

## Etude du mouvement d'une particule chargée en électrodynamique

### [ Study of the movement of a charged particle in electrodynamics ]

**KISOKI MBUNGA Henri**

Professeur associé, Faculté des sciences, Département de physique et des sciences appliquées,  
Université pédagogique nationale (UPN), Kinshasa-Ngaliema, RD Congo

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** In this article we will try to study the motion of a charged particle electro dynamic.

Note that a moving charged particle finds its application in electronics, more precisely in television and the vacuum tube, thus giving rise to the different types of screen currently used to display an image of a transmitted object.

Note that a moving charged particle is subject to two fields: the electric field ( $\vec{E}$ ) and the magnetic field ( $\vec{H}$ ). This article will be the subject of a study in uniform electric field taking into account the physics laboratory reference of the department of physics and applied sciences of the National Pedagogical University. For this purpose, we used for our experiment:

- Two metal plaques ;
- An electron gun having a cathode et anode ;
- A low and high voltage generator ;
- A screen (flat surface for projecting light).

The objective of this study is to establish the different equations of motion of a charged particle in a uniform electric field ( $\vec{E}$ ) in a projection frame ( $O: \vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ ).

To close the study, we will finally consider the electrical bending of a charged particle moving between two plaques having different potentials.

**KEYWORDS:** Electric field, Deflection, Motion, Particles, Screen.

**RESUME:** Dans cet article, nous allons essayer d'étudier le mouvement d'une particule chargée en électrocinétique.

Signalons qu'une particule chargée en mouvement trouve son application en électronique plus précisément dans la télévision et le tube à vide donnant ainsi naissance aux différents types d'écrans utilisés actuellement pour afficher une image d'un objet transmis.

Retenons qu'une particule chargée en mouvement est soumise aux deux champs qui sont : le champ électrique ( $\vec{E}$ ) et le champ magnétique ( $\vec{H}$ )

Cet article fera l'objet d'une étude dans un champ électrique uniforme en tenant compte du référentiel de laboratoire de physique du département de physique et des sciences appliquées de l'université nationale (UPN) RD Congo/Kinshasa-Ngaliema.

A cet effet, nous avons utilisé pour notre expérience :

- Deux plaques métalliques ;
- Un canon à électron ayant une cathode et une anode ;
- Un générateur de Basse et Haute tension ;
- Un écran (surface plane de projection de la lumière).

L'objectif de cette étude est d'établir les différentes équations du mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique ( $\vec{E}$ ) uniforme dans un repère de projection ( $O: \vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ ).

Pour clôturer l'étude, nous allons considérer, enfin, la déflexion électrique d'une particule chargée en mouvement entre deux plaques ayant des potentiels différents.

**MOTS-CLEFS:** écran, champ-électrique, mouvement, particules.

## 1 INTRODUCTION

En électronique, l'étude d'une particule chargée en mouvement dans des champs électriques ou magnétiques uniformes trouve sa place dans de nombreuses applications, à savoir : télévision, oscilloscope, etc.

Dans notre étude, nous allons nous intéresser seulement au mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique ( $\vec{E}$ ) uniforme produit entre deux plaques métalliques, soumises à une tension électrique très élevée avec différents potentiels entre elles.

Le référentiel du laboratoire que nous allons utiliser sera considéré comme galiléen c'est-à-dire il s'appuiera, pour notre expérience, à la deuxième loi de Newton.

L'étude approfondie avec expérience au laboratoire nous permettra d'établir l' (la) :

- Equation de l'accélération d'une particule chargée ayant une certaine masse  $m$  soumise à une force  $F$  ;
- Energie  $n$  nécessaire produite dans un canon à électrons en mettant un accent particulier sur les études énergétiques et du mouvement ;
- Cause de déflexion électrique des électrons avec ses différentes relations de la vitesse et du mouvement à la sortie ou après la sortie du champ électrique ( $\vec{E}$ ).

## 2 METHODES ET MATERIELS

Un travail scientifique digne de son nom, exige une certaine méthodologie pour sa réussite.

Pour notre étude, la méthode utilisée est celle de la modélisation qui constituera à donner un modèle schématique à soumettre aux expériences au cours d'une simulation au laboratoire [1].

Le lieu d'expérience, c'est le laboratoire de physique du Département de physique et des sciences appliquées de l'université nationale (UPN) RD Congo/Kinshasa-Ngaliema.

Pour consolider notre étude, l'expérience contiendra les matériels ci-après :

- Deux plaques métalliques soumises aux potentiels différents à l'anode des générateurs de basse et haute tension;
- Un canon à électron ayant deux électrodes : une cathode et une anode ;
- Un générateur de basse et haute tension ;

Un écran nous permettra à projeter dans un repère ( $O: \vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ ) la lumière produite par le mouvement de particule chargée afin d'en déduire des différents résultats enregistrés.

## 3 PARTICULE CHARGEE DANS UN CHAMP ELECTRIQUE UNIFORME

### 3.1 ACCÉLÉRATION [2]

Prenons une particule chargée de masse  $m$  et de charge électrique  $q$  placée dans un champ électrique  $\vec{E}$

#### Constats :

- la particule chargée est soumise à une force  $\vec{F}$ . D'où, la relation (1) suivante :

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E} \tag{1}$$

- Le poids est négligeable devant la force  $F$  car  $\vec{F} \gg \vec{P}$  ;
- La deuxième loi de Newton, d'après le référentiel du laboratoire considéré comme galiléen, donne la relation (2).

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} \quad (2)$$

Après identification des relations (1) et (2), la relation (3) donne l'accélération  $\vec{a}$  d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme  $\vec{E}$

$$\vec{F} = \frac{q}{m} \cdot \vec{E} \quad (3)$$

Examinons la figure 1 ci-dessous de deux charges (positives et négatives) soumises aux forces  $\vec{F}_1$  et  $\vec{F}_2$ .

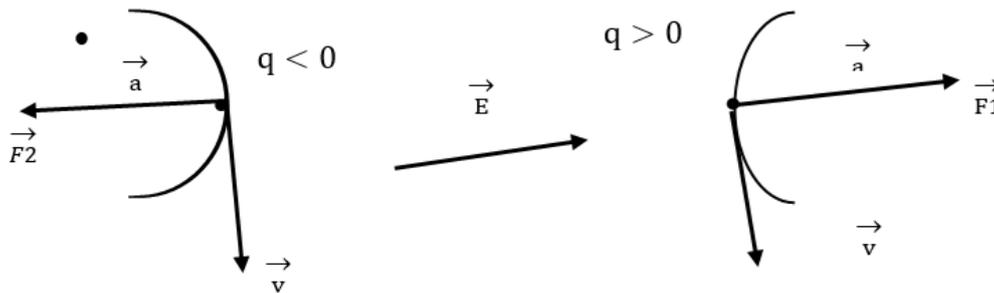


Fig. 1. Deux charges (positives et négatives) soumises aux forces  $\vec{F}_1$  et  $\vec{F}_2$

#### Constats :

- Si  $q > 0$  :  $\vec{a}$ ,  $\vec{F}_1$  et  $\vec{E}$  ont tous même direction et même sens ;
- Si  $q < 0$  :  $\vec{a}$ ,  $\vec{F}_2$  et  $\vec{E}$  ont tous même direction mais de sens opposé à celui de  $\vec{E}$ .

#### 3.2 ENERGIE

Lorsqu'une particule passe d'un point A à un point B d'un champ  $\vec{E}$  uniforme (figure 2), le travail de la force électrique est indépendant du temps [3]. D'où, la relation (4) suivante :

$$W_{AB} = q \cdot \vec{E} \cdot \overline{AB} \quad (4)$$

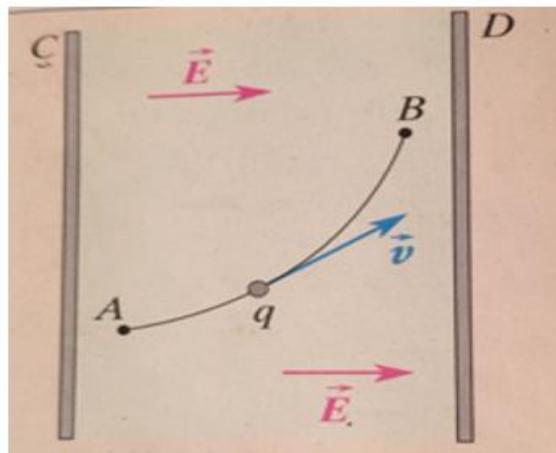


Fig. 2. Passage d'une particule chargée d'un point A à un point B dans un champ  $\vec{E}$  uniforme

A partir de la relation (4), nous voyons que :

$$\left. \begin{aligned} V_A - V_B &= \vec{E} \cdot \overline{AB} \\ q \cdot \vec{E} &= \vec{F} \end{aligned} \right\} (5)$$

En tenant compte du théorème de l'énergie cinétique appliquée à une particule chargée de mass m et des relations (4) et (5), nous écrivons la relation (6) de la manière suivante :

$$\left. \begin{aligned} \Delta T &= W_{AB} = qU_{AB} = q(V_A - V_B) \\ \frac{1}{2} mV_B^2 &= \frac{1}{2} mV_A^2 = qU_{AB} = q(V_A - V_B) \end{aligned} \right\} (6)$$

## 4 CANON A ELECTRONS

### 4.1 SCHÉMATISATION D'UN CANON À ÉLECTRONS

Pour notre expérience au laboratoire, nous allons utiliser un canon à électrons schématisé par la figure 3.

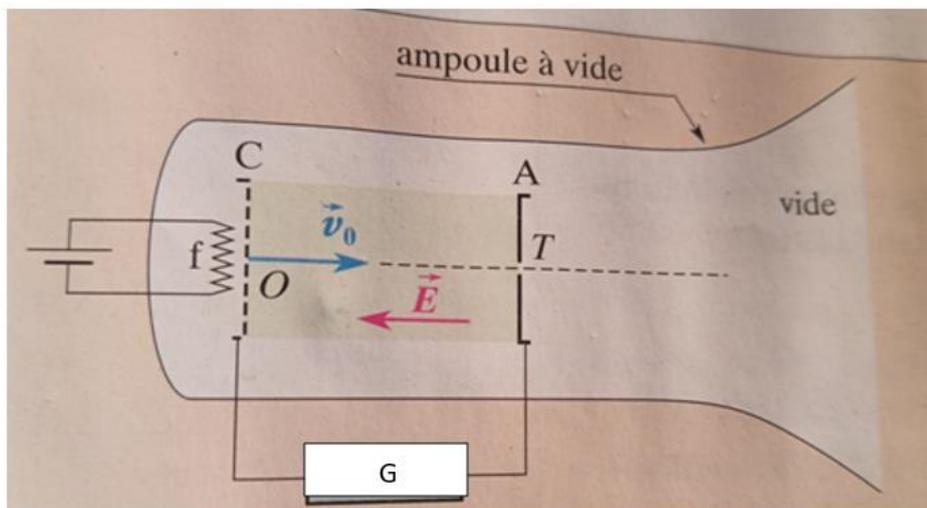


Fig. 3. Schématisation d'un canon à électrons

#### Légende

- C : Cathode ;
- A : Anode ;
- f: filament de chauffage ;
- G : Générateur de tension ;
- T: Ouverture (trou).

Pour notre expérience, relierons A à la borne positive du générateur de tension (G) et c à la borne négative. Retenons que la tension  $V_{AC}$  peut atteindre, par réglage, quelques dizaines de KV entre les plaques parallèles A et C.

### 4.2 ETUDE ÉNERGÉTIQUE

Signalons que le rôle du canon à électrons utilisé est d'accélérer des électrons, de leur communiquer une grande vitesse afin d'accroître leur énergie.

Le théorème de l'énergie cinétique appliquée aux électrons entre A et C et en considérant aussi la relation(6) avec  $q = -e$  ; donne la relation (7) et (8) comme suivent :

$$\Delta T = W_{cA} = -e U_{cA} \tag{7}$$

$V_c$  étant la valeur de la vitesse des  $\bar{e}$  partant de C, ils arrivent sur A à la vitesse  $V_s$  . D'où ;

$$\Delta T = \frac{1}{2}mv_A^2 = \frac{1}{2}mv_C^2 = -e U_{CA} = e U_{AC} \quad (8)$$

Considérant l'égalité de la relation (8), on peut écrire la relation (9) de la manière suivante :

$$\frac{1}{2}mv_A^2 = \frac{1}{2}mv_C^2 + e U_{AC} \quad (9)$$

#### Constats :

- Si  $U_{AC} > 0$  ; le canon à électrons accélère des  $\bar{e}$ ;
- Si les  $\bar{e}$  traversent le trou T avec la même vitesse  $v_A$ , le faisceau est dit homocinétique [4].

#### 4.3 ETUDE DU MOUVEMENT

Considérant le référentiel du laboratoire et en prenant  $q = -e$  (cfr relation3) l'accélération  $\vec{a}$  des électrons s'écrira comme la montre la relation (10)

$$\vec{a} = -\frac{e}{m}\vec{E} \quad (10)$$

Au début de cet article, nous avons signifié que l'expérience se basera dans un repère de projection  $(O: \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$  avec  $\vec{e}$  parallèle et de sens opposé à  $\vec{E}$ . Nous allons écrire.

$$\vec{a} \left\{ \begin{array}{l} \ddot{x} \\ \ddot{y} \\ \ddot{z} \end{array} \right. \quad \text{et} \quad \vec{E} \left\{ \begin{array}{l} E_x = E \\ E_y = 0 \\ E_z = 0 \end{array} \right. \quad (11)$$

Nous voyons que les relations (10) et (11) s'écrivent comme l'indique la relation (12) de la manière suivante ci-après :

$$\vec{a} \left\{ \begin{array}{l} \ddot{x} = \frac{e}{m}E \\ \ddot{y} = 0 \\ \ddot{z} = 0 \end{array} \right. \quad (12)$$

Pour intégration de la relation (12), le mouvement d'un  $\bar{e}$  émis à la date  $t = 0$ , au point O à la vitesse initiale  $v_0$  détermine la vitesse de l'électron. D'où, la relation (13).

$$\vec{v} \left\{ \begin{array}{l} \dot{x} = \frac{e}{m}Et + V_0 \\ \dot{y} = 0 \\ \dot{z} = 0 \end{array} \right. \quad (13)$$

**Constat**

Le mouvement d'un  $\bar{e}$  est donc rectiligne. La vitesse inscrit linéairement, avec le temps : le mouvement est dit uniformément accéléré[5].

**5 DEFLEXION ELECTRIQUE DES ELECTRONS**

**5.1 SCHÉMATISATION DU DISPOSITIF POUR L'EXPÉRIENCE**

Le dispositif de déflexion ou de déviation des  $\bar{e}$  pour notre expérience, est constitué de deux plaques // P et P' horizontales soumises à une tension électrique  $U_{pp} > 0$ (figure 4).

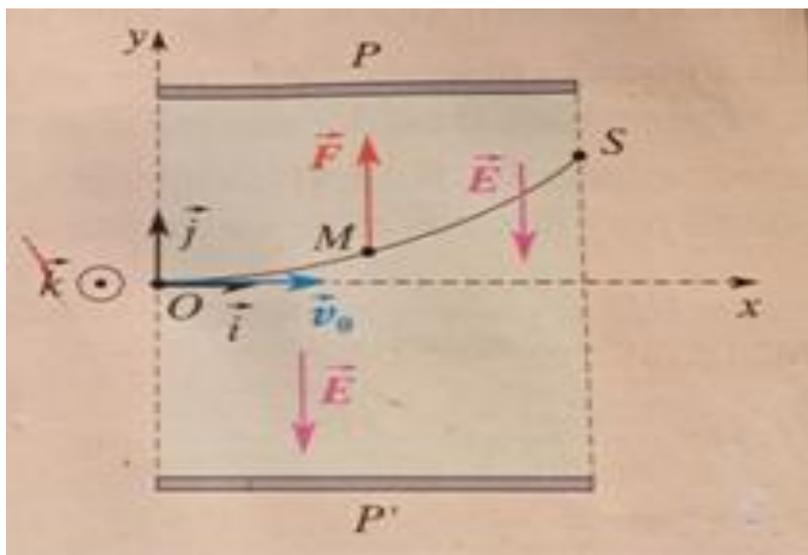


Fig. 4. Schématisation du dispositif de déflexion électrique des  $\bar{e}$  pour notre expérience

**Constats[6] :**

- Les  $\bar{e}$  lancés avec la vitesse  $\vec{v}_0$  acquise à la sortie du canon à électrons arrivent suivant l'axe du dispositif.
- Le champ  $\vec{E}$  est considéré comme nul à l'extérieur des plaques et il est uniforme et indépendant du temps entre celles-ci.

**5.2 ETUDE DU MOUVEMENT**

Rappelons notre référentiel de laboratoire est galiléen et nous utilisons comme repère de projection  $(O: \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ .

La figure (4) montre que  $\vec{E} = -E \vec{j}$  qui est la valeur du champ électrique.

En s'inspirant des relations (11), (12) et (13) (cfr.4.3), nous écrivons les relations (14), (15) et (16) de la manière suivante :

$$\begin{array}{c} \vec{a} \\ \left| \begin{array}{l} \ddot{x} \\ \ddot{y} \\ \ddot{z} \end{array} \right. \end{array} \quad \text{et} \quad \begin{array}{c} \vec{E} \\ \left| \begin{array}{l} E_X = 0 \\ E_Y = -E \\ E_Z = 0 \end{array} \right. \end{array} \quad \left. \vphantom{\begin{array}{c} \vec{a} \\ \left| \begin{array}{l} \ddot{x} \\ \ddot{y} \\ \ddot{z} \end{array} \right. \end{array}} \right\} (14)$$

$$\vec{a} \left\{ \begin{array}{l} \ddot{x} = 0 \\ \ddot{y} = \frac{e}{m} \cdot E \\ \ddot{z} = 0 \end{array} \right. \quad (15)$$

$$\vec{v} \left\{ \begin{array}{l} \dot{x} = v_0 \\ \dot{y} = \frac{e}{m} \cdot Et \\ \dot{z} = 0 \end{array} \right. \quad (16)$$

L'intégration de la relation (16) donne des équations horaires cartésiennes d'une particule chargée en mouvement dans un champ  $\vec{E}$  électrique uniforme. D'où, la relation (17) ci-dessous :

$$\left. \begin{array}{l} x = v_0 t \\ y = \frac{e}{2m} Et^2 \end{array} \right\} \quad (17)$$

### 5.3 DÉFLEXION ÉLECTRIQUE

Le dispositif de la figure 4 était utilisé pour faire dévier le faisceau d' $\vec{e}$  dans un oscilloscope. Cette fois-ci, ajoutons un écran situé à la distance  $L$  de  $o$  afin de reproduire un point lumineux appelé : Spot (figure 5) [7].

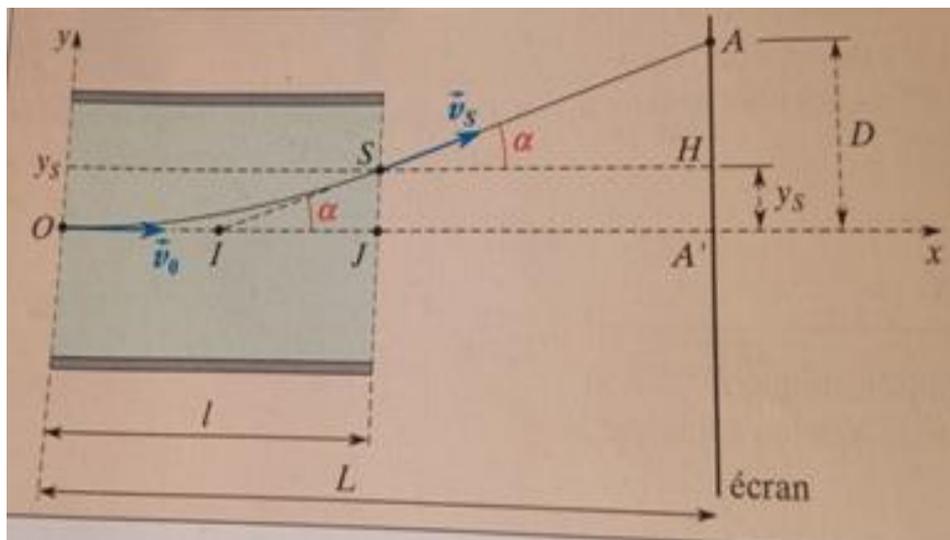


Fig. 5. Écran associé au dispositif de déflexion électrique

#### 5.3.1 VITESSE À LA SORTIE ( $v_s$ ) DE $\vec{E}$

A la sortie des plaques, le point S a pour coordonnées  $x_s$  et  $y_s$  c'est-à-dire  $S(x_s, y_s)$

Posons  $l = v_0 t \Rightarrow t = \frac{l}{v_0}$

En tenant compte de la relation (17) au temps  $t = \frac{l}{v_0}$ , nous aurons la relation (18) ci-après :

$$\left. \begin{aligned} v_s &= l \\ y_s &= \frac{eEl^2}{2mv_0^2} \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

La vitesse ( $v_s$ ) de l'électron à la sortie du  $\vec{E}$  est donnée par la relation (19) suivant les composantes  $ox, oy$  et  $oz$ .

$$\left. \begin{aligned} v_{Sox} &= v_0 \\ v_{Soy} &= \frac{2El}{v_0 \cdot m} \\ v_{Soz} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

**Constat**

En se référant à la fig.5, nous remarquons que  $v_s$  fait un angle  $\alpha$  avec la direction horizontale  $ox$ . C'est la déflexion électrique d'un électron  $\bar{e}$  (particule chargée) en mouvement étudiée dans cet article. Trigonométriquement, l'angle de déviation sera calculé comme nous montre la relation (20).

$$\left. \begin{aligned} tg \alpha &= \frac{v_{Soy}}{v_{Sox}} = \frac{eEl}{mv_0^2} \\ \alpha &= arctg \frac{eEl}{mv_0^2} \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

**5.3.2 INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS**

A la sortie des plaques (cfr. fig. 5), l'électron n'est soumis à aucune force. D'où, son poids est négligeable et il est animé d'un mouvement rectiligne uniforme de vitesse  $v_s$  qui décrit le segment de droite [SA] tangent en S à l'arc de la parabole décrit par l' $\bar{e}$  entre les plaques.

Sur ce, la déviation D est écrite comme :

$$D = A'A = A'H + HA \quad (21)$$

Or  $A'H = v_s = \frac{eEl^2}{2mv_0^2}$  (cfr relation 18) et  $HA = (L - l)tg \alpha$

D'où, la relation (21) devient :

$$D = \frac{eEl^2}{2mv_0^2} + (L - l)tg \alpha \quad (22)$$

En s'inspirant de la relation (20), la relation (22) se mettra comme nous montre la relation (23), après toute transformation mathématique de la manière suivante :

$$D = (L - \frac{l}{2}) \cdot \frac{eEl}{mv_0^2} \quad (23)$$

Etant donné que  $E = \frac{U}{d}$  [8]; la relation (23) donne la relation (24) ci-dessous :

$$D = (L - \frac{l}{2}) \cdot \frac{eUl}{mv_0^2 d} \quad (24)$$

## 6 CONCLUSION

Nous venons de faire l'étude dans cet article, du mouvement d'une particule chargée ( $\vec{e}$ ) dans un champ électrique  $\vec{E}$  uniforme produit entre deux plaques métalliques soumises à une tension électrique très élevée avec différents potentiels entre elles.

L'expérience au laboratoire montre que la déviation  $D$  est proportionnelle à la tension électrique  $U$  appliquée entre les plaques.

Cette étude, trouve sa place dans la télévision et dans les oscilloscopes. Dans une autre publication, nous allons étudier le mouvement d'une particule chargée dans un champ magnétique  $\vec{H}$ .

## REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier personnellement le Chef du Département de physique et des Sciences Appliquées de l'Université Pédagogique Nationale (UPN) RD Congo/Kinshasa, le Professeur ONEMA LABA pour avoir mis à ma disposition le laboratoire pour l'expérience.

Que mes collaborateurs : CT MAFUTA MELE, CT MWAMBA MPOYI et Ass. MULUMBA trouvent dans cet article les sentiments de ma reconnaissance.

## REFERENCES

- [1] KISOKI MBUNGA Henri, "Modélisation et simulation d'un réseau d'interconnexion à fibre optique et ses applications," *International Journal of Innovation and Applied Studies*, vol. 24, no. 4, pp. 1537–1543, November 2018.
- [2] DURANDEAU, J-P., *Collection de Physique*, Hachette Livre 1995, Paris.
- [3] LUYINDULA, M. et al., *exercices de Physique : phénomènes périodique et courant alternatif*, Ed. Centre des Recherches Pédagogiques, Kinshasa 1, 1994
- [4] Jean Noël, *l'essentiel de l'électrocinétique : Cours, exercices et problèmes corrigés*, ellipses.
- [5] FAUCHER, R., *Physique*, Librairie A, Hatier Paris VI.
- [6] AZAN, J.L., *Précis sur l'électronique*, Tome 1, éd. Bréal.
- [7] GRANJON, *Cours sur l'électricité*, Dunod 2015.
- [8] DESSA, A., *Cours de Physique*, De Boeck, Bruxelles, 1980, 5<sup>ème</sup> édition.