1}$ ; dans le champ électrostatique d'intensité  $E = 10^5 \text{ V.m}^{-1}$  les vitesses prennent selon les gouttelettes, les valeurs suivantes, exprimées en :

$v_l(\text{m.s}^{-1}) \cdot 10^{-4}$	1,92	1,59	1,27	0,94	0,61	0,29
--------------------------------------	------	------	------	------	------	------

**II-6-2-1-** Quelle est la grandeur physique qui explique la différence des vitesses des gouttelettes ?

**II-6-2-2-** A partir de l'expression de la charge  $q$  obtenue en II-6-1-2-, remplir le tableau ci-dessous. On tiendra compte de la relation  $q = -n.e$  ou  $n$  entier naturel avec  $e = 1,60.10^{-19} \text{ C}$ . conclure.

$v_l$ ( $\text{m.s}^{-1}$ ) $10^{-4}$	1,92	1,59	1,27	0,94	0,61	0,29
$q$						
$n$						

**Partie III : Electrocinétique**

Le courant électrique est dû à un mouvement d'ensemble ordonné de particules chargées soumises à un champ électrique  $\vec{E}$ .

**III-1- Mécanisme de conduction dans les métaux (cas des courants continus)**

Nous allons étudier le mouvement d'ensemble des électrons libres dans un bloc métallique cylindrique relié à un générateur qui crée un champ électrique uniforme  $\vec{E}$  à l'intérieur du métal.

Le bloc métallique contient  $p$  électrons libres par  $m^3$  et a pour section  $s$ . L'intensité du courant qui le traverse est  $I$ .

Les électrons libres progressent à la vitesse moyenne  $V$ .

**III-1-1-** Exprimer le nombre  $N$  d'électrons libres contenus dans une portion du fil de longueur  $l$  en fonction de  $p$ ,  $l$  et  $s$ . En déduire l'expression de la charge  $q$  mobile dans ce bloc métallique.

**III-1-2-** Faire le schéma du bloc métallique relié à un générateur de tension continue. Montrer une vue intérieure du bloc métallique en indiquant par des flèches le champ électrique et le mouvement d'ensemble des électrons. Les électrons seront représentés par des points. Comparer le sens du mouvement des électrons avec le sens conventionnel du courant électrique.

**III-1-3-** Exprimer en fonction de  $l$  et  $V$ , la durée  $t$  mise par ces  $N$  électrons libres pour parcourir le bloc.

**III-1-4-** Montrer que l'intensité du courant peut s'écrire :  $I = p e s V$

**III-1-5-** Dans son mouvement, sous l'effet du champ électrique  $\vec{E}$ , l'électron est soumis à une force de frottement  $\vec{f} = -m_e \lambda \vec{v}$  avec  $m_e$  = masse de l'électron et  $\lambda$  constante positive.

**III-1-5-1-** Déduire de l'expression de la force de frottement l'unité de la constante  $\lambda$  en SI.

**III-1-5-2-** La vitesse limite  $V$  est atteinte par l'électron au bout d'un court intervalle de temps ; en appliquant

le principe de l'inertie à l'électron soumis au champ électrique  $\vec{E}$  créé par le générateur et à  $\vec{f}$ , établir que

$$\vec{V} = -\frac{e}{m_e \lambda} \vec{E} = -k \vec{E} \text{ avec } k = \frac{e}{m_e \lambda}.$$

**III-1-5-3-** Des questions III-1-4 et III-1-5-2 déduire l'expression de l'intensité  $I$  du courant en fonction de  $e$ ,  $m_e$ ,  $\lambda$ ,  $p$  et  $s$ .

**III-1-6-** On note  $V_A - V_B$  la différence de potentiel entre deux points A et B du bloc métallique. Ces points sont reliés respectivement aux pôles positif et négatif du générateur. Exprimer l'intensité  $E$  du champ électrique en fonction de  $V_A - V_B$  et  $l$ .

**III-1-7-** Montrer que  $V_A - V_B = K I$  ;  $K$  étant constante dépendant des caractéristiques du circuit et de l'électron. Quelle loi physique traduit cette relation ? Donner l'expression de cette constante  $K$  et son unité.

**III-2- Mécanisme de conduction dans les électrolytes**

**III-2-1-** Rappeler ce qu'on appelle un électrolyte.

**III-2-2-** Un électrolyseur contient une solution de chlorure de sodium (NaCl), dans laquelle on plonge deux électrodes constituées par deux plaques A et B de même surface  $S$  et distantes de  $l$ . Ces électrodes (inattaquables) sont reliées respectivement aux pôles positif et négatif d'un générateur de tension continue par des fils de connexion et on insère dans le circuit un résistor.

**III-2-2-1-** Faire le schéma de ce circuit.

**III-2-2-2-** Préciser le rôle du résistor inséré dans le circuit.

**III-2-2-3-** On ferme le circuit, schématiser le mouvement des ions à l'intérieur de l'électrolyseur.

**III-2-3-** Les ions acquièrent des vitesses moyennes (selon le signe de la charge)  $\vec{V}_{moy}^{\pm} = -k_{\pm} \vec{E}$ , avec  $k_{\pm}$  : mobilité des ions positifs ( $k_{+}$ ) ou négatifs ( $k_{-}$ ).

**III-2-3-1-** Montrer par un schéma sur une section traversée par les ions que l'intensité du courant est :

$I = I^{+} + I^{-}$  ; avec  $I^{+}$  : intensité du courant engendré par le mouvement des ions positifs et  $I^{-}$  : intensité du courant engendré par le mouvement des ions négatifs.

**III-2-3-2-** Etablir la relation :  $I = p e S (k_{+} + k_{-}) \left( \frac{V_A - V_B}{l} \right)$  avec  $p$  : la concentration molaire de la solution,  $l$  : la distance entre les deux électrodes et  $S$  : la surface commune des électrodes.

Application numérique : Calculer  $I$  pour une solution de 0,1M de NaCl. On donne : pour l'ion  $Cl^{-}$ ,

$k_{-} = 8.10^{-8} SI$  ; pour l'ion  $Na^{+}$   $k_{+} = 4,8.10^{-8} SI$ ,  $l = 10 \text{ cm}$ ,  $S = 5 \text{ cm}^2$ , le nombre d'Avogadro  $N = 6,02.10^{23} \text{ mol}^{-1}$ , charge élémentaire  $e = 1,6.10^{-19} \text{ C}$  et  $V_A - V_B = 5 \text{ V}$ .

.../... 7

**III-2-3-3-** On définit la conductivité électrique de l'électrolyte par la relation  $\gamma = pe(k_+ + k_-)$ .

- Calculer la résistivité de la solution de chlorure de sodium avec les données précédentes.

- Expliquer pourquoi la pureté ionique de l'eau se mesure avec un ohmmètre.

### III-3- Electrolyse de l'eau

L'électrolyse de l'eau est utilisée pour préparer du dihydrogène. On utilise une solution aqueuse d'hydroxyde de potassium et des électrodes de nickel.

**III-3-1** Ecrire la demi-équation électronique de réduction à la cathode, sachant que ce sont des molécules d'eau qui subissent la réduction.

**III-3-2-** Ecrire la demi-équation électronique d'oxydation à l'anode, sachant que ce sont les ions hydroxydes  $\text{OH}^-$  qui sont oxydés. En déduire l'équation-bilan de la réaction d'électrolyse de l'eau.

**III-3-3-** Dans les conditions de l'expérience, le volume molaire du dihydrogène est de  $30 \text{ L.mol}^{-1}$ .

Calculer la quantité d'électricité traversant l'électrolyseur pour préparer  $1 \text{ m}^3$  de dihydrogène.

**III-3-4-** La quantité d'énergie chimique  $W$  produite dans l'électrolyseur a pour expression:  $W = Eq$ ,  $E = 1,63 \text{ V}$  est la force électromotrice de l'électrolyseur et  $q$  la quantité d'électricité qui le traverse.

L'énergie électrique nécessaire pour préparer  $1 \text{ m}^3$  de dihydrogène s'élève à  $4,7 \text{ kWh}$ . Calculer le rendement de l'électrolyseur.

## Partie IV : Bilan Energétique dans un circuit électrique

### IV- Energie sous formes thermiques : Effet Joule

#### IV-1- Le fusible

**IV-1-1-** La puissance calorifique  $\mathcal{P}_{cal}$  cédée au milieu ambiant de température  $\theta_a$  constante par un corps de température  $\theta > \theta_a$  est proportionnelle à la surface de contact  $S$  entre le corps et le milieu ambiant et à la différence de température  $\theta - \theta_a$ :  $\mathcal{P}_{cal} = kS(\theta - \theta_a)$ .

**IV-1-1-1-** Déterminer l'unité de la constante  $k$  dans le système international (S.I.).

**IV-1-1-2-** Un fil conducteur cylindrique de résistance  $R$  est parcouru par un courant d'intensité  $I$ . Exprimer la température d'équilibre  $\theta_e$  atteinte par le conducteur en fonction de  $k$ ,  $\theta_a$ ,  $R$ ,  $I$  et  $S$  surface latérale du fil.

**IV-1-2-** La résistance du fil est proportionnelle à sa longueur  $l$  et inversement proportionnelle à sa section  $s$

:  $R = \rho \frac{l}{s}$ ;  $\rho$  est la résistivité du matériau constituant le fil à la température  $\theta_e$  (on néglige la dilatation du fil).

Le fusible est formé d'un fil à plomb; il doit fondre si l'intensité du courant qui le parcourt atteint une valeur maximale  $I_m$  pour un fusible de  $10 \text{ A}$  puis de  $30 \text{ A}$ .

**IV-1-2-1-** Calculer le diamètre du fil de plomb correspondant dans les deux cas. Conclure.

**IV-1-2-2-** Calculer la résistance du fil par unité de longueur.

Données : température de fusion du plomb :  $\theta_f = 327^\circ\text{C}$ ; résistivité du plomb au voisinage de  $\theta_f$  est

$\rho = 4,76 \cdot 10^{-7} \Omega \cdot \text{m}$ ;  $k = 15 \text{ S.I.}$ ; température ambiante :  $\theta_a = 20^\circ\text{C}$

#### IV-2- Effet thermique sur un dispositif électronique

**IV-2-1- Etude d'un afficheur 7 segments d'une calculatrice électronique (Voir Document figures 5).**

##### Fonctionnement de l'afficheur LCD (Liquid Crystal Display ou afficheur à cristaux liquides)

La source d'énergie est ici représentée par l'environnement lumineux. Cette énergie est canalisée à l'intérieur de l'afficheur grâce à un système figé de lames polarisantes (qui ne laisse passer que les ondes polarisées dans la direction caractéristique de la lame) et de miroirs.

En l'absence d'une différence de potentiel, les cristaux liquides vont subir une rotation de polarisation des ondes (de 90° à l'allée et de 90° au retour) ; l'ensemble fonctionne alors comme un miroir. De l'extérieur l'afficheur semble gris et n'affiche rien.

En présence d'une différence de potentiel, et sans qu'il y ait passage d'un courant décelable le cristal liquide est simplement transparent : les deux lames polarisantes piègent alors les ondes lumineuses et une zone sombre apparaît sur l'afficheur (là où se trouvent les conducteurs sollicités électriquement).

Documents

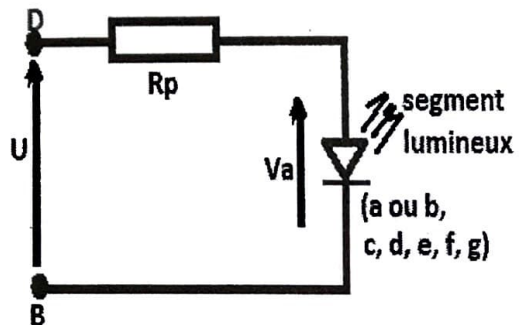


Figure 5a: Alimentation d'un segment :

$V_F = V_a \text{ ou } V_b \dots$

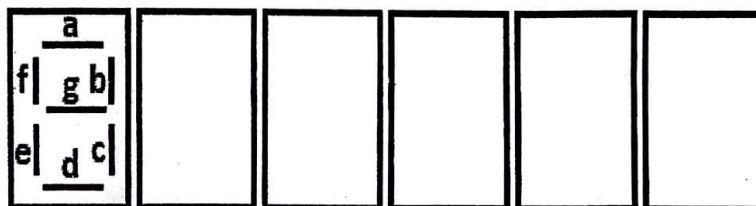


Figure 5b: Afficheur 7 segments HDSP-7513 rouges cathodes communes

$I_F = 2,0 \text{ mA}$  nominal, F signifie FORWARD ou DIRECT,  $V_F = 2,0 \text{ V}$

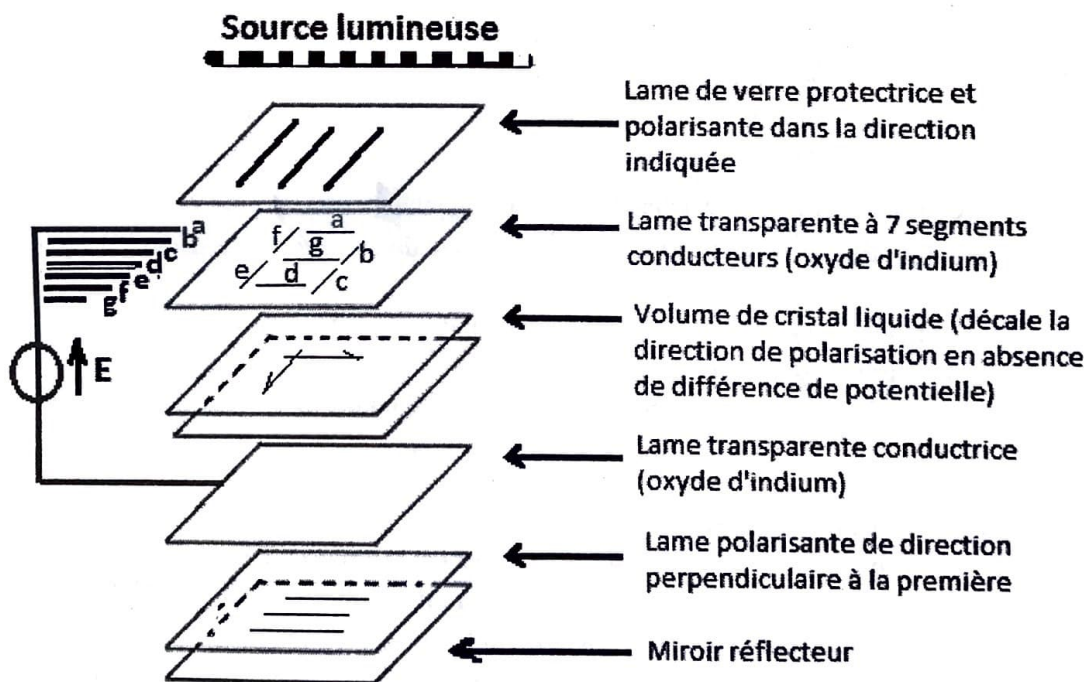


Figure 5c: Afficheur LCD.

Certaines données seront extraites des documents

IV-2-1-1- Calculer la résistance de protection  $R_p$  pour alimenter un segment sous 5 V

IV-2-1-2- Mettre en évidence le bilan de puissance associé à un segment.

IV-2-1-3- Décrire le comportement énergétique de la charge (segment et  $R_p$ )



**IV-2-2-Etude de l'afficheur L.C.D (Pour certaines réponses on s'inspirera du texte)**

**IV-2-2-1- Observer l'écran L.C.D. d'une calculatrice électronique.**

- a) Hors tension (OFF) ; comment apparait l'écran ?
- b) Sous tension (ON) ; de quelle couleur apparaissent les segments ?
- c) Si la calculatrice est placée dans l'obscurité ; que remarque-ton ?

**IV-2-2-2- A l'aide des documents fournis, et en fonction des réponses fournies aux questions précédentes, répondre aux questions suivantes :**

- a) Quelle est la source principale d'énergie?
- b) Quelle est la source secondaire d'énergie ? Est-ce une source de tension ou une source de courant ?
- c) Quel est le rôle de cette source ?
- d) En déduire les chaînes énergétiques associées à un segment du L.C.D., considéré comme parfait :
  - Segment non visible
  - Segment apparent
- e) Y-a-t-il besoin de résistance de protection pour le L.C.D. ?

**V- Générateurs et Récepteurs - Conversion d'énergie**

**V-1-Cellules photovoltaïques**

On considère un ensemble de cellules photovoltaïques formant un capteur du rayonnement solaire dont les caractéristiques ( intensité –tension et puissance – tension) sont données par les figures 6a et 6b.

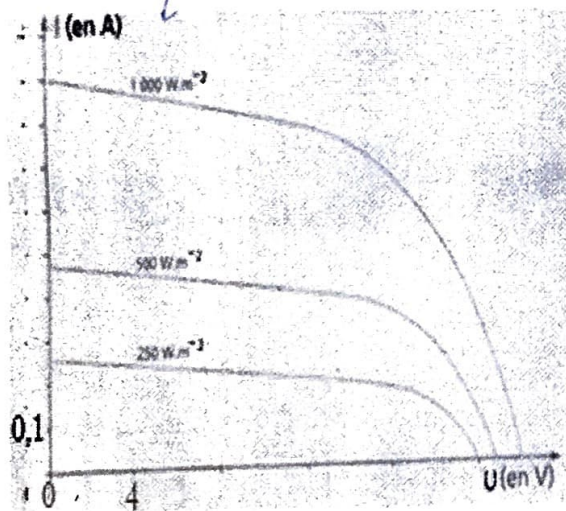


Figure 6a: Caractéristique  $I = f(U)$  pour différentes valeurs de  $\phi$

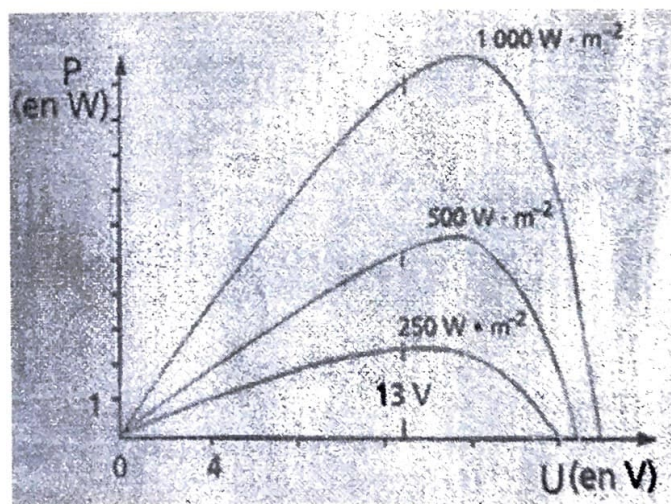


Figure 6b: Caractéristique  $P = g(U)$  pour différentes valeurs de  $\phi$

**V-1-1- Déterminer graphiquement les intensités des courants de court-circuit pour chacune des puissances lumineuses  $\phi$  reçue par  $m^2$  ?**

**V-1-2- Préciser le domaine de tension où le générateur peut être considéré comme étant un générateur linéaire.**

**V-1-3- Représenter le schéma du générateur équivalent au capteur lorsque :  $\phi = 500 W.m^{-2}$  et  $0 < U < 12V$ .**

V-1-4- On branche le capteur sur une batterie à base de nickel-cadmium 12V via une diode de redressement comme indiqué (voir figure 7).

V-1-4-1- Combien d'éléments d'accumulateurs faut-il associer pour obtenir une batterie de tension 12V ?

V-1-4-2- Quelle tension obtient-on à la sortie du capteur, si celui-ci débite ?

V-1-4-3- Préciser le lieu de fonctionnement optimal quand  $\Phi$  varie ?

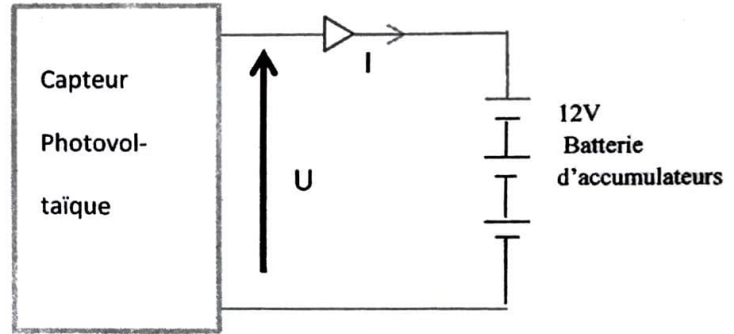


Figure 7 :

Diode de redressement IN4001,  $I_F=1A$ ,  $V_F=1,0V$  et  $V_{RRM}=50V$ . F : pour « FORWARD ou direct » ; RRM : maximale « REVERSE, REPEAT, MAXIMUM ou inverse répétitive ».

Batterie au nickel-cadmium ; caractéristique de chaque élément : capacité (mA.h) 7000, I de décharge max(A) =35,0 et tension nominale d'un élément=1,2V.

Document

Tableau 1 :  $P=1000W.m^{-2}$

U(V)	0	4	8	12	16	20	24
I(A)	0,90	0,86	0,83	0,79	0,67	0,35	0

Tableau 2 :  $P=500W.m^{-2}$

U(V)	0	4	8	12	16	20	22
I(A)	0,47	0,45	0,43	0,40	0,35	0,10	0

Tableau 3 :  $P=250W.m^{-2}$

U(V)	0	4	8	12	16	20	24
I(A)	0,25	0,23	0,21	0,19	0,16	0	0

V-2- Système de pompage – Figure 8.

Description des différents éléments :

- Capteur (ou plaque) : Un capteur est constitué d'un ensemble de cellules photovoltaïques câblées, de manière à obtenir 12V à la sortie de l'association diode-capteur lorsque ce dernier débite du courant. Un capteur a un rendement en puissance de 3,5% ( il s'agit du rapport entre la puissance électrique qu'il fournit et la puissance lumineuse qu'il reçoit ) ; il a une largeur de 30cm et une longueur de 1m.
- Diode de puissance : lorsqu'elle fonctionne, elle a une tension directe de 1V. Diode : composant électronique ne laissant passer le courant électrique (courant idéal) que dans un sens.
- Batterie : il s'agit d'une batterie de plomb de 12V ayant une capacité de 80A.h.
- Sous ensemble moteur-pompe à eau : il s'agit d'une pompe immergée à refoulement, de rendement 77%, capable de fournir 360 litres d'eau à l'heure, une puissance mécanique utile de 30W.



**V-2-1- Système autonome de pompage (1)**

Sur la figure ci-dessous,  $K_1$  est fermé et  $K_2$  est ouvert.

V-2-1-1- Quel est le rôle de la diode de puissance pour un capteur ?

V-2-1-2- Les plaques reçoivent une puissance lumineuse moyenne  $\Phi$  de  $270W.m^{-2}$ . Quelle est la puissance lumineuse reçue par les huit plaques ?

V-2-1-3- Quelle est la valeur de la puissance électrique débitée par les 8 plaques ?

V-2-1-4- Quelle est la valeur de l'intensité du courant débité vers la batterie ?

V-2-1-5- Quel est le mode de fonctionnement de la batterie ?

V-2-1-6- Les plaques reçoivent cette puissance lumineuse (voir I V-2-1-2-) pendant 9 heures au cours de la journée.

a)- Quelle est la quantité d'électricité reçue par la batterie ?

b)- Quelle est la valeur de l'énergie reçue par cette batterie ?

V-2-1-7- Schématiser une chaîne correspondant à ces différents échanges d'énergie.

**V-2-2- Système autonome de pompage (2)**

Sur la figure précédente, on considère que  $K_1$  est ouvert et  $K_2$  fermé.

V-2-2-1- Quel est le mode fonctionnement de la batterie ?

V-2-2-2- Schématiser la chaîne correspondante à ces différents échanges d'énergie.

V-2-2-3- Calculer la puissance reçue par le moteur en marche normale. En déduire l'énergie fournie par la batterie pour pomper l'eau pendant 5 heures.

**V-2-3- Système autonome de pompage (3)**

On étudie l'ensemble du système de la figure précédente

V-2-3-1- A quoi sert la batterie dans ce système ?

V-2-3-2- Montrer que la puissance utile du sous-ensemble moteur-pompe à eau doit satisfaire la relation suivante :

$$P_u \geq \rho \cdot \frac{V}{t} \cdot g \cdot h$$

$\rho$  : masse volumique de l'eau,  $V$ =volume de l'eau élevée de la hauteur  $h$  durant la durée  $t$ .

V-2-3-3- En prenant  $g=10m.s^{-2}$  ( $10N.kg^{-1}$ ) et  $P_u=30W$ , tracer la courbe  $\frac{V}{t}=f(h)$  dans le cas où la relation donnée précédemment devient une égalité.

Que représente  $\frac{V}{t}$  ? Le résultat est-il compatible avec la donnée de débit du texte ?

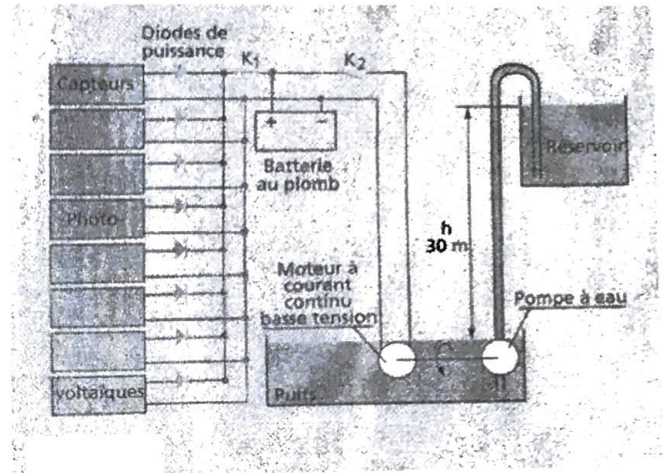


Figure 8 :