

## Etude du comportement des ondes acoustiques émises par des sources omnidirectives et directives

### [ Study of comportment the acoustics waves emetted by omnidirectionnal and directionnal sources ]

*Kisoki Mbunga Henri*

Professeur Associé, Faculté des Sciences, Département de Physique et Sciences Appliquées (DPSA), Université Pédagogique Nationale (UPN), Kinshasa-Ngaliema, RD Congo

Copyright © 2025 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 present the different consequences that can arise in the event of non compliance with the standards for the propagation of acoustics waves in their daily uses namely: sound system in our churches, evangelization campagn, refreshment bar, bistros, publics areas, etc.

The acoustics waves are induced by vibration of mechanical surfaces which propagate to our ears translated by stamps. This is how we see that interactions between a vibrating body and the propagation medium obey the laws based on the existence of two forms of energy (propagated energy and that exchanged between the source and the propagation medium) described in this study.

To better use acoustics waves, we will focus on the radiation impedance and the parameters allowing us to classify the sources of acoustics waves into two groups that we have called: omnidirectionnal and directionnal models.

**KEYWORDS:** acoustic, energy, directionnal, impedance, omnidirectionnal, wave.

**RESUME:** Dans cet article, nous avons présenté les différentes conséquences qui peuvent subvenir en cas de non-respect des normes sur la propagation des ondes acoustiques dans leurs utilisations quotidiennes, à savoir: sonorisation dans nos églises, campagne d'évangélisation, buvette, terrasse, milieux publics, etc. Les ondes acoustiques sont induites par la mise à vibration des surfaces mécaniques qui se propagent jusqu'à nos oreilles traduite par des timbres. C'est ainsi, nous voyons que les interactions entre un corps vibrant et le milieu de propagation obéissent aux lois reposant sur l'existence de deux formes d'énergies (énergie propagée et celle échangée entre la source et le milieu de propagation) décrites dans cette étude. Pour mieux utiliser les ondes acoustiques, nous allons nous intéresser à l'impédance de rayonnement et aux paramètres permettant de classer des sources des ondes acoustiques en deux groupes que nous avons appelés: modèles omnidirectifs et directifs.

**MOTS-CLEFS:** acoustique, énergie, directif, impédance, omnidirectif, ondes.

## 1 INTRODUCTION

Pour caractériser physiquement un son pur, il suffit de préciser quatre paramètres de l'onde, à savoir: l'amplitude, la fréquence, la période et la phase [1].

La propagation des ondes acoustiques obéit aux mêmes lois que celles de la théorie des ondes. Toute perturbation induite dans un milieu élastique est à l'origine d'une déformation locale qui se déplace avec une célérité qui ne dépend que des propriétés physiques du milieu considéré [2].

La plupart des ondes acoustiques sont induites par la mise en vibration des surfaces mécaniques. C'est ainsi nous disons que les interactions entre un corps vibrant et le milieu de propagation obéissent à des lois d'une grande complexité reposant sur l'existence de deux formes d'énergies suivantes: énergie propagée celle échangée entre la source et le milieu de propagation [3].

Retenons que l'énergie propagée est celle qui s'éloigne de la source tant que l'onde ne rencontre pas un obstacle ou lorsqu'il n'y a pas changement d'impédances du milieu. Elle correspond à la partie réelle de l'impédance de rayonnement. Tandis que l'énergie échangée entre la source et le milieu de propagation correspond à la partie imaginaire de l'impédance du rayonnement.

Signalons que dans cet article l'accent, sera mis sur l'impédance de rayonnement car c'est une grandeur qui nous permettra à caractériser le mieux les quantités d'énergie mises en jeu lors de la propagation des ondes acoustiques.

Ces énergies seront étudiées suivant les modèles des sources omnidirectives et directives.

## 2 METHODES ET MATERIELS

Tout travail scientifique doit avoir une certaine méthode et technique pour son élaboration et aussi des matériels adéquats pour l'expérimentation. C'est ainsi, dans cet article, nous avons jugé utile d'utiliser la méthode analytique qui nous a permis à analyser les différentes sources de rayonnement des ondes acoustiques, à partir de certaines relations nous conduisant à la simulation en s'appuyant sur les documents publiés par d'autres chercheurs. Dans les sciences exactes, les matériels utilisés sont souvent des logiciels pour des études à l'échelle microscopique au laboratoire [4]. Pour notre cas, nous avons fait le choix sur l'encarta math et le Matlab.

## 3 RAYONNEMENT DES SOURCES OMNIDIRECTIVES

Les ondes acoustiques sont émises dans un milieu possédant une impédance. La propagation des ondes acoustiques dans n'importe quel milieu possède une énergie. L'impédance du milieu influence la propagation des ondes acoustiques et son énergie peut être nuisible à l'oreille d'un auditeur lorsque les valeurs admissibles sont dépassées.

Dans ce paragraphe, nous allons mettre à la disposition d'installateurs des matériels de sonorisation des relations mathématiques très simples et souples à utiliser afin de rester dans les normes de la propagation des ondes acoustiques dans un milieu quelconque. Pour se faire, l'accent est mis sur l'impédance de rayonnement et aussi la puissance rayonnée par une source sonore.

### 3.1 IMPEDANCE DE RAYONNEMENT D'UNE SPHERE PULSANTE.

Nous allons considérer ici la source sphérique pulsante où chaque élément de surface  $ds$  exerce sur le fluide une force  $df_o$  (fig. 1)

Dans le cas de la membrane vibrant à l'extrémité d'un tube de section constante [5], pour la sphère pulsante vibrant avec une vitesse efficace  $va$ , l'impédance de rayonnement  $Z_R$  est définie comme l'indique la relation (1) suivante:

$$Z_R = 4\pi \int \frac{df_o}{v_a} = 4\pi a^2 Z_s(a) \quad (1)$$

Avec:  $Z_s(a)$  la valeur de l'impédance acoustique spécifique de l'onde sphérique en  $r = a$

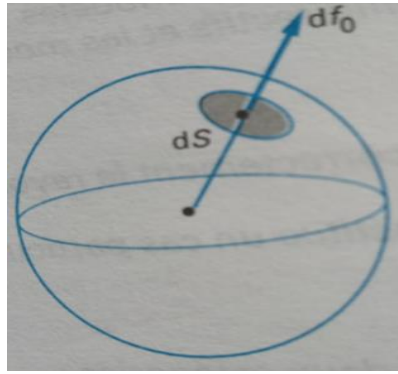


Fig. 1. Représentation de la sphère pulsante comme source de rayonnement omnidirective

Connaissant que:

$$Z_S(r) = \rho_0 C \left( \frac{k^2 r^2}{1+k^2 r^2} + j \frac{kr}{1+k^2 r^2} \right) \quad (2)$$

D'où la relation (1) s'écrira comme:

$$Z_R(a) = 4\pi a^2 \rho_0 C \left( \frac{k^2 a^2}{1+k^2 a^2} + j \frac{ka}{1+k^2 a^2} \right) \quad (3)$$

En définissant la résistance acoustique spécifique réduite ( $R_{asr}$ ) par:

$$R_{asr} = \frac{k^2 a^2}{1+k^2 a^2} \quad (4)$$

D'où la résistance de rayonnement de la sphère pulsante ( $R_{rs}$ ) sera donnée par la relation (5) :

$$R_{rs} = 4\pi a^2 \rho_0 C R_{asr} \quad (5)$$

En appliquant le principe de l'électrodynamique [6], la puissance rayonnée par la résistance de rayonnement de la sphère pulsante sera calculée par la relation (6) ci-après:

$$P_r = 4\pi a^2 \rho_0 C R_{asr} v_a^2 \quad (6)$$

### 3.2 PUISSANCE RAYONNEE PAR LA SPHERE PULSANTE

D'une façon générale, la puissance rayonnée par une sphère pulsante ( $P_s$ ) peut être également définie comme celle traversant une surface sphérique quelconque de rayon  $r > a$ .

L'intensité, par définition, étant le flux d'énergie traversant une unité de surface pendant l'unité de temps [7], la puissance rayonnée par une sphère pulsante est donnée comme le montre la relation (7).

$$P_s = 4\pi r^2 I(r) \quad (7)$$

La relation (8) indique la puissance rayonnée par une sphère pulsante de rayon unité.

$$P_s = 4\pi r^2 I(1) \quad (8)$$

En considérant la relation (6), qui est celle de la puissance rayonnée par une résistance de rayonnement, en admettant que la longueur d'ondes est très grande devant le rayon de la sphère, nous aurons la relation (9).

$$P_r = 4\pi a^2 \rho_0 C v_a^2 k^2 a^2 \quad (9)$$

En prenant  $v_{max}$  mme l'amplitude vibratoire maximale de l'onde, la relation (9) devient:

$$P_r = 4\pi a^2 \rho_0 C v_{\max}^2 k^2 a^2 \quad (10)$$

En considérant l'hypothèse où, à 1 m d'une source omnidirective, les conditions de champ lointain sont respectées, alors la source dans ce cas pourra être assimilée à un monopole de débit  $q$  induisant une pression d'amplitude ( $p_m$ ) à 1 m

D'où la relation (11) suivante:

$$p_m(1) = \frac{\rho_0 C}{4\pi} k q_a = \frac{1}{2} \rho_0 f q_a \quad (11)$$

C'est ainsi que la puissance rayonnée par ce monopole ( $P_m$ ) sera calculée par la relation (12)

$$P_m = \frac{\rho_0^2}{8\pi} k^2 q_a^2 \quad (12)$$

## 4 RAYONNEMENT DES SOURCES DIRECTIVES

### 4.1 NOTIONS RELATIVES AU FACTEUR DE DIRECTIVITE D'UNE SOURCE À SYMETRIE DE REVOLUTION

Nous devons retenir que l'énergie rayonnée par des corps vibrants provoque le rayonnement des ondes acoustiques. Elle n'est pas émise de façon uniforme dans toutes les directions. En dehors du cas de la sphère pulsante (cfr 3.1), tous les émetteurs acoustiques rayonnent suivant une loi  $H(\theta, \varphi)$  qui varie avec une fréquence (figure 2).

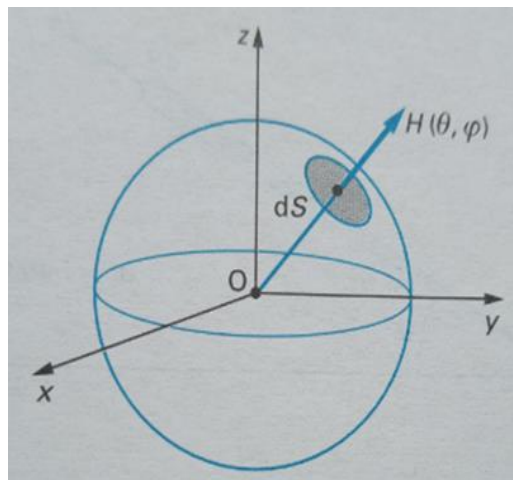


Fig. 2. Fonction de directivité d'une source  $H(\theta)$

En considérant une fonction  $H(\theta)$  définissant la directivité de l'émetteur dépendant de l'angle que fait la direction d'émission avec l'axe de référence et aussi de la puissance d'une source directive, on peut alors définir un rapport appelé: facteur de directivité  $Q$ .

$$Q = \frac{P_{ax}^2(r)}{P_{sph}^2(r)} = \frac{P_{ax}^2(1)}{P_{sph}^2(1)} \quad (13)$$

Les figures 3 et 4 montrent respectivement une puissance émise par une source dans un angle solide élémentaire  $d\Omega$  et de surface élémentaire d'intégration  $ds$  d'une fonction de directivité.

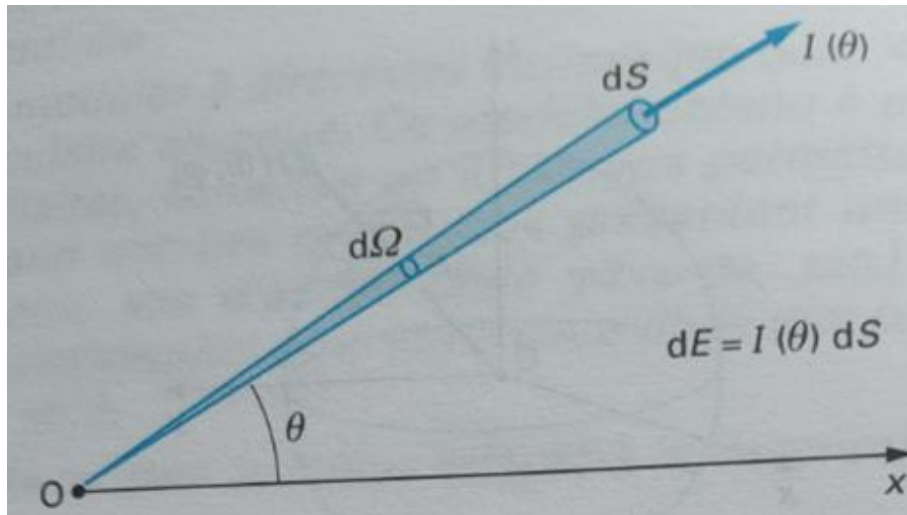


Fig. 3. Puissance émise par une source dans un angle solide élémentaire  $d\Omega$

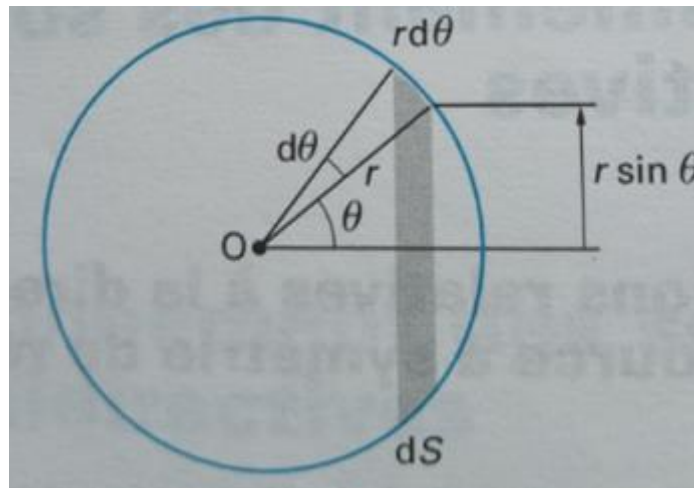


Fig. 4. Surface élémentaire  $dS$  d'une fonction de directivité

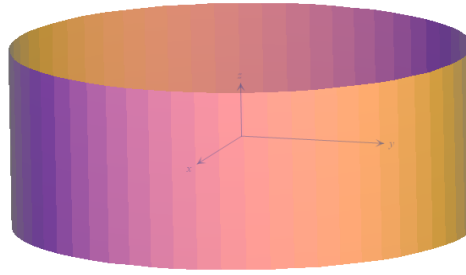
Avec le principe de la trigonométrie sphérique, une surface élémentaire d'après la figure 4 s'écrira comme le montre la relation (14)

$$dS = 2\pi r^2 \sin \theta d\theta \tag{14}$$

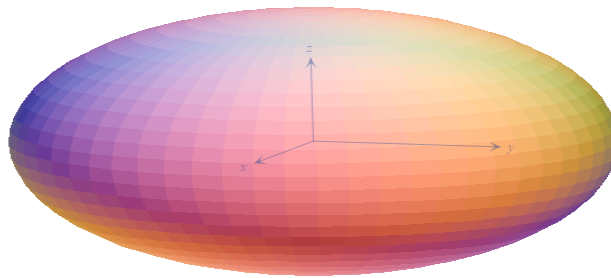
A partir de la relation (14), nous pouvons calculer la surface de rayonnement des ondes acoustiques en tenant compte de l'angle que fait la direction d'émission avec l'axe de référence. D'où, la relation (15)

$$S_{2\pi r} = 2\pi r^2 \int \sin \theta d\theta \tag{15}$$

Les figures 5 et 6 montrent que les surfaces de rayonnement des ondes sonores en 3 D en coordonnées cylindriques et sphériques dépendent de l'angle que fait la source sonore avec l'axe de référence.

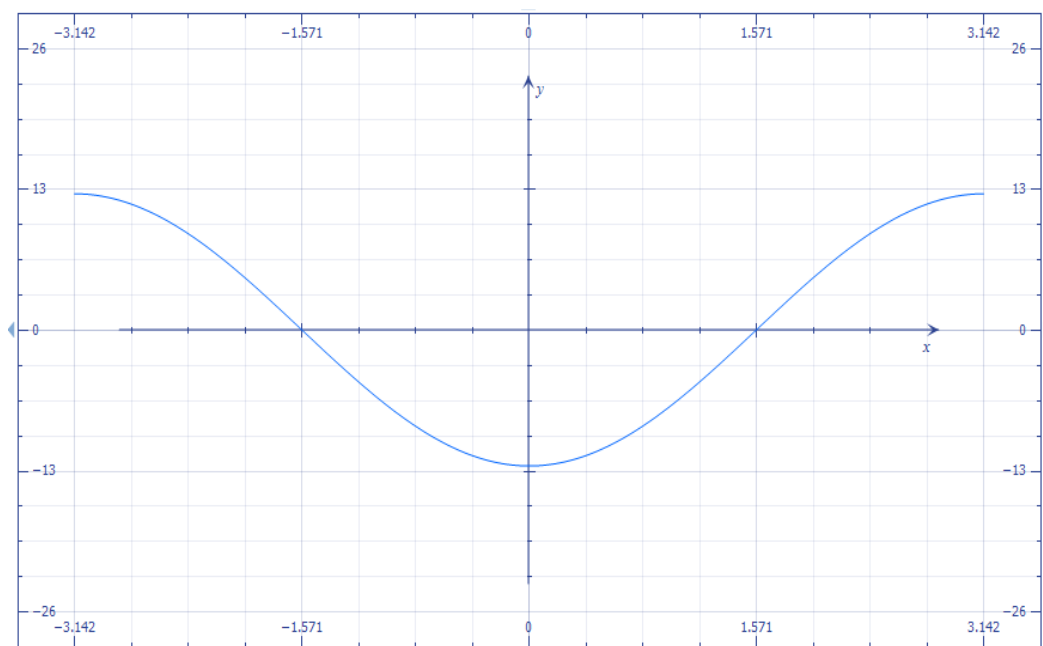


**Fig. 5.** Surface de rayonnement d'une source sonore en 3D en coordonnées cylindriques



**Fig. 6.** Surface de rayonnement d'une source sonore en 3D en coordonnées sphériques

La variation de l'impédance de rayonnement dans un milieu à 2D d'une source des ondes acoustiques est montrée par la figure 7 ci-dessous.



**Fig. 7.** Variation de l'impédance de rayonnement dans un milieu à 2D d'une source des ondes acoustiques

#### 4.2 DIRECTIVITÉ DE PLUSIEURS MONOPÔLES

Comme nous avons évoqué au début de cette publication, nous n'allons pas se perdre par des formules très complexes.

Cette publication d'adresse particulièrement aux installateurs des sources sonores au profit des églises, campagne d'évangélisation, terrasse, buvette, milieux publics, etc pour leur sonorisation. C'est ainsi, nous signalons que la directivité de plusieurs monopoles peut s'obtenir par association de:

- Deux monopoles synchrones;
- Deux monopoles en opposition de phase;
- Monopoles synchrones alignés et équidistants.

#### 4.3 SOURCES DIRECTIVES

Nous avons vu que tout corps vibrant rayonne une fraction de son énergie dans l'espace environnant, par exemple à l'intérieur d'une église, d'une terrasse, d'un bar etc. où les ondes acoustiques doivent avoir un sens physique afin d'éviter d'effets psychologiques gênants et nuisibles au niveau des timbres d'un auditeur.

Ce rayonnement ne s'effectue pas avec une répartition énergétique uniforme dans toutes les directions bien que le milieu de propagation soit pour la plupart de cas homogène et isotrope [8].

Dans cette publication, nous allons donner aux installateurs des sources de rayonnement des ondes acoustiques deux approches à considérer lors de la mise en place des enceintes acoustiques, à savoir:

- Cas du piston plan encastré
  - Cas d'une électroacoustique
1. Dans le cas du piston plan encastré, l'installateur doit tenir compte des caractéristiques fondamentales suivantes:

- Fonction de directivité à pression  $h(\theta)$

Elle sera calculée par la relation (16) suivante:

$$h(\theta) = \frac{2J_1(ka \sin[\theta])}{ka \sin \theta} \quad (16)$$

- Résistance acoustique spécifique réduite  $R_{sr}$

$$R_{sr} = 1 - \frac{J_1(2ka)}{ka} \quad (17)$$

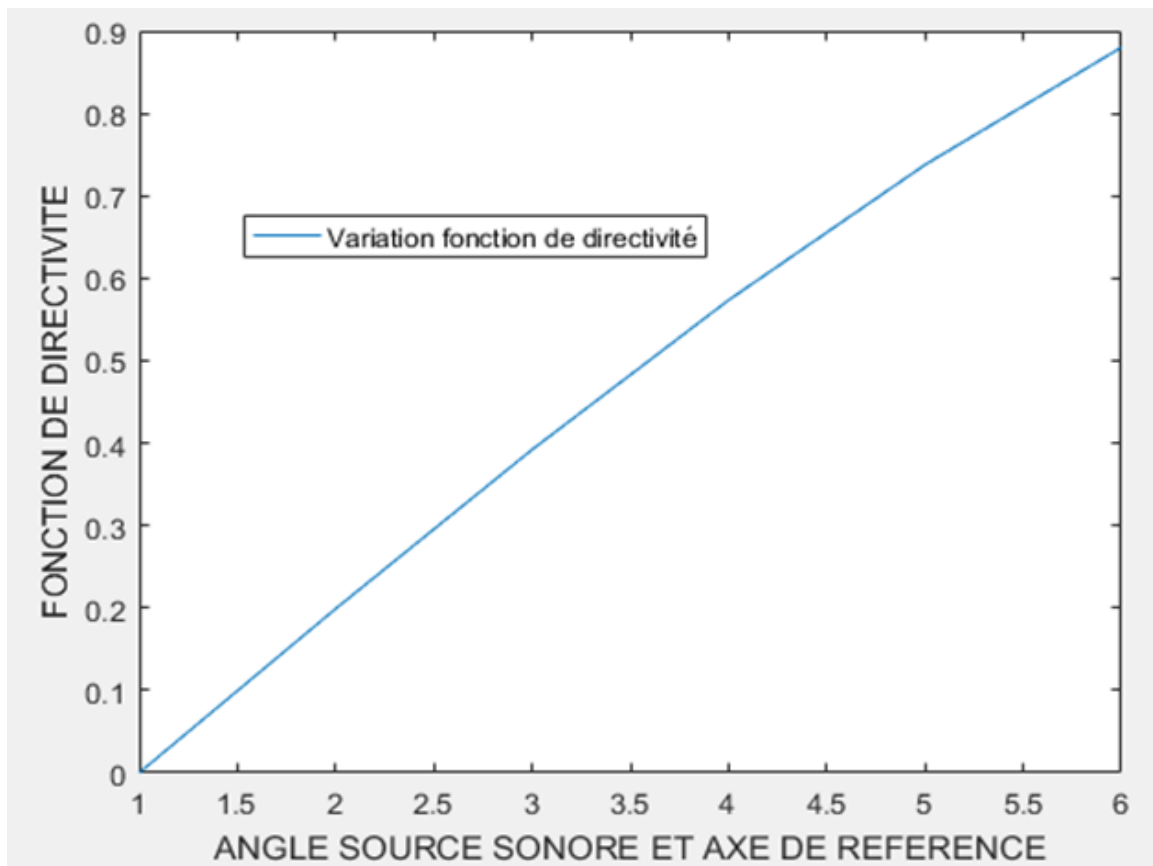
- Facteur de directivité  $Q$

$$Q = \frac{k^2 a^2}{R_{sr}} \quad (18)$$

- Puissance rayonnée

$$P_r = \frac{\pi}{2} a^2 \rho_0 C R_{sr} v_o^2 \quad (19)$$

La figure 8 montre la variation de la fonction de directivité avec l'angle que font la source sonore et l'axe de référence.



**Fig. 8.** Variation de la fonction de directivité avec l'angle que font la source sonore et l'axe de référence

2. Pour le cas d'une source électroacoustique, l'installateur doit faire un bon choix sur le transducteur à utiliser en tenant compte des éléments ci-dessous:

- Impédance du transducteur;
- Impédance de haut porteur;
- Milieu de propagation des ondes acoustiques;
- Surface de rayonnement des ondes acoustiques.

## 5 INTERPRETATION DES RESULTATS

La relation (1) montre que l'impédance de rayonnement joue un rôle très important dans l'adaptation de l'impédance entre la source des ondes sonores et le milieu de propagation.

La puissance rayonnée tient compte de la résistance de rayonnement de la source et les timbres de l'auditeur et aussi de l'amplitude vibratoire de l'onde. Cela a été demandé par la relation (6). Enfin, les figures 5 et 6 montrent que la surface de rayonnement des ondes sonores, quelles que soient les coordonnées dépend de l'angle que fait la source sonore avec l'axe de référence.

## 6 CONCLUSION

Dans cet article, nous venons d'étudier les différents paramètres entrant en jeu dans la propagation des ondes acoustiques afin d'éviter les effets psychologiques gênants et nuisibles au niveau des timbres de l'auditeur. Pour cela, l'installateur des sources sonores doit tenir compte de l'impédance de rayonnement de la source, de l'énergie rayonnée par la source et aussi du milieu de transport ou de propagation des ondes acoustiques. A la fin de la publication, un conseil a été donné aux installateurs des sources de sonorisation, dans l'exercice de leur métier, à tenir compte des éléments suivants:



Impédance des transducteurs d'entrée (microphone) et de sortie (haut-parleur), de milieu de propagation et de la surface de rayonnement des ondes acoustiques.

#### **REMERCIEMENTS**

Je tiens à remercier le chef du Département de physique et Sciences Appliquées de l'Université Pédagogique Nationale (UPN) Kinshasa/Binza, RD Congo, le Professeur ONEMA LAMA pour l'autorisation à pouvoir mener des recherches au laboratoire du Département sous sa Direction.

#### **REFERENCES**

- [1] Avain, P., Perception de l'intensité, de la hauteur et du timbre des sons, Vol TEB1, ne E5 5120, 2011, Paris.
- [2] Jouhaneau, J., *Propagation des ondes acoustiques*, Vol TEB1, ne TE 5130, chaîne d'acoustique au conservatoire des arts et métiers, 2018, Paris.
- [3] Kisoki, H., *Traitement du Signal*, Editions Universitaires Européennes (EUE), 2023, United Kingdom.
- [4] Kisoki, H., Optimisation de la numérisation dans la gestion du système des Fréquences radioélectriques dans la Ville Province de Kinshasa, ISSN 2028-9324 Vol.41, ne 3 janvier 2024, pp, 758-764, Innovante Space of Scientific Research Journals.
- [5] Jouhaneau, J., *propagation des ondes acoustiques*, Vol TEB1, 5130, chaîne d'acoustique au conservatoire des arts et métiers, 2018, Paris.
- [6] Kisoki, H., *Etude de mouvement d'une particule chargée en électrodynamique*, ISSN 2028-9324 Vol.40; N°3 septembre 2023, pp 1007-1015, Innovante Space of Scientific Research Journals.
- [7] Rossi, M., *Electroacoustique*, Presses Polytechniques romandes 1986.
- [8] Yvon, G., *la fonction visuelle*, Vol TEB1 n° te 5175, 2011, Paris.