

FACULTE DES SCIENCES

DEPARTEMENT DE PHYSIQUE

MEMOIRE

Présenté pour obtenir le diplôme de

MAGISTER EN PHYSIQUE

Option : physique des polymères

Par

MIDOUD NOURIA

**CONTRIBUTION A L'ETUDE THEORIQUE
DE L'EFFICACITE DU BLINDAGE
ELECTROMAGNETIQUE EN CHAMP PROCHE
CAS DES POLYMERES CONDUCTEURS
COMPOSITES**

Soutenu, publiquement en janvier 2011, devant le Jury d'examen composé de :

PRESIDENT

Mustapha. BENMOUNA, Professeur à l'université de Tlemcen

EXAMINATEURS

Amina. NEGADI, Professeur à l'université de Tlemcen

Abd elkader. BERRAYAH, Professeur à l'université de Tlemcen

Mohammed. HAMOUNI, maître de conférences "A" à l'université de Tlemcen

DIRECTEUR DE MEMOIRE

Smain. KHALDI, Professeur à l'université de Tlemcen

REMERCIEMENT

Ce travail a été réalisé au laboratoire de recherche sur les Macromolécules sous la direction de messieurs Smaïn Khaldi et Mohammed Hamouni, respectivement professeur et maître de conférences à l'université Abou Bakr Belkaid de Tlemcen. Qu'ils trouvent ici ma profonde gratitude pour leurs fructueuses orientations, leurs conseils et encouragement continus et, le temps qu'ils m'ont consacré durant la réalisation de cette étude.

Je tiens à remercier, vivement, Monsieur le professeur Mustapha Benmouna, directeur du laboratoire de recherche sur les Macromolécules de l'université de Tlemcen, d'avoir bien voulu accepter de présider le jury de ce mémoire.

Monsieur Abdel khader Berayah, professeur à l'université de Tlemcen, a bien voulu examiner ce travail, qu'il trouve ici l'expression de mes vifs remerciements.

Mes remerciements vont également à Mademoiselle Amina Negadi, professeur à l'université de Tlemcen, pour avoir accepté d'examiner le présent travail.

Enfin, que toutes les personnes qui m'ont apporté aide et soutien au cours de la réalisation du présent mémoire soient sincèrement remerciées.

***Au nom de Dieu Le Clément ET Le Miséricordieux
Louange à ALLAH le Tout- Puissant***

*A mes chers parents.
Qui m'ont toujours soutenue.
Avec leurs encouragements et leur Généreuse compréhension.*

*A mon cher mari qui a été très patient avec moi, et qui a fait
beaucoup de sacrifice.*

*A mes deuxièmes parents pour leur soutien.
A mes chers frères, et sœurs.*

*Sans oublier mes très chères petites filles Marwa et Doha
A mes amis (es) particulièrement :*

F. samdani

L. bendiaf

N. beriyah

N. boudjlel

H. Berrouna

A tous ceux qui me sont chers.

TABLE DES MATIERE

INTRODUCTION GENERALE	1
Références bibliographiques	4
<u>CHAPITRE 1 : CONCEPTS FONDAMENTAUX</u>	
1. Introduction.....	5
2. Matériaux composites.....	5
3. Polymères conducteurs composites	5
4. Ondes électromagnétiques.....	6
4. 1. Spectre électromagnétique	8
4.2 .Caractéristique des ondes électromagnétiques.....	9
4.2 .1. Champs proche et lointain	9
4.2 .2. L'impédance des ondes électromagnétiques.....	10
4.2 .3. Diagramme de rayonnement	11
5. Blindage électromagnétique.....	11
5.1 .Matériaux de blindage.....	12
5.2 .Types de blindage	13
5.2 .1. Blindage réel	13
5.2 .2. Blindage en basse fréquence	13
5.2 .3. Blindage magnétique	13
5.2 .4. Blindage d'un champ électrostatique.....	13
6. Efficacité d'un blindage électromagnétique	14
6.1 .Coefficients de transmission	16
6.2 Calcul de l'efficacité de blindage électromagnétique	18
7. Champ proche	22
7.1 Atténuation due à l'absorption.....	23
7.2 Atténuation due à la réflexion.....	24
7.3 Atténuation globale.....	24
Références bibliographiques	25

CHAPITRE 2 : RESULTATS ET DISCUSSIONS

Première partie :

1. Effet de la fréquence de la source de rayonnement sur l'efficacité du blindage

1. 1. Cas de l'aluminium	27
1. 2. Cas du Nylon6 / aluminium	30
1. 3. Cas de Zinc	32
1. 4. Cas du Nylon6 / Zinc	34
1. 5. Cas de Trioxyde de vanadium.....	38
1. 6. Cas du Polyéthylène haute densité / trioxyde de vanadium.....	40
1. 7. Cas du Polyéthylène basse densité / trioxyde de vanadium.....	43

Deuxième partie :

2. Effet de l'épaisseur de l'écran sur l'efficacité du blindage électromagnétique

2.1. Cas de l'aluminium	46
2.2. Cas du Nylon6 / aluminium	48
2.3. Cas de Zinc	51
2.4. Cas du Nylon6 / Zinc	53
2.5. Cas de Trioxyde de vanadium.....	55
2.6. Cas du Polyéthylène haute densité / trioxyde de vanadium.....	57
2.7. Cas du Polyéthylène basse densité / trioxyde de vanadium.....	60

Troisième partie :

3. Effet de la fraction volumique des inclusions conductrices sur l'efficacité du blindage électromagnétique

3.1. Cas du Nylon6 / aluminium	63
3.2. Cas du Nylon6 / Zinc	67
3.3. Cas du Polyéthylène haute densité / trioxyde de vanadium.....	72
3.4. Cas du Polyéthylène basse densité / trioxyde de vanadium.....	76

Quatrième partie :

4. Effet de la distance (source -écran) sur l'efficacité du blindage électromagnétique

4.1. Cas de l'aluminium	81
4.2. Cas du Nylon6 / aluminium	85
4.3. Cas de Zinc	87
4.4. Cas du Nylon6 / Zinc	90
4.5. Cas de Trioxyde de vanadium.....	93
4.6. Cas du Polyéthylène haute densité / trioxyde de vanadium.....	96
4.7. Cas du Polyéthylène basse densité / trioxyde de vanadium.....	99

Références bibliographiques	103
-----------------------------------	-----

Conclusion et perspectives	104
---	------------

Annexe : Propriétés physiques des matériaux utilisés

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Le développement technologique dans les domaines de la télécommunication et de la microélectronique est inévitablement accompagné par des nuisances et des perturbations électromagnétiques. Ceci a poussé les législateurs à être de plus en plus strictes et fermes. La directive européenne sur la compatibilité électromagnétique 89/336/CEE applicable à compter du 1^{er} janvier 1996 et modifiée par la directive 92/31/CEE, s'inscrit dans cette ligne. Elle s'applique à tous les appareils susceptibles de créer des perturbations électromagnétiques ou, dont le fonctionnement peut être affecté par ces perturbations. Pour protéger les différents systèmes et l'environnement de ces rayonnements parasites [1], il est conseillé d'utiliser des blindages électromagnétiques.

Plusieurs normes internationales relatives à la compatibilité électromagnétique s'appliquent à des appareils utilisant des ondes électromagnétiques, pour des applications industrielles et militaires, les exigences minimales en terme d'efficacité de blindage sont respectivement données à 40dB et 80dB [2]. Les techniques de mesure des rayonnements en champ proche et lointain font appel à des appareils actuellement disponibles sur le marché. Toute fois, les procédures recommandées ne se prêtent pas à la mesure des champs électromagnétiques dans la région d'induction [3].les appareils électrique et électronique interagissent avec leur environnement. Ils présentent une certaine sensibilité aux phénomènes qui les concernent [4].

Le blindage est la seule méthode connue qui permette de supprimer les bruits radioélectriques émis directement par les appareils, il est également nécessaire d'introduire des éliminateurs de brouillage dans la ligne d'alimentation des appareils et dans tous les conducteurs qui traversent le blindage [5].

Les matériaux disponibles pour le blindage sont l'Aluminium et le cuivre. Plus les mailles sont fines plus le blindage est efficace [5].Cependant, certains laboratoires, de par le monde, ont prévu des programmes de recherche importants afin d'examiner la possibilité de remplacer ces matériaux classiques

coûteux par des polymères conducteurs composites [6]. Les polymères conducteurs composites sont une nouvelle classe de matériaux avec un large spectre d'application technologiques telles que la mise en œuvre de composants électroniques, des cellules photovoltaïques la protection contre la corrosion, les capteurs de gaz électroniques la protection contre les décharges électrostatiques et le blindage électromagnétique. Les polymères conducteurs composites sont obtenus par l'incorporation d'inclusions conductrices au sein d'une matrice polymère isolante. Ces matériaux présentent à la fois une conductivité électrique élevée, une faible densité et une mise en œuvre relativement aisée. De telles propriétés font que les polymères conducteurs composites présentent un réel intérêt pour les applications dans le domaine de la protection contre les ondes électromagnétiques.

Position de problème

Le présent travail est une contribution à l'étude théorique de l'efficacité du blindage électromagnétique à base de polymères conducteurs composites. Dans ce cadre, nous réalisons une étude comparative entre les blindages obtenus à l'aide de matériaux traditionnels tels que l'aluminium, le zinc, le trioxyde de vanadium et, ceux réalisés par les polymères conducteurs composites renforcés par ces mêmes matériaux à l'instar du nylon6/aluminium, nylon6/zinc, polyéthylène haute densité/trioxyde de vanadium et du polyéthylène basse densité/trioxyde de vanadium. Nous examinerons, respectivement, les effets de la fréquence de la source du rayonnement, de la fraction volumique de renfort, de l'épaisseur de l'écran, et de la distance entre la source de rayonnement et l'écran du blindage sur L'efficacité du blindage électromagnétique dans le cas du champ proche.

Ce mémoire se subdivise en deux grands chapitres :

Dans le premier chapitre, nous présentons quelques concepts fondamentaux que nous utilisons par la suite dans le développement de notre travail. Cette partie est consacrée à la présentation générale des polymères conducteurs composites, les ondes électromagnétiques, le spectre électromagnétique, les

blindages électromagnétiques et le formalisme mathématique dans le cas du champ proche. Ces notions seront utilisées d'une manière directe ou indirecte dans la suite de ce mémoire.

Le second chapitre, constitue notre contribution personnelle à l'étude de ce thème de recherche. Nous présentons les résultats que nous avons obtenus et leurs discussions.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] www.agmat.asso.fr/synteses/protelecN.htm

Didier Padey, les polymères composites conducteurs pour la protection électromagnétique.

[2] T. Legrand, algorithmes génétiques et composites conducteurs, projet fin d'étude, 2005-2006. Département génie informatique et statistique, Ecole d'ingénieurs, LILLE.

[3] www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/radiation/99ehd-dhm_237/index_f.html.

Industrie canada, Radio, Spectre et télécommunication, Gestion du Spectre et télécommunication, (Publication officiels) lignes directrices relative, 11/2008.

[4] M. Grésil , P. parneix , J. L. boulay , Efficacité de blindage par l'insertion d'un écran métallise dans des matériaux composites verre et carbone, DCNS, Lorient.

[5] J. de Mercado, blindage pour l'élimination du brouillage radioélectrique, Industrie canada. CRT-56 le 31 Mars 1979.

[6] M.belabbaci, contribution à l'étude théorique de l'efficacité du blindage électromagnétique en champ lointain cas de polymère conducteur composite, mémoire de magister, Faculté des sciences, université de Tlemcen, Algérie. mai 2008

CHAPITRE 1

CONCEPTS FONDAMENTAUX

1. Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons certains concepts fondamentaux indispensables à la compréhension et à l'interprétation des résultats obtenus. A cet effet, nous rappelons certains concepts scientifiques relatifs aux matériaux composites, aux polymères conducteurs composites, aux ondes électromagnétiques, au spectre électromagnétique, et aux blindages électromagnétiques.

2. Matériaux composites

En général, un matériau composite est constitué d'une ou plusieurs phases discontinues réparties dans une phase continue. La phase continue est appelée la matrice. La phase discontinue est appelée le renfort ou matériau renforçant [1].

Suivant les caractéristiques de la matrice et des renforts, on distingue généralement deux grandes familles de matériaux composites [2].

Les composites à grande diffusion.

Les composites à haute performance.

Les composites à grande diffusion, sont des plastiques armés ou des plastiques renforcés. Les principaux constituants de base sont les résines polyesters (95 % des résines thermodurcissables) avec des fibres de verre [2].

Les composites à haute performance sont principalement utilisés dans l'aéronautique, leurs propriétés mécaniques, leur résistance mécanique et leur rigidité, sont largement supérieures à celles des métaux [2].

3. polymères conducteurs composites

Les polymères conducteurs composites sont des matériaux hétérogènes élaborés en associant un ou plusieurs polymères à une ou plusieurs charges pour obtenir des fonctions spécifiques. Cependant ces polymères conducteurs sont des matériaux sensibles, adaptifs et évolutifs.

Ces matériaux sont capables de modifier spontanément leurs propriétés physiques (forme, conductivité, viscosité) à des excitations naturelles ou provoquées venant de l'extérieur ou l'intérieur du matériau (variation de la température, contrainte mécanique, champ électrique ou magnétique).

La sensibilité des polymères conducteurs composites vis-à-vis de leur environnement permet de les utiliser pour des applications en électronique (détecteurs de vapeur, capteur de température, thermistance à effet de champ) et en électricité (éléments chauffants, écrantage électrostatique et électromagnétique). Ainsi leur conductivité électrique dépend de la concentration et de la nature de particules de renfort.

4. Onde électromagnétique

L'onde électromagnétique est définie par oscillation couplée du champ électrique et du champ magnétique, modèle du dipôle vibrant (le trièdre $(\vec{K}, \vec{E}, \vec{H})$ doit être direct).

Les variations des champs électrique et magnétique sont liées par les équations de Maxwell, on peut donc représenter l'onde par un seul de ces champs, en général le champ électrique.

La distribution spatio-temporelle du champ électrique d'une onde monochromatique plane est donnée par :

$$\vec{E}(\vec{r}, t) = \vec{E}_0 \cos(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r} + \phi) \quad (1)$$

ω : Pulsation et vaut $\frac{2\pi c}{\lambda}$

\vec{r} : Vecteur position du point considéré

\vec{k} : Vecteur d'onde dont la norme vaut $\frac{2\pi}{\lambda}$, λ étant la longueur d'onde

ϕ : Phase à l'origine

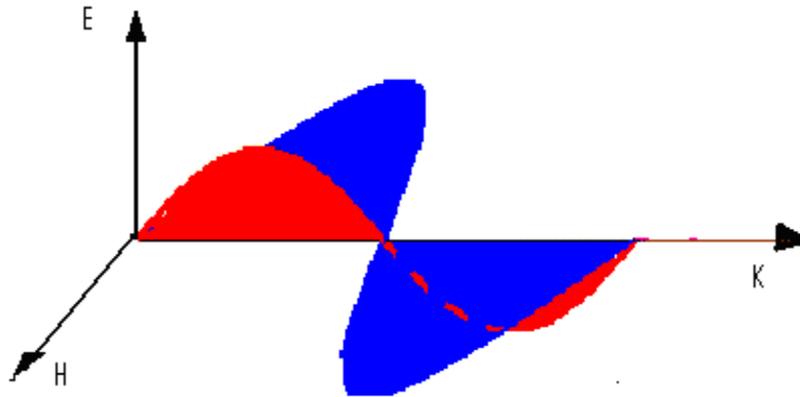


Figure1: Onde électromagnétique.

La vitesse de propagation ou la célérité d'une onde électromagnétique dans un milieu de perméabilité μ et de permittivité ε est donnée par:

$$c = \sqrt{\frac{1}{\varepsilon\mu}} \quad (2)$$

Dans le vide, cette vitesse vaut:

$$c = \sqrt{\frac{1}{8.854 \cdot 10^{-12} \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}}} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m / s}$$

En fait, la longueur d'onde et la fréquence d'une onde sont liées car leur produit correspond à la vitesse de propagation c dans un milieu donné. Ceci est valable pour toute onde :

$$c = \lambda \cdot f$$

Et

$$E = f \cdot h$$

f : Fréquence de l'onde électromagnétique.

h : Constante de Planck ($6.626 \cdot 10^{-34} \text{ j.s}$)

A haute fréquence, la longueur d'onde devient courte et l'énergie d'un photon est élevée.

4. 1. Spectre électromagnétique

Le spectre électromagnétique, est la décomposition du rayonnement électromagnétique selon ses différentes composantes en termes de fréquence, de l'énergie des photons, ou encore de la longueur d'onde associée.

A l'un des deux bouts du spectre, les rayons gamma sont les ondes à la fréquence la plus élevée donc à l'énergie la plus haute. Ils sont utilisés dans l'industrie pour rechercher des failles dans les métaux. Si on se déplace dans le spectre, la fréquence et l'énergie décroissent. Les rayons X ont encore suffisamment d'énergie pour produire les images médicales que l'on connaît. On trouve ensuite les rayons ultraviolets, la lumière visible, les infrarouges et enfin les ondes radio. Seules ces dernières sont utilisées pour l'émission/réception d'information (figure 2).

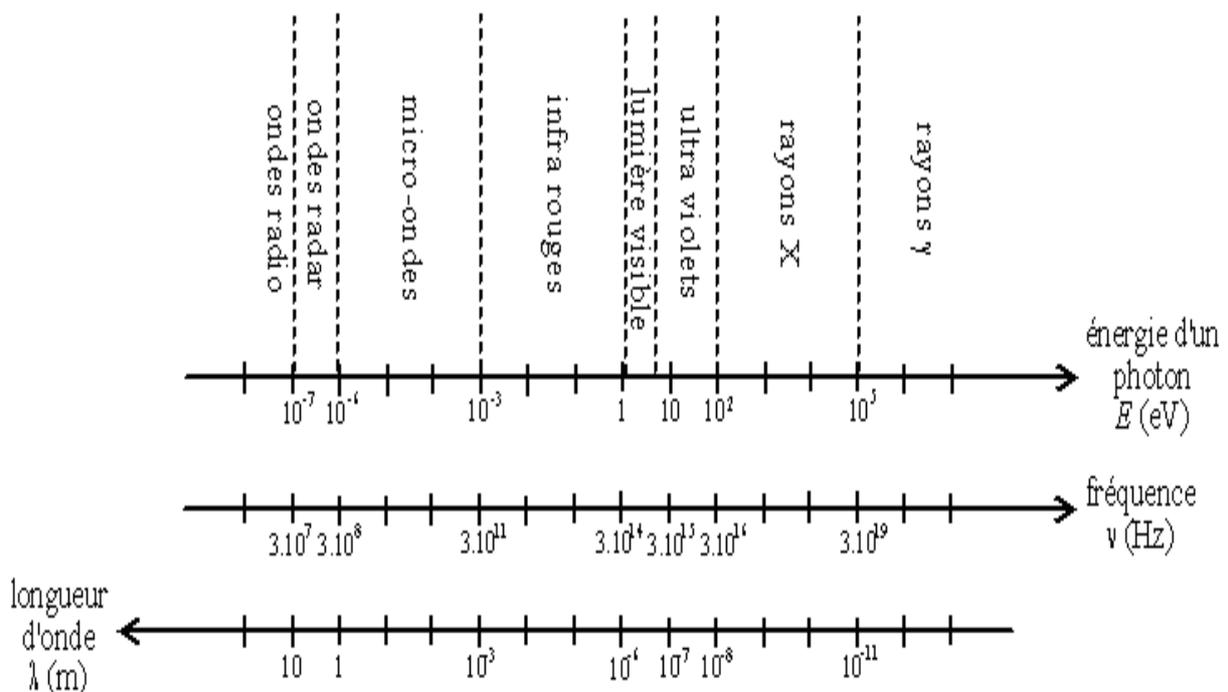


Figure 2 : Domaines du spectre électromagnétique en fonction de la Longueur d'onde, de la fréquence ou de l'énergie des photons [3].

Le spectre électromagnétique est continu mais les scientifiques l'ont divisé d'une façon artificielle pour des raisons de commodité. Les divisions ont surtout été établies à l'aide des techniques utilisées pour détecter les différentes longueurs d'onde. Par exemple, les limites du domaine de la lumière visible sont définies par ce que nos yeux peuvent détecter. La lumière visible n'est qu'un cas particulier d'onde électromagnétique [3].

4. 2. Caractéristiques des ondes électromagnétiques

Une onde électromagnétique se caractérise par ses deux composants, champ électrique E et champ magnétique H. L'on considérera l'un plutôt que l'autre dans la fonction blindage, suivant la distance du point considéré par rapport à la source [4]. En général il est facile de se protéger d'un champ électrique. Les caractéristiques des ondes sont différentes selon la distance à la source et selon leur nature qui est définie par la valeur de leur impédance.

4. 2. 1 Champs proche et lointain

Il est possible de distinguer deux régimes différents suivant la valeur de la distance à la source (figure 3):

- régime du champ proche: $r < \lambda / 2\pi$

- régime du champ lointain: $r > \lambda / 2\pi$

Avec r la distance qui sépare l'écran de blindage à la source.

Par exemple pour une fréquence d'émission $f=100$ Mhz, la longueur d'onde λ est de 3m. Le champ proche s'étend jusqu'à $r = 0.5$ m de la source [5].

Il n'existe pas de formule générale permettant d'estimer l'intensité de champ en région de champ proche pour les petites antennes [3].

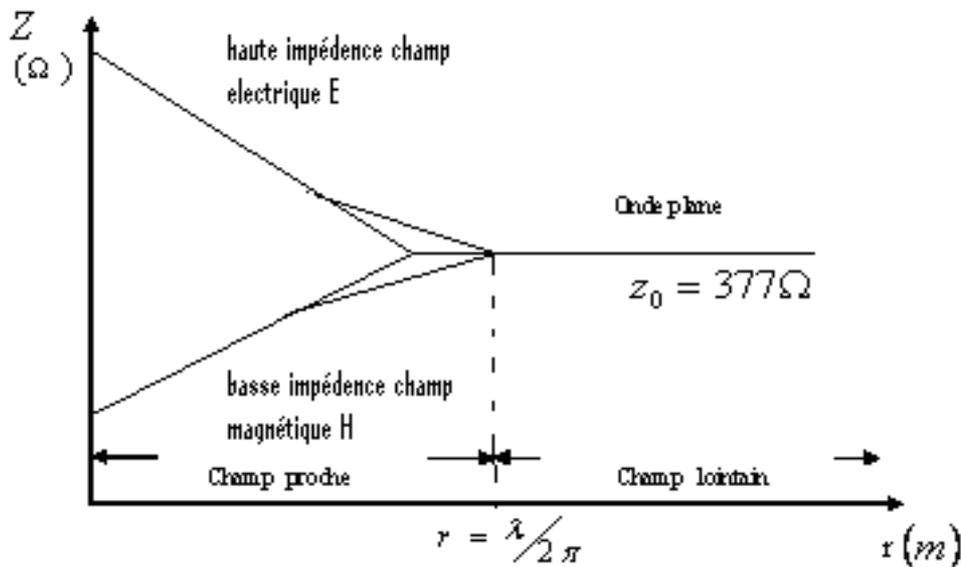


Figure 3 : Impédance d'onde Z en fonction de la distance r et de la longueur d'onde λ [10].

4. 2. 2 L'impédance des ondes

Une onde électromagnétique, sinusoïdale par exemple, se décompose en deux champs sinusoïdaux en quadrature [4].

De même qu'en électricité où on mesure l'impédance d'un circuit par le rapport U/I , on exprime l'impédance Z d'une onde électromagnétique par E/H . cette impédance définit la nature de l'onde. Elle s'exprime en ohms.

Dans la région de champ proche, l'intensité du champ électrique E et l'intensité du champ magnétique H sont en corrélation, selon la formule suivante :

$$Z = \frac{E}{H} \quad (3)$$

Les champs électriques sont principalement produits dans des circuits à haute impédance ou circulent des courants faibles (dipôle) alors que les champs magnétiques seront créés dans des circuits basse impédance ou siègent de courants forts (telle une boucle de courant) [4].

4. 2. 3 Diagramme de rayonnement

Les ondes électromagnétiques sont rayonnées dans l'espace à l'aide d'antennes. Le diagramme de rayonnement d'une antenne détermine la répartition de l'énergie rayonnée dans l'espace. Un diagramme pris dans le plan qui contient le vecteur de champ électrique porte le nom de diagramme de plan E . Un diagramme pris dans un plan perpendiculaire au plan H porte le nom de diagramme de plan H . Le diagramme de directivité d'une antenne indique la quantité d'énergie qu'elle concentre dans une direction, plutôt que de rayonner dans d'autres directions.

En champ proche, le diagramme de rayonnement d'une antenne change en fonction de la distance par rapport à la source, tandis qu'en champ lointain, aucun changement important n'intervient en fonction de la distance [3].

5. blindage électromagnétique

Le blindage électromagnétique est constitué d'une enveloppe conductrice que l'on met autour de composants électroniques. Ceci pour constituer une barrière vis à vis des influences électrostatiques, magnétiques, ou électromagnétiques [6].

Dans les problèmes de blindage électromagnétique, il y a lieu de distinguer deux régions liées à la distance relative du matériau testé relativement à la longueur d'onde.

La région du champ lointain (l'onde est plane au niveau de l'échantillon) et la région du champ proche. Lorsqu'une onde à caractère électrique est générée, l'impédance d'onde est plus élevée près de la source et décroît en $1/r$ avec la distance à cette même source, par contre lorsqu'une onde à caractère magnétique est générée, l'impédance d'onde est plus faible près de la source et croît en r avec la distance à cette même source (figure 3). Ces résultats sont valables quelle que soit la géométrie de la source rayonnante. L'évolution de l'impédance d'onde Z avec la distance à la source (exprimée en unités de $\frac{\lambda}{2\pi}$). Les valeurs des impédances des ondes électriques et

magnétiques décroissent et croissent respectivement jusqu'à la distance $r = \frac{\lambda}{2\pi}$. Où elles prennent la même valeur $Z_0 = 377 \Omega$.

Dans ces conditions, les expressions simplifiées de l'efficacité de blindage dépendent de la valeur relative de l'épaisseur de l'échantillon par rapport à l'épaisseur de peau. Cette dernière est définie comme étant la profondeur maximale de pénétration d'une onde électromagnétique de fréquence f elle est donnée par :

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\mu\omega\sigma}} \quad (4)$$

Le blindage électromagnétique est une protection contre les perturbations rayonnées. Consiste à réduire le champ électromagnétique au voisinage d'un objet en interposant un écran entre la source du champ et l'objet à protéger. L'écran doit être fait d'un matériau conducteur électrique [5].

En revanche, un blindage électromagnétique ne peut pas isoler des champs magnétostatique, pour lesquels le recours à un blindage magnétique est nécessaire. Donc c'est le moyen idéal pour éliminer les rayonnements, que ce soit pour respecter les normes d'émission, rendre le circuit insensible (immunité totale), ou encore pour éliminer les perturbations entre les différentes parties d'un système. Malheureusement, une enveloppe continue, entourant totalement un circuit est impossible à réaliser.

5. 1. Matériaux de blindage

Les matériaux les plus, couramment, utilisées comme blindage électromagnétique sont des feuilles et des grilles métalliques, des gaz ionisé et des plasmas, de façon à assurer le blindage, les trous dans les grilles et feuillets doivent être significativement plus petit que la longueur d'onde de la radiation à bloquer [7]. Une autre méthode courante de blindage, surtout utilisée dans les appareils électroniques à grande puissance équipée d'un boîtier plastique, consiste à recouvrir l'intérieur du boîtier avec une encre métallique. Cette encre est usuellement constituée d'une dispersion de particules de nickel ou de cuivre dans une solution liquide. L'encre est dispersée à l'aide d'un atomiseur et, une fois sèche, forme une couche conductrice continue. Lorsqu'elle est reliée à la masse de l'appareil, elle forme un blindage efficace.

5. 2 Types de blindage

5. 2. 1 Blindage réel

Qui laisse passer une partie des champs ; toutes les ouvertures dégrade l'effet de protection. Un blindage réel ne peut que s'approcher d'un blindage idéal. D'une part le matériau du blindage n'a jamais une conduction infinie ou une résistivité nulle, il laissera donc une partie des champs le traverser. D'autre part, pour assurer le fonctionnement, il est nécessaire de percer des ouvertures (boutons, affichage, passage de câble,...).

5. 2. 2 Blindage en basse fréquence

En basse fréquence, les champs électriques ne posent pas beaucoup de problèmes : ils sont facilement maîtrisables. Il n'en est pas de même des champs magnétiques : en milieu perturbé (par exemple : présence d'un gros transformateur), il se manifestent notamment sur les écrans de visualisation par des déformations ou des ondulations de l'image. Pour éliminer ce problème, il faut éloigner l'écran de la source de perturbation (plusieurs dizaines de cm) ou utiliser un écran métallique réalisé dans un alliage à forte perméabilité.

5. 2. 3 Le blindage magnétique

Constitué d'un matériau capable d'offrir un chemin de réluctance relativement faible aux "lignes de force" issus d'une source de champ magnétique (champ H), et d'en préserver les zones à protéger. Cette technique peut par exemple protéger le tube d'un oscilloscope de l'influence d'un transformateur d'alimentation. En basse fréquence, la protection requiert parfois un matériau noble et coûteux comme le mumétal [6].

5. 2. 4 Blindage d'un champ électrostatique

Il est possible de blinder un champ électrostatique en utilisant une cage de Faraday. Le blindage électrostatique est créé par le fait que les charges électriques présentes sur la surface conductrice tendent à se distribuer de telle sorte qu'elles éliminent le champ électrique à l'intérieur du matériau conducteur. Par conséquent, un champ

électrostatique ne pénètre pas un volume se trouvant à l'intérieur d'une enceinte conductrice [8].

Les charges électriques sont totalement mobiles dans les matériaux conducteurs. Même dans des structures métalliques extrêmement minces, les charges mobiles sont présentes en quantité suffisante pour créer un blindage efficace. C'est la raison pour laquelle la densité du matériau de blindage est plus importante que son épaisseur dans son efficacité contre le champ électrostatique [8].

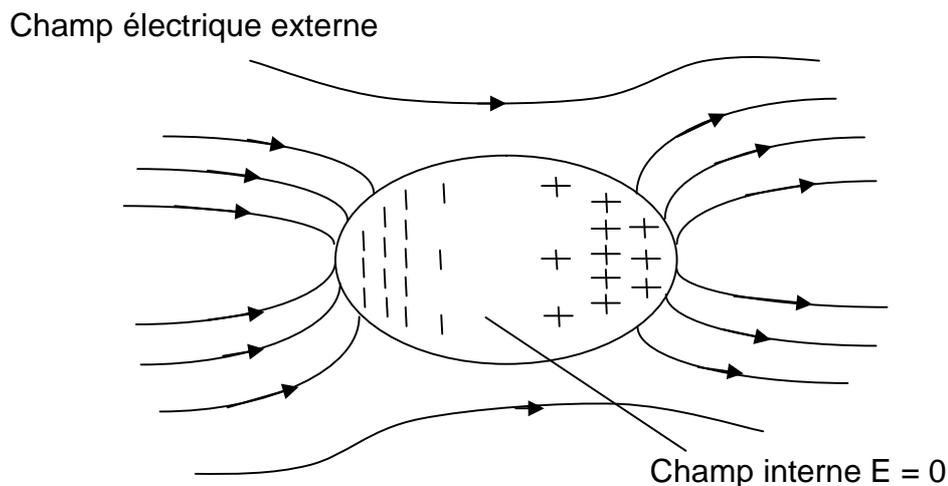


Figure 4 : blindage d'un champ électrostatique [8].

6. Efficacité d'un blindage électromagnétique

Le blindage ou l'écran que l'on interpose entre le système à protéger et l'onde incidente (protection contre le parasitage) ou entre le système émetteur de rayonnement et l'extérieur aura pour mission d'atténuer fortement l'intensité de l'onde électromagnétique [9]. On parlera donc de l'efficacité du blindage ou de l'écran.

L'efficacité d'un blindage est habituellement exprimée en décibels, on la calcule sous la forme d'un rapport entre la puissance du champ électrique, la puissance du champ magnétique ou la puissance des ondes transmises et incidentes, sous l'effet des expressions suivantes :

L'efficacité de blindage, pour le champ électrique est définie comme :

$$SE_E (dB) = 20 \log \left| \frac{E_i}{E_t} \right| \quad (5)$$

Pour le champ magnétique :

$$SE_H (dB) = 20 \log \left| \frac{H_i}{H_t} \right| \quad (6)$$

Pour des champs proches et/ou lorsque les deux milieux sont différents, les équation (5) et (6) ne sont pas équivalentes.

Le champ transmis étant au plus égal au champ incident, SE_E et SE_H sont nécessairement supérieures à 0 dB.

Comme l'expression de l'efficacité de blindage est différente pour le champ électrique et le champ magnétique, on doit s'efforcer de déterminer si la source émet davantage de champ électrique ou davantage de champ magnétique. Une forte tension est à l'origine d'un fort champ électrique, et un fort courant à l'origine d'un champ magnétique élevé, ceci étant valable lorsque l'on se trouve proche de la source [10].

Considérons un écran de blindage d'épaisseur e_p , de conductivité σ , de permittivité relative ϵ_r et de perméabilité relative μ_r .

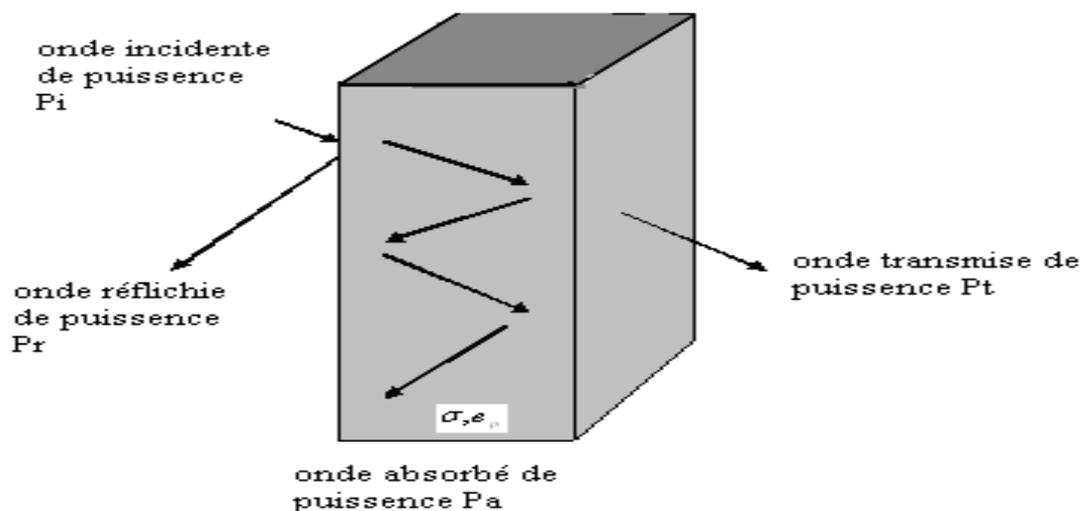


Figure4 : Atténuation d'une onde électromagnétique [6].

L'atténuation d'une onde électromagnétique, à l'aide d'un écran, peut se produire sous l'effet de trois mécanismes différents : l'absorption A (dB), réflexion R (dB) et réflexion interne multiple M (dB).

R (dB), représente les pertes dues à la réflexion sur la surface (gauche) de la barrière.

Dans le matériau, l'onde s'atténue par dissipation si bien qu'elle ne parvient à l'autre face qu'atténuée. Ce facteur est désigné par A (dB).

Enfin, l'onde réfléchiée à l'interface de sortie, revient (en s'atténuant dans le matériau) vers la face d'entrée ou elle subit à nouveau réflexion et transmission. Si le matériau est mince, on voit que des réflexions multiples entre les deux faces du matériau vont provoquer une légère augmentation du champ transmis, donc M (dB) sera négatif : le champ transmis est légèrement plus grand que sans les réflexions multiples [8].

6. 1. Coefficients de transmission

Pour étudier complètement un blindage, nous devons tenir compte de la réflexion sur la 2^{ème} interface et de l'atténuation des champs en fonction de l'épaisseur du blindage

Le passage air - matériau le Coefficients de réflexion ρ vaut :

$$\rho = \frac{Z_s - Z_\omega}{Z_s + Z_\omega} \quad (7)$$

$$Z_\omega = 377\Omega$$

Pour un métal ; $Z_s \ll 377\Omega$ d'où $\rho \approx -1$

Le coefficient de transmission, après deux interfaces, se calcule donc :

$$\frac{E_t}{E_i} = \frac{4Z_s Z_\omega}{(Z_s + Z_\omega)^2} \cong \frac{4Z_\omega}{Z_s} \quad \text{si} \quad Z_\omega \ll Z_s \quad (8)$$

Que l'on soit à l'interface de deux milieux homogènes (air et matériau du blindage) ou Dans un câble de transmission le coefficient de réflexion se calcule à partir des impédances caractéristiques des matériaux considérés.

Le coefficient de transmission $(1-\rho)$ représente alors le rapport entre le champ transmis E_t et le champ incident E_i de part et d'autre de la surface.

Ce qui nous intéresse ici, c'est le rapport entre le champ transmis au champ incident, après deux interfaces. On fait donc le produit des coefficients de transmission des deux surfaces successives :

$$(1-\rho_1) = 1 - (Z_s - Z_\omega) / (Z_s + Z_\omega) = 2 Z_\omega / (Z_s + Z_\omega) \quad (9)$$

$$(1-\rho_2) = 1 - (Z_\omega - Z_s) / (Z_s + Z_\omega) = 2 Z_s / (Z_s + Z_\omega) \quad (10)$$

Dans l'air l'impédance d'onde, Z_ω a déjà été défini.

- en champ lointain $Z_\omega = \eta_0 = 120\pi = 377 \Omega$

- en champ proche haute impédance $Z_\omega = \eta_0 \lambda / 2\pi r$

- en champ proche basse impédance $Z_\omega = \eta_0 (2\pi r) / \lambda$

Dans un matériau quelconque :

$$Z_s = \sqrt{\frac{j\omega\mu}{\sigma + j\omega\epsilon}} \quad (11)$$

Dans un isolant : la conductivité est très faible, on trouve

$$Z_s \cong \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \quad (12)$$

Dans un bon conducteur, $\sigma \gg j\omega\epsilon$

$$Z_s \cong \sqrt{\frac{j\omega\mu}{\sigma}} = (1+j) \sqrt{\frac{\omega\mu}{2\sigma}} \quad (13)$$

6. 2. Calcul de l'efficacité de blindage électromagnétique

L'efficacité de blindage électromagnétique est définie comme étant le rapport entre la puissance de l'onde électromagnétique transmise à travers le matériau et la puissance incidente [11], Elle est donnée en décibel par :

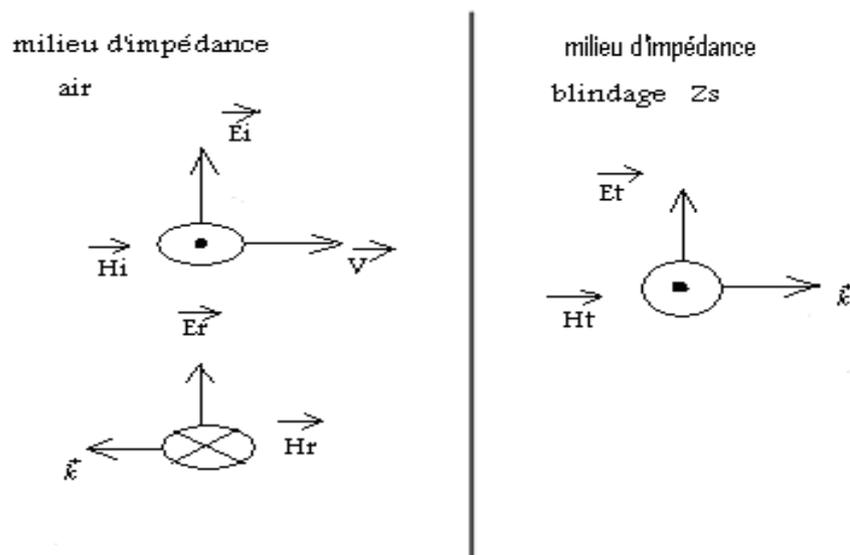
$$SE = 10 \log \left(\frac{P_t}{P_i} \right) = 20 \log \left(\frac{E_t}{E_i} \right) = 20 \log \left(\frac{H_t}{H_i} \right) \quad (14)$$

Les champs incidents E_i et H_i se déplacent dans le milieu d'impédance Z_ω . Une partie est réfléchiée E_r et H_r et l'autre partie est transmise dans le blindage E_t et H_t . Les conditions aux limites sur l'interface expriment la continuité de la composante tangentielle du champ électrique et magnétique [10].

$$\vec{E}_i + \vec{E}_r = \vec{E}_t \Rightarrow E_i + E_r = E_t \quad (15)$$

$$\vec{H}_i + \vec{H}_r = \vec{H}_t \Rightarrow H_i - H_r = H_t \quad (16)$$

On a donc deux relations :



A partir des expressions (15) et (16), nous pouvons écrire :

$$(15) \Rightarrow \frac{E_i}{Z_\omega} - \frac{E_r}{Z_\omega} = \frac{E_t}{Z_s}$$

$$\Rightarrow \frac{E_i}{Z_\omega} - \frac{E_i - E_t}{Z_\omega} = \frac{E_t}{Z_s}$$

$$\text{Donc } \frac{E_t}{E_i} = \frac{2Z_s}{Z_\omega + Z_s}$$

L'impédance du blindage $Z_s = \sqrt{\frac{2\pi f \mu}{\sigma}}$ on retrouve bien le fait que le champ électrique est nul sur un conducteur parfait ($Z_s \approx 0$). Pour l'excitation magnétique H , on obtient une expression similaire à partir de l'équation (1) [10].

$$(16) \Rightarrow \frac{H_t}{H_i} = \frac{2Z_\omega}{Z_\omega + Z_s} \quad (17)$$

Les champs réfléchis sur l'interface de sortie retournent vers l'entrée et sont à nouveau réfléchis. L'amplitude de ce qui est à nouveau réfléchi sur l'interface d'entrée dépend du coefficient de réflexion, mais aussi de l'atténuation des champs due à la décroissance exponentielle des champs dans un métal [10].

L'efficacité de blindage en champ électrique ou en champ magnétique se calcule comme étant le rapport des champs sortant par rapport aux champs incidents. Le champ sortant global est la somme des différents champs partiels dû aux réflexions multiples dans le blindage [10]. On obtient l'expression suivante :

$$\frac{E_t}{E_i} = \frac{H_t}{H_i} = (1 + \rho)(1 - \rho)e^{-\gamma e_p} \cdot (1 + \rho^2 e^{-2\gamma e_p} + \rho^4 e^{-4\gamma e_p} + \dots) \quad (18)$$

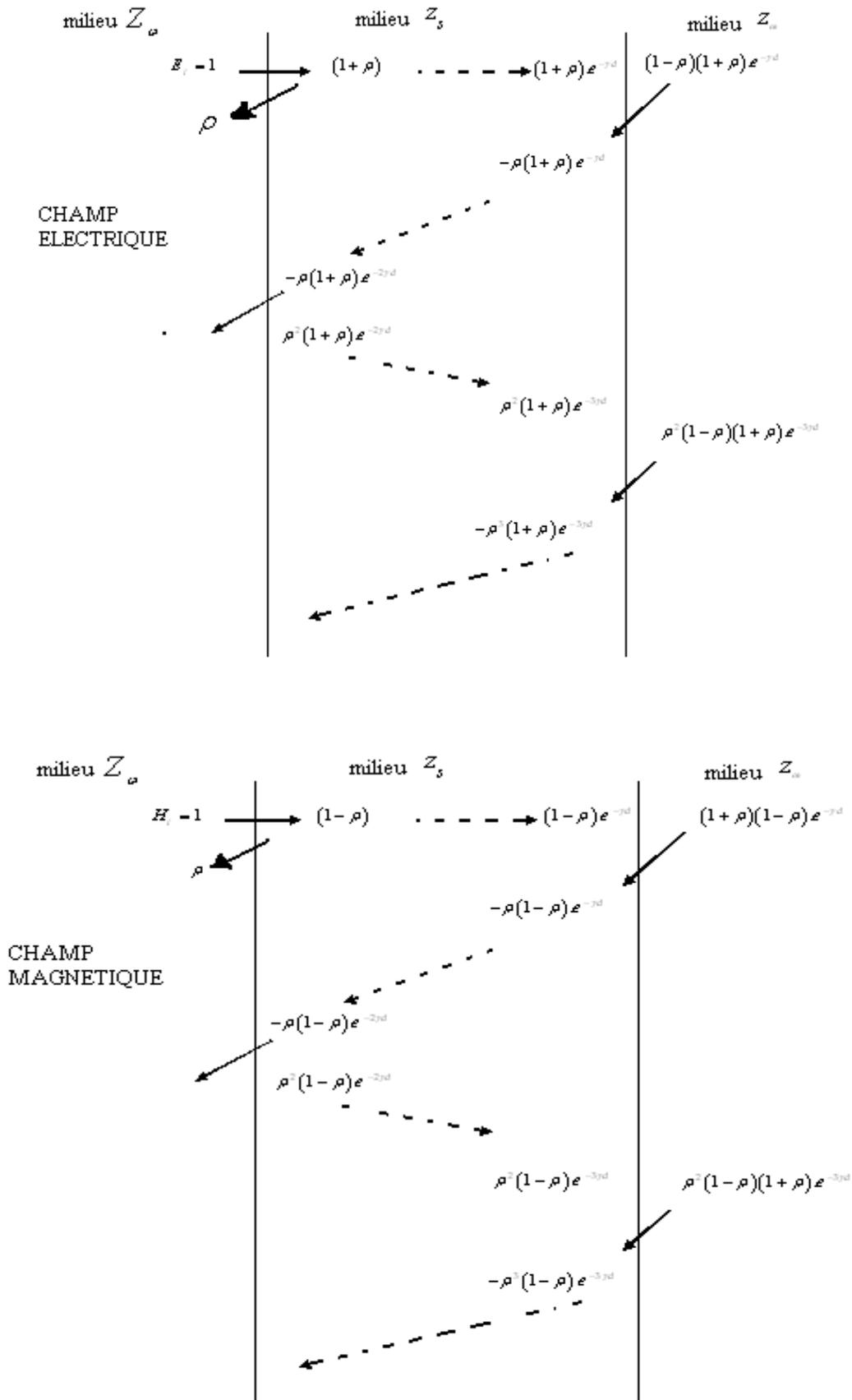


Figure 5 : Atténuation d'une onde électromagnétique [10].

Le terme dans la parenthèse de droite rappelle une suite géométrique dont la somme infinie est donnée par l'expression : [10]

$$\frac{1}{1 - \rho^2 e^{-2\gamma e_p}} \quad (19)$$

L'expression de l'atténuation de blindage sera :

$$(1 + \rho)(1 - \rho) = 4 \frac{Z_\omega Z_s}{(Z_\omega + Z_s)^2} \quad (20)$$

$$SE = 20 \log \left(\frac{E_i}{E_t} \right) = 20 \log \left(4 \frac{(Z_\omega + Z_s)^2}{Z_\omega Z_s} \right) + 20 \log (e^{\gamma e_p}) + 20 \log (1 - \rho^2 e^{-2\gamma e_p}) \quad (21)$$

Le premier terme de l'expression ci-dessus caractérise la réflexion **R (dB)** sur la face d'entrée du blindage. Le 2^{ème} terme correspond à l'atténuation **A (dB)** des champs à l'intérieur du blindage et enfin le dernier terme prend en compte les réflexions multiples **M (dB)** à l'intérieur du blindage.

Quand les champs électriques et magnétiques pénètrent dans le matériau de blindage, leurs amplitudes s'atténuent exponentiellement. Plus le blindage est épais, plus l'amplitude en sortie est faible [10].

Pour atténuer des champs basse fréquence, l'épaisseur du matériau devra être importante. Par contre, la transmission sur la 1^{ère} interface du blindage atténue peu la valeur du champ magnétique. On déduit donc de ces 2 constats qu'il sera difficile de blinder en champ magnétique basse fréquence [10].

Pour une source à bouclier des distances r beaucoup moins libre que la longueur d'onde de l'espace. [12].

$$Z_\omega = \frac{1}{kr} Z_0 \quad (22)$$

Dans la ligne de transmission, le rayonnement bouclier est remplacé par une impédance de série placée suivant la ligne de transmission.

L'impédance de barrière, elle, est complexe à l'impédance extérieure du bouclier. [12]

$$Z_s = Z_0 \sqrt{\frac{\omega \varepsilon_0}{\sigma}} (1+i) \quad (23)$$

Z_s : Impédance de barrière

Avec ces définitions, l'efficacité de blindage peut être calculé encore en établissant les coefficients de la réflexion et de transmission pour des signaux propagés suivant la ligne.

$$K = Z_\omega / Z_s \quad \text{et} \quad \alpha = (1+i) / \delta$$

Pour l'impédance du blindage :

$$|Z_s| = \sqrt{\frac{2.\pi.f.\mu}{\sigma}} \quad (24)$$

$$\frac{Z_\omega}{Z_s} = \frac{k.377}{\sqrt{\frac{2.\pi.f.\mu}{\sigma}}} = \frac{377}{\sqrt{2\pi}} \sqrt{\frac{\sigma_{cu}}{\mu_0}} \sqrt{\frac{\sigma_r}{f.\mu_r}} \quad (25)$$

σ_r : Conductivité relative (par rapport au cuivre)

σ_{cu} : Conductivité du cuivre ($5.82.10^7$ S.m⁻¹).

7. champ proche :

Pour un matériau électriquement épais ($e_p / \delta \gg 1, \omega \gg \omega_c$), l'efficacité du blindage s'écrit [12] :

$$SE = 10 \log \left(\frac{\sigma}{16\omega\varepsilon_0} \frac{1}{(kr)^2} \right) + 20 \frac{e_p}{\delta} \log(e) \quad (26)$$

Où :

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad \text{et} \quad c = \lambda.f$$

$$SE = 10 \log \left(\frac{c^2 \sigma}{16 \varepsilon_0 \omega^3 r^2} \right) + 20 \frac{e_p}{\delta} \log(e) \quad (27)$$

La première limite droite est facilement interprétée en tant qu'armature en raison de la réflexion, et de la seconde due à l'absorption.

Puisque la longueur d'onde devient plus courte aux hautes fréquences, le blindage de champ proche au champ lointain approche comme une limite. Une comparaison plus étroite de l'équation (28) pour champ lointain et l'équation (26) pour le champ proche

$$SE = 10 \log \left(\frac{\sigma}{16 \omega \varepsilon_0} \right) + 20 \frac{e_p}{\delta} \log(e) \quad (28)$$

Pour que $(c/\omega r) > 1$, d'un part $r \ll \lambda/2\pi$.

Le dernier état est immédiatement reconnu comme condition pour la limite de champ proche. D'autre part pour les longueurs d'onde $\lambda < 2\pi r$, l'équation (26) perd sa validité, et l'efficacité de blindage décrite par l'expression de champ lointain de l'équation (28).

En faisant la dérivé de l'équation (26) avec l'approximation $k \ll 1$, $e_p/\delta \ll 1$ et

$\omega \ll \omega_c$. Ceci donne : [12]

$$Z_s = Z_0 \sqrt{\frac{\omega \varepsilon_0}{\sigma}} (1 + i) \quad (29)$$

$$SE = 20 \log \left(\frac{c}{2\omega r} Z_0 \sigma e_p \right) = 20 \log \left(\frac{c}{2\omega r} \frac{Z_0}{R_s} \right) \quad (30)$$

Résistance de la surface du matériau :

$$R_s = \frac{1}{\sigma e_p} \quad (31)$$

7.1. Atténuation due à l'absorption

$$A = 20 \frac{e_p}{\delta} \log(e) \quad (32)$$

Avec

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{\sigma\mu\pi f}}$$

$\mu = \mu_0\mu_r$: Perméabilité magnétique du matériau.

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H / m}$$

7. 2. Atténuation due à la réflexion

$$R = 10\log\left(\frac{\sigma}{16\omega\epsilon_0} \frac{1}{(kr)^2}\right) \quad (33)$$

Où

$\epsilon = \epsilon_0\epsilon_r$: Constante diélectrique du matériau.

$\omega = 2\pi f$: Pulsation de l'onde électromagnétique.

$\epsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12} \text{ F / m}$: Constante diélectrique de vide.

7. 3. Atténuation globale

$$SE = A + R + M \quad (34)$$

M : représente l'atténuation due aux réflexions multiples. Cette atténuation est négligée pour des matériaux de blindage bons conducteurs dont l'épaisseur est beaucoup plus grande que la profondeur δ , de pénétration de l'onde électromagnétique $e_p \gg \delta$

La relation générale s'écrit :

$$SE = 10\log\left(\frac{\sigma}{16\omega\epsilon_0} \frac{1}{(kr)^2}\right) + 20\frac{e_p}{\delta} \log(e) \quad (35)$$

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] S. Khobzaoui, contribution à l'étude des propriétés électriques des polymères conducteurs composites, mémoire de magister, juillet 2005, Faculté des sciences, université de Tlemcen, Algérie.

[2] J. M. Béguin, G. Rotman , L'industrie française des matériaux composites, des enjeux prioritaires pour un développement durable, étude digitip 2001.

[3] **www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/radiation/99ehd-dhm_237/index_f.html**.
Industrie canada, Radio, Spectre et télécommunication, (Publication officiels) lignes directrices relative, Gestion du Spectre et télécommunication, 11/2008.

[4] **www.emc2t.com**

Produit de blindage de rayonnement, les cloup, 46500 GRAMAT – France.

[5] M.Belabbaci, contribution à l'étude théorique de l'efficacité du blindage électromagnétique en champ lointain cas de polymère conducteur composite, mémoire de magister, mai 2008, Faculté des science, université de Tlemcen, Algérie.

[6] **jacques.cuvillier@iut-nantes.univ-nantes.fr**

J, cuvillier, cours de CEM, notions élémentaire, (IUT de Nantes) Génie électrique et Informatique Industriel, mars 2003.

[7] J. de Mercado, blindage pour l'élimination du brouillage radioélectrique, Industrie canada. CRT-56 le 31Mars 1979.

[8] **www.epfl.ch/dir-CEM/Blindage.pdf**

Farhad.Rachidi@epfl.ch

Rachidi, Compatibilité électromagnétique, notes de cours, Blindage, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne EPFL-DE-LRECH-1015Eté 2004.

[9] L. Charoy, *Compatibilités électromagnétiques, parasites et perturbations des électroniques, Tome 3 blindage- filtres- câbles blindés, règles et conseils d'installation*, Dunod, Paris, 1992, ISBN.2100014412.

[10] P. Poulichet, *Efficacité de blindage des feuilles métallique, chapitre2*, ESIEE, Paris, Février 2004.

[11] **www.elsevier.com/locate/synmet**

J- Lue. Wojkiewicz, Sylvan. Foveaux, N. Redon, *les polymères conducteurs intrinsèques des matériaux à hautes performances pour des blindages*, *synthetic Metals* 135-136(2003) 127-128.

[12] Nick, *EM1 Shielding Measurements of conductive Polymer Blinds*, *IEEE transactions on instrumentation and measurement*.vol.41.NO.2, April.1992.

CHAPITRE 2

RESULTATS ET DISCUSSIONS

PREMIERE PARTIE

***INFLUENCE DE LA FREQUENCE DE LA SOURCE
DU RAYONNEMENT SUR L'EFFICACITE DU
BLINDAGE ELECTROMAGNETIQUE***

Dans cette première partie de travail, nous avons fait une étude comparative du comportement électromagnétique des quatre polymères conducteurs composites : le Nylon6/Aluminium, le Nylon6/Zinc, le polyéthylène haute densité/trioxyde de vanadium et le polyéthylène basse densité/trioxyde de vanadium avec leurs matériaux de renfort : l'aluminium, le zinc et le trioxyde de vanadium.

Nous fixons : l'épaisseur de l'enceinte blindée, la fraction volumique des inclusions conductrices et la distance, et examinons la variation de l'efficacité du blindage en fonction de la fréquence de la source du rayonnement.

e_p : L'épaisseur de l'écran du blindage cette épaisseur a été choisie supérieure à la profondeur de pénétration δ , de l'onde électromagnétique.

ϕ : La fraction volumique des inclusions conductrices correspond à la conductivité électrique du polymère conducteur composite qui vérifie la condition de bon conducteur. Ceci nous a permis de négliger la contribution due aux réflexions multiples M (dB).

r : La distance entre la source du rayonnement et l'écran de blindage pris $r = 45.10^{-3}m$.

1. 1. cas du l'aluminium

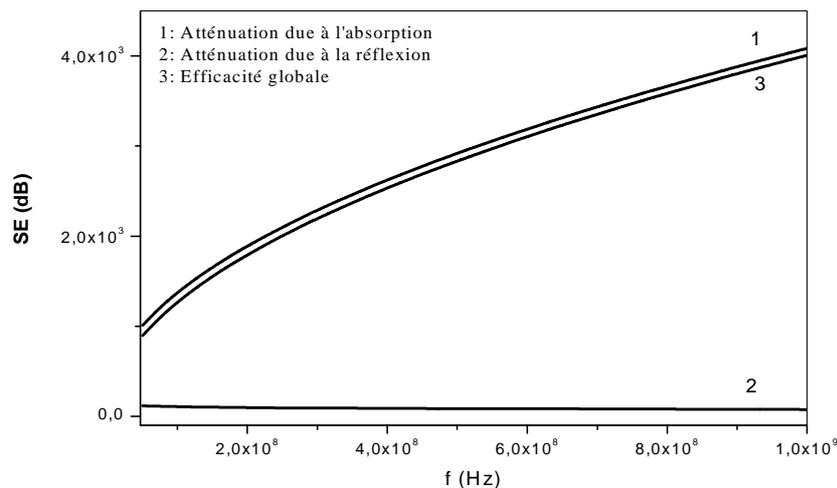


Figure 1 : Variation de l'efficacité du blindage électromagnétique en fonction de la fréquence de la source de l'aluminium seul : cas de la bande de fréquences Radio (50MHz-1GHz).

La figure 1, montre la variation de l'efficacité du blindage électromagnétique dans la bande des ondes radio (50MHz-1GHz), pour un écran d'épaisseur $e_p = 10^{-4} m$. Sur cette figure, on remarque l'augmentation de l'efficacité globale, l'augmentation de l'atténuation due à l'absorption et la diminution de l'atténuation due à la réflexion lorsque la fréquence de la source de rayonnement augmente. L'atténuation due à la réflexion décroît de 124, 70 dB à 83,38 dB, l'atténuation due à l'absorption croît de 1036, 44 dB à 4104, 82 dB et l'efficacité globale croît de 912, 46 dB à 3978, 27 dB lorsque la fréquence de la source de rayonnement croît de 50 MHz à 1 GHz.

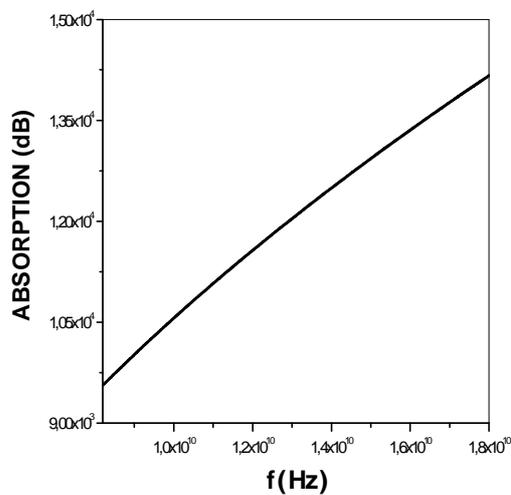


Figure 2a : Atténuation due à l'absorption

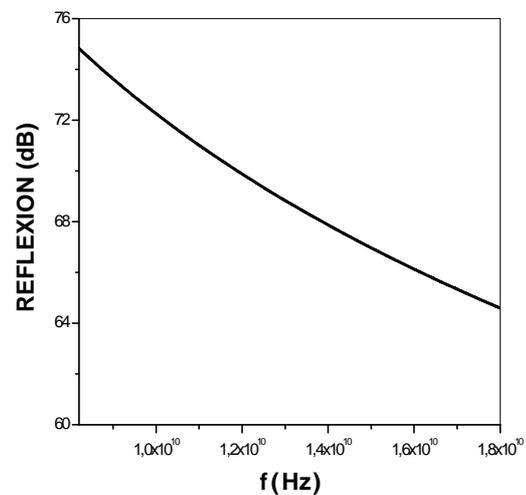


Figure 2b : Atténuation due à la réflexion

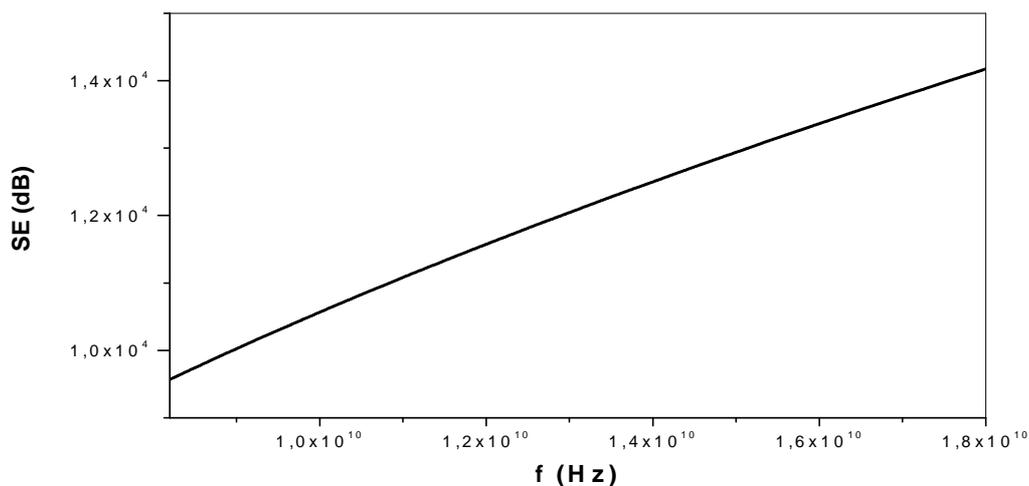


Figure 2 : variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique en fonction de la fréquence de la source de l'aluminium seul : cas de la bande de fréquences des micro-ondes (8,2GHz-18GHz).

La figure 2a, représente la variation de l'atténuation due à l'absorption en fonction de la fréquence de la source de l'aluminium seul pour la bande de fréquences des micro-ondes (8.2GHz-18GHz). Cette atténuation croît de 9561.46 dB à 14166.20 dB.

La figure 2b, représente la variation de l'atténuation due à la réflexion en fonction de la fréquence de la source pour la même bande de fréquences, cette atténuation décroît de 74.83 dB à 64.59dB.

L'examen de la figure 2, qui représente la variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique, pour les fréquences citées précédemment, montre que cette efficacité augmente de 9568,94 dB à 14172,66 dB.

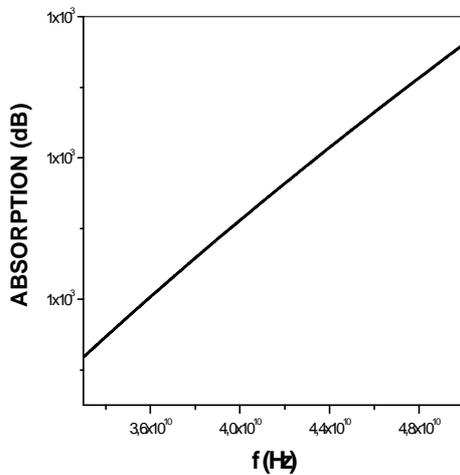


Figure 3a : Atténuation due à l'absorption

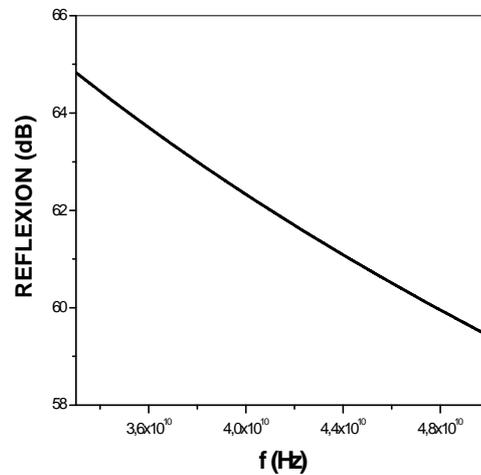


Figure 3b : Atténuation due à la réflexion

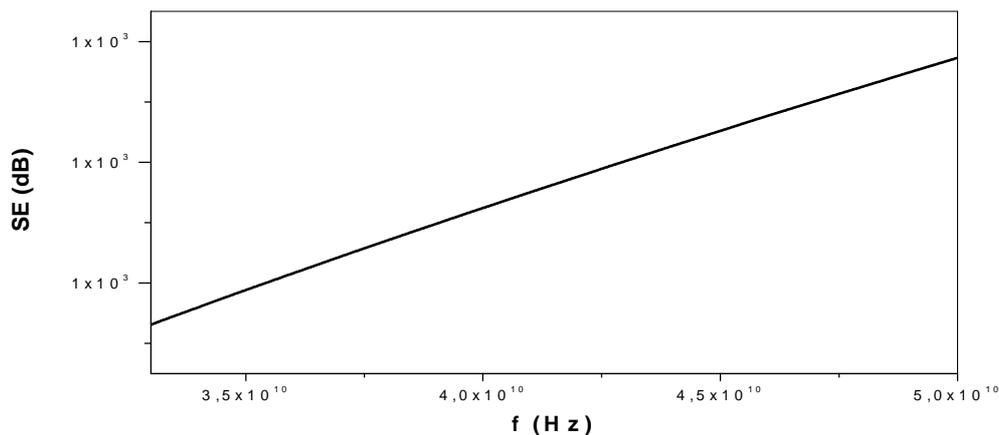


Figure 3 : variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique en fonction de la fréquence de la source de l'aluminium seul : cas de la bande de fréquences des ondes millimétriques (33GHz-50GHz).

La figure 3a, représente la variation de l'atténuation due à l'absorption en fonction de la fréquence de la source de l'aluminium seul pour la bande de fréquences des ondes millimétriques (33GHz-50GHz), montre que cette atténuation croît de 959,05 dB à 1180,51dB.

La figure 3b, représente la variation de l'atténuation due à la réflexion pour la même bande de fréquence, cette atténuation décroît de 64.83 dB à 59.42 dB.

L'examen de la figure 3, qui représente la variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique, pour les fréquences citées précédemment, révèle que cette efficacité croît de 965,54 dB à 1186,45 dB.

1. 2. cas du polymère conducteur composite nylon6/Al

Les figures 4, 5 et 6, représentent respectivement les variations de l'efficacité du blindage électromagnétique dans les bandes des ondes radio (50MHz-1GHz), micro-ondes (8,2GHz-18GHz) et ondes millimétriques (33GHz-50GHz), pour un écran en nylon6/Al d'épaisseur $e_p = 10^{-1}m$. Sur ces figures, on remarque l'augmentation de l'efficacité globale, de l'atténuation due à l'absorption et la diminution de l'atténuation due à la réflexion lorsque la fréquence de la source de rayonnement augmente.

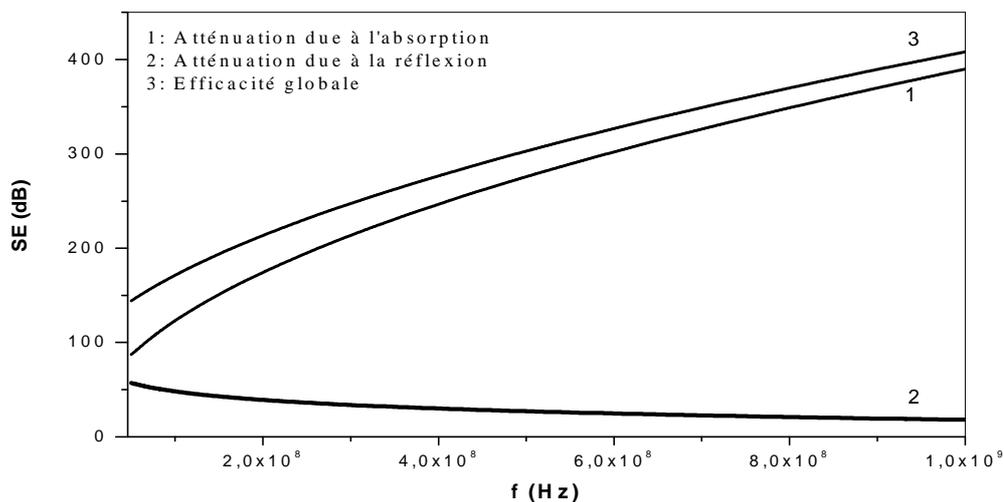


Figure 4 : variation de l'efficacité du blindage électromagnétique, en fonction de la fréquence de la source, du polymère conducteur composite nylon6/Al : cas de la bande de fréquences radio (50MHz-1GHz).

La figure 4, montre que l'atténuation due à la réflexion décroît de 56,85 dB à 20, 21dB l'atténuation due à l'absorption croît de 87,42 dB à 390,62 dB et l'efficacité globale croît de 142,25 dB à 406,79 dB lorsque la fréquence de la source de rayonnement varie entre 50 MHz et 1 GHz.

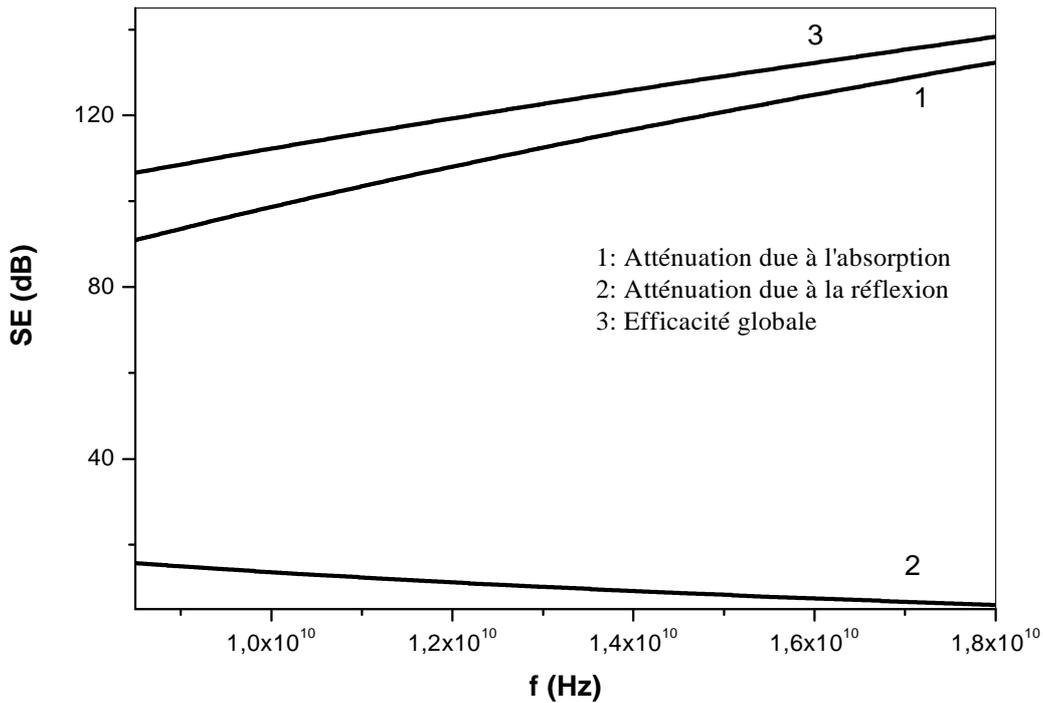


Figure 5 : variation de l'efficacité du blindage électromagnétique, en fonction de la fréquence de la source, du polymère conducteur composite nylon6/Al : cas de la bande de fréquences Micro-ondes (8,2GHz-18GHz).

La figure 5, montre que l'atténuation due à la réflexion décroît de 17, 02 dB à 6,25 dB, l'atténuation due à l'absorption croît de 89,18 dB à 131,55 dB et l'augmentation de l'efficacité globale de 105,61 dB à 139, 18 dB lorsque la fréquence varie de 8,2GHz à 18GHz.

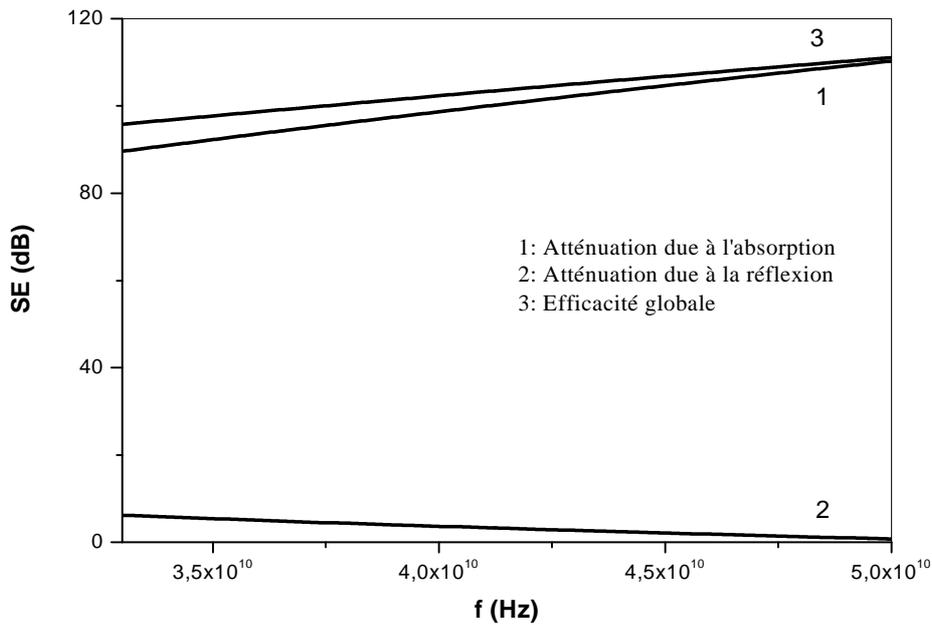


Figure 6 : variation de l'efficacité du blindage électromagnétique, en fonction de la fréquence de la source, du polymère conducteur composite nylon 6/Al : cas de la bande de fréquences des ondes millimétriques (33GHz-50GHz).

L'examen de la figure 6, montre que l'atténuation due à la réflexion décroît de 5,92 dB à 1,07 dB, l'atténuation due à l'absorption croît de 89,47 dB à 110,09 dB et l'efficacité globale croît de 96,55 dB à 111,71 dB lorsque la fréquence varie entre 33GHz à 50 GHz.

1. 3. cas du Zinc

Les figures 7, 8 et 9 représentent respectivement les variations de l'efficacité du blindage électromagnétique dans les bandes des ondes radio (50MHz-1GHz), micro-ondes (8,2GHz-18GHz) et ondes millimétriques (33GHz-50GHz), pour un écran d'épaisseur de $e_p = 0,15 \cdot 10^{-3} m$. Sur ces figures, on remarque l'augmentation de l'efficacité globale, de l'atténuation due à l'absorption et la diminution de l'atténuation due à la réflexion lorsque la fréquence de la source de rayonnement augmente.

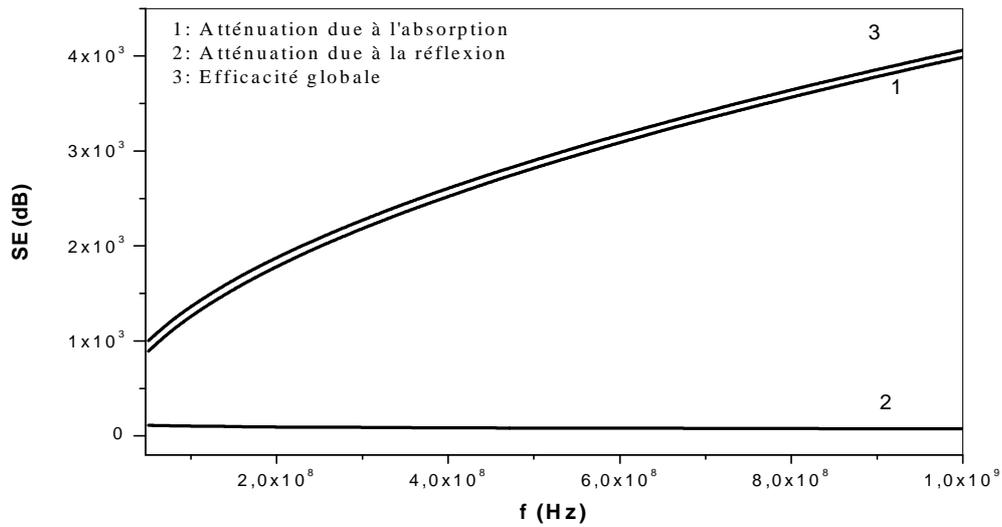


Figure 7 : variation de l'efficacité du blindage électromagnétique, en fonction de la fréquence de la source, du zinc seul : cas de la bande de fréquences radio (50MHz-1GHz).

La figure 7, montre que l'atténuation due à la réflexion décroît de 137,78 dB à 53,34dB, l'atténuation due à l'absorption croît de 860,86dB à 3985,40dB et l'efficacité globale croît de 1074,62 dB à 4090,96 dB lorsque la fréquence de la source de rayonnement croît de 50 MHz à 1 GHz.

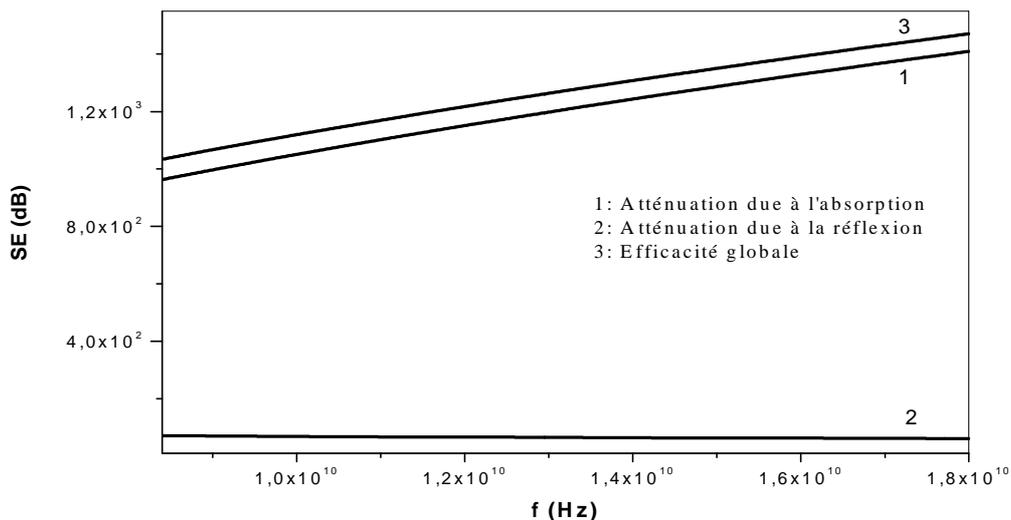


Figure 8 : variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique, en fonction de la fréquence de la source, du zinc seul : cas de la bande de fréquences micro-ondes (8,2GHz-18GHz).

La figure 8, montre que l'atténuation due à la réflexion décroît de 79,17dB à 58,42 dB, l'atténuation due à l'absorption croît de 956,82 dB à 1409,05 dB et l'efficacité globale croît de 1026,00 dB à 1465,26 dB lorsque la fréquence varie de 8,2GHz à 18GHz.

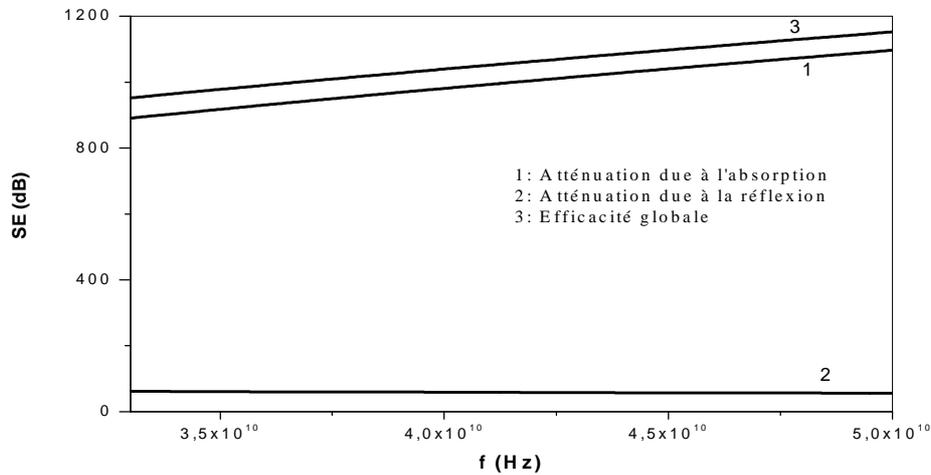


Figure 9 : variation de l'efficacité du blindage électromagnétique, en fonction de la fréquence de la source, du zinc seul : cas des ondes millimétriques (33GHz-50GHz).

L'examen de la figure 9, montre que l'atténuation due à la réflexion décroît de 59,29dB à 53,90 dB, l'atténuation due à l'absorption croît de 889,38 dB à 1095,56 dB et l'efficacité globale croît de 954,74 dB à 1150, 14 dB lorsque la fréquence varie de 33 GHz à 50 GHz.

1. 4. Cas du polymère conducteur composite nylon6/Zn

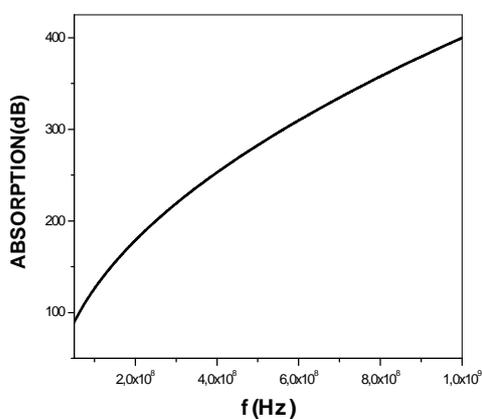


Figure 10 a : Atténuation due à l'absorption

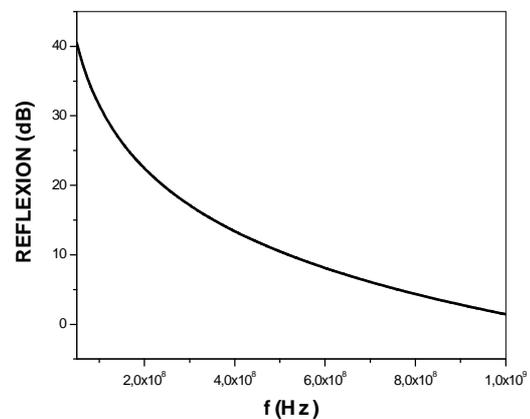


Figure 10 b : Atténuation due à la réflexion

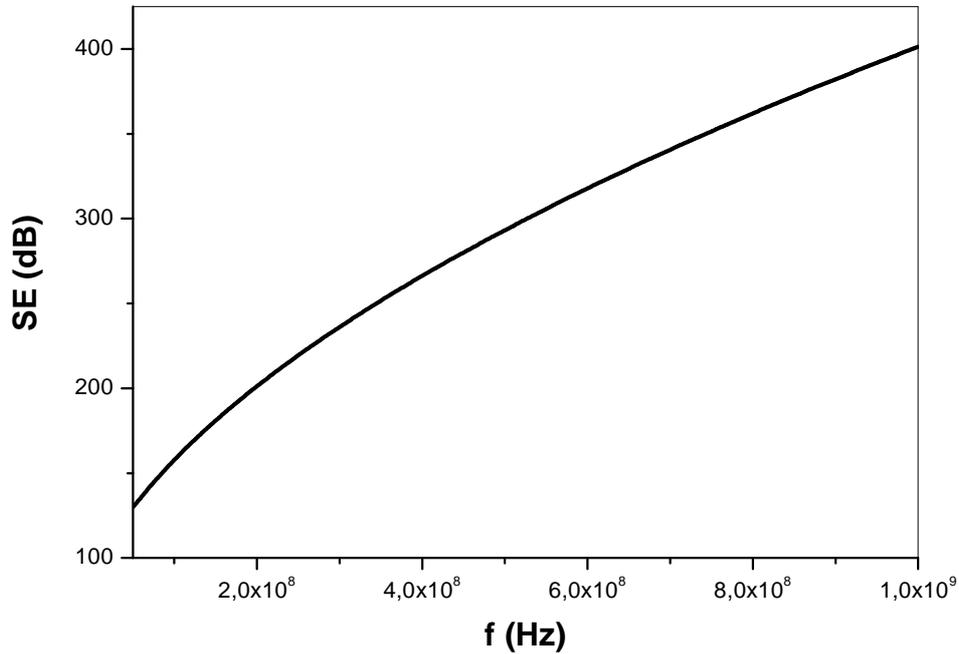


Figure 10 : variation de l'efficacité du blindage électromagnétique, en fonction de la fréquence de la source, du polymère conducteur composite nylon6/Zn : cas de la bande de fréquences radio (50MHz-1GHz).

La figure 10a, représente la variation de l'atténuation due à l'absorption en fonction de la fréquence de la source, pour un écran d'épaisseur $e_p = 2.65 \cdot 10^{-2} m$, du polymère conducteur composite Nylon6/Zn dans la bande de fréquences des ondes radio (50MHz-1GHz), Sur cette figure l'atténuation croît de 88.95dB à 400.23 dB.

La figure 10b, représente la variation de l'atténuation due à la réflexion en fonction de la fréquence de la source, pour la même bande de fréquence, cette atténuation décroît de 41,95dB à 1,27dB.

L'examen de la figure10, qui représente la variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique, montre que cette efficacité augmente de 131,65 dB à 402,25 dB Lorsque la fréquence de la source de rayonnement croît de 50 MHz à 1 GHz.

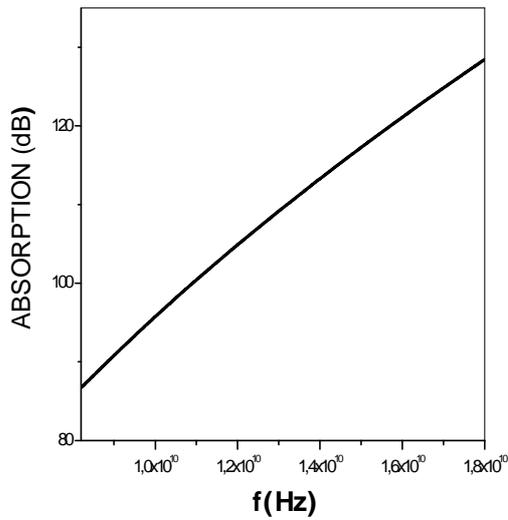


Figure 11a : Atténuation due à l'absorption

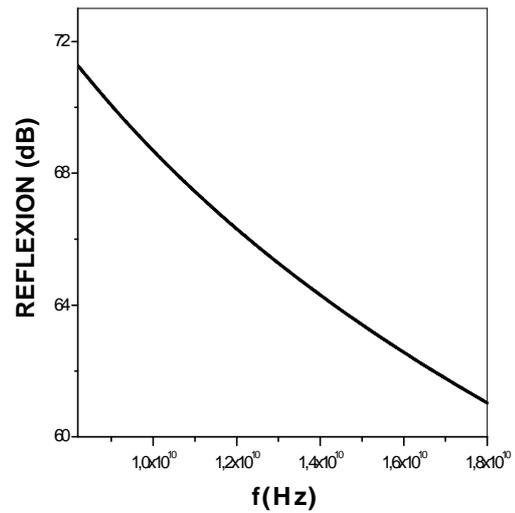


Figure 11b : Atténuation due à la réflexion

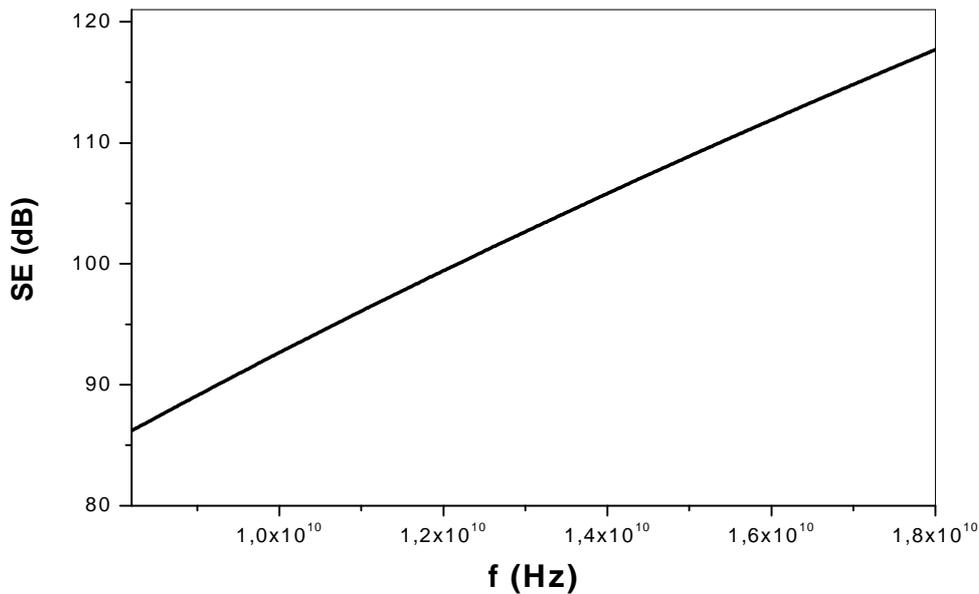


Figure 11 : variation de l'efficacité du blindage électromagnétique, en fonction de la fréquence de la source, du polymère conducteur composite nylon 6/Zn : cas des micro-ondes (8,2GHz-18GHz).

La figure 11a, représente la variation de l'atténuation due à l'absorption en fonction de la fréquence de la source, du polymère conducteur composite Nylon6/Zn pour la bande de fréquences des micro-ondes (8.2GHz-18GHz). Sur cette figure l'atténuation croit de 86.69dB à 128.44 dB.

La figure 11b, représente la variation de l'atténuation due à la réflexion en fonction de la fréquence de la source, pour la même bande de fréquence, cette atténuation décroît de 71,27 dB à 61,02 dB.

L'examen de la figure 11, qui représente la variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique, montre que cette efficacité augmente de 86,19 dB à 117,7 dB lorsque la fréquence varie de 8,2 GHz à 18 GHz.

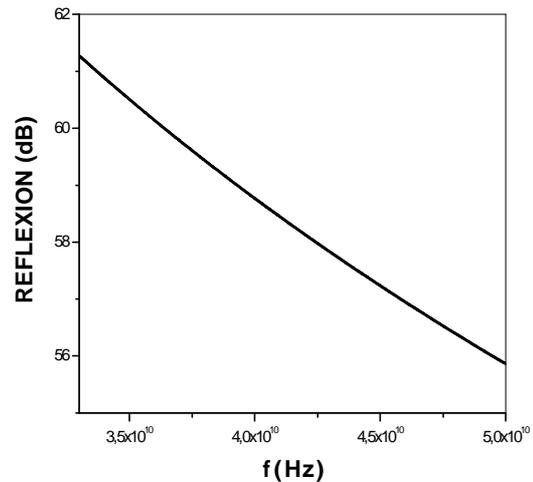
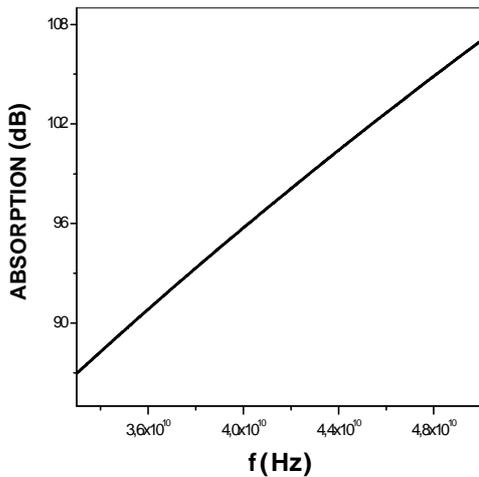


Figure 12 a : Atténuation due à l'absorption

Figure 12 b : Atténuation due à la réflexion

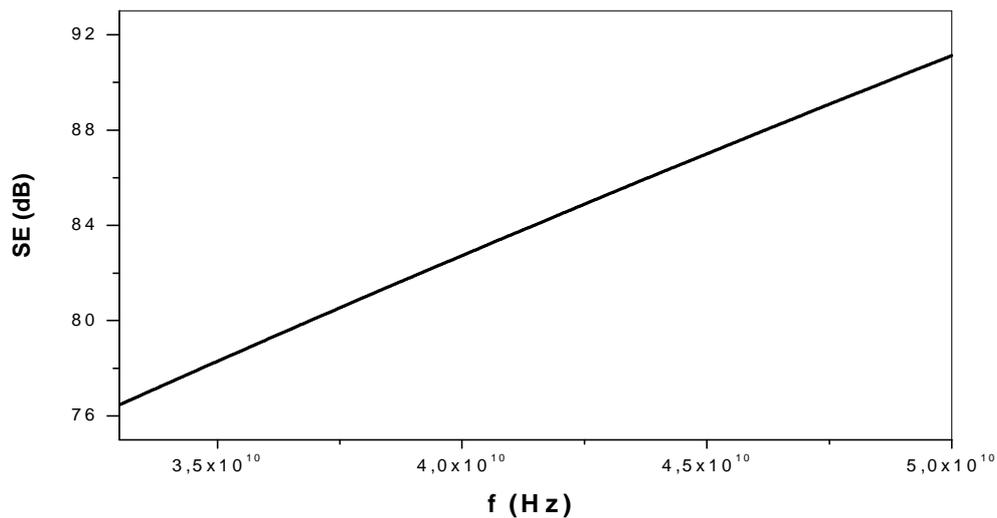


Figure 12 : variation de l'efficacité du blindage électromagnétique, en fonction de la fréquence de la source, du polymère conducteurs composites nylon 6/ Zn : cas des ondes millimétriques (33GHz-50GHz).

La figure 12a, représente la variation de l'atténuation due à l'absorption en fonction de la fréquence des ondes millimétrique (33GHz-50GHz), Sur cette figure l'atténuation croît de 86.95 dB à 107.04 dB.

La figure 12b, représente la variation de l'atténuation due à la réflexion en fonction de la fréquence de la source, pour la même bande de fréquence. Sur cette figure L'atténuation décroît de 61.27 dB à 55.86 dB.

L'examen de la figure 12, qui représente la variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique, montre que cette efficacité globale augmente de 76,46dB à 91.12dB lorsque la fréquence varie de 33 GHz à 50 GHz.

1. 5. cas du trioxyde de vanadium

Les figures 13, 14 et 15, montrent respectivement les variations de l'efficacité du blindage électromagnétiques dans les bandes des ondes radios (50MHz-1GHz), micro-ondes (8,2GHz-18GHz) et ondes millimétriques (33GHz-50GHz), pour un écran du blindage en d'épaisseur $e_p = 17 \cdot 10^{-2} m$. Sur ces figures, on remarque l'augmentation de l'efficacité globale, de l'atténuation due à l'absorption et la diminution de l'atténuation due à la réflexion lorsque la fréquence de la source de rayonnement augmente.

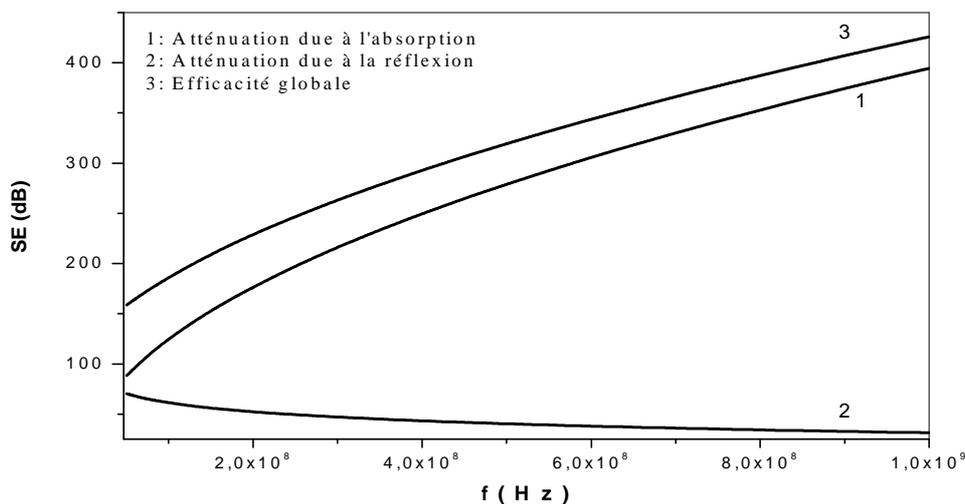


Figure 13 : variation de l'efficacité du blindage électromagnétique, en fonction de la fréquence de la source, du trioxyde de vanadium seul : cas de la bande de fréquences radio (50MHz-1GHz).

La figure 13 montre, que l'atténuation due à la réflexion décroît de 72,96dB à 4,54 dB, l'atténuation due à l'absorption croît de 86,32 dB à 395,83 dB et l'efficacité globale croît de 159,34 dB à 426,61 dB lorsque la fréquence de la source de rayonnement varie de 50 MHz à 1 GHz.

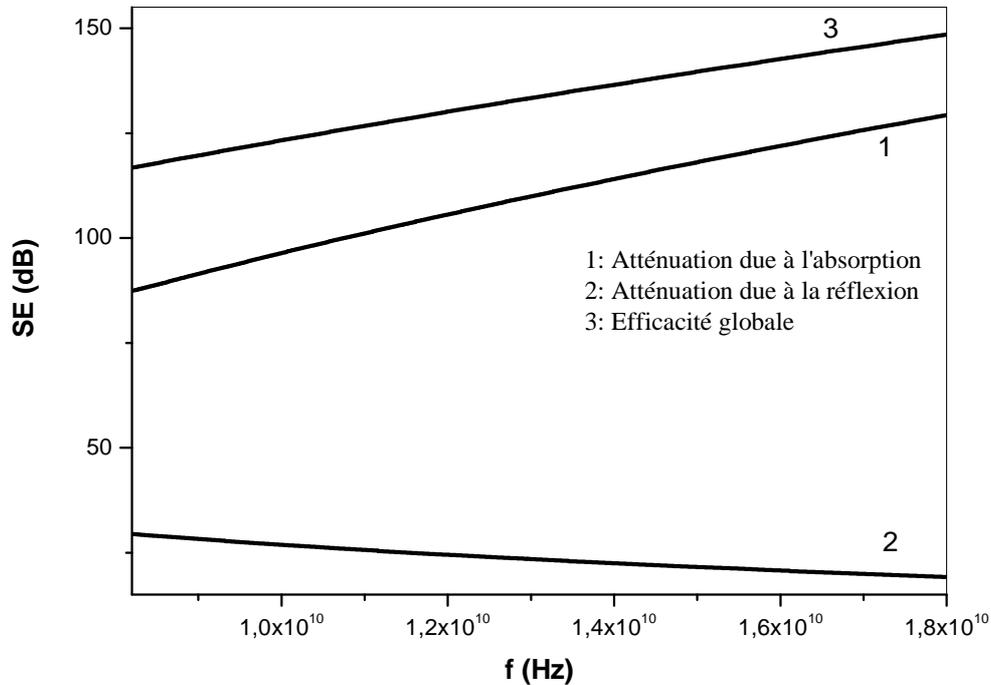


Figure 14 : variation de l'efficacité du blindage électromagnétique, en fonction de la fréquence de la source, de trioxyde de vanadium seul : cas des micro-ondes (8,2GHz-18GHz).

La figure 14, montre que l'atténuation due à la réflexion décroît de 29,54 dB à 9,40dB, l'atténuation due à l'absorption croît de 87,16 dB à 129,53 dB et l'augmentation de l'efficacité globale de 116,87 dB à 148,55 dB lorsque la fréquence varie de 8,2GHz à 18GHz.

L'examen de la figure 15, montre que l'atténuation due à la réflexion décroît de 19,23 dB à 13,77 dB, l'atténuation due à l'absorption croît de 87,55 dB à 107,63 dB et l'efficacité globale croît de 107,09 dB à 121, 71 dB lorsque la fréquence varie de 33 GHz à 50 GHz.

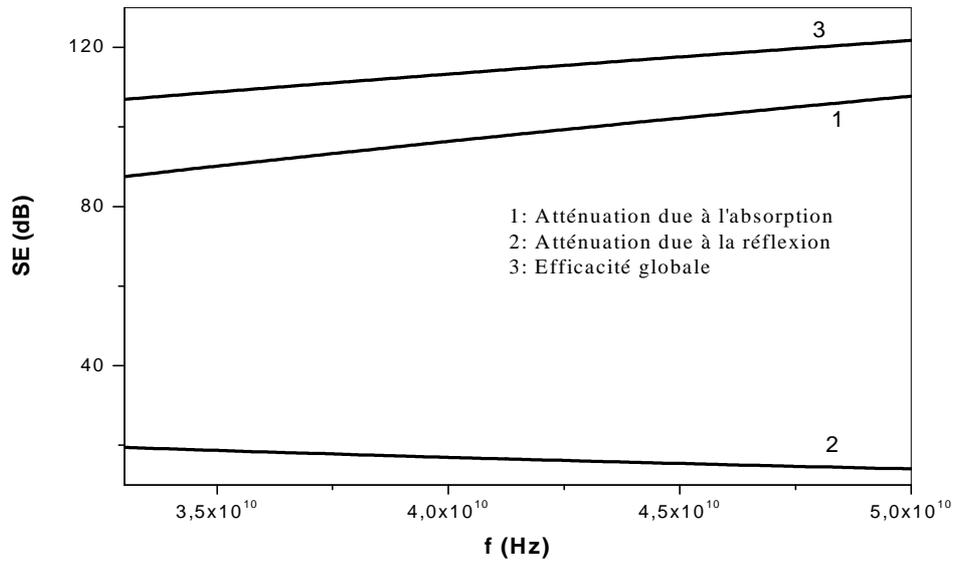


Figure 15 : variation de l'efficacité du blindage électromagnétique en fonction de la fréquence de la source de trioxyde de vanadium seul : cas des ondes millimétriques (33GHz-50GHz).

1. 6. Cas du polymère conducteur composite $HDPE / V_2 O_3$

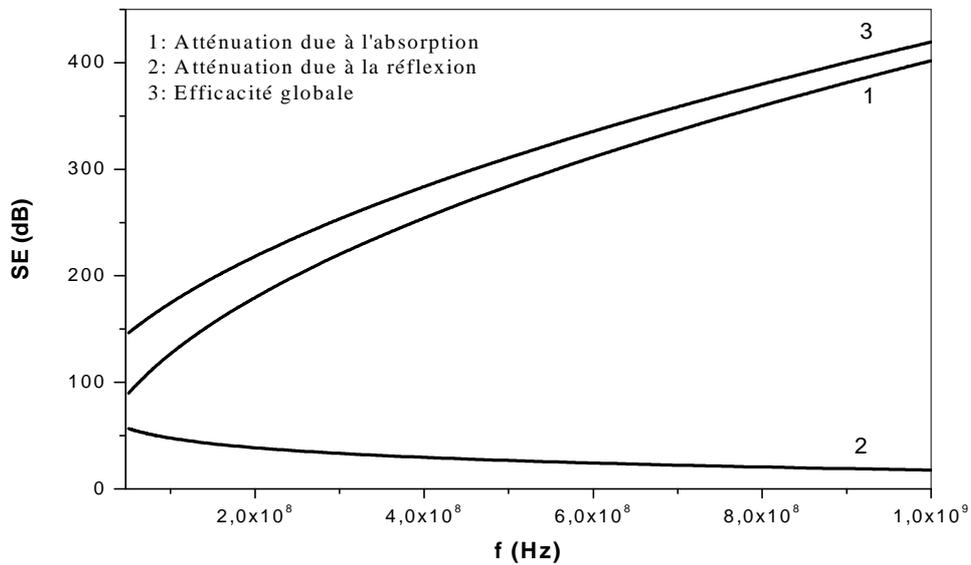


Figure 16 : variation de l'efficacité du blindage électromagnétique, en fonction de la fréquence de la source, du polymère conducteur composite $HDPE / V_2 O_3$: cas de la bande de fréquences radio (50MHz-1GHz).

Les figures 16 et 17 montrent respectivement les variations de l'efficacité du blindage électromagnétiques dans les bandes des ondes radio (50MHz-1GHz) et micro-ondes (8,2GHz-18GHz), pour un écran du blindage en HDPE/V2O3 d'épaisseur $e_p = 11 \cdot 10^{-2} m$.

La figure 16, montre que l'atténuation due à la réflexion décroît de 56,85 dB à 18,19dB, l'atténuation due à l'absorption croît de 89,44 dB à 400,72 dB et l'efficacité globale croît de 146,29 dB à 420,94 dB lorsque la fréquence de la source de rayonnement varie de 50 MHz à 1 GHz.

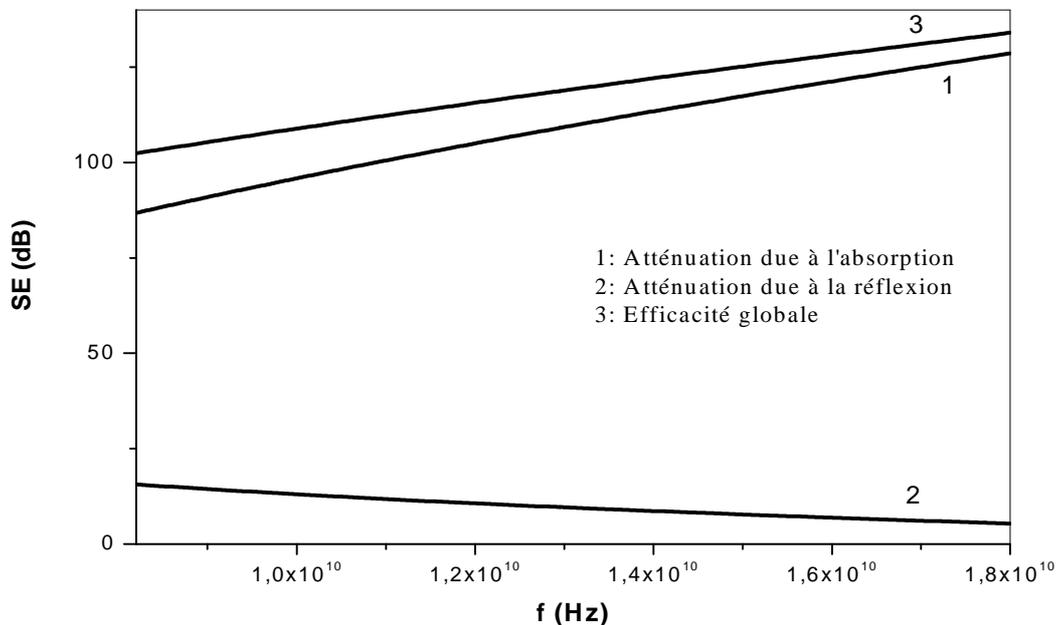


Figure 17 : variation de l'efficacité du blindage électromagnétique, en fonction de la fréquence de la source, du polymère conducteur composite HDPE / V₂O₃ : cas des micro-ondes (8,2GHz-18GHz).

La figure 17, montre que l'atténuation due à la réflexion décroît de 15,80 dB à 5,03dB, l'atténuation due à l'absorption croît de 86,70 dB à 128,44 dB et l'augmentation de l'efficacité globale de 101,87 dB à 134,81 dB lorsque la fréquence varie de 8,2GHz à 18GHz.

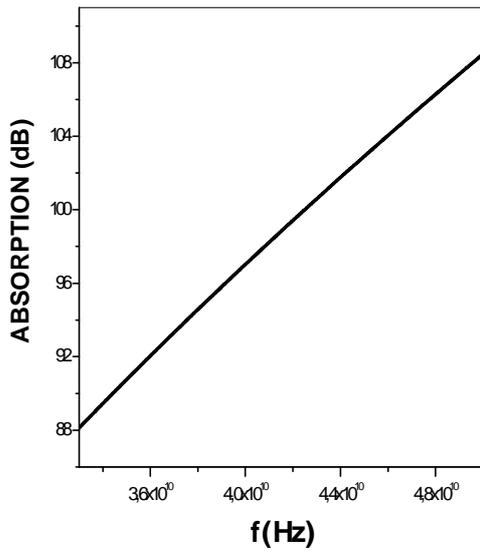


Figure 18a : Atténuation due à l'absorption

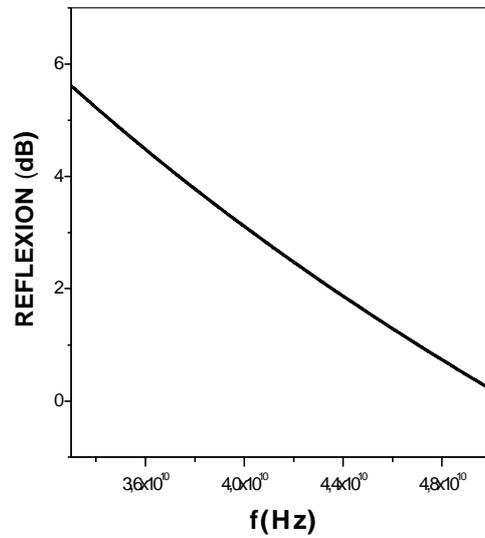


Figure 18b : Atténuation due à la réflexion

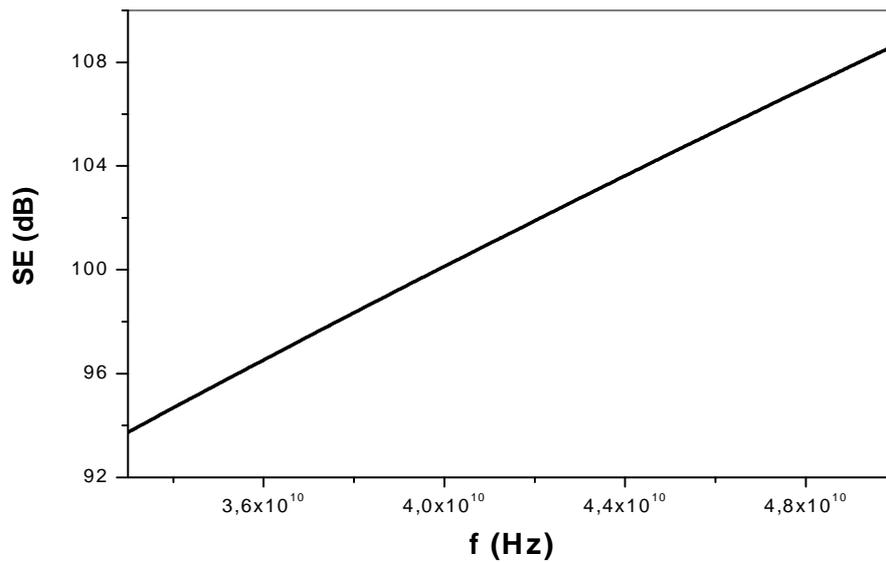


Figure 18 : variation de l'efficacité du blindage électromagnétique, en fonction de la fréquence de la source, des polymères conducteurs composites $HDPE / V_2O_3$: cas des ondes millimétriques (33GHz-50GHz).

La figure 18a, représente la variation de l'atténuation due à l'absorption en fonction de la fréquence de la source, du polymère conducteur composite $HDPE / V_2O_3$

Pour la bande de fréquences des ondes millimétriques (33GHz-50GHz), Sur cette figure l'atténuation croît de 88.12 dB à 108.47 dB.

La figure 18b, représente la variation de l'atténuation due à la réflexion en fonction de la fréquence de la source, pour la même bande de fréquences, Sur cette figure l'atténuation décroît de 5.61dB à 0.20 dB.

L'examen de la figure 18, représente la variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique, montre que cette efficacité augmente de 93,74 dB à 108, 67 dB lorsque la fréquence varie de 33 GHz à 50 GHz.

1. 7. Cas du polymère conducteur composite LDPE / V_2O_3

Les figures 19 et 20 représentent respectivement les variations de l'efficacité du blindage électromagnétiques dans les bandes des ondes radio (50MHz-1GHz) et micro-ondes (8,2GHz-18GHz), pour un écran du blindage en épaisseur $e_p = 14 \cdot 10^{-2} m$. Sur ces figures, on remarque l'augmentation de l'efficacité globale, de l'atténuation due à l'absorption et la diminution de l'atténuation due à la réflexion lorsque la fréquence de la source de rayonnement augmente.

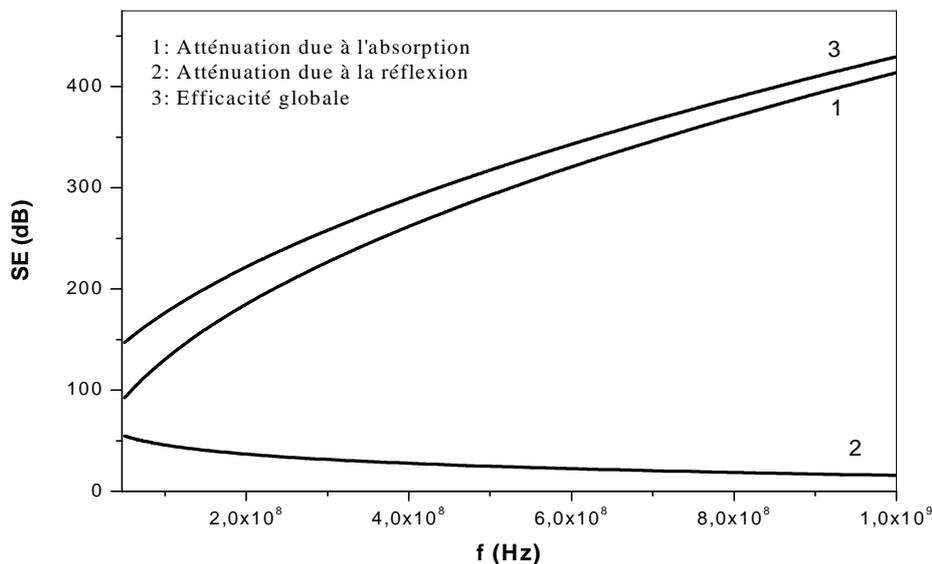


Figure 19 : variation de l'efficacité du blindage électromagnétique, en fonction de la fréquence de la source, du polymère conducteur composite LDPE / V_2O_3 : cas de la bande de fréquences radio (50MHz-1GHz).

La figure 19, montre que l'atténuation due à la réflexion décroît de 57,87 dB à 14,93dB, l'atténuation due à l'absorption croît de 90,14 dB à 414,45 dB et l'efficacité globale croît de 184,02 dB à 431,52 dB lorsque la fréquence de la source de rayonnement varie de 50 MHz à 1 GHz.

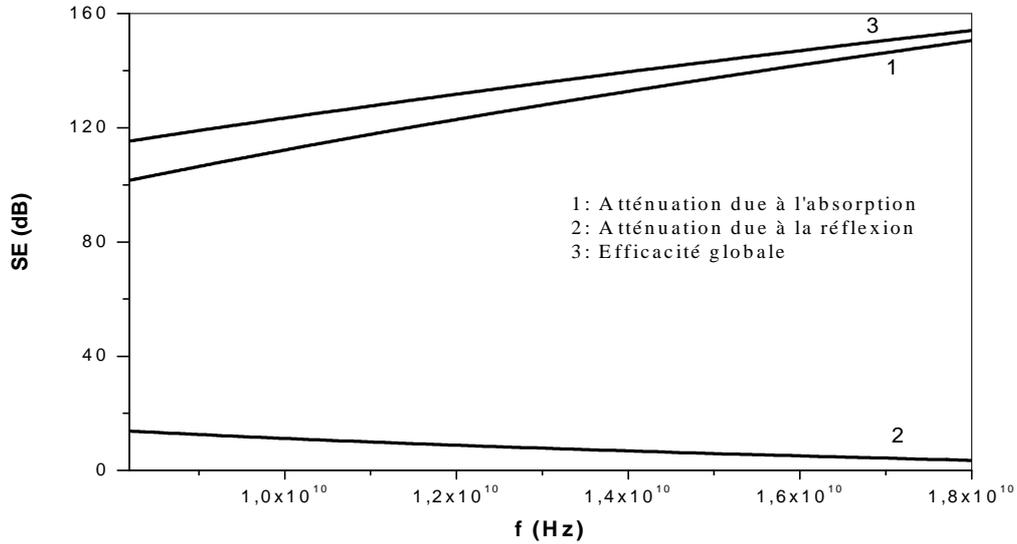


Figure 20 : variation de l'efficacité du blindage électromagnétique, en fonction de la fréquence de la source, du polymère conducteur composite LDPE / V₂O₃ : cas des micro-ondes (8,2GHz-18GHz).

La figure 20, montre que l'atténuation due à la réflexion décroît de 13,74 dB à 4,31dB, l'atténuation due à l'absorption croît de 101,96 dB à 150,38 dB et l'augmentation de l'efficacité globale de 116,42 dB à 154,78 dB lorsque la fréquence varie de 8,2GHz à 18GHz.

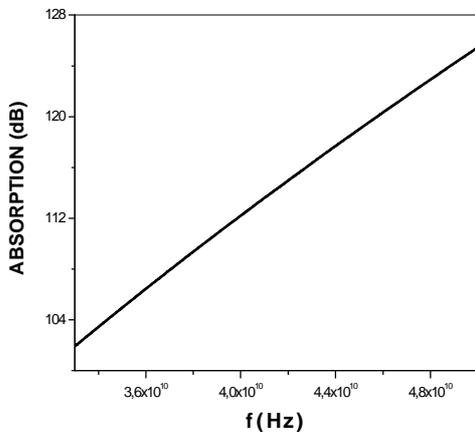


Figure 21a : Atténuation due à l'absorption

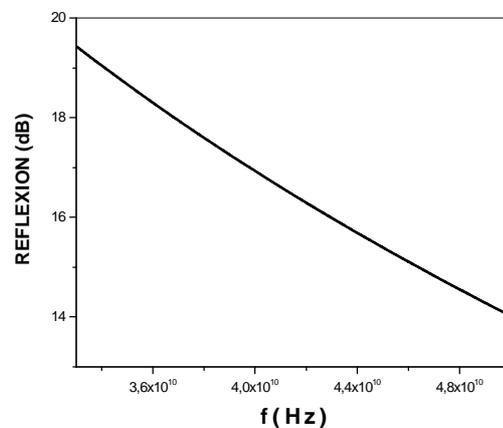


Figure 21b : Atténuation due à la réflexion

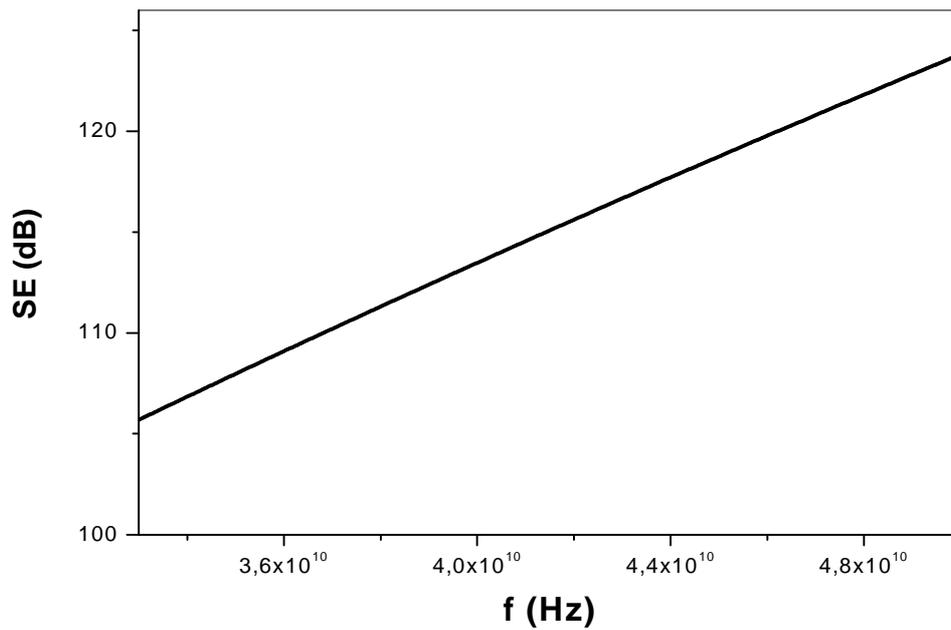


Figure 21 : variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique, en fonction de la fréquence de la source, des polymères conducteurs composites $LDPE/V_2O_3$: cas des ondes millimétriques (33GHz-50GHz).

La figure 21a, représente la variation de l'atténuation due à l'absorption en fonction de la fréquence de la source, du polymère conducteur composite $LDPE/V_2O_3$ pour la bande de fréquences des ondes millimétriques (33GHz-50GHz), Sur cette figure l'atténuation croît de 101.91 dB à 125.45 dB.

La figure 21b, représente la variation de l'atténuation due à la réflexion en fonction de la fréquence de la source, pour la même bande de fréquence, sur cette figure l'atténuation décroît de 19.43 dB à 14.02 dB.

L'examen de la figure 21, représente la variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique pour des fréquences citées précédemment, montre que cette efficacité globale augmente de 105,69 dB à 123,82 dB lorsque la fréquence varie de 33GHz à 50GHz.

DEUXIEME PARTIE

***INFLUENCE DE L'EPAISSEUR DE L'ECRAN SUR
L'EFFICACITE DU BLINDAGE
ELECTROMAGNETIQUE***

Dans cette partie de notre travail :

Nous examinons la variation de l'efficacité du blindage électromagnétique en fonction de l'épaisseur de l'écran de blindage. A cet effet, nous fixons la fréquence d'émission de la source égale à la fréquence moyenne de chaque bande $f_1 = 525\text{MHz}$, $f_2 = 13.1\text{GHz}$ et $f_3 = 41.5\text{GHz}$, la fraction volumique des inclusions conductrices est prise égale à une fraction qui induit une conductivité électrique pour laquelle l'approximation du bon conducteur est toujours vérifiée et la distance entre la source et l'écran du blindage $r = 45 \cdot 10^{-3} \text{ m}$.

2. 1. Cas du l'Aluminium

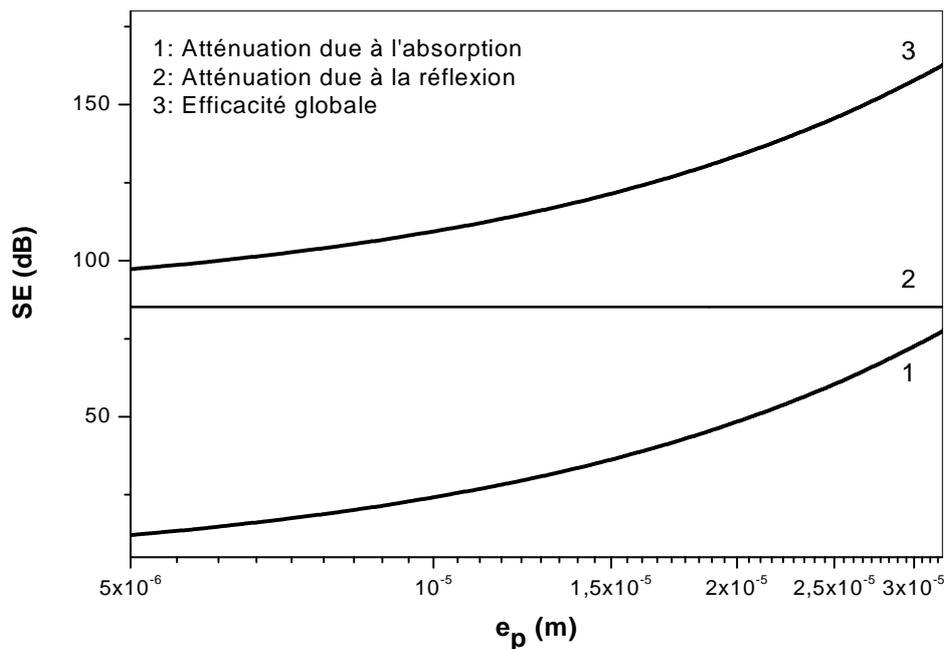


Figure 22 : Variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique, en fonction de l'épaisseur d'écran, en aluminium pour $f = 525\text{MHz}$

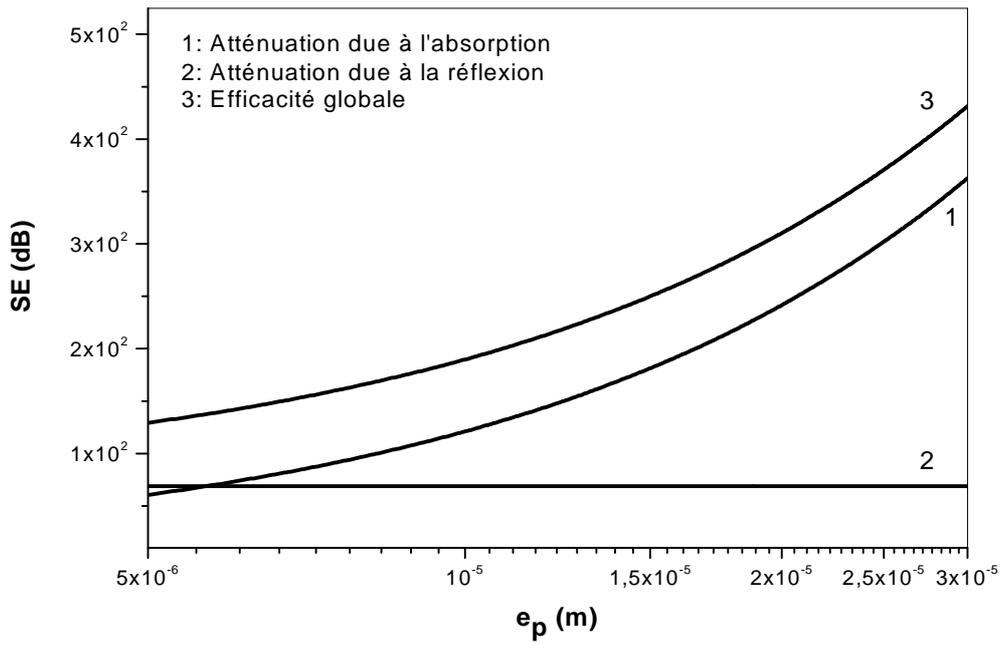


Figure 23 : Variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique, en fonction de l'épaisseur d'écran, en aluminium pour $f = 13,1 \text{ GHz}$

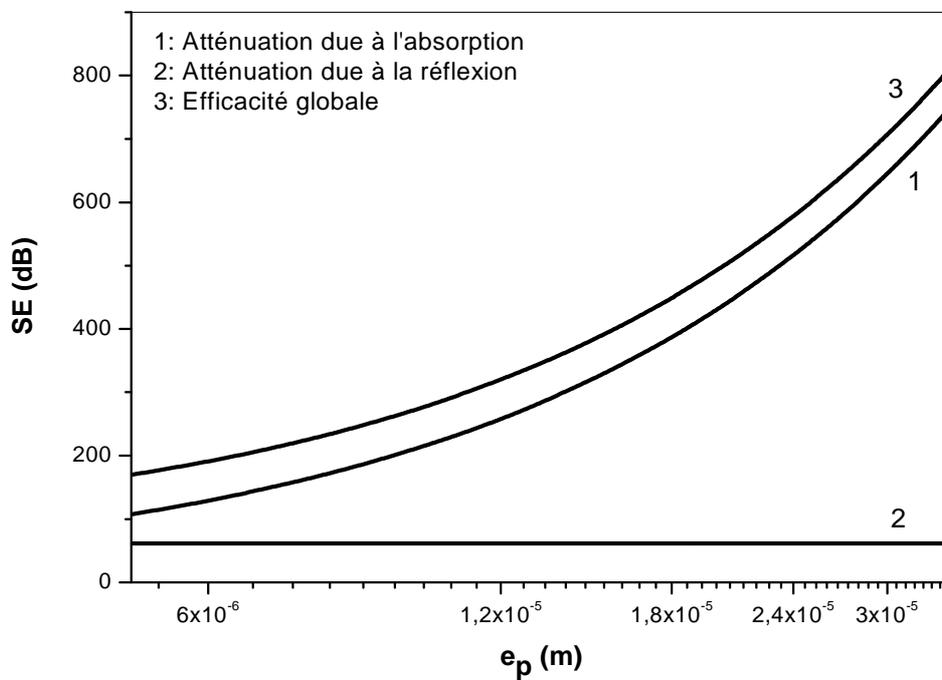


Figure 24 : variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique, en fonction de l'épaisseur d'écran, en aluminium pour $f = 41,5 \text{ GHz}$

Les figures 22, 23 et 24, représentent les variations de l'atténuation due à l'absorption, à la réflexion et l'efficacité globale en fonction de l'épaisseur d'écran. Ces figures correspondent respectivement à des fréquences égales à 525MHz, 13,1GHz et 41,5GHz. Les différents résultats que nous avons obtenus, montrent que l'atténuation due à la réflexion est indépendante de l'épaisseur de l'écran. Cette atténuation reste constante pour une fréquence donnée lorsque la valeur de l'épaisseur varie. L'atténuation due à l'absorption croît avec l'épaisseur de l'écran de 12,07dB à 76,92dB pour une fréquence de 525MHz, de 61,18dB à 361,33 dB pour une fréquence de 13,1GHz et de 113,70dB à 756,48 dB pour une fréquence de 41,5GHz. L'efficacité globale croît avec l'épaisseur de l'écran de 97,56dB à 161,62 dB pour une fréquence de 525MHz, de 128,55dB à 428,99 dB pour une fréquence de 13,1GHz et de 174,84dB à 809,54 dB pour une fréquence de 41,51GHz.

2. 2. Cas du polymère conducteur composite nylon 6/AL

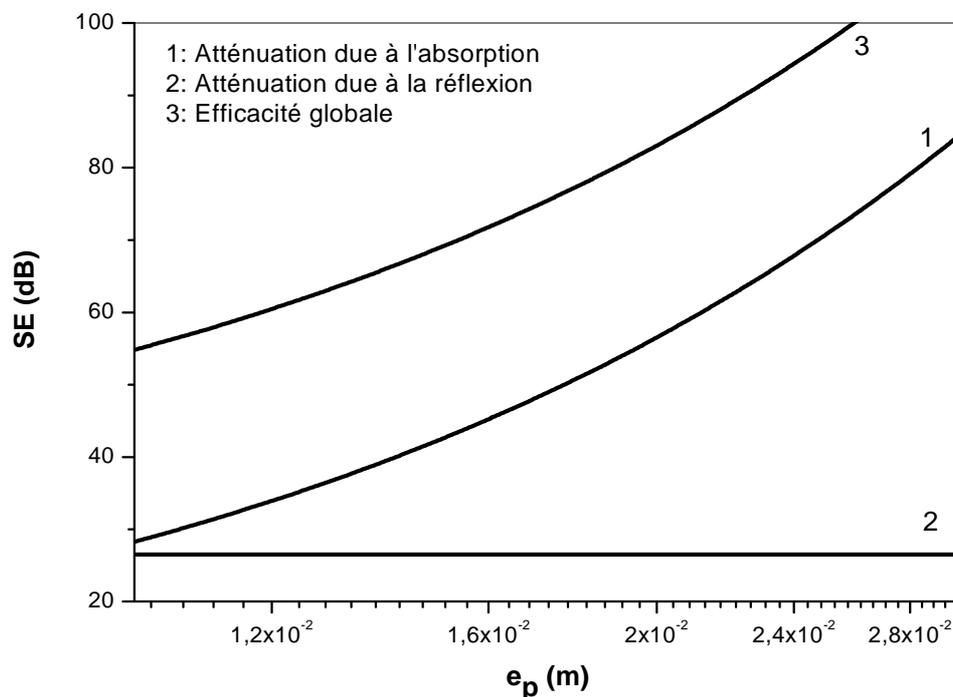


Figure 25 : variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique, en fonction de l'épaisseur d'écran, en nylon6/Al pour $f = 525\text{MHz}$

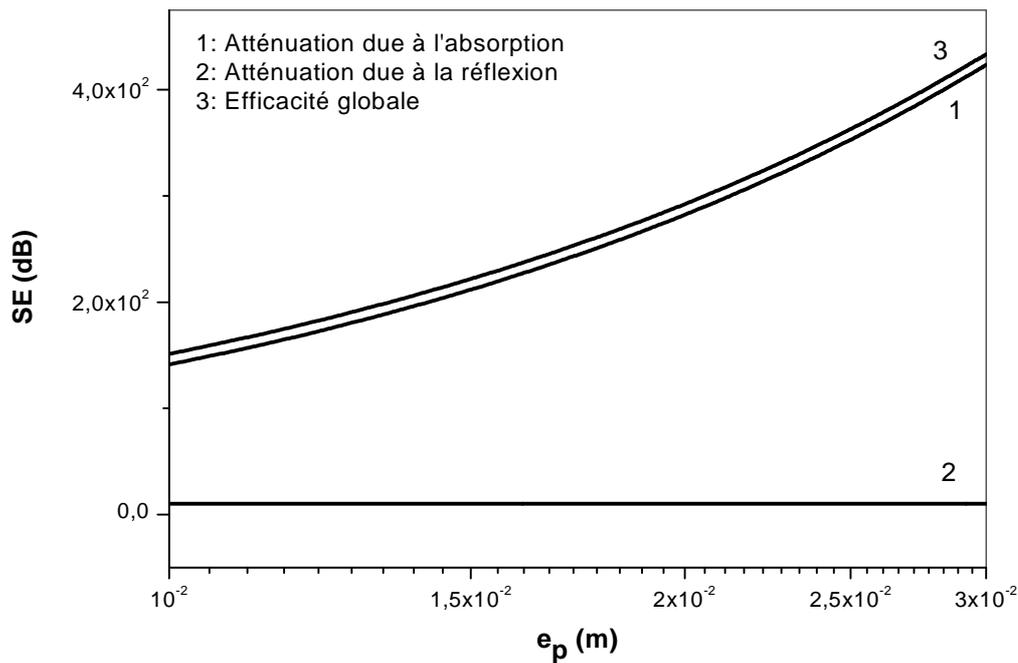


Figure 26 : variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique, en fonction de l'épaisseur d'écran, en nylon6/Al pour $f = 13,1\text{GHz}$

Les figures 25 et 26 représentent les variations de l'atténuation due à l'absorption, à la réflexion et l'efficacité globale en fonction de l'épaisseur d'écran. Ces figures correspondent respectivement à des fréquences égales à 525MHz et 13,1GHz. Les différents résultats que nous avons obtenus, montrent que l'atténuation due à la réflexion est indépendante de l'épaisseur de l'écran. Cette atténuation reste constante pour une fréquence donnée, lorsque la valeur de l'épaisseur varie. L'atténuation due à l'absorption croît avec l'épaisseur de l'écran de 28,75dB à 84,59dB pour une fréquence de 525MHz et de 144,55dB à 422,23 dB pour une fréquence de 13,1GHz. L'efficacité globale croît avec l'épaisseur de l'écran de 55,36dB à 94,89 dB pour une fréquence de 525MHz et de 153,98dB à 434,02 dB pour une fréquence de 13,1GHz.

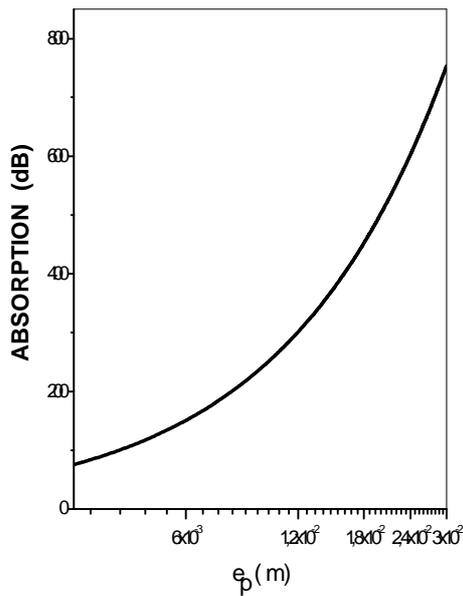


Figure 27a : Atténuation due à l'absorption

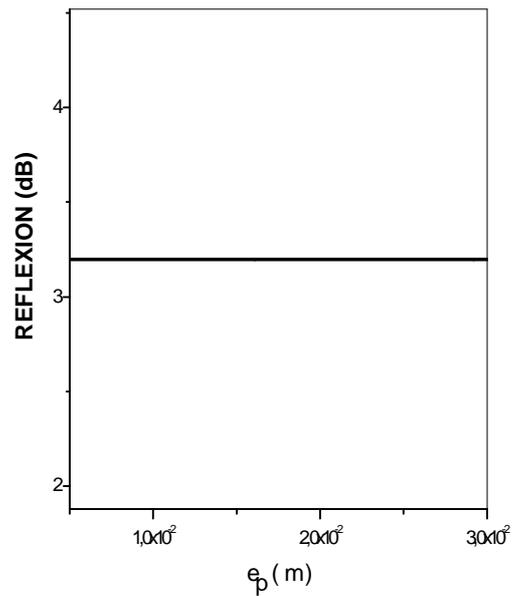


Figure 27b : Atténuation due à la réflexion

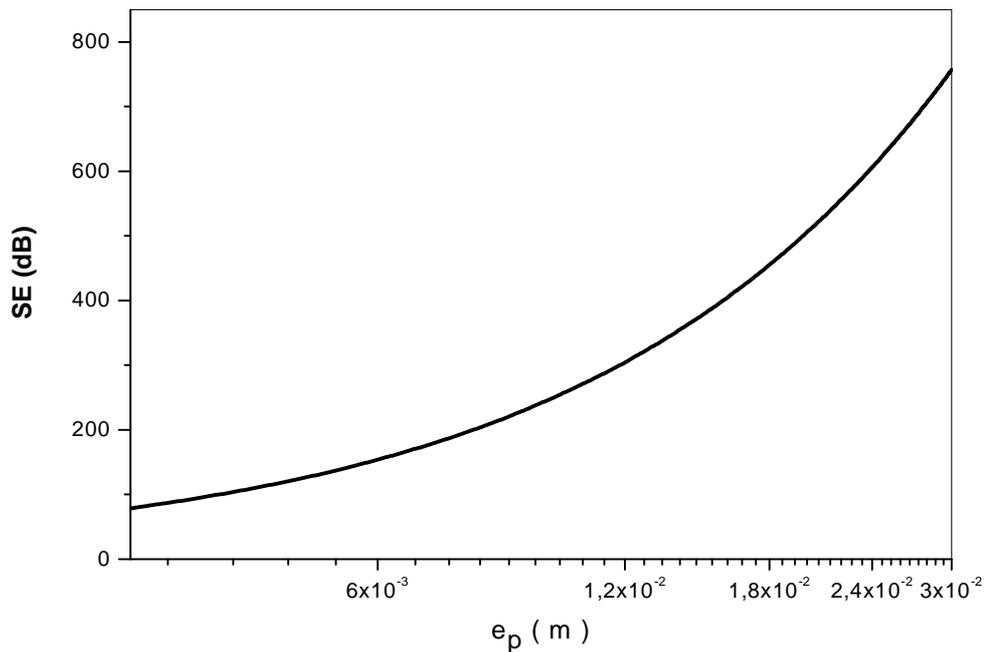


Figure 27 : variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique, en fonction de d'épaisseur d'écran, en nylon6/Al pour $f = 41,5GHz$

La figure 27a, représente la variation de l'atténuation due à l'absorption, en fonction de l'épaisseur d'écran pour une fréquence égale à 41.5GHz l'atténuation due à l'absorption croît de 71.75dB à 754.51 dB.

La figure 27b, représente la variation de l'atténuation due à la réflexion, en fonction de l'épaisseur d'écran pour la même fréquence. Cette atténuation est indépendante de l'épaisseur d'écran.

L'examen de la figure27, qui illustre la variation de l'atténuation globale du blindage électromagnétique, en fonction de l'épaisseur d'écran pour la fréquence citée précédemment, sur cette figure l'atténuation croît de 78.56dB à 756.86 dB.

2. 3. Cas du zinc

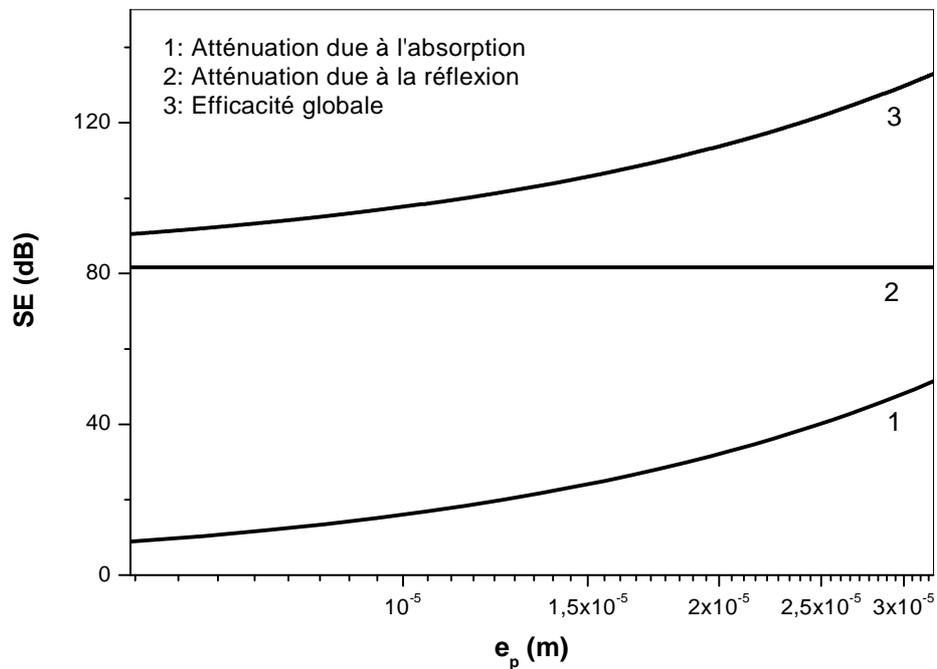


Figure 28 : variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique, en fonction de l'épaisseur d'écran, en zinc pour $f = 525 \text{ MHz}$

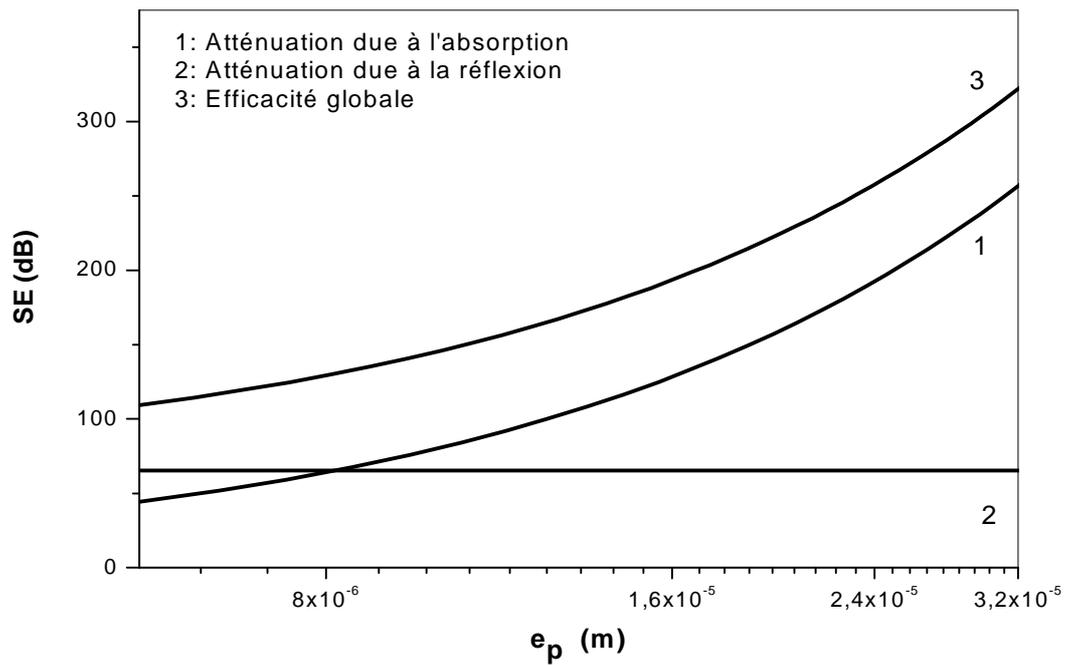


Figure 29 : variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique, en fonction de l'épaisseur d'écran, en zinc pour $f = 13,1GHz$

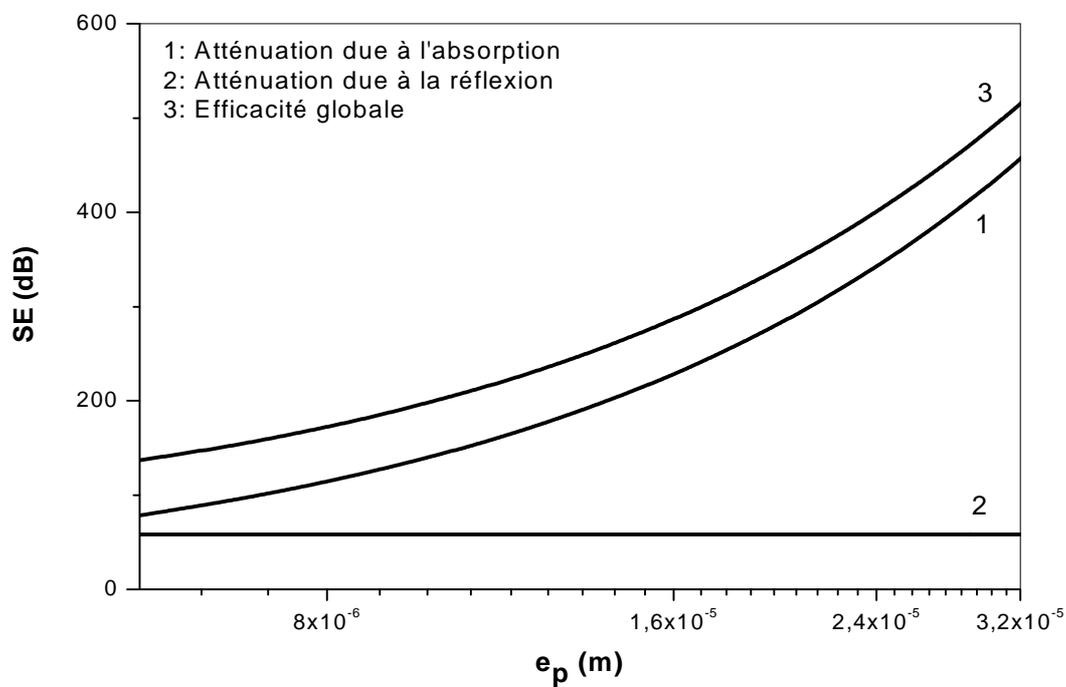


Figure 30: variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique, en fonction de l'épaisseur d'écran, en zinc pour $f = 41,5GHz$

Les figures 28, 29 et 30, montrent les variations de l'atténuation due à l'absorption, à la réflexion et l'efficacité globale en fonction de l'épaisseur d'écran. Ces figures correspondent respectivement à des fréquences égales à 525 MHz, 13,1 GHz et 41,5GHz. Les différents résultats que nous avons obtenus, montrent que l'atténuation due à la réflexion est indépendante de l'épaisseur de l'écran. Cette atténuation reste constante pour une fréquence donnée, lorsque la valeur de l'épaisseur varie. L'atténuation due à l'absorption croît avec l'épaisseur de l'écran de 9,43dB à 57,60 dB pour une fréquence de 525MHz, de 44,00dB à 311,83 dB pour une fréquence de 13,1GHz et de 78,49dB à 553,17 dB pour une fréquence de 41,5GHz. L'efficacité globale croît avec l'épaisseur de l'écran de 90,87 dB à 137,61 dB pour une fréquence de 525MHz, de 110,12dB à 344,04 dB pour une fréquence de 13,1GHz et de 138,12dB à 555,86 dB pour une fréquence de 41,51GHz.

2. 4. Cas du polymère conducteur composite nylon 6/Zn

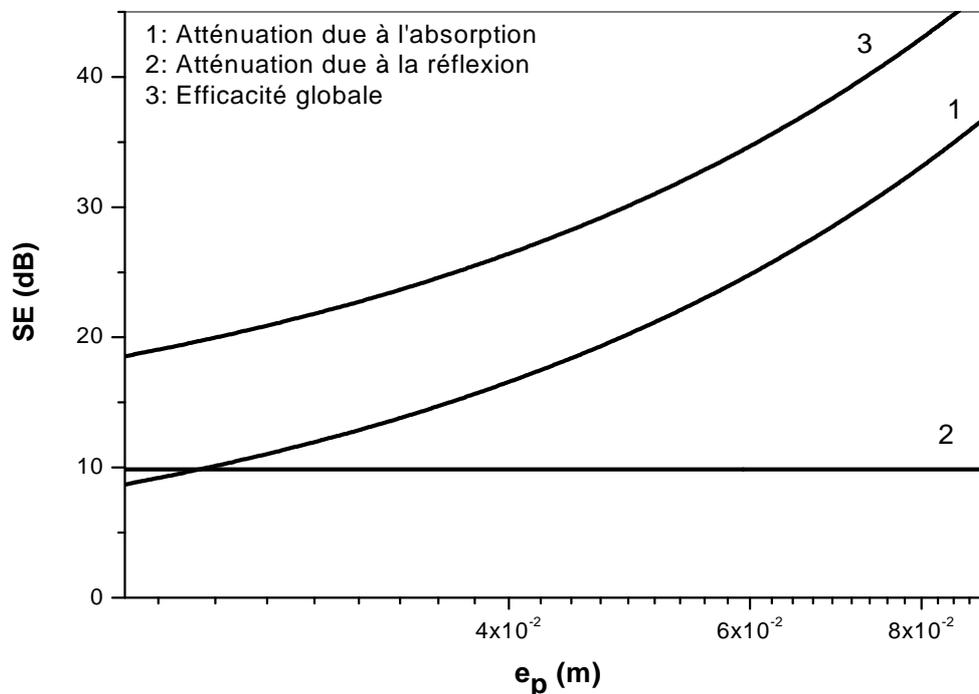


Figure 31: variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique, en fonction de l'épaisseur d'écran, en nylon6/zinc pour $f = 525\text{MHz}$

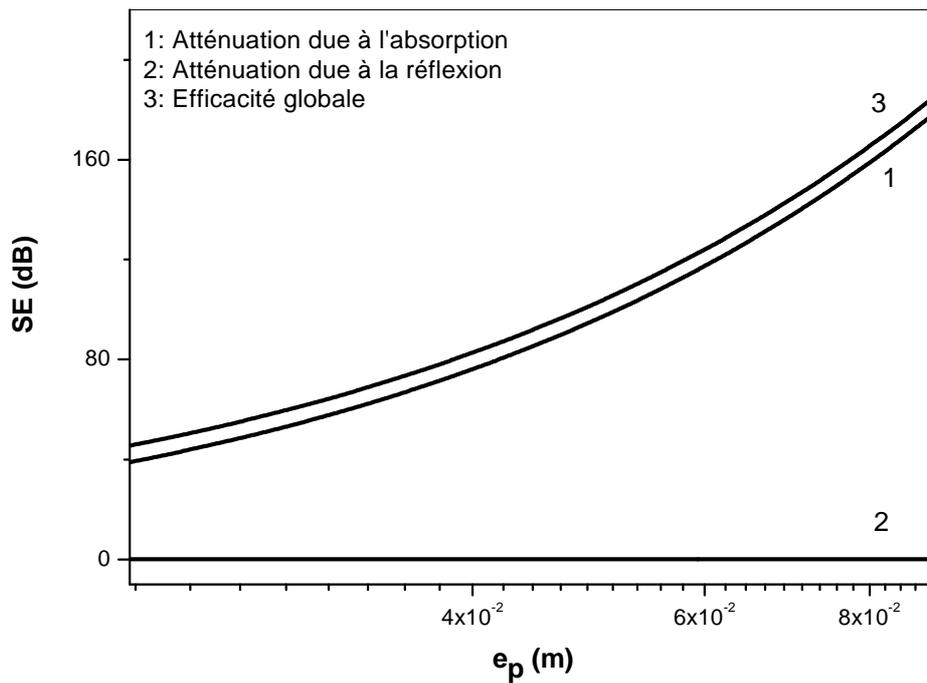


Figure 32: variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique, en fonction de l'épaisseur d'écran, en nylon6/zinc pour $f = 13,1GHz$

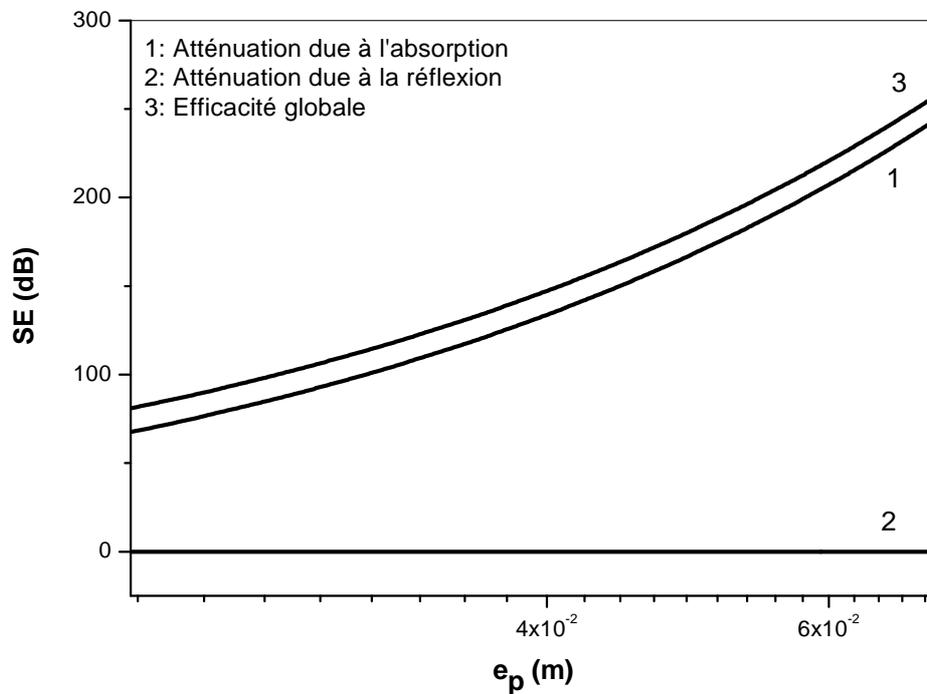


Figure 33: variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique, en fonction de l'épaisseur d'écran, en nylon6/zinc pour $f = 41,5GHz$

Les figures 31, 32 et 33, montrent les variations de l'atténuation due à l'absorption, à la réflexion et l'efficacité globale en fonction de l'épaisseur d'écran. Ces figures correspondent respectivement à des fréquences égales à 525 MHz, 13,1 GHz et 41,5GHz. Les différents résultats que nous avons obtenus, montrent que l'atténuation due à la réflexion est indépendante de l'épaisseur de l'écran. Cette atténuation reste constante pour une fréquence donnée, lorsque la valeur de l'épaisseur varie. L'atténuation due à l'absorption croît avec l'épaisseur de l'écran de 8,74dB à 41,28dB pour une fréquence de 525MHz, de 38,81dB à 198,95 dB pour une fréquence de 13,1GHz et de 67,51dB à 298,17 dB pour une fréquence de 41,5GHz. L'efficacité globale croît avec l'épaisseur de l'écran de 18,69dB à 44,94 dB pour une fréquence de 525MHz, de 74,20dB à 207,34 dB pour une fréquence de 13,1GHz et de 82,11dB à 299,63 dB pour une fréquence de 41,51GHz.

2. 5. Cas du trioxyde de vanadium

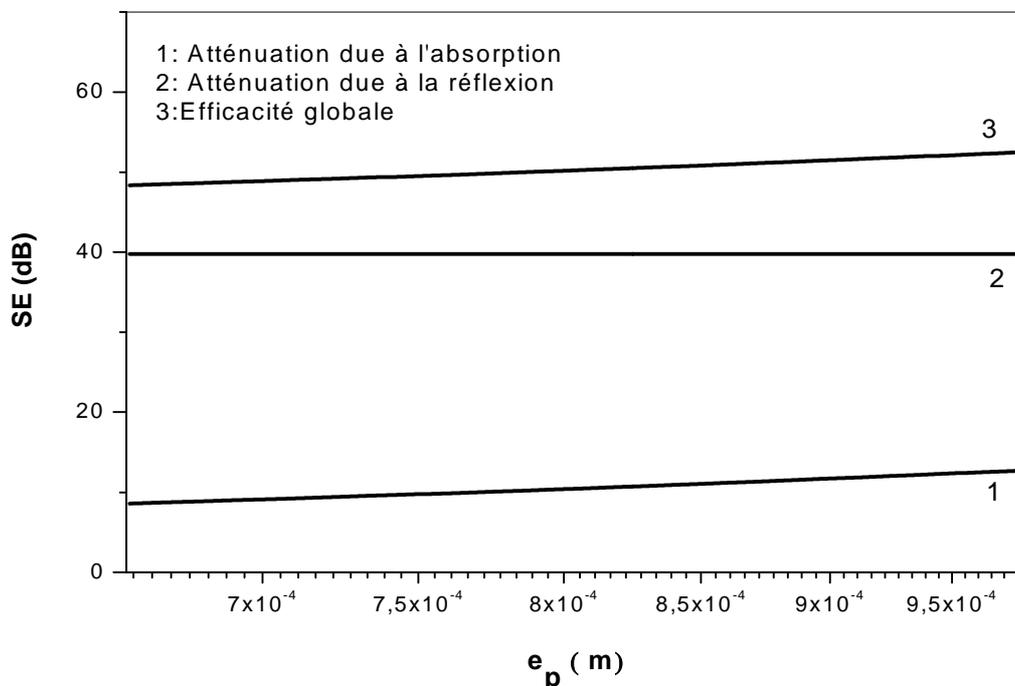


Figure 34 : variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique, en fonction de l'épaisseur d'écran, en trioxyde de vanadium pour $f = 525\text{MHz}$

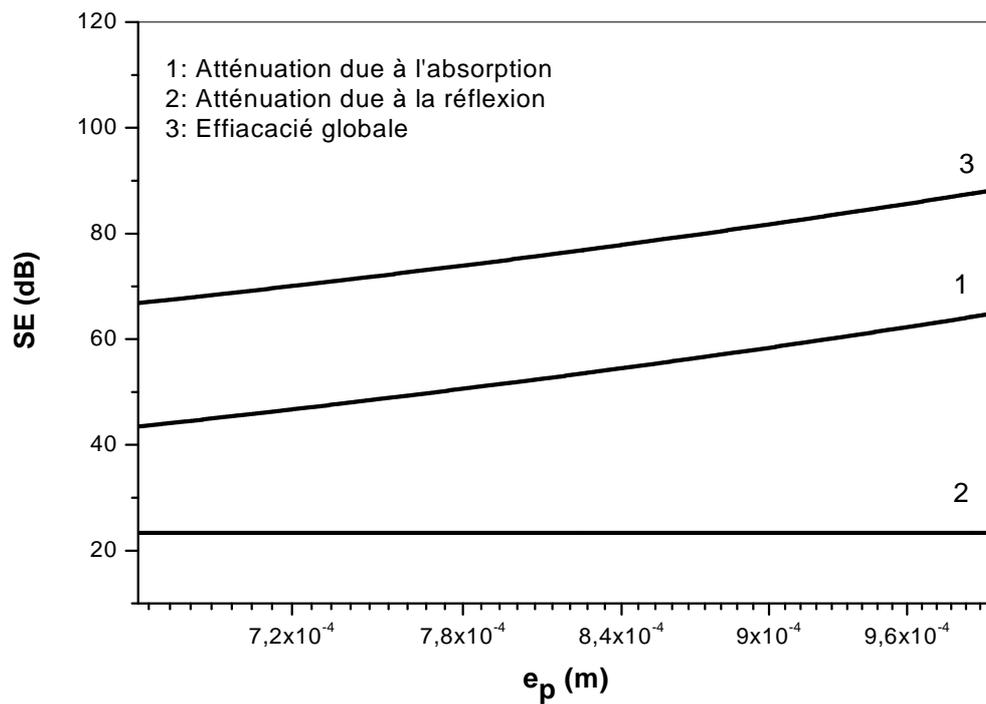


Figure 35: variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique, en fonction de l'épaisseur d'écran, en trioxyde de vanadium pour $f = 13,1GHz$

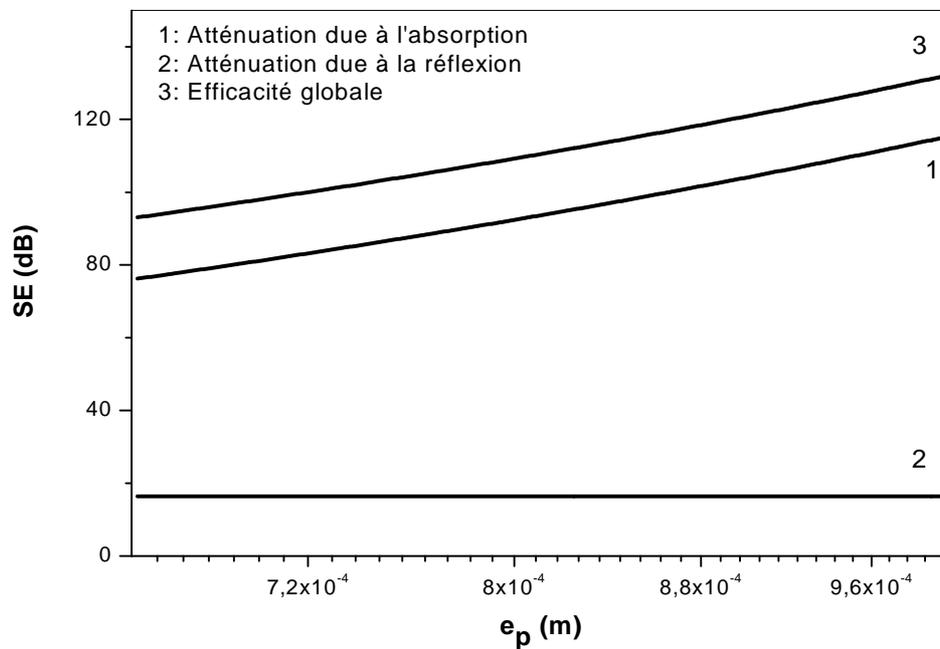


Figure 36: variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique, en fonction de l'épaisseur d'écran, en trioxyde de vanadium pour $f = 41,5GHz$

Les figures 34, 35 et 36, montrent les variations de l'atténuation due à l'absorption, à la réflexion et l'efficacité globale en fonction de l'épaisseur d'écran. Ces figures correspondent respectivement à des fréquences égales à 525 MHz, 13,1 GHz et 41,5GHz. Les différents résultats que nous avons obtenus, montrent que l'atténuation due à la réflexion est indépendante de l'épaisseur de l'écran. Cette atténuation reste constante pour une fréquence donnée, lorsque la valeur de l'épaisseur varie. L'atténuation due à l'absorption croît avec l'épaisseur de l'écran de 8,66dB à 13,02dB pour une fréquence de 525MHz, de 43,75dB à 64,92 dB pour une fréquence de 13,1GHz et de 75,93dB à 115,78 dB pour une fréquence de 41,5GHz. L'efficacité globale croît avec l'épaisseur de l'écran de 48,46dB à 52,41 dB pour une fréquence de 525MHz, de 67,35dB à 88,52 dB pour une fréquence de 13,1GHz et de 93,62dB à 132,29 dB pour une fréquence de 41,51GHz.

2. 6. Cas du polymère conducteur composite $HDPE/V_2O_3$

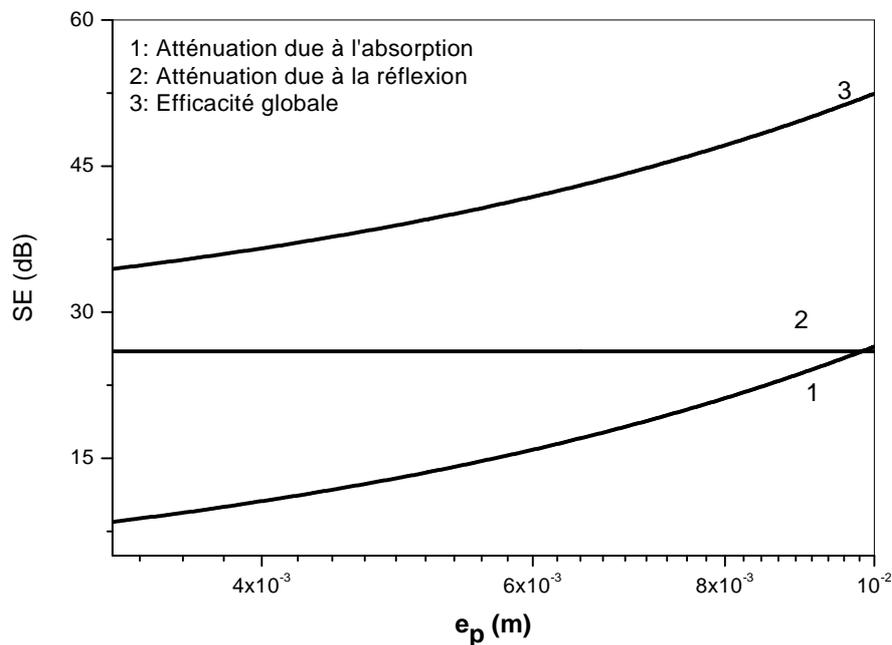
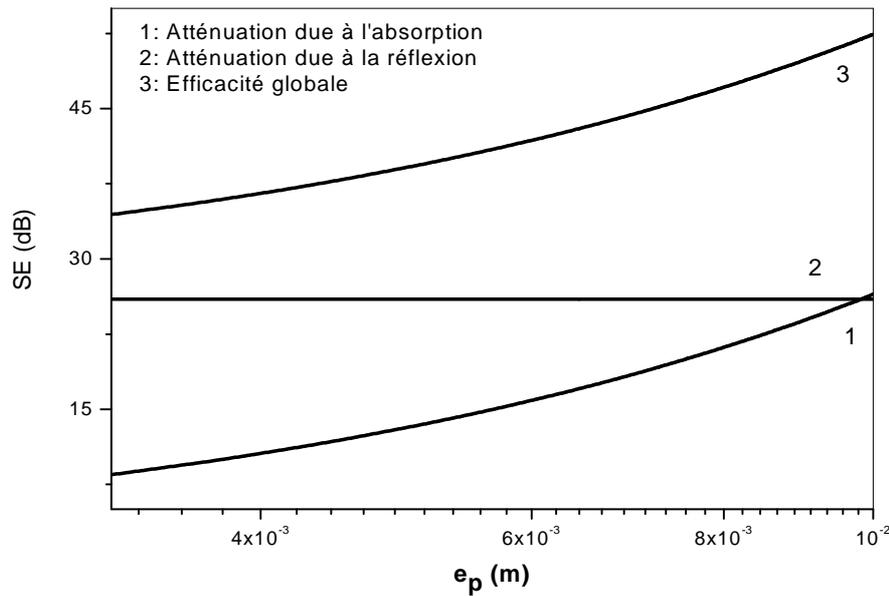


Figure 37: variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique en fonction de l'épaisseur d'écran en $HDPE/V_2O_3$ pour $f = 525MHz$.

Figure 38:
variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique,



en fonction de l'épaisseur d'écran en $HDPE/V_2O_3$ pour $f = 13,1GHz$

Les figures 37 et 38 montrent les variations de l'atténuation due à l'absorption, à la réflexion et l'efficacité globale en fonction de l'épaisseur d'écran. Ces figures correspondent respectivement à des fréquences égales à 525 MHz et 13,1 GHz. Les différents résultats que nous avons obtenus, montrent que l'atténuation due à la réflexion est indépendante de l'épaisseur de l'écran. Cette atténuation reste constante pour une fréquence donnée, lorsque la valeur de l'épaisseur varie. L'atténuation due à l'absorption croît avec l'épaisseur de l'écran de 8,59dB à 26,47dB pour une fréquence de 525MHz et de 43,37dB à 132,22 dB pour une fréquence de 13,1GHz .L'efficacité globale croît avec l'épaisseur de l'écran de 34,59dB à 52,89 dB pour une fréquence de 525MHz et de 52,21dB à 141,74 dB pour une fréquence de 13,1GHz

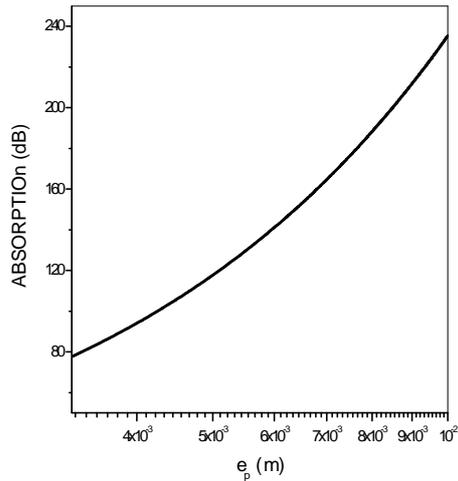


Figure 39a : Atténuation due à l’absorption

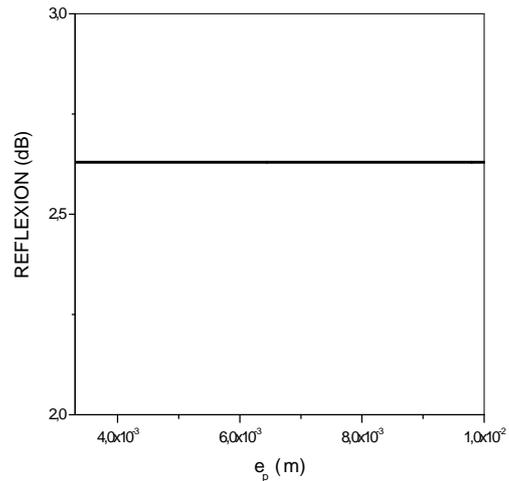


Figure 39b : Atténuation due à la réflexion

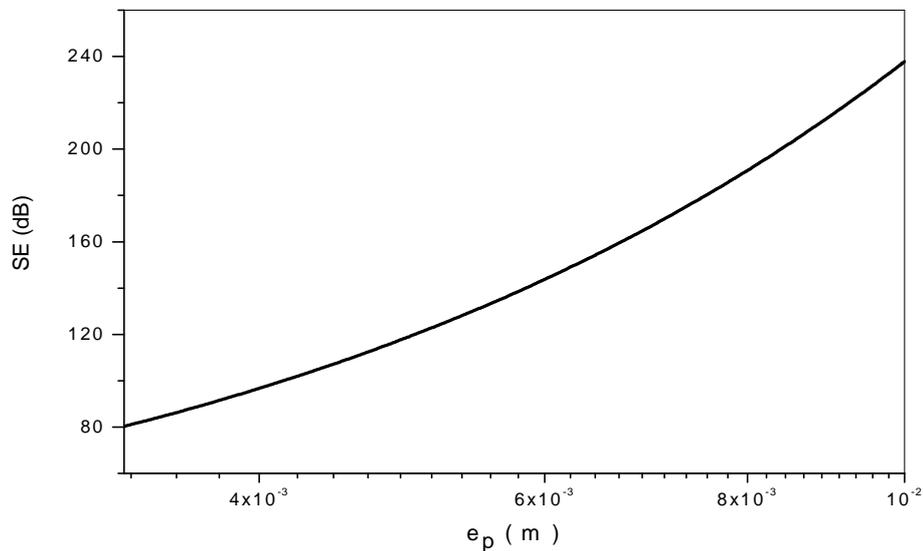


Figure 39 : variation de l’efficacité globale du blindage électromagnétique, en fonction de l’épaisseur d’écran en $HDPE / V_2O_3$ pour $f = 41,5GHz$

la figure 39a, représente la variation de l’atténuation due à l’absorption, en fonction de l’épaisseur d’écran, pour une fréquence égale à 41.5GHz l’atténuation due à l’absorption croît de 71.02dB à 233.11 dB.

La figure 39b, représente la variation de l’atténuation due à la réflexion, en fonction de l’épaisseur d’écran, pour la même fréquence. Cette atténuation est indépendante de l’épaisseur d’écran.

La figure 39,représente la variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique, en fonction de l'épaisseur d'écran, pour la fréquence citée précédemment, sur cette figure l'atténuation est croît avec l'épaisseur de 76.21dB à 236.88 dB.

2. 7. Cas du polymère conducteur composite $LDPE / V_2O_3$

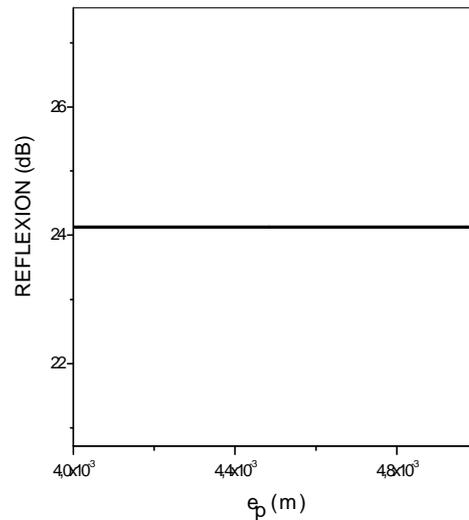
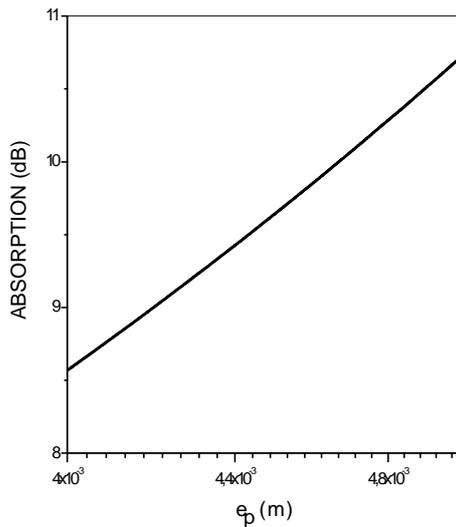


Figure40a : Atténuation due à l'absorption

Figure 40b : Atténuation due à la réflexion

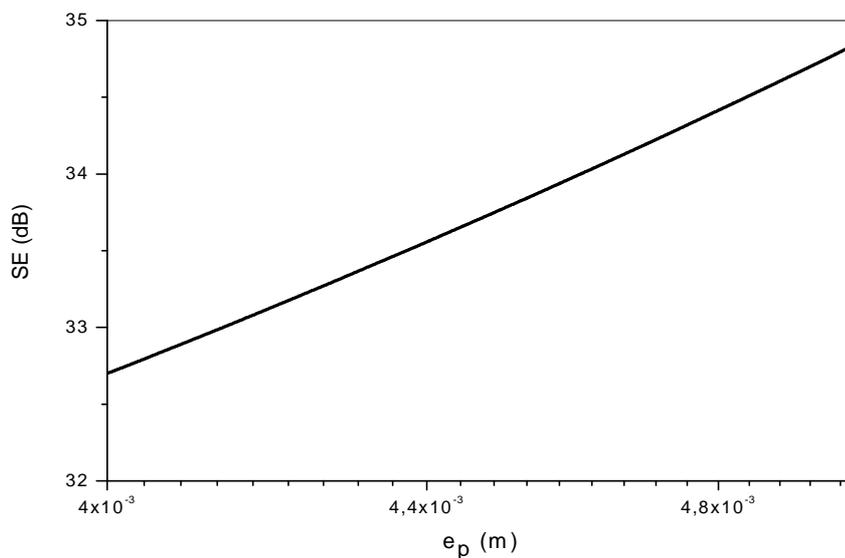


Figure 40 : variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique, en fonction de l'épaisseur d'écran, en $LDPE / V_2O_3$ pour $f = 525MHz$

La figure 40a, montre la variation de l'atténuation due à l'absorption en fonction de l'épaisseur d'écran, correspondent à la fréquence moyenne 525MHz. cette atténuation croît de 8,81dB à 10,83dB.

La figure 40b, montre la variation de l'atténuation due à la réflexion en fonction de l'épaisseur d'écran, correspondent à la fréquence moyenne 525MHz. cette atténuation est indépendante de l'épaisseur de l'écran.

La figure 40, montre la variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique en fonction de l'épaisseur d'écran, correspondent à la fréquence moyenne 525MHz, cette atténuation croît de 32,76dB à 35,03 dB.

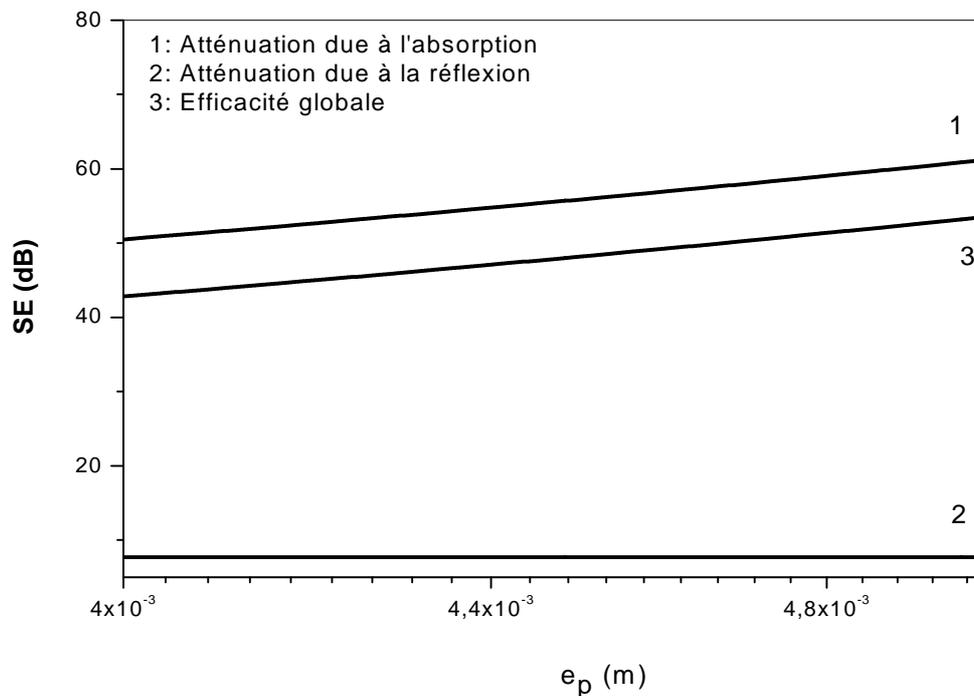


Figure 41 : variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique, en fonction de l'épaisseur d'écran, en LDPE / V_2O_3 pour $f = 13,1GHz$

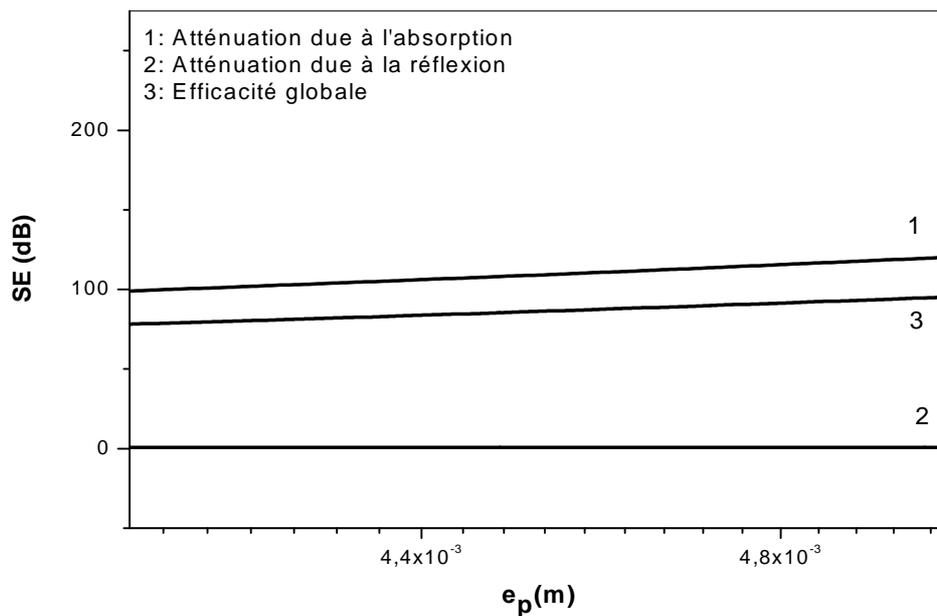


Figure 42 : variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique, en fonction de l'épaisseur de l'écran en $LDPE / V_2O_3$ pour $f = 41,5GHz$.

Les figures 41 et 42, représentent les variations de l'atténuation due à l'absorption, à la réflexion et l'efficacité globale en fonction de l'épaisseur d'écran. Ces figures correspondent respectivement à des fréquences égales à 13,1GHz et 41,5 GHz. Les différents résultats que nous avons obtenus, montrent que l'atténuation due à la réflexion est indépendante de l'épaisseur de l'écran. Cette atténuation reste constante pour une fréquence donnée lorsque la valeur de l'épaisseur varie. L'atténuation due à l'absorption croît de 50,77dB à 61,26 dB pour une fréquence de 13,1GHz et de 101,27dB à 120,43 dB pour une fréquence de 41,5GHz. L'efficacité globale croît avec l'épaisseur de l'écran de 42,94dB à 53,46 dB pour une fréquence de 13,1GHz et de 79,19dB à 96,89 dB pour une fréquence de 41,51GHz.

TROISIEME PARTIE

***INFUENCE DE LA FRACTION VOLUMIQUE DES
INCLUSIONS CONDUCTRICES SUR
L'EFFICACITE DU BLINDAGE
ELECTROMAGNETIQUE***

Pour examiner l'influence de la fraction volumique des inclusions conductrices sur l'efficacité du blindage électromagnétique à base des polymères conducteurs composites, considérons l'épaisseur de l'écran, la fréquence de la source du rayonnement électromagnétique égale à la fréquence moyenne de chaque bande $f_1 = 525\text{MHz}$, $f_2 = 13.1\text{GHz}$ et $f_3 = 41.5\text{GHz}$, la distance entre la source et l'écran de blindage $r = 45.10^{-3}\text{m}$ constantes et faisons varier la fraction volumique des inclusions conductrices qui vérifie l'approximation du bon conducteur. La loi de variation de la conductivité électrique d'un polymère conducteur composite en fonction de la fraction volumique des inclusions conductrices est donnée par [2]:

$$\log \sigma = \log \sigma_{\phi_c} + \frac{(\log \sigma_{\phi_s} - \log \sigma_{\phi_c})}{1 + \exp\left(-\left(\frac{\phi - (\phi_s + \phi_c)}{2(\phi_s - \phi_c)}\right)\right)} \quad [2]$$

Avec :

σ_{ϕ_s} : Valeur de la conductivité électrique de polymère conducteur composite pour une fraction volumique égale à la fraction volumique de saturation ϕ_s .

σ_{ϕ_c} : Valeur de la conductivité électrique de polymère conducteur composite pour une fraction volumique égale à la fraction volumique de percolation ϕ_c .

3. 1. Cas du polymère conducteur composite nylon6/Al

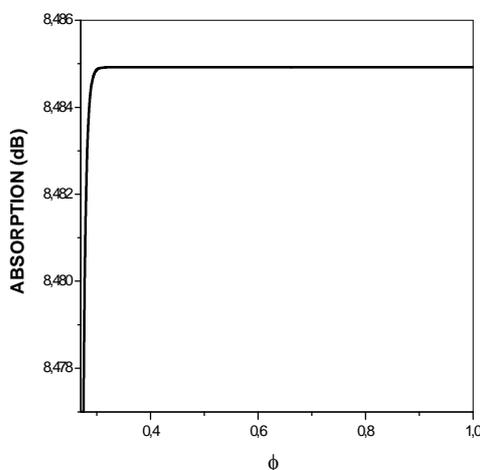


Figure 43a : Atténuation due à l'absorption

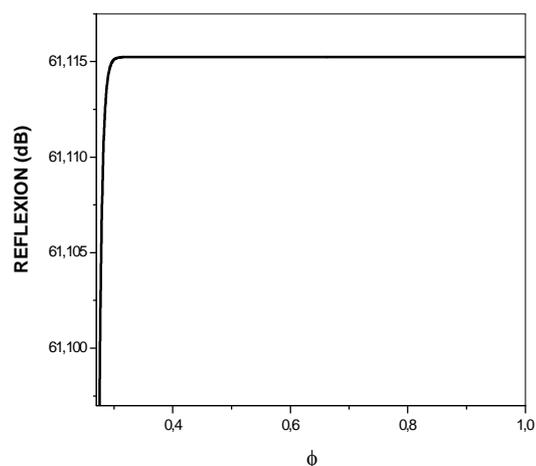


Figure 43b : Atténuation due à la réflexion

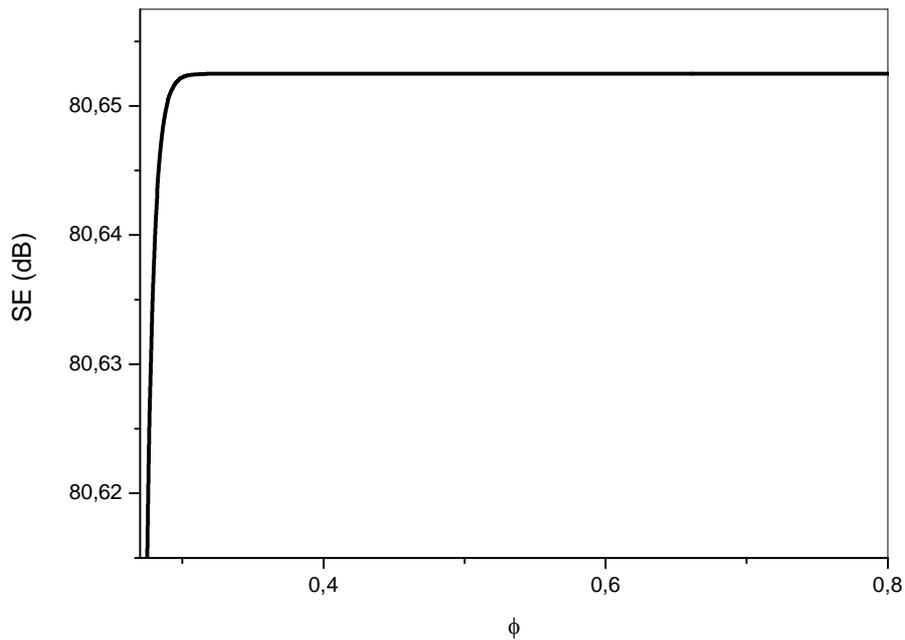


Figure 43 : variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique, d'un écran en nylon6/Al en fonction de la fraction volumique des inclusions conductrices, pour $f = f_1 = 525\text{MHz}$

La figure 43a représente la variation de l'atténuation due à l'absorption en fonction de la fraction volumique des inclusions conductrices, pour la fréquence moyenne 525MHz. L'examen de cette figure révèle que l'atténuation croît de 8.47dB à 8.48 dB.

La figure 43b représente la variation de l'atténuation due à la réflexion en fonction de la fraction volumique pour la fréquence citée précédemment. Sur cette figure l'atténuation croît de 61.09dB à 61.11 dB.

La figure 43 illustre la variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique en fonction de la fraction volumique des inclusions conductrices, sur cette figure nous constatons que l'efficacité globale du blindage électromagnétique à base du nylon6 / AL croît de 80.61dB à 80.65 dB pour une fréquence de 525MHz.

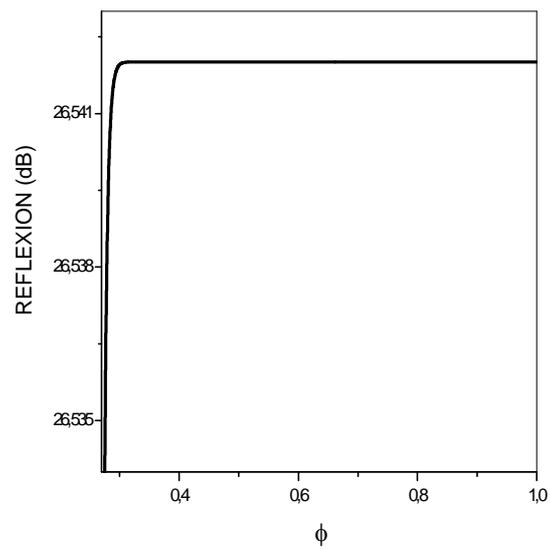
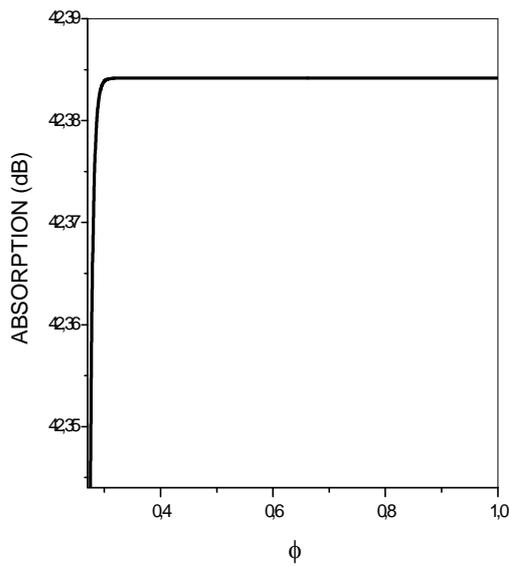


Figure 44 a : Atténuation due à l’absorption

Figure 44 b : Atténuation due à la réflexion

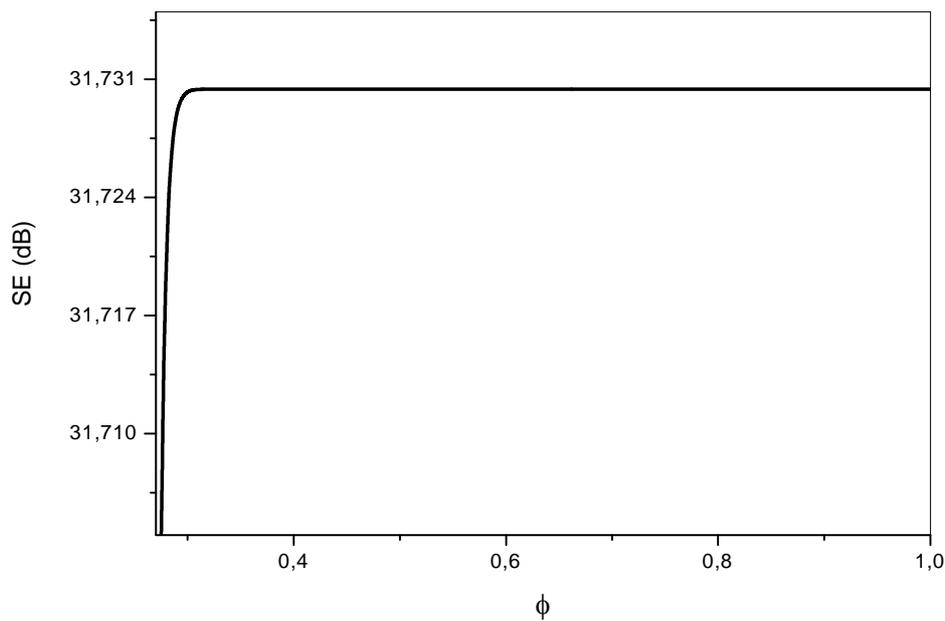


Figure 44 : variation de l’efficacité globale du blindage électromagnétique, d’un écran en nylon6/Al en fonction de la fraction volumique des inclusions conductrices, pour $f = f_2 = 13,1GHz$

La figure 44a représente la variation de l’atténuation due à l’absorption en fonction de la fraction volumique des inclusions conductrices, pour la fréquence moyenne 13.1GHz. L’examen de cette figure révèle que l’atténuation croît de 42.34 dB à 42.38 dB.

La figure 44b représente la variation de l'atténuation due à la réflexion en fonction de la fraction volumique pour la fréquence citée précédemment. Sur cette figure l'atténuation croît de 26.53dB à 26.54 dB.

La figure 44 illustre la variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique en fonction de la fraction volumique des inclusions conductrices, sur cette figure nous constatons que l'efficacité globale du blindage électromagnétique à base du nylon6 / AL croît de 31.70dB à 31.73 dB pour une fréquence de 13.1GHz.

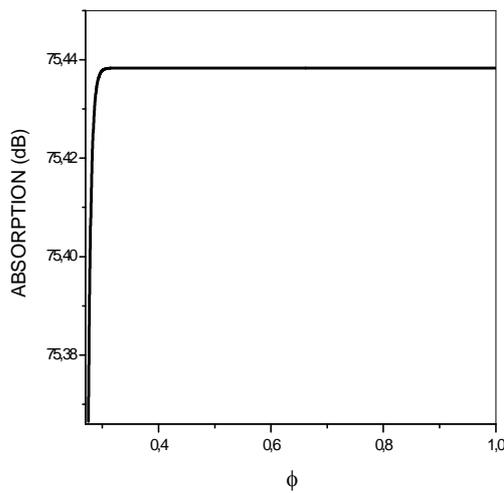


Figure 45a : Atténuation due à l'absorption

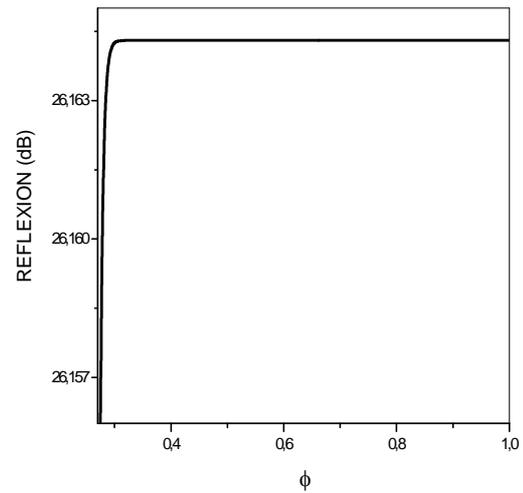


Figure 45b : Atténuation due à la réflexion

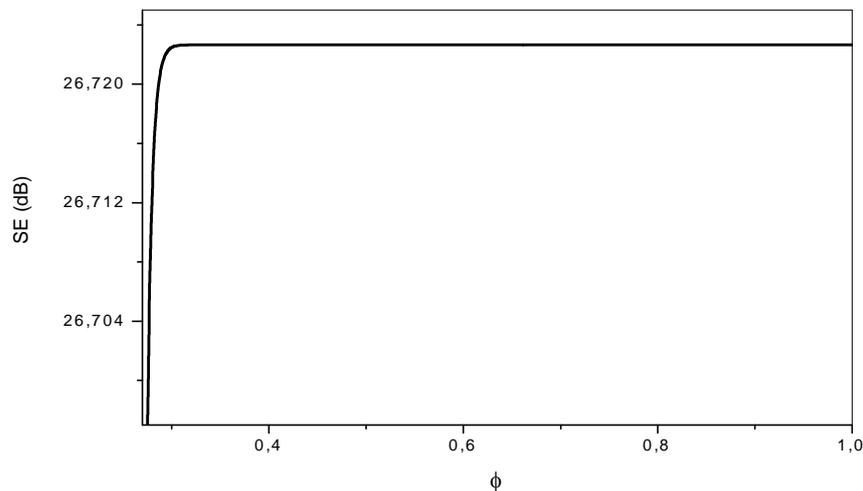


Figure 45 : variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique, d'un écran en nylon6/Al en fonction de la fraction volumique des inclusions conductrices, pour

$$f = f_3 = 41,5GHz$$

La figure 45a représente la variation de l'atténuation due à l'absorption en fonction de la fraction volumique des inclusions conductrices, pour la fréquence moyenne 41.5GHz. L'examen de cette figure révèle que l'atténuation croît de 75.36 dB à 75.43 dB.

La figure 45b représente la variation de l'atténuation due à la réflexion en fonction de la fraction volumique pour la fréquence citée précédemment. Sur cette figure l'atténuation croît de 26.15 dB à 26.16 dB.

La figure 45 illustre la variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique en fonction de la fraction volumique des inclusions conductrices, sur cette figure nous constatons que l'efficacité globale du blindage électromagnétique à base du nylon6 /AL croît de 26.69 dB à 26.72 dB pour une fréquence de 41.5GHz.

3. 2. Cas du polymère conducteur composite nylon6/ZN

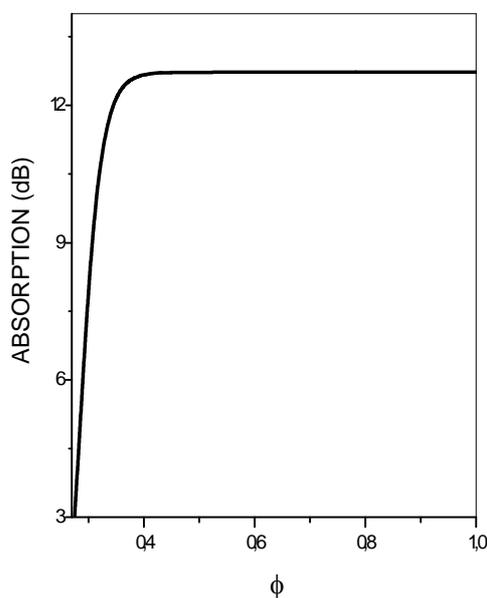


Figure 46a : Atténuation due à l'absorption

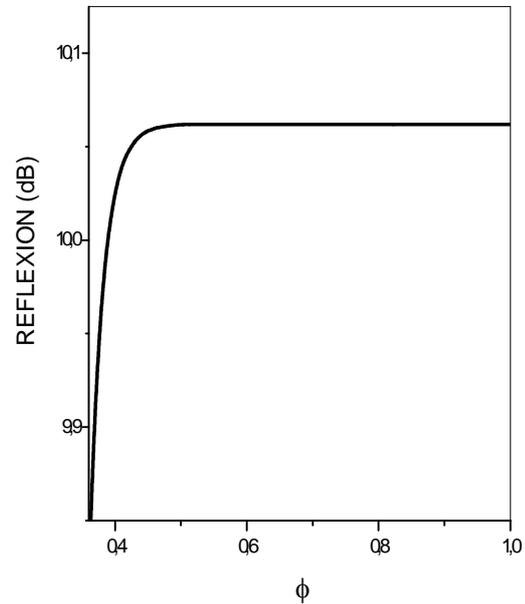


Figure 46b : Atténuation due à la réflexion

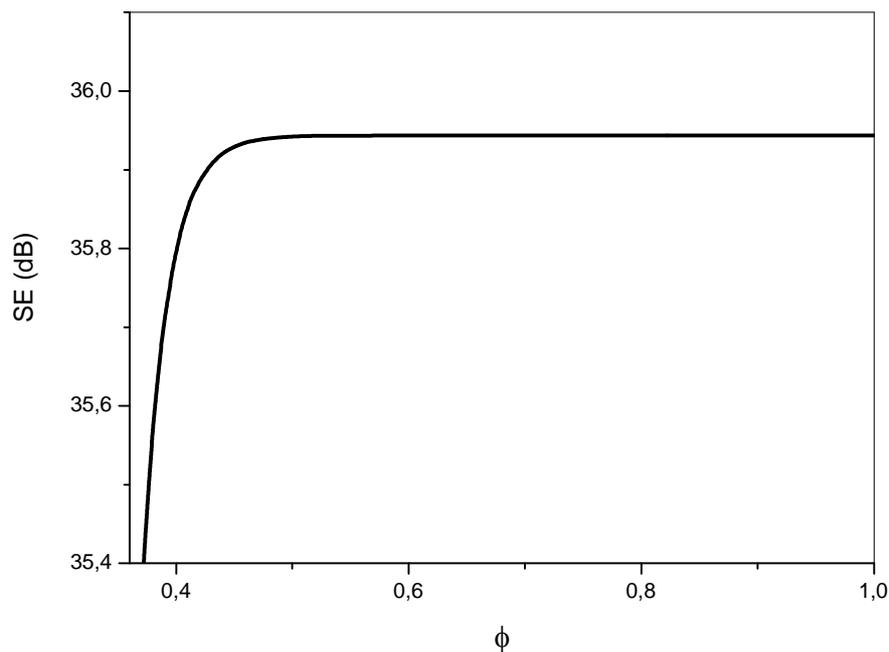


Figure 46 : variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique, d'un écran en nylon6/Zn en fonction de la fraction volumique des inclusions conductrices, pour

$$f = f_1 = 525\text{MHz}$$

La figure 46a représente la variation de l'atténuation due à l'absorption en fonction de la fraction volumique des inclusions conductrices pour la fréquence moyenne 525 MHz. L'examen de cette figure révèle que l'atténuation croît de 3.03dB à 12.72 dB.

La figure 46b représente la variation de l'atténuation due à la réflexion en fonction de la fraction volumique pour la fréquence citée précédemment. Cette atténuation croît de 9.84 dB à 10.6 dB.

La figure 46 illustre la variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique en fonction de la fraction volumique des inclusions conductrices, Sur cette figure nous constatons que l'efficacité globale du blindage électromagnétique à base du Nylon 6 / Zn croît de 35.10 dB à 35.94 dB pour une fréquence de 525MHz.

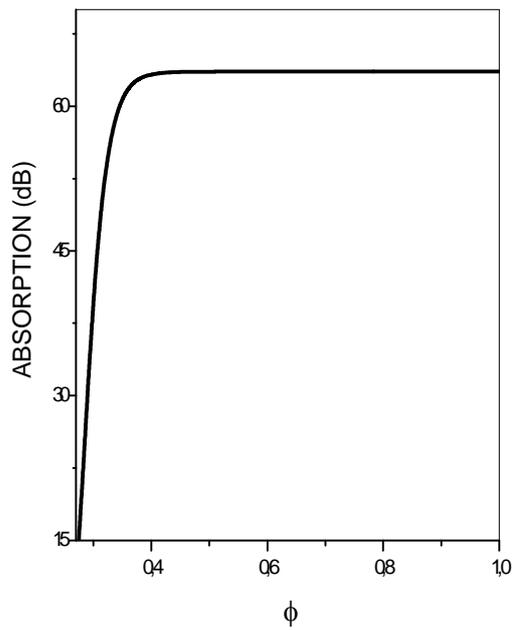


Figure 47a : Atténuation due à l'absorption

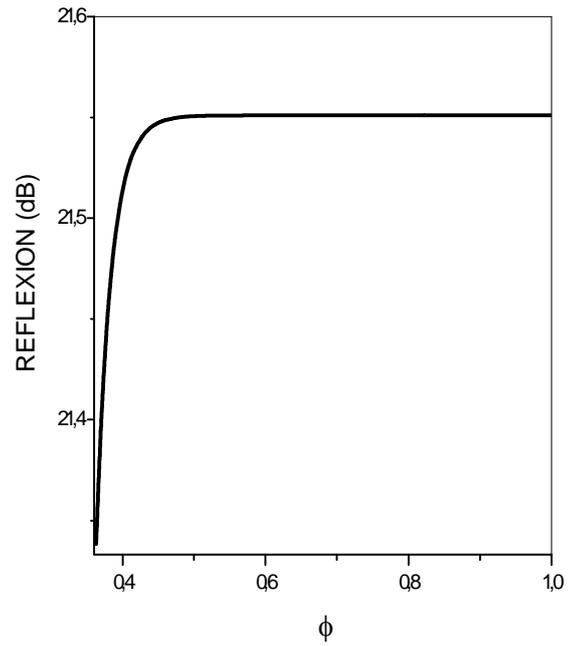


Figure 47b : Atténuation due à la réflexion

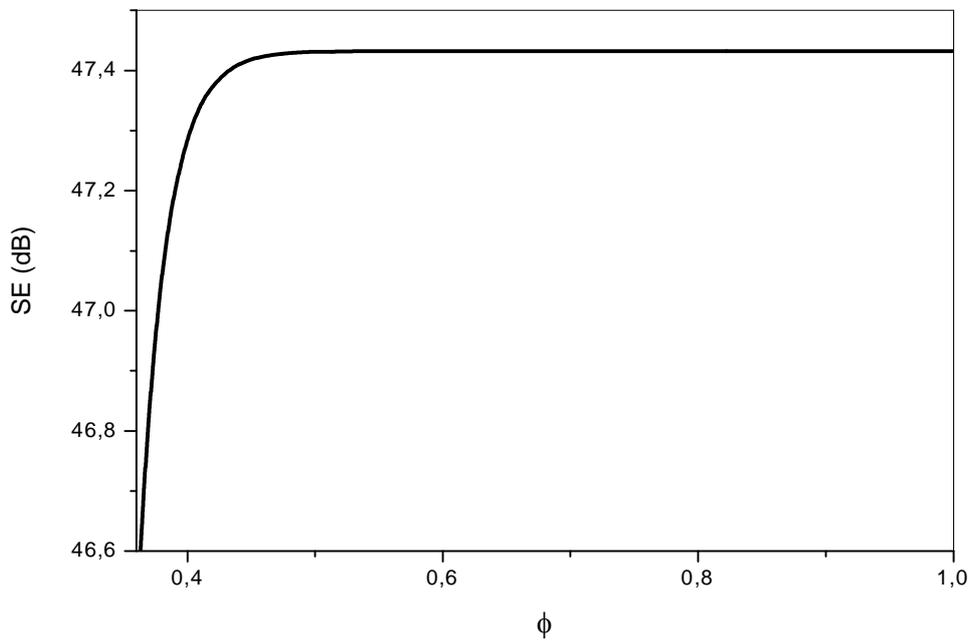


Figure 47 : variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique, d'un écran en nylon6/Zn en fonction de la fraction volumique des inclusions conductrices, pour

$$f = f_2 = 13,1GHz$$

La figure 47a représente la variation de l'atténuation due à l'absorption en fonction de la fraction volumique des inclusions conductrices pour la fréquence moyenne 13.1GHz. L'examen de cette figure révèle que l'atténuation croît de 15.13 dB à 63.56 dB.

La figure 47b représente la variation de l'atténuation due à la réflexion en fonction de la fraction volumique pour la fréquence citée précédemment. Cette atténuation croît de 21.33 dB à 21.55 dB.

La figure 47 illustre la variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique en fonction de la fraction volumique des inclusions conductrices, sur cette figure nous constatons que l'efficacité globale du blindage électromagnétique à base du Nylon 6 / Zn croît de 46.59 dB à 47.43 dB pour une fréquence de 13.1GHz.

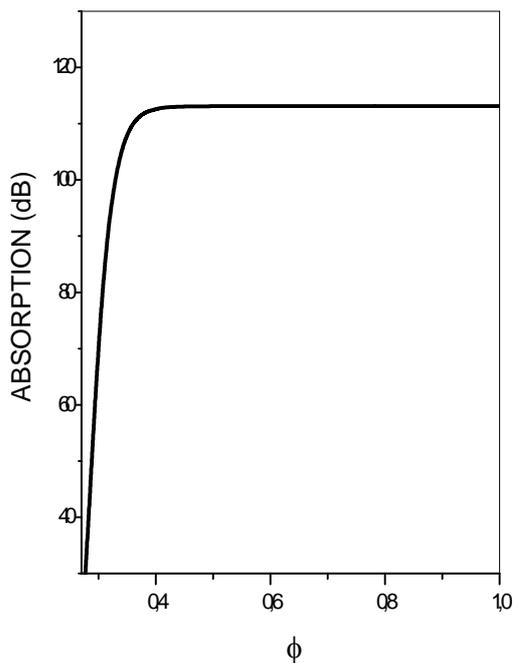


Figure 48a : Atténuation due à l'absorption

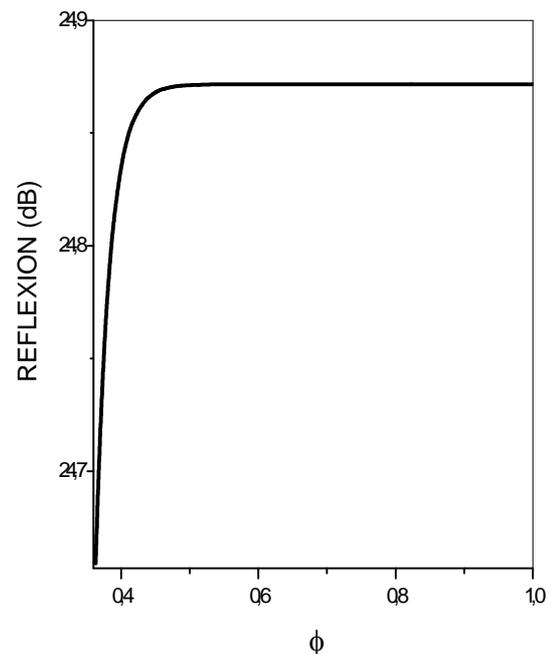


Figure 48b : Atténuation due à la réflexion

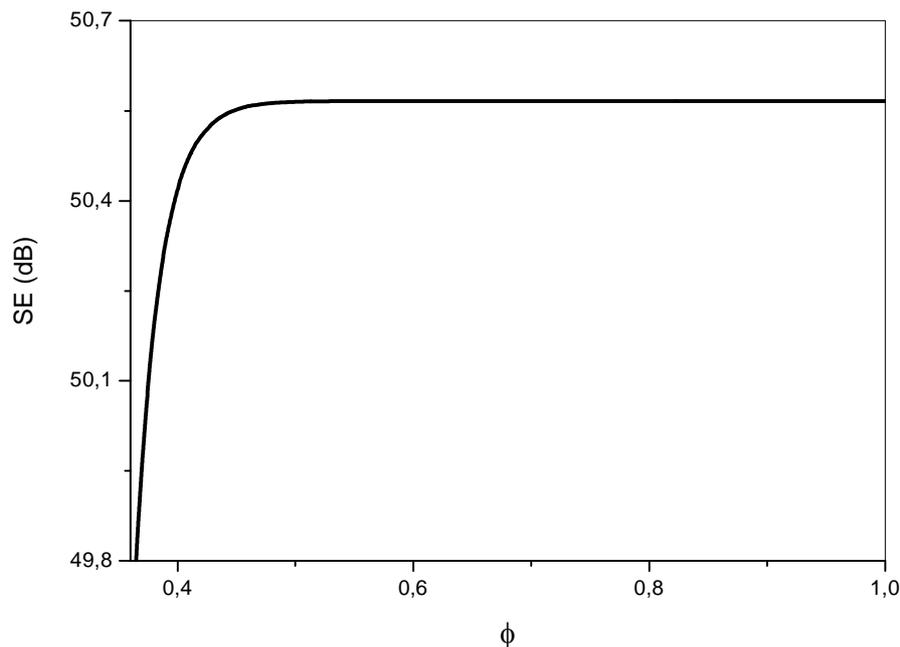


Figure 48 : variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique d'un écran en nylon6/Zn en fonction de la fraction volumique des inclusions conductrices pour

$$f = f_3 = 41,5GHz$$

La figure 48a représente la variation de l'atténuation due à l'absorption en fonction de la fraction volumique des inclusions conductrices pour la fréquence moyenne 41.5GHz. L'examen de cette figure révèle que l'atténuation croît de 26.94 dB à 113.13 dB.

La figure 48b représente la variation de l'atténuation due à la réflexion en fonction de la fraction volumique pour la fréquence citée précédemment. Cette atténuation croît de 24.65 dB à 24.87 dB.

La figure 48 illustre la variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique en fonction de la fraction volumique des inclusions conductrices. Sur cette figure nous constatons que l'efficacité globale du blindage électromagnétique à base du Nylon 6 / Zn croît de 49.72 dB à 50.56 dB pour une fréquence de 41.5GHz.

3. 3. Cas du polymère conducteur composite HDPE / V2O3

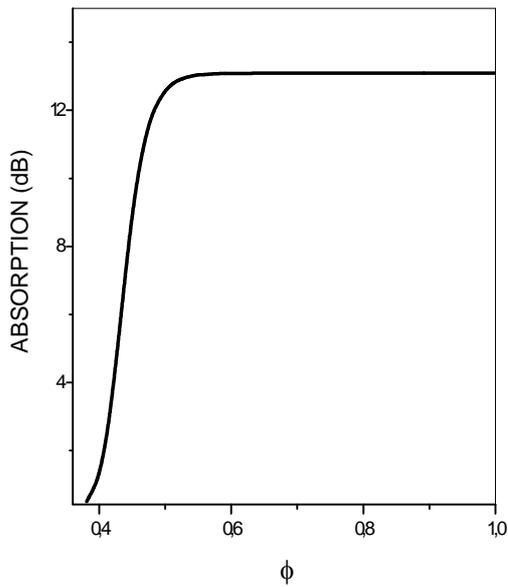


Figure 49a : Atténuation due à l'absorption

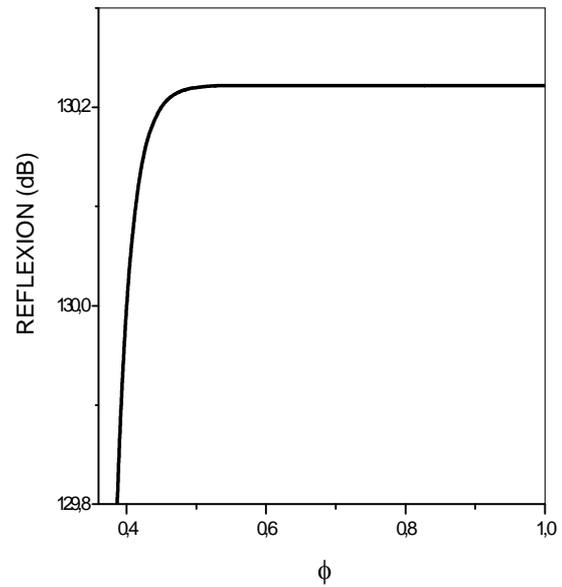


Figure 49b : Atténuation due à la réflexion

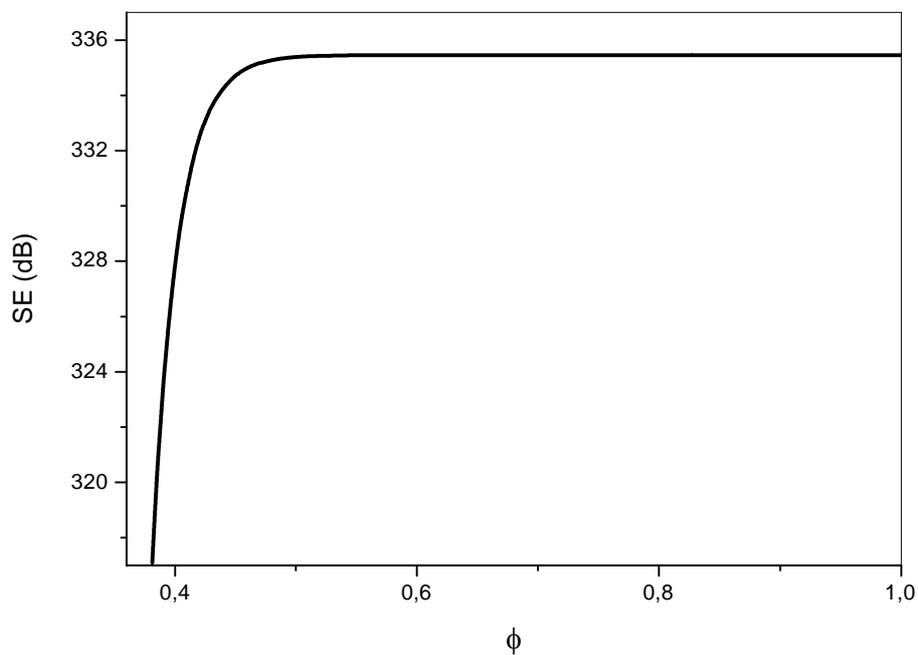


Figure 49 : variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique, d'un écran en HDPE/V2O3 en fonction de la fraction volumique des inclusions conductrices, pour

$$f = f_1 = 525\text{MHz}$$

La figure 49a représente la variation de l'atténuation due à l'absorption en fonction de la fraction volumique des inclusions conductrices, pour la fréquence moyenne 525MHz. L'examen de cette figure révèle que l'atténuation croît de 0.5 dB à 13.08 dB.

La figure 49b représente la variation de l'atténuation due à la réflexion en fonction de la fraction volumique pour la fréquence citée précédemment. Cette atténuation croît de 129.67 dB à 130.22 dB.

La figure 49 illustre la variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique en fonction de la fraction volumique des inclusions conductrices, sur cette figure nous constatons que l'atténuation globale du blindage électromagnétique à base du $HDPE/V_2O_3$ croît de 317.08 dB à 335.45 dB pour une fréquence de 525MHz.

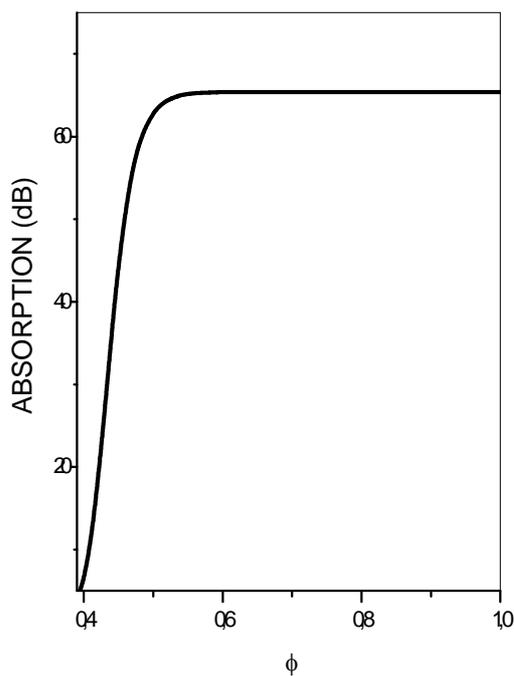


Figure50a : Atténuation due à l'absorption

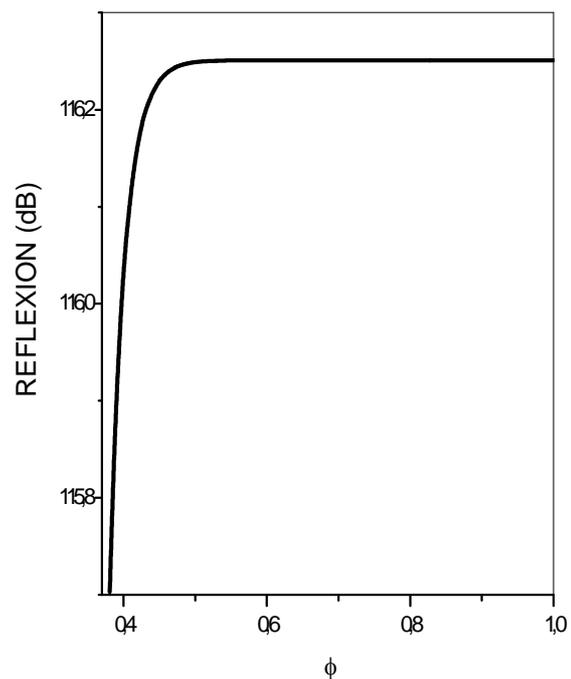


Figure 50b : Atténuation due à la réflexion

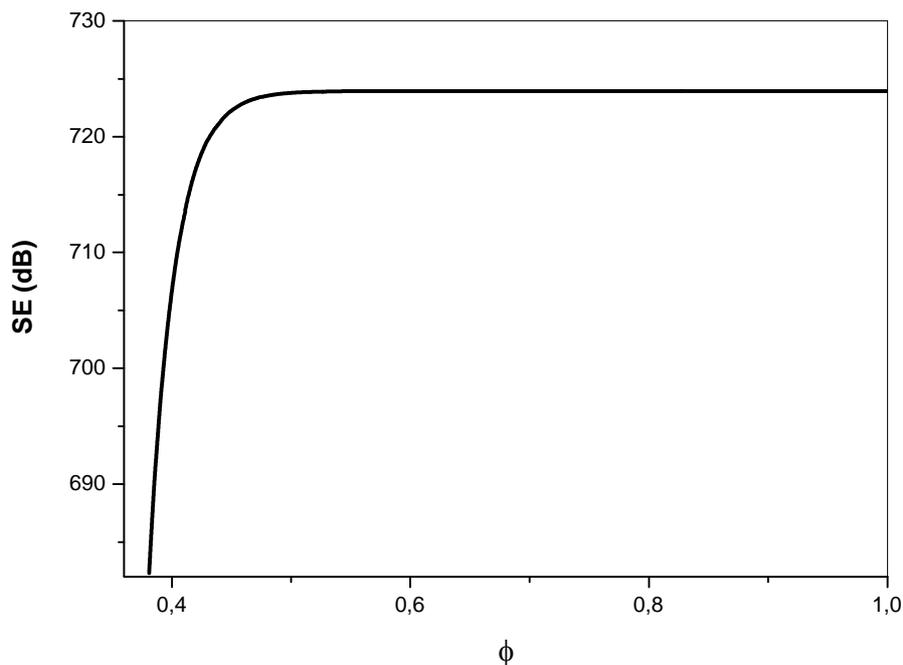


Figure 50 : variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique d'un écran en HDPE /V2O3 en fonction de la fraction volumique des inclusions conductrices pour $f = f_2 = 13,1GHz$

La figure 50a représente la variation de l'atténuation due à l'absorption en fonction de la fraction volumique des inclusions conductrices, pour la fréquence moyenne 13.1GHz. L'examen de cette figure révèle que l'atténuation croît de 2.52 dB à 65.83 dB.

La figure 50b représente la variation de l'atténuation due à la réflexion en fonction de la fraction volumique pour la fréquence citée précédemment. Cette atténuation croît de 115.70 dB à 116.25 dB.

La figure 50 illustre la variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique en fonction de la fraction volumique des inclusions conductrices, sur cette figure nous constatons que l'atténuation globale du blindage électromagnétique à base du HDPE/V₂O₃ croît de 682.32 dB à 723.94 dB pour une fréquence de 13.1GHz.

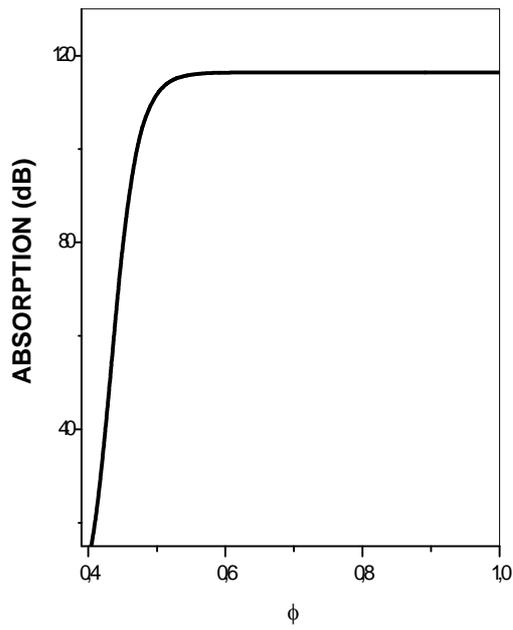


Figure 51a : Atténuation due à l'absorption

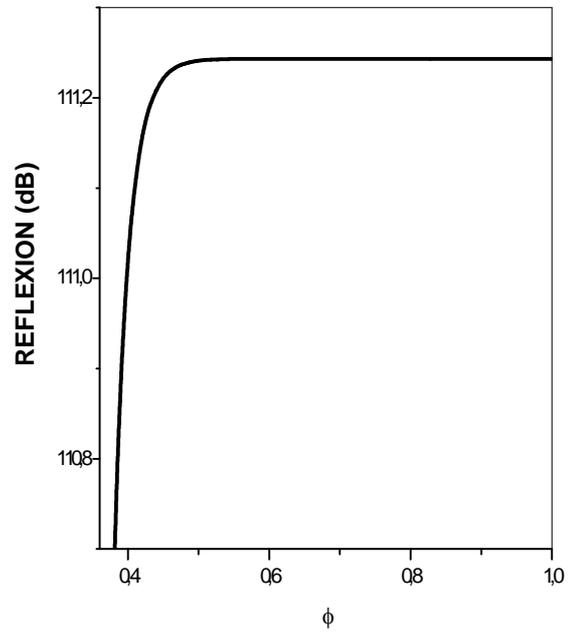


Figure 51b : Atténuation due à la réflexion

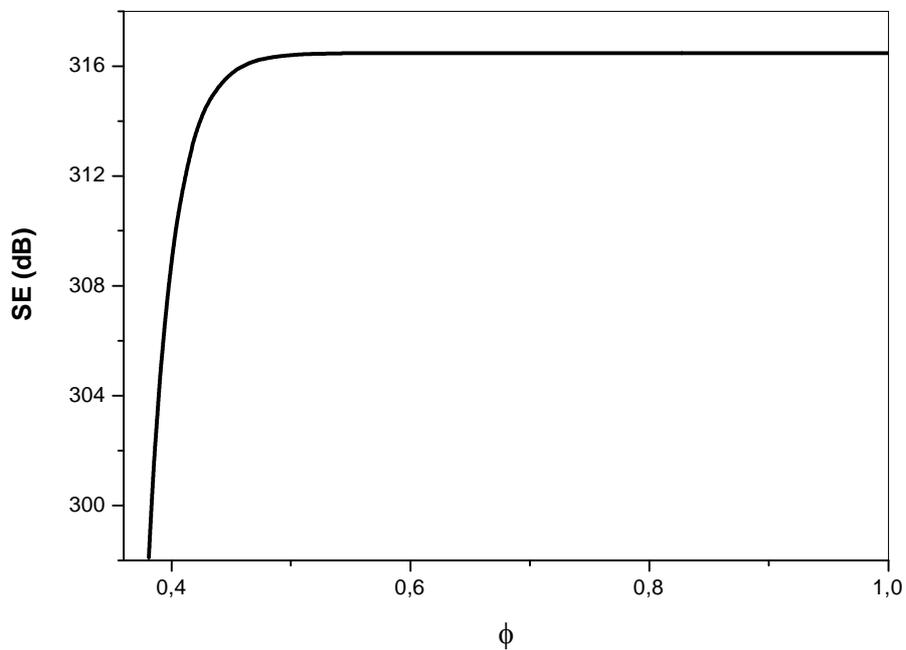


Figure 51 : variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique, d'un écran en HDPE /V2O3 en fonction de la fraction volumique des inclusions conductrices, pour

$$f = f_3 = 41,5GHz$$

La figure 51a représente la variation de l'atténuation due à l'absorption en fonction de la fraction volumique des inclusions conductrices pour la fréquence moyenne 41.5GHz. L'examen de cette figure révèle que l'atténuation croît de 4.49 dB à 116.37 dB.

La figure 51b représente la variation de l'atténuation due à la réflexion en fonction de la fraction volumique pour la fréquence citée précédemment. Cette atténuation croît de 110.69 dB à 111.24 dB.

La figure 51 illustre la variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique en fonction de la fraction volumique des inclusions conductrices. Sur cette figure nous constatons que l'efficacité globale du blindage électromagnétique à base du $HDPE/V_2O_3$ croît de 298.10 dB à 316.47 dB pour une fréquence de 41.5GHz.

3. 4. Cas du polymère conducteur composite LDPE / V2O3

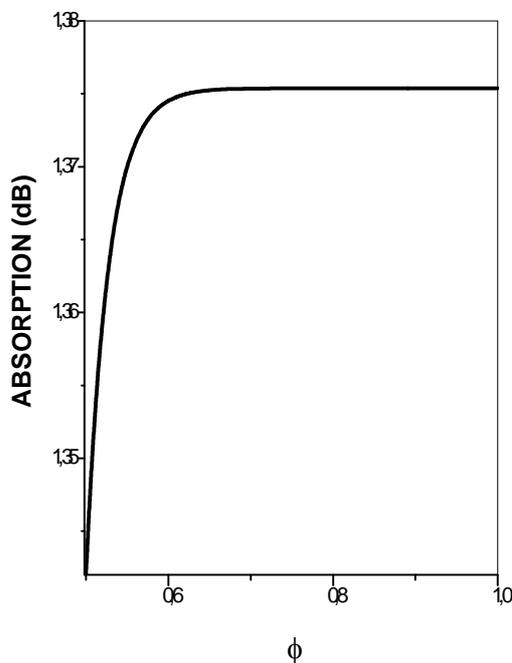


Figure 52a : Atténuation due à l'absorption

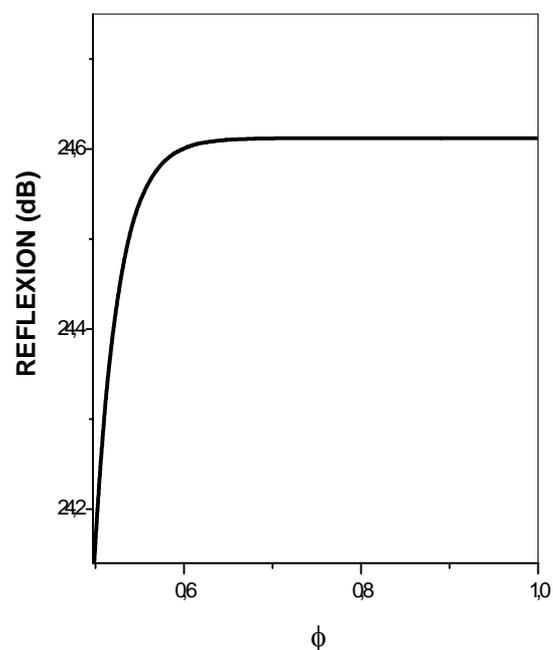


Figure 52b : Atténuation due à la réflexion

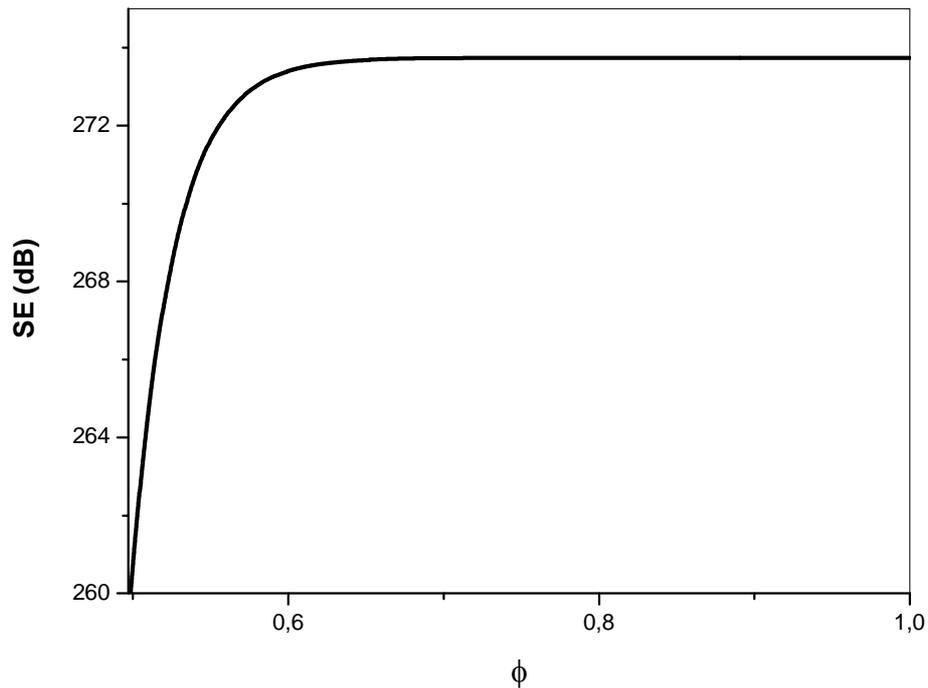


Figure 52 : variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique d'un écran en LDPE /V2O3 en fonction de la fraction volumique des inclusions conductrices pour

$$f = f_1 = 525\text{MHz}$$

La figure 52a représente la variation de l'atténuation due à l'absorption en fonction de la fraction volumique des inclusions conductrices pour la fréquence moyenne 525MHz. L'examen de cette figure révèle que l'atténuation croît de 1.33 dB à 1.37 dB.

La figure 52b représente la variation de l'atténuation due à la réflexion en fonction de la fraction volumique pour la fréquence citée précédemment. Cette atténuation croît de 24.12 dB à 24.61 dB.

La figure 52 illustre la variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique en fonction de la fraction volumique des inclusions conductrices. Sur cette figure nous constatons que l'efficacité globale du blindage électromagnétique à base de LDPE /V₂O₃ croît de 259.80 dB à 273.73 dB pour une fréquence de 525MHz.

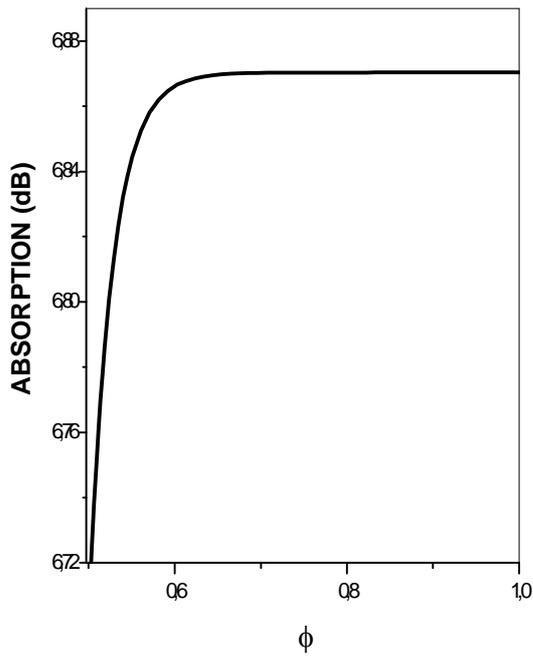


Figure 53a : Atténuation due à l'absorption

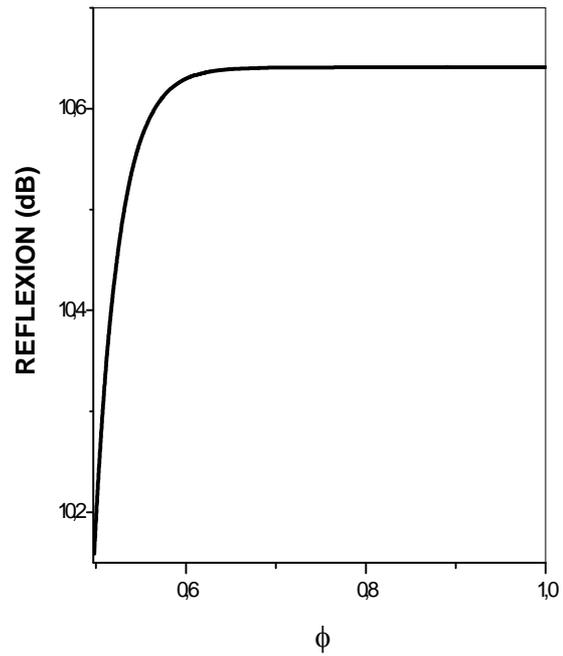


Figure 53b : Atténuation due à la réflexion

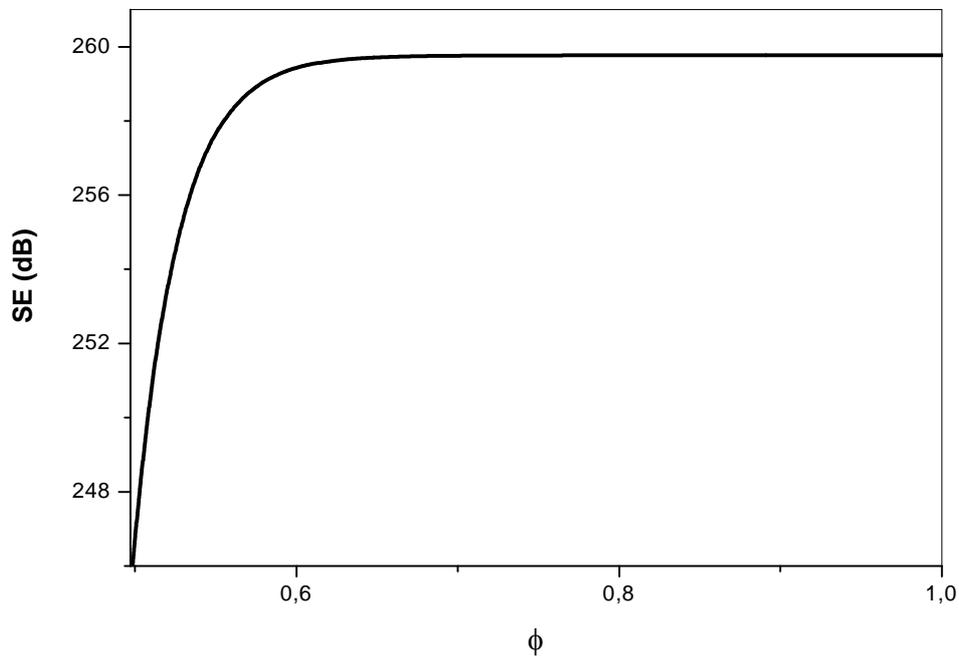


Figure 53: variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique, d'un écran en LDPE /V2O3 en fonction de la fraction volumique des inclusions conductrices, pour

$$f = f_2 = 13,1GHz$$

La figure 53a représente la variation de l'atténuation due à l'absorption en fonction de la fraction volumique des inclusions conductrices pour la fréquence moyenne 13.1GHz. L'examen de cette figure révèle que l'atténuation croît de 6.69 dB à 6.87 dB.

La figure 53b représente la variation de l'atténuation due à la réflexion en fonction de la fraction volumique pour la fréquence citée précédemment. Cette atténuation croît de 10.15 dB à 10.64 dB.

La figure 53 illustre la variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique en fonction de la fraction volumique des inclusions conductrices. Sur cette figure nous constatons que l'efficacité globale du blindage électromagnétique à base de LDPE / V_2O_3 croît de 245.83 dB à 259.76 dB pour une fréquence de 13.1GHz.

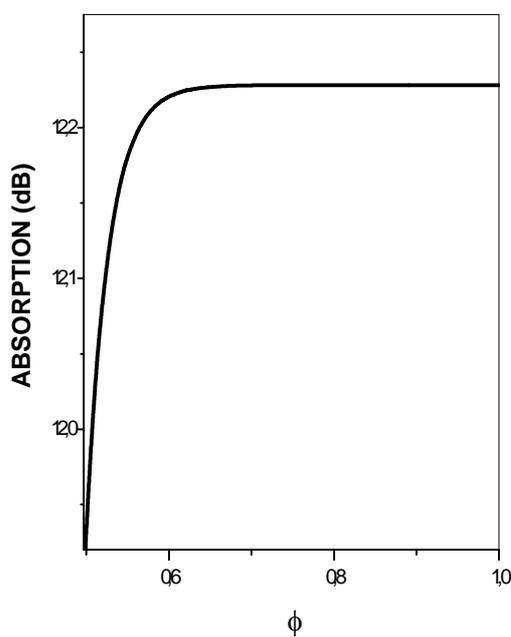


Figure 54 a : Atténuation due à l'absorption

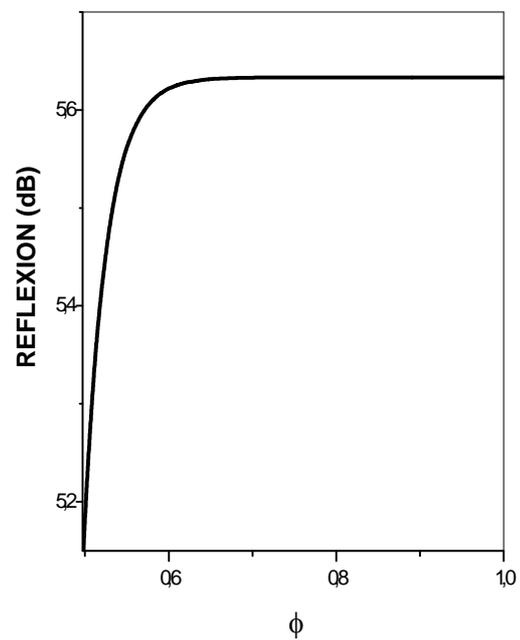


Figure 54 b : Atténuation due à la réflexion

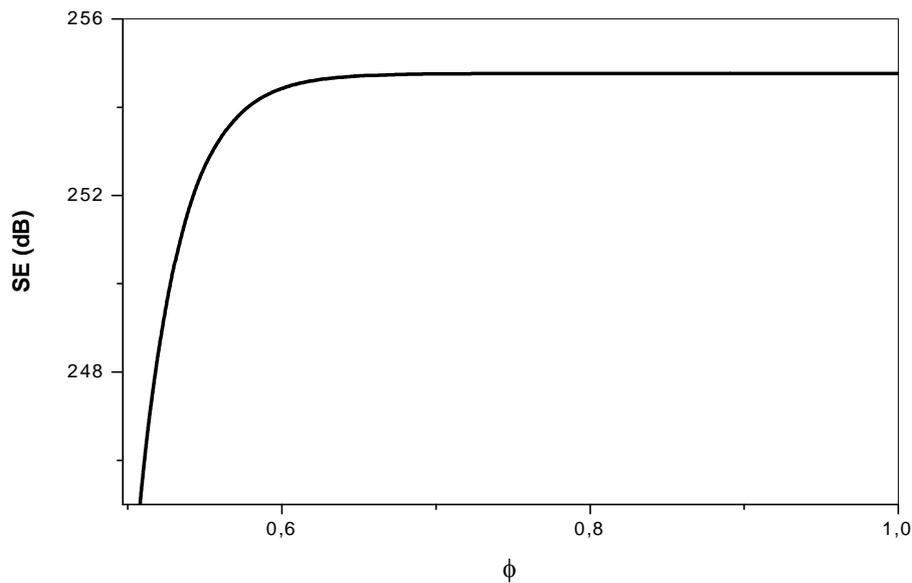


Figure 54: variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique, d'un écran en LDPE /V2O3 en fonction de la fraction volumique des inclusions conductrices, pour $f = f_3 = 41,5GHz$.

La figure 54a représente la variation de l'atténuation due à l'absorption en fonction de la fraction volumique des inclusions conductrices pour la fréquence moyenne 41.5GHz. L'examen de cette figure révèle que l'atténuation croît de 11.91dB à 12.22 dB.

La figure 54b représente la variation de l'atténuation due à la réflexion en fonction de la fraction volumique pour la fréquence citée précédemment. Cette atténuation croît de 5.15 dB à 5.63 dB.

La figure 54 illustre la variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique en fonction de la fraction volumique des inclusions conductrices, Sur cette figure nous constatons que l'efficacité globale du blindage électromagnétique à base du LDPE /V₂O₃ croît de 240.82 dB à 254.75 dB pour une fréquence de 41.5GHz.

QUATRIEME PARTIE

INFLUENCE DE LA DISTANCE SOURCE – ECRAN SUR L’EFFICACITE DU BLINDAGE ELECTROMAGNETIQUE

Dans cette quatrième partie de notre travail, nous examinons la variation de l'efficacité du blindage électromagnétique en fonction de la distance source-écran du blindage. Pour ce faire, nous fixons l'épaisseur de l'écran, cette épaisseur à été choisie supérieure à la profondeur de pénétration, δ , de l'onde électromagnétique, la fréquence de la source du rayonnement électromagnétique égale à la fréquence moyenne de chaque bande $f_1 = 525MHz$, $f_2 = 13.1GHz$ et $f_3 = 41.5GHz$ et la fraction volumique des inclusions conductrices qui correspond à la conductivité électrique du polymère conducteur composite qui vérifie la condition de bon conducteur ceci nous à permet de négliger la contribution due aux réflexions multiples $M(dB)$.

4.1. Cas du l'Aluminium

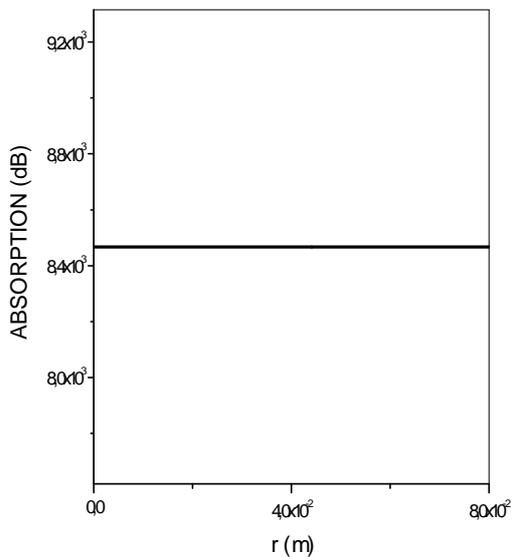


Figure 55a : Atténuation due à l'absorption

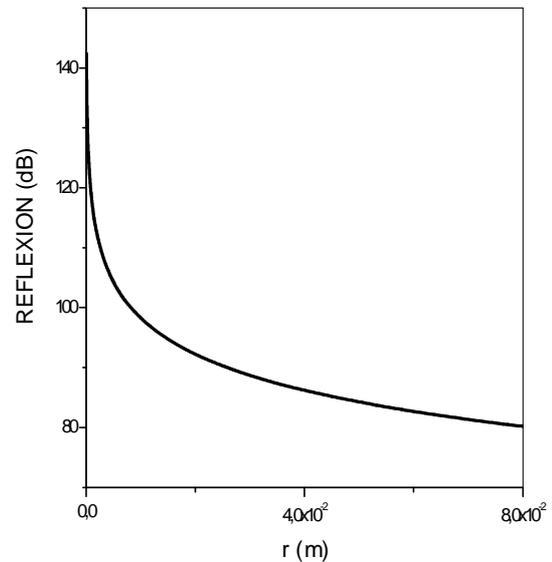


Figure 55b : Atténuation due à la réflexion

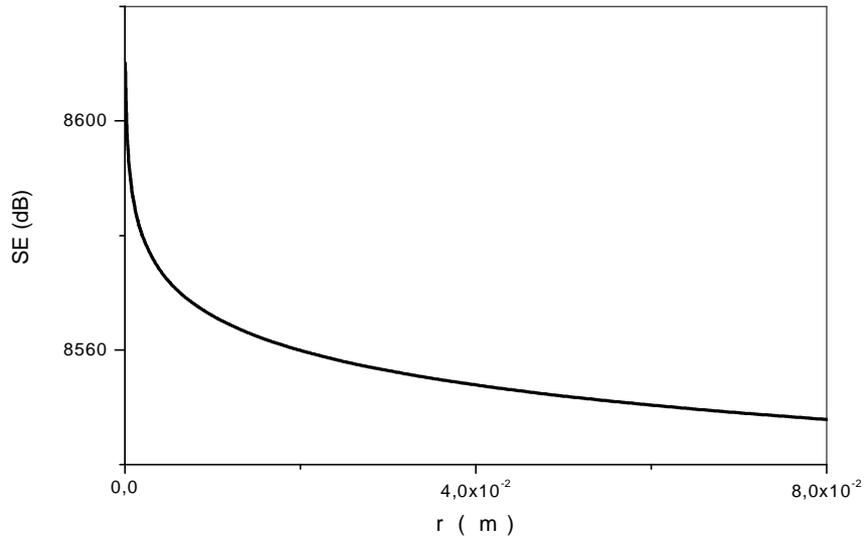


Figure 55 : variation de l’efficacité globale du blindage électromagnétique, en fonction de la distance pour $f = f_1 = 525MHz$

La figure 55a, représente la variation de l’atténuation due à l’absorption en fonction de la distance, l’examen de cette figure révèle que l’atténuation est indépendante de la distance. La figure 55b, représente la variation de l’atténuation due à la réflexion en fonction de la distance, cette atténuation décroît de 142,40dB à 79,06dB pour une fréquence de 525MHz. La figure 55, illustre la variation de l’efficacité globale du blindage électromagnétique en fonction de la distance, Sur cette figure l’efficacité décroît de 8610.09 dB à 5846.76 dB pour une fréquence de 525MHz.

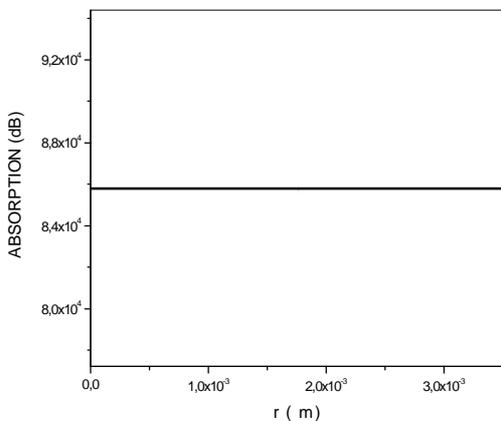


Figure 56a : Atténuation due à l’absorption

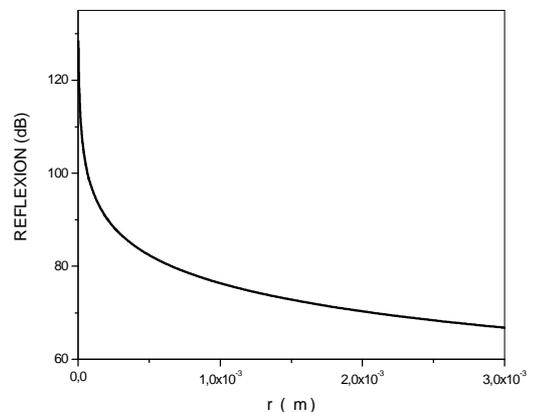


Figure 56b : Atténuation due à la réflexion

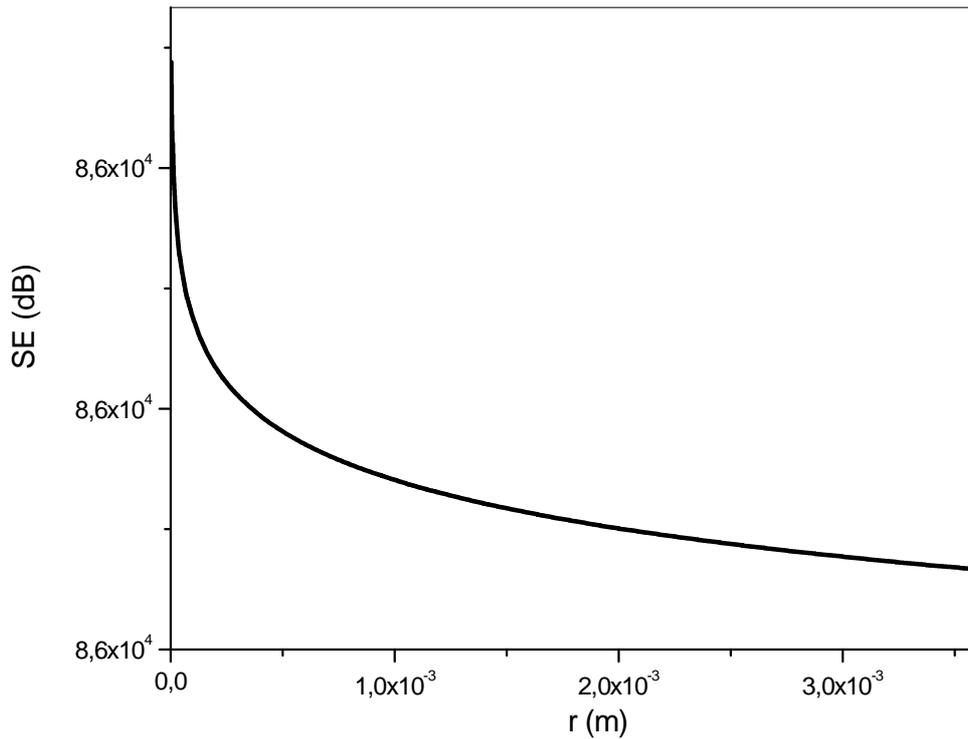


Figure 56 : variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique, en fonction de la distance pour $f = f_2 = 13,1GHz$

La figure 56a, représente la variation de l'atténuation due à l'absorption en fonction de la distance, l'examen de cette figure révèle que l'atténuation est indépendante de la distance.

La figure 56b, représente la variation de l'atténuation due à la réflexion en fonction de la distance, Cette atténuation décroît de 128,43dB à 65,09dB pour une fréquence de 13.1GHz.

La figure 56, illustre la variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique en fonction de la distance. Sur cette figure l'efficacité décroît de 85933.19dB à 85869.86 dB pour une fréquence de 13.1GHz.

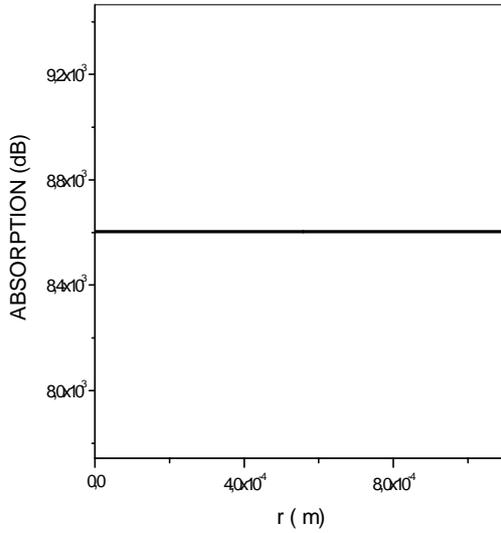


Figure 57a : Atténuation due à l’absorption

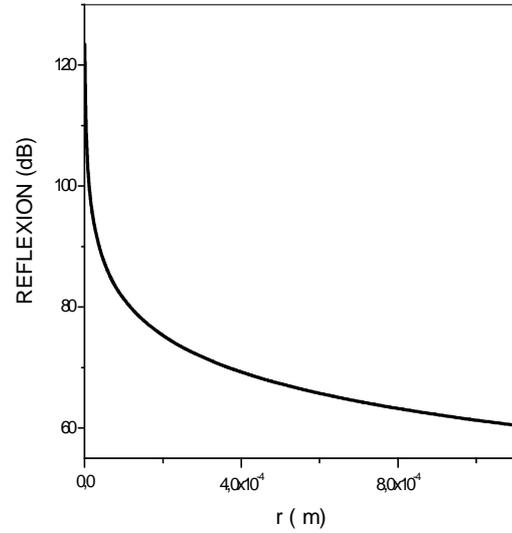


Figure 57b : Atténuation due à la réflexion

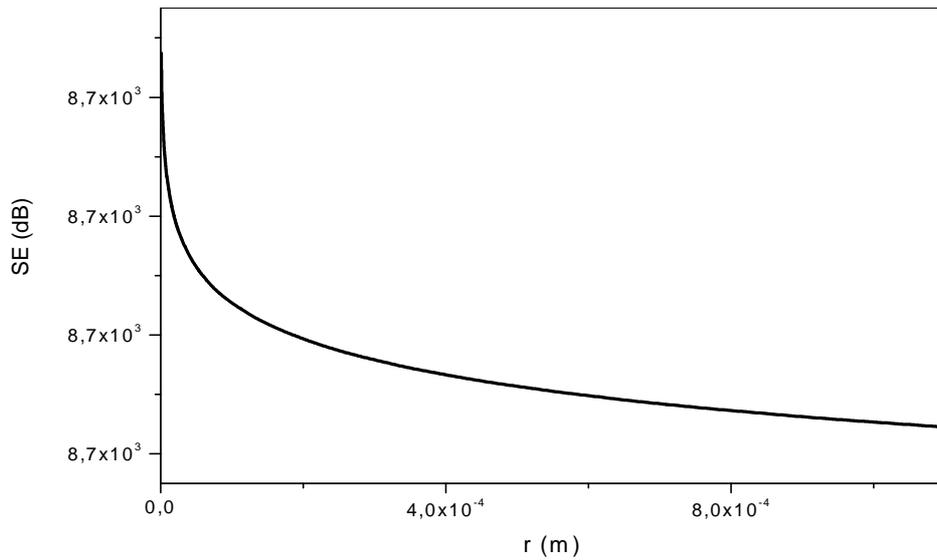


Figure 57 : variation de l’efficacité globale du blindage électromagnétique, en fonction de la distance pour $f = f_3 = 41,5GHz$

La figure 57a, représente la variation de l’atténuation due à l’absorption en fonction de la distance, L’examen de cette figure révèle que l’atténuation est indépendante de la distance.

La figure 57b, représente la variation de l’atténuation due à la réflexion en fonction de la distance. Sur cette figure l’atténuation décroît de 115,42 dB à 60,09dB pour une fréquence de 41.5GHz.

La figure 57, illustre la variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique en fonction de la distance. Cette efficacité décroît de 8727.19 dB à 8664.11 dB pour une fréquence de 41.5GHz.

4. 2. Cas du polymère conducteur composites nylon6 / AL

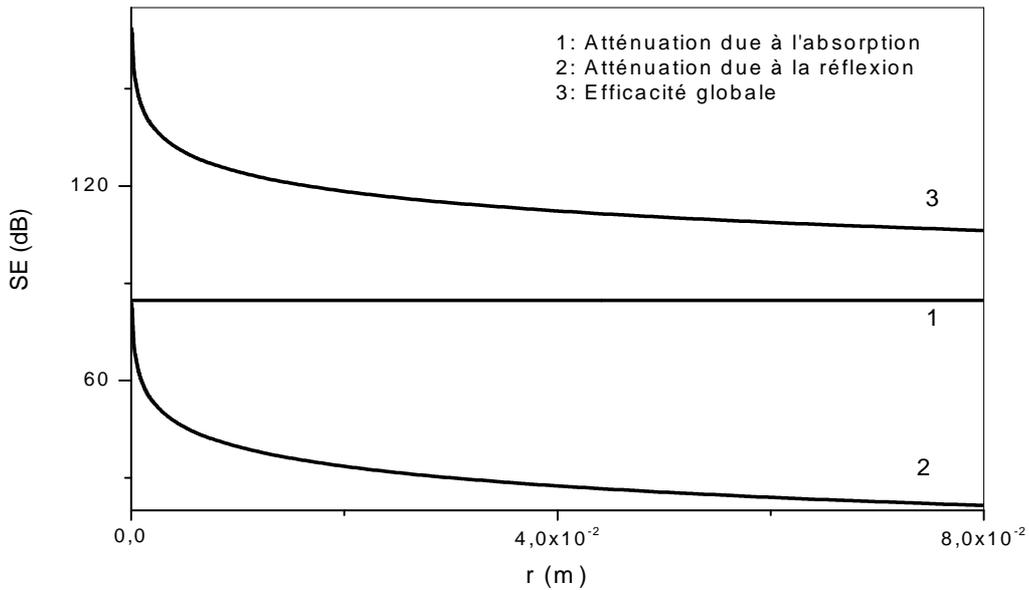


Figure 58 : variation de l'efficacité du blindage électromagnétique, en fonction de la distance pour $f = f_1 = 525\text{MHz}$

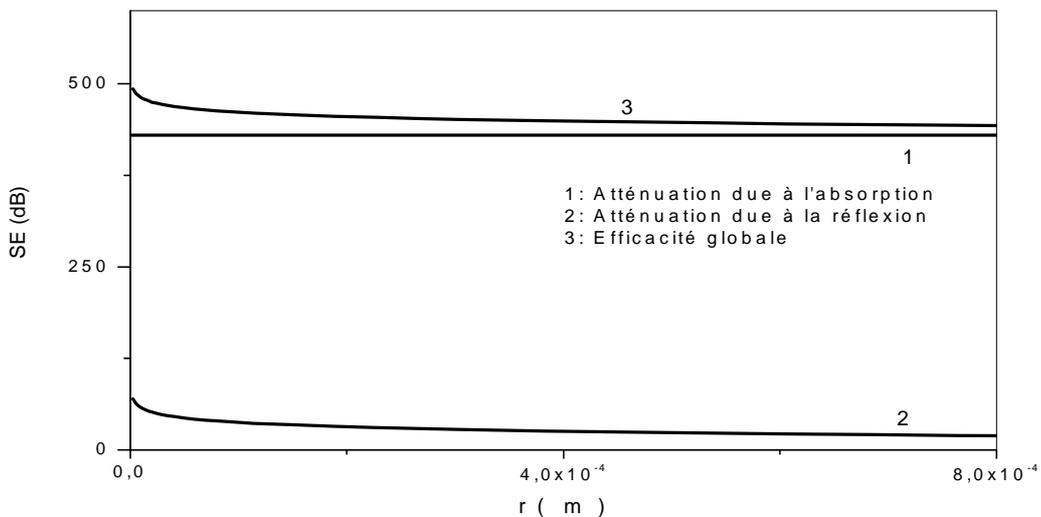


Figure 59 : variation de l'efficacité du blindage électromagnétique, en fonction de la distance pour $f = f_2 = 13,1\text{GHz}$

Les figures 58 et 59 montrent respectivement les variations de l'atténuation due à l'absorption, à la réflexion et l'efficacité globale en fonction de la distance entre la source des rayonnements et l'écran du blindage. Ces figures correspondent respectivement à des fréquences égales à 525 MHz et 13,1 GHz. Les différents résultats que nous avons obtenus, montrent que l'atténuation due à l'absorption est indépendante de la distance. L'atténuation due à la réflexion décroît avec la distance de 83,75dB à 20,41dB pour une fréquence de 525MHz, de 69,78dB à 6,44 dB pour une fréquence de 13,1GHz. L'efficacité globale décroît avec la distance de 168,52 dB à 105,18 dB pour une fréquence de 525MHz, de 493,22dB à 429,88 dB pour une fréquence de 13,1GHz.

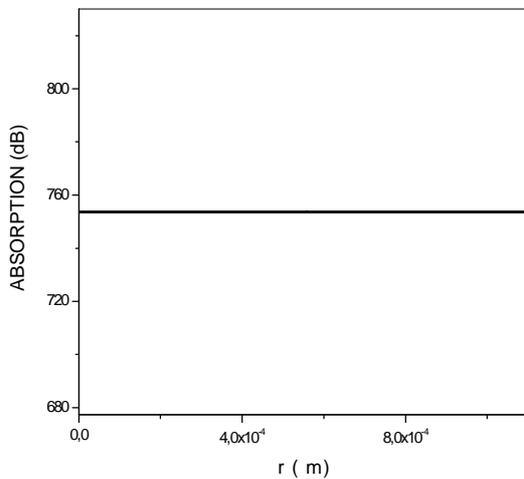


Figure 60a : Atténuation due à l'absorption

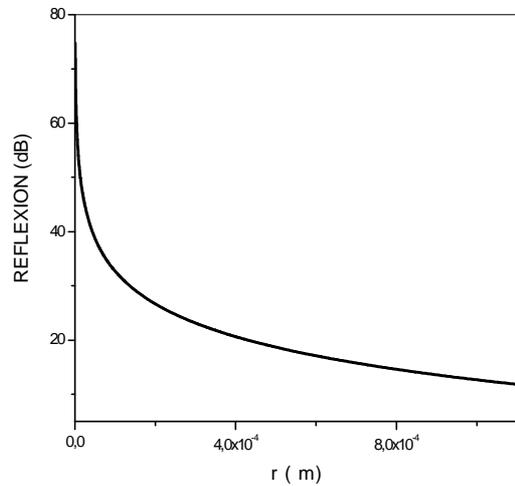


Figure 60b : Atténuation due à la réflexion

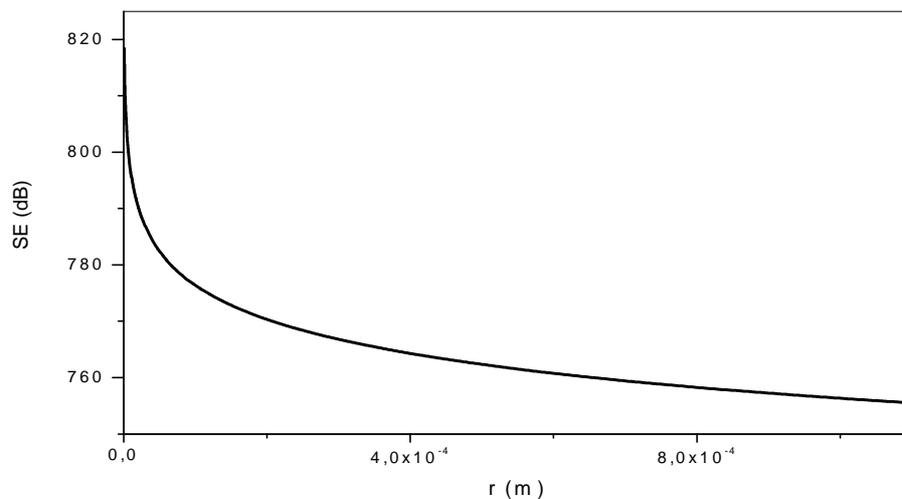


Figure 60 : variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique, en fonction de la distance pour $f = f_3 = 41,5GHz$

La figure 60a, représente la variation de l'atténuation due à l'absorption en fonction de la distance, L'examen de cette figure révèle que l'atténuation est indépendante de la distance. La figure 60b, représente la variation de l'atténuation due à la réflexion en fonction de la distance, Sur cette figure l'atténuation décroît de 74.78 dB à 11,45 dB pour une fréquence de 41.5GHz.

La figure 60, illustre la variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique en fonction de la distance. Cette efficacité décroît de 818.43 dB à 755.10 dB pour une fréquence de 41.5GHz.

4.3. Cas du zinc

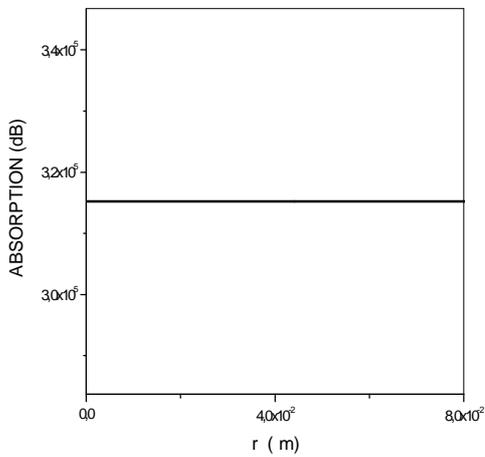


Figure 61a : Atténuation due à l'absorption

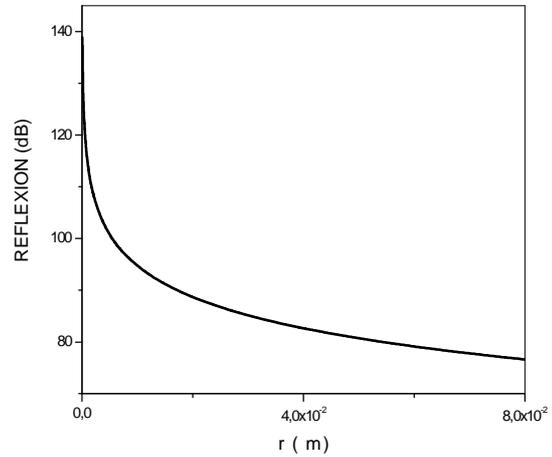


Figure 61b : Atténuation due à la réflexion

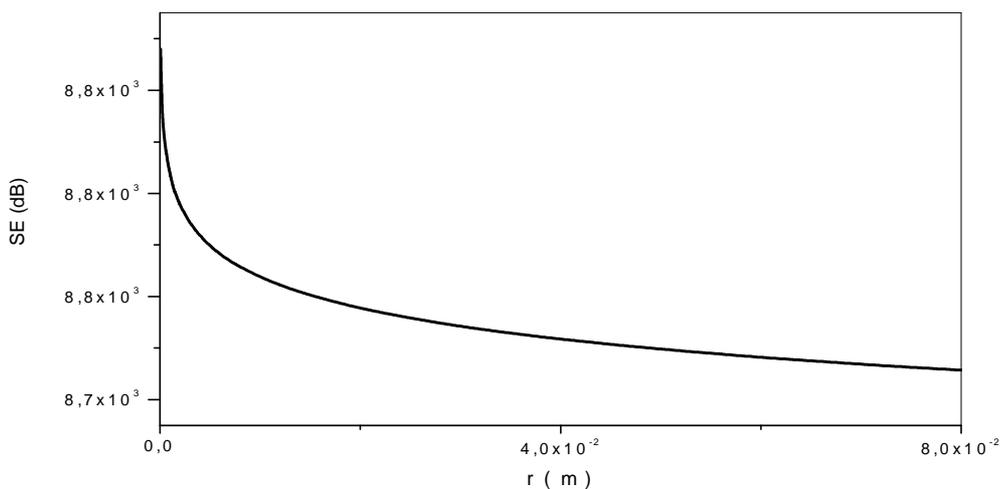


Figure 61 : variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique en fonction de la distance pour $f = f_1 = 525MHz$

La figure 61a, représente la variation de l'atténuation due à l'absorption en fonction de la distance, L'examen de cette figure révèle que l'atténuation est indépendante de la distance. La figure 61b, représente la variation de l'atténuation due à la réflexion en fonction de la distance, sur cette figure l'atténuation décroît de 138,84 dB à 75,50 dB pour une fréquence de 525MHz.

La figure 61, illustre la variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique en fonction de la distance. Cette efficacité décroît de 8807.94 dB à 8744.61 dB pour une fréquence de 525MHz.

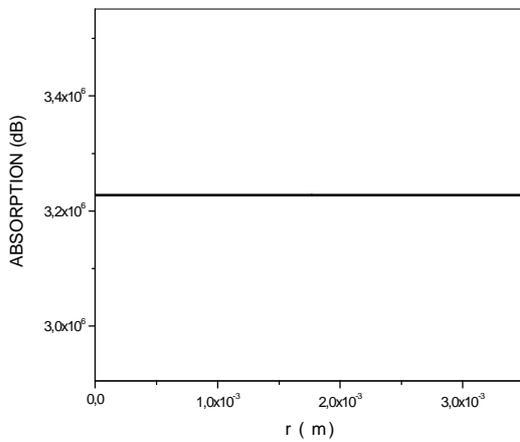


Figure 62a : Atténuation due à l'absorption

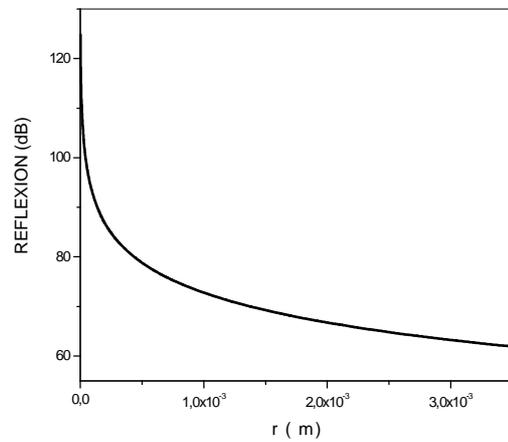


Figure 62b : Atténuation due à la réflexion

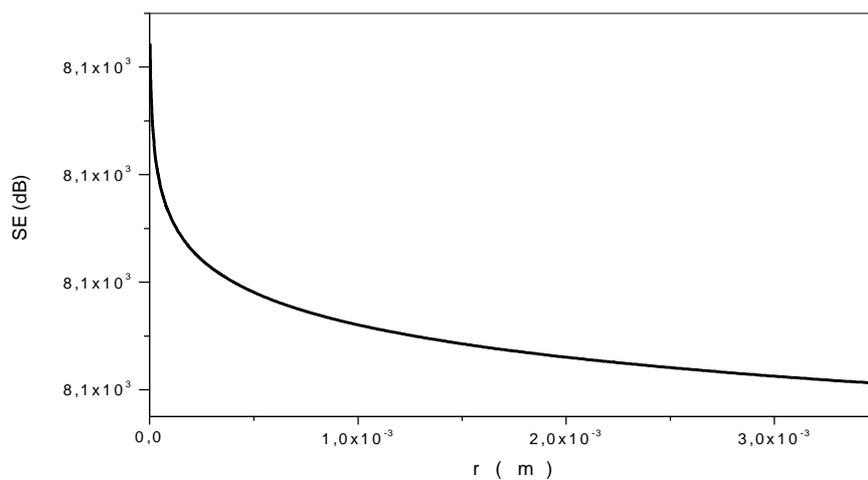


Figure 62 : variation de l'efficacité du blindage électromagnétique en fonction de la distance pour $f = f_2 = 13,1GHz$

La figure 62a, représente la variation de l'atténuation due à l'absorption en fonction de la distance, L'examen de cette figure révèle que l'atténuation est indépendante de la distance. La figure 62b, représente la variation de l'atténuation due à la réflexion en fonction de la distance, sur cette figure l'atténuation décroît de 124,87 dB à 61,53dB pour une fréquence de 13.1GHz.

La figure 62, illustre la variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique en fonction de la distance, montre que l'efficacité décroît de 8144.17 dB à 8080.17 dB pour une fréquence de 13.1GHz.

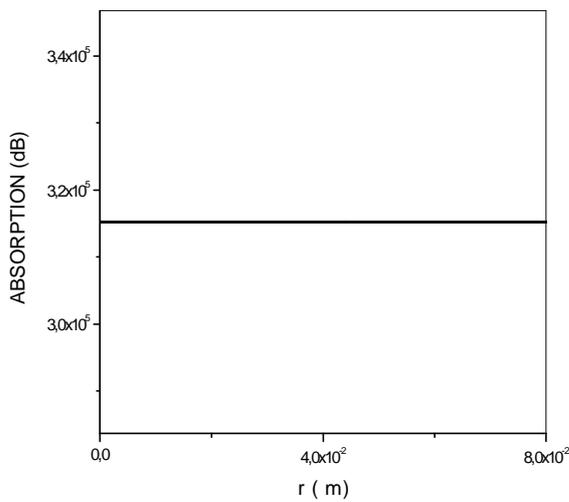


Figure 63a : Atténuation due à l'atténuation

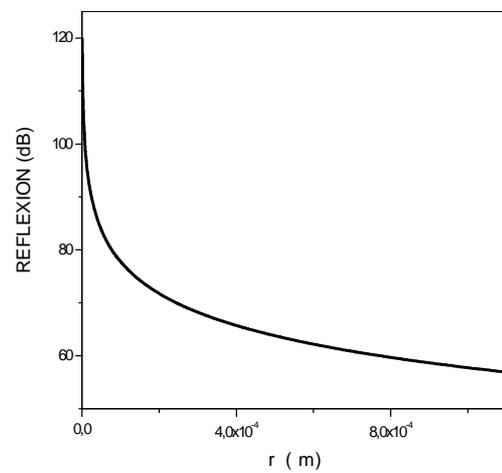


Figure 63b : Atténuation due à la réflexion

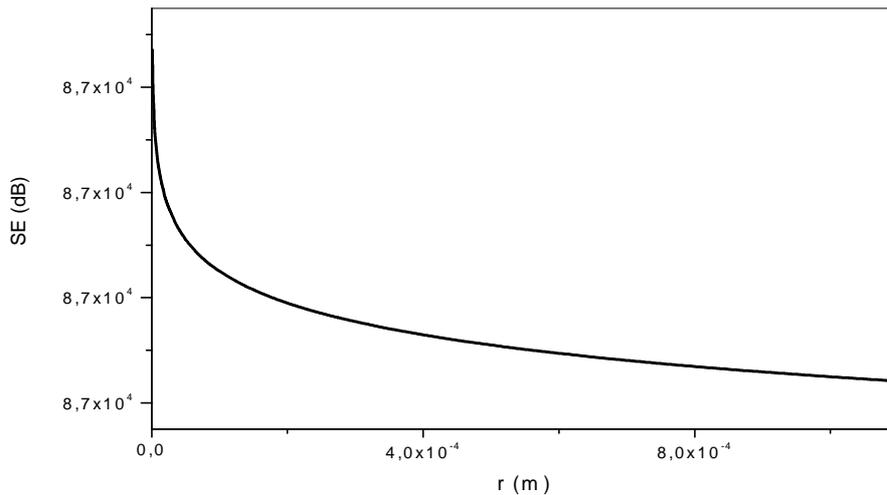


Figure 63 : variation de l'efficacité du blindage électromagnétique, en fonction de la distance pour $f = f_3 = 41,5GHz$

La figure 63a, représente la variation de l'atténuation due à l'absorption en fonction de la distance, L'examen de cette figure révèle que l'atténuation est indépendante de la distance.

La figure 63b, représente la variation de l'atténuation due à la réflexion en fonction de la distance, sur cette figure l'atténuation décroît de 119,86 dB à 56,52dB pour une fréquence de 41.5GHz.

La figure 63, illustre la variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique en fonction de la distance, montre que l'efficacité décroît de 87187.09 dB à 87123.74 dB pour une fréquence de 41.5GHz

4.4. Cas du polymère conducteur composites nylon6 / Zn

La figure 64, représente la variation de l'efficacité globale en fonction de la distance entre la source de rayonnement et l'écran du blindage. Pour la fréquence moyenne 525MHz, les différents résultats que nous avons obtenus, montrent que l'atténuation due à l'absorption est indépendante de la distance. L'atténuation due à la réflexion décroît avec la distance de 67.06dB à 3.73 dB. L'efficacité globale décroît avec la distance de 149.84 dB à 86.51 dB

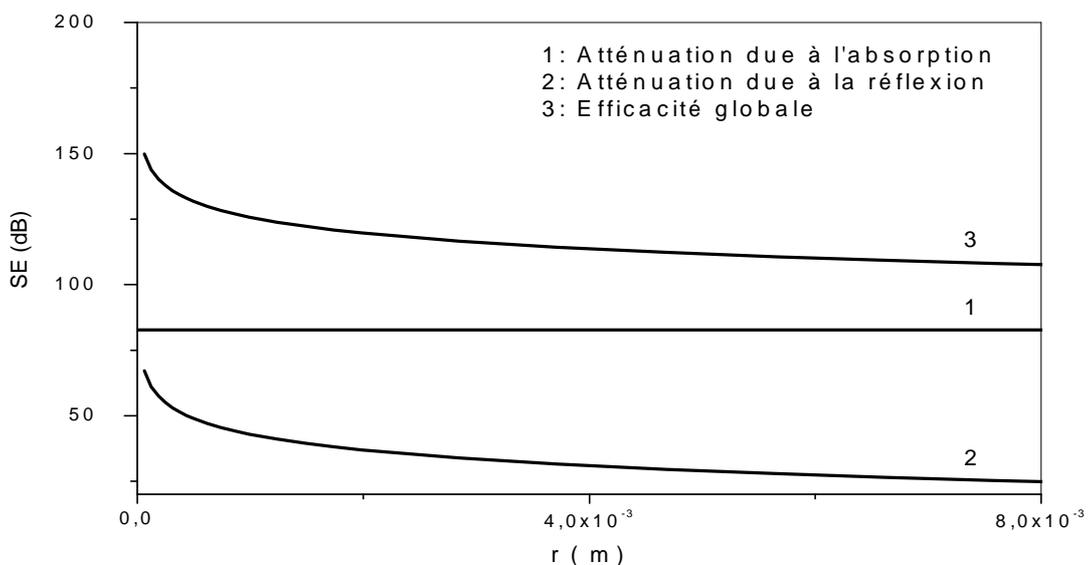


Figure 64 : variation de l'efficacité du blindage électromagnétique, en fonction de la distance pour $f = f_1 = 525 \text{ MHz}$

La figure 65a, représente la variation de l'atténuation due à l'absorption en fonction de la distance, L'examen de cette figure révèle que l'atténuation est indépendante de la distance.

La figure 65b, représente la variation de l'atténuation due à la réflexion en fonction de la distance, sur cette figure l'atténuation décroît de 53,09 dB à -10,23 dB pour une fréquence de 13.1 GHz.

La figure 65, illustre la variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique en fonction de la distance, montre que l'efficacité décroît de 466.60 dB à 403.26 dB pour une fréquence de 13.1GHz.

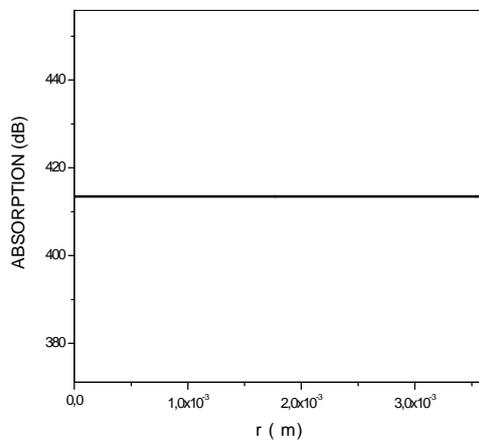


Figure65a : Atténuation due à l'Absorption

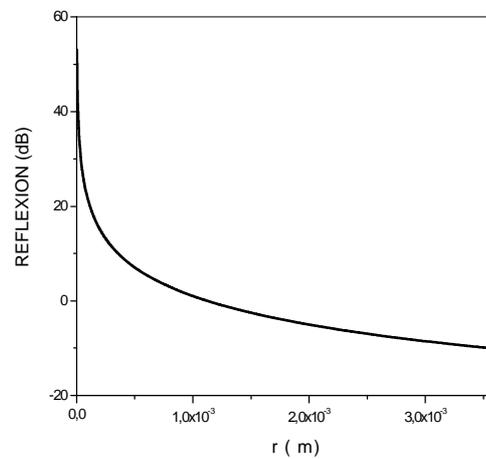


Figure 65b : Atténuation due à la réflexion

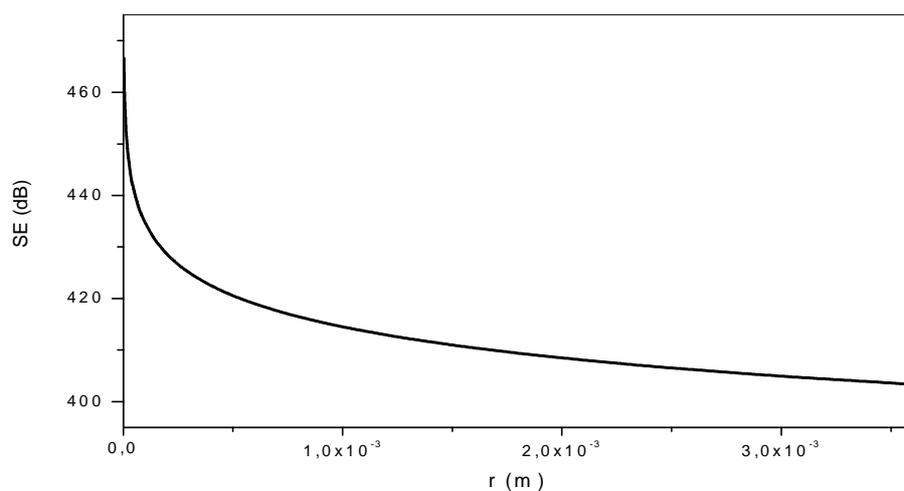


Figure 65 : variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique, en fonction de la distance pour $f = f_2 = 13,1GHz$

La figure 66a, représente la variation de l'atténuation due à l'absorption en fonction de la distance, L'examen de cette figure révèle que l'atténuation est indépendante de la distance.

La figure 66b, représente la variation de l'atténuation due à la réflexion en fonction de la distance, Sur cette figure l'atténuation décroît de 48,08 dB à -15.24 dB pour une fréquence de 41.5GHz.

La figure 66, illustre la variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique en fonction de la distance, montre que l'efficacité décroît de 784.07 dB à 720.74 dB pour une fréquence de 41.5GHz.

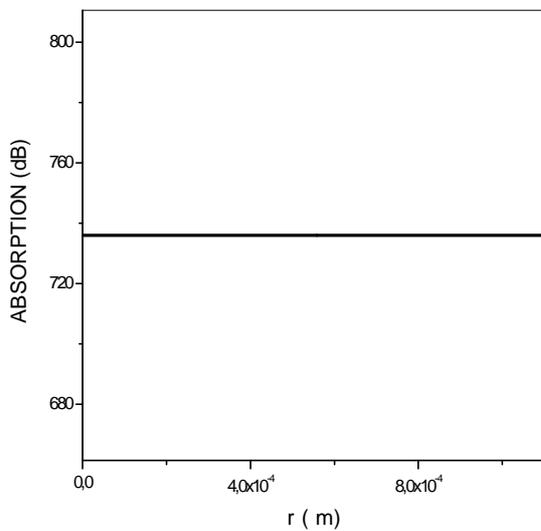


Figure 66a : Atténuation due à l'Absorption

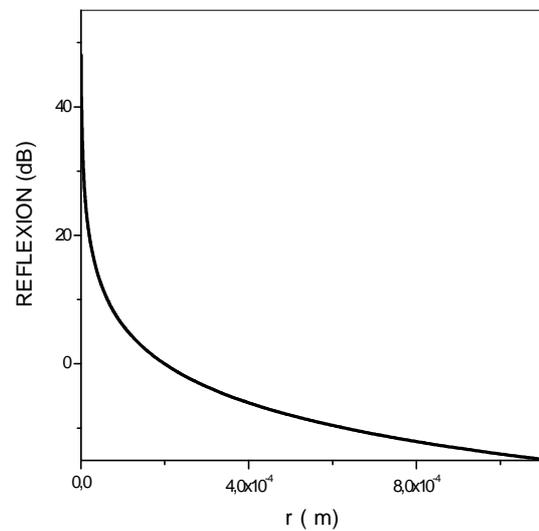


Figure 66b : Atténuation due à la réflexion

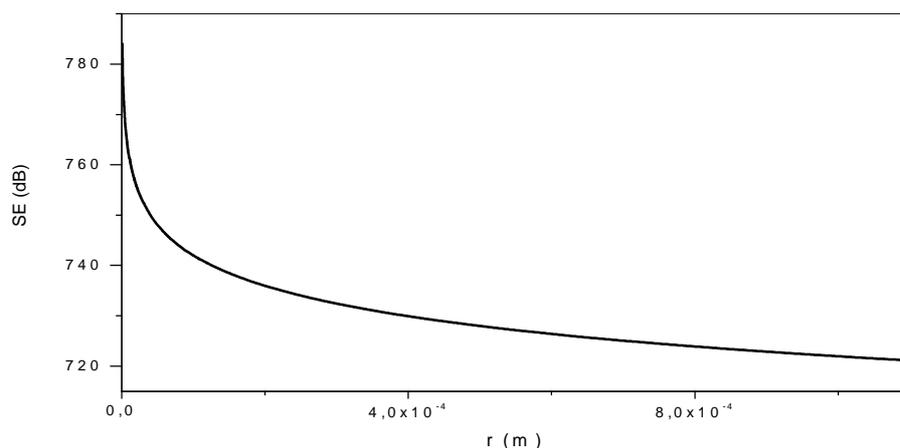


Figure 66 : variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique, en fonction de la distance pour $f = f_3 = 41,5GHz$

4.5. Cas du trioxyde de vanadium

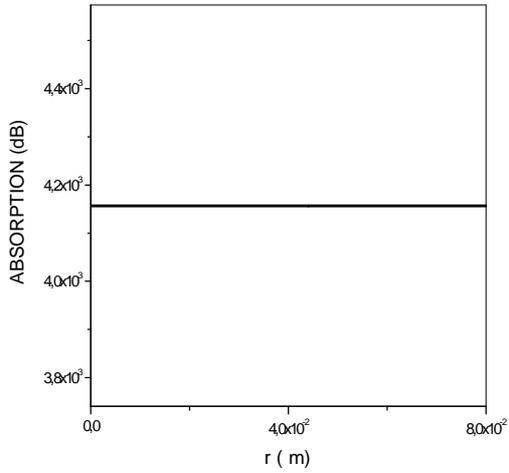


Figure 67a : Atténuation due à l’Absorption

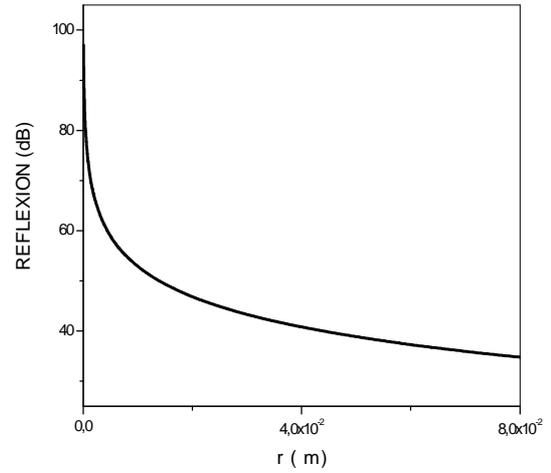


Figure 67b : Atténuation due à la réflexion

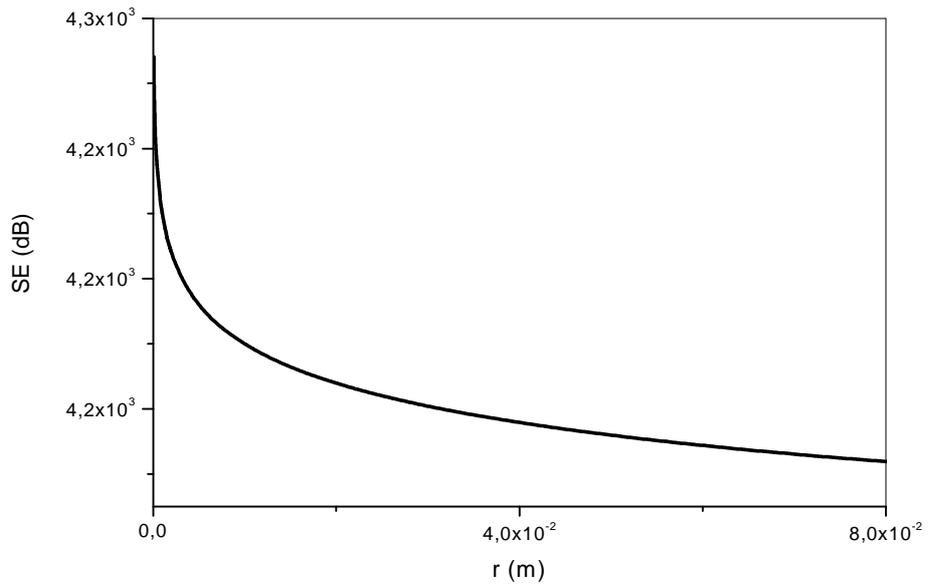


Figure 67 : variation de l’efficacité globale du blindage électromagnétique, en fonction de la distance pour $f = f_1 = 525MHz$

La figure 67a, représente la variation de l’atténuation due à l’absorption en fonction de la distance, L’examen de cette figure révèle que l’atténuation est indépendante de la distance.

La figure 67b, représente la variation de l'atténuation due à la réflexion en fonction de la distance, sur cette figure l'atténuation décroît de 97.00 dB à 33.66 dB pour une fréquence de 525MHz.

La figure 67, illustre la variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique en fonction de la distance, montre que l'efficacité décroît de 4254.10 dB à 4190.77 dB pour une fréquence de 525MHz

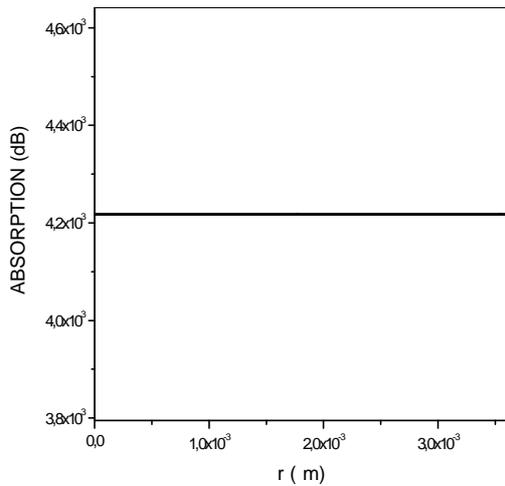


Figure 68a : Atténuation due à l’Absorption

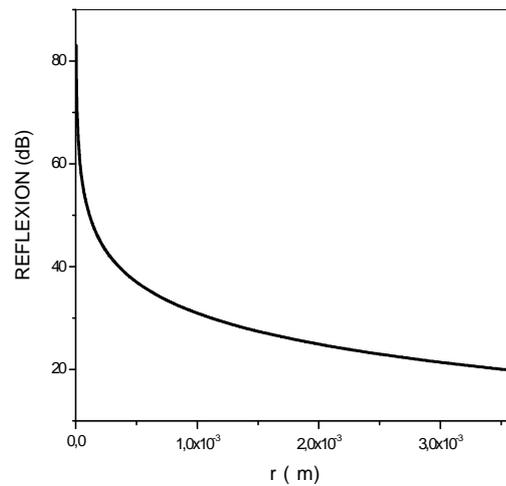


Figure 68b : Atténuation due à la réflexion

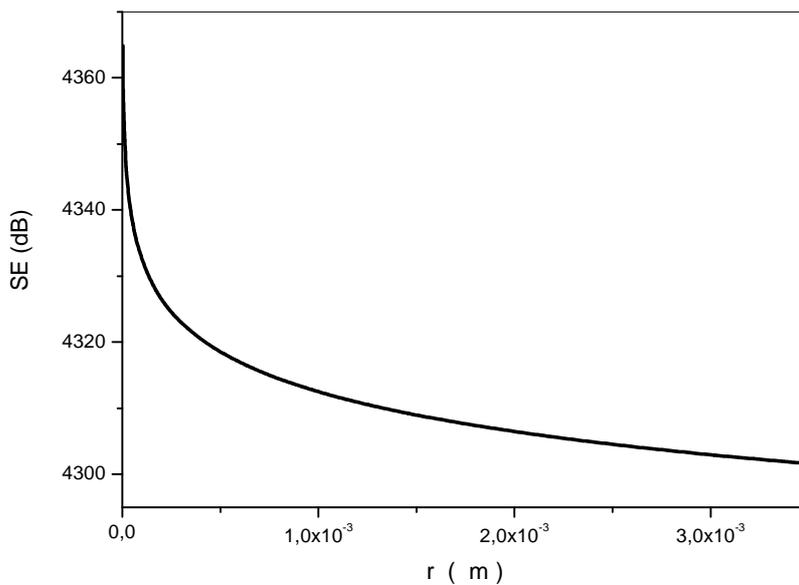


Figure 68 : variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique, en fonction de la distance pour $f = f_2 = 13,1GHz$

La figure 68a, représente la variation de l'atténuation due à l'absorption en fonction de la distance, L'examen de cette figure révèle que l'atténuation est indépendante de la distance.

La figure 68b, représente la variation de l'atténuation due à la réflexion en fonction de la distance, sur cette figure l'atténuation décroît de 83,03 dB à 15.24 dB pour une fréquence de 13.1GHz.

La figure 68, illustre la variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique en fonction de la distance, montre que l'efficacité décroît de 4364.85 dB à 4301.51 dB pour une fréquence de 13.1GHz

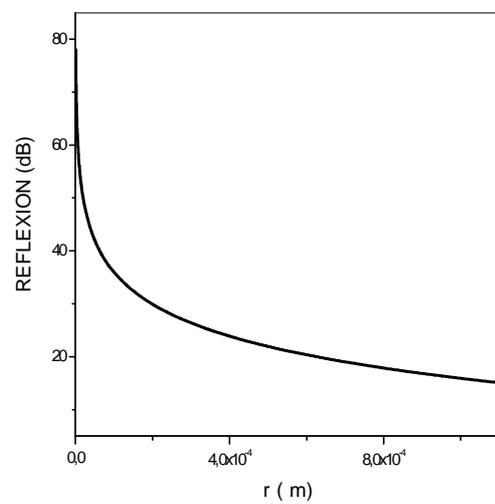
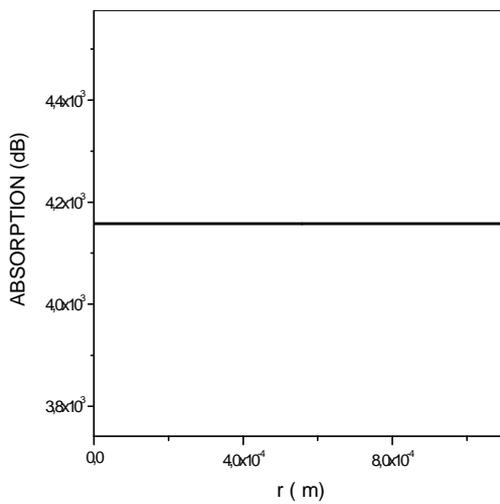


Figure 69a : Atténuation due à l'Absorption

Figure 69b : Atténuation due à la réflexion

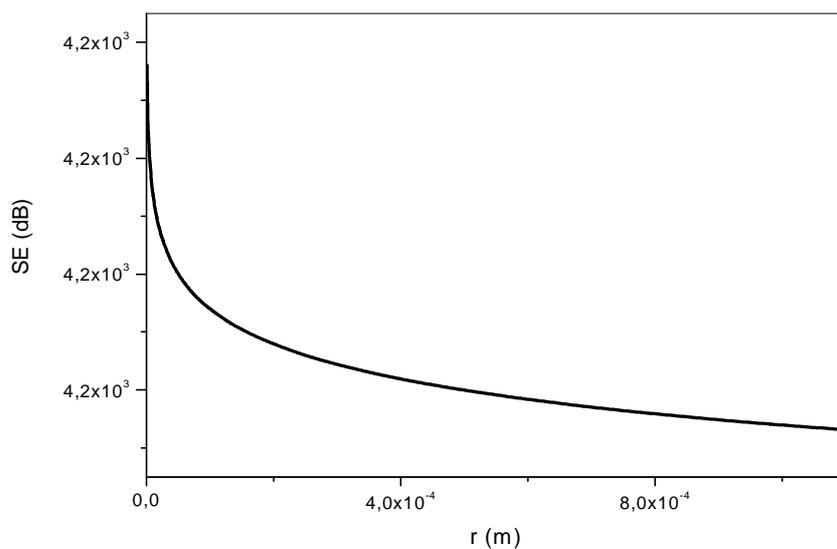


Figure 69 : variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique, en fonction de la distance pour $f = f_3 = 41,5GHz$

La figure 69a, représente la variation de l'atténuation due à l'absorption en fonction de la distance, L'examen de cette figure révèle que l'atténuation est indépendante de la distance.

La figure 69b, représente la variation de l'atténuation due à la réflexion en fonction de la distance, sur cette figure l'atténuation décroît de 78.02 dB à 14.68 dB pour une fréquence de 41.5GHz.

La figure 69, illustre la variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique en fonction de la distance, montre que l'efficacité décroît de 4236.05 dB à 4172.72 dB pour une fréquence de 41.5GHz

4.6. Cas du polymère conducteur composites HDPE /V2O3

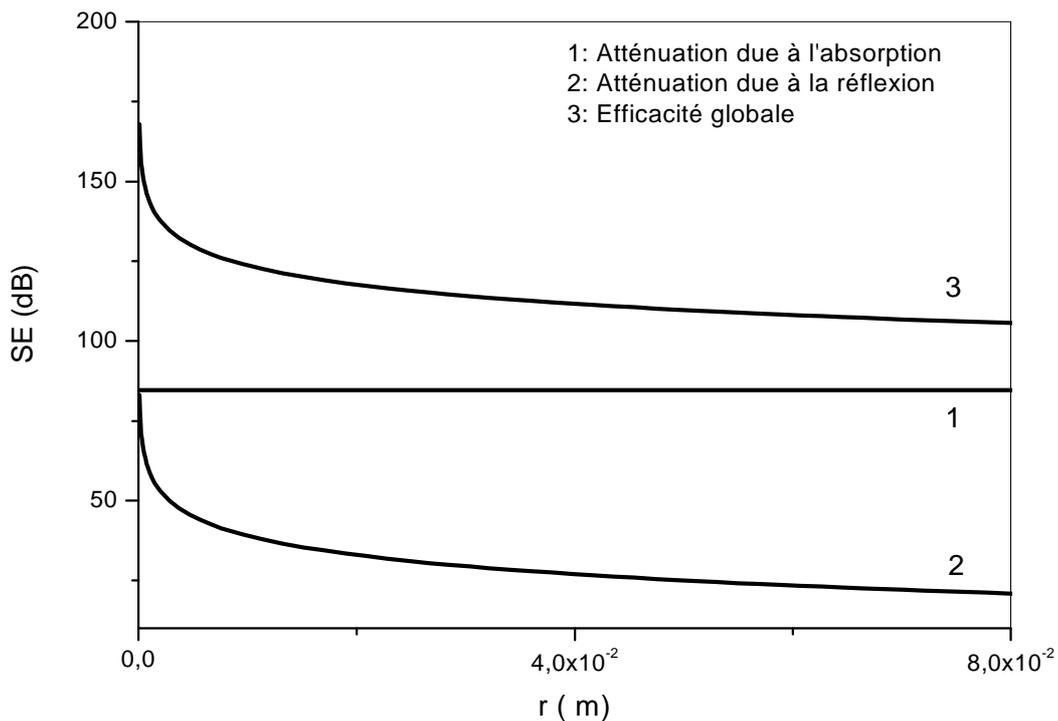


Figure 70 : variation de l'efficacité du blindage électromagnétique, en fonction de la distance pour $f = f_1 = 525 \text{ MHz}$

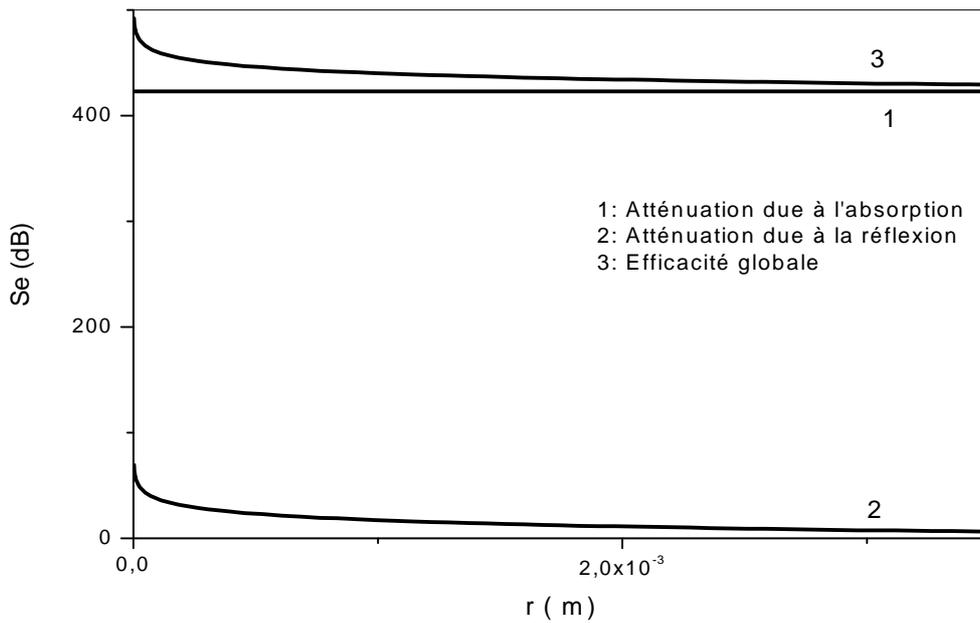


Figure 71 : variation de l'efficacité du blindage électromagnétique, en fonction de la distance pour $f = f_2 = 13,1\text{GHz}$

Les figures 70 et 71 montrent respectivement les variations de l'atténuation due à l'absorption, à la réflexion et l'efficacité globale en fonction de la distance entre la source des rayonnements et l'écran du blindage. Ces figures correspondent respectivement à des fréquences égales à 525 MHz et 13,1 GHz. Les différents résultats que nous avons obtenus, montrent que l'atténuation due à l'absorption est indépendante de la distance. L'atténuation due à la réflexion décroît avec la distance de 83,18 dB à 19,84dB pour une fréquence de 525MHz, de 69,21 dB à 5,87 dB pour une fréquence de 13,1GHz. L'efficacité globale décroît avec la distance de 167,87 dB à 104,53 dB pour une fréquence de 525MHz, de 492,92 dB à 428,25 dB pour une fréquence de 13,1GHz.

La figure 72a, représente la variation de l'atténuation due à l'absorption en fonction de la distance, L'examen de cette figure révèle que l'atténuation est indépendante de la distance.

La figure 72b, représente la variation de l'atténuation due à la réflexion en fonction de la distance, sur cette figure l'atténuation décroît de 64.20 dB à 0.87 dB pour une fréquence de 41.5GHz.

La figure 72, illustre la variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique en fonction de la distance, montre que efficacité décroît de 817.16 dB à 753.83 dB pour une fréquence de 41.5GHz.

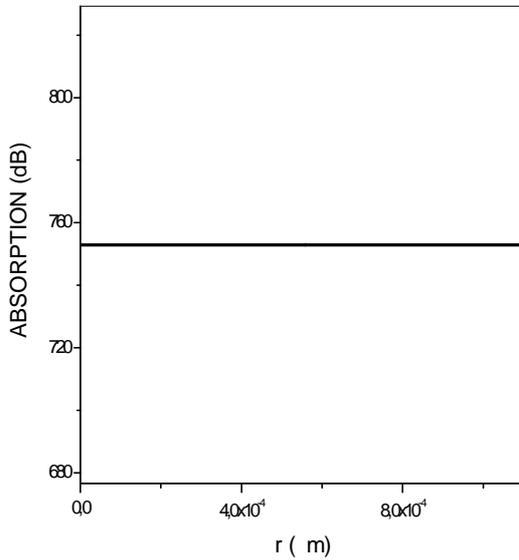


Figure 72a : Atténuation due à l’Absorption

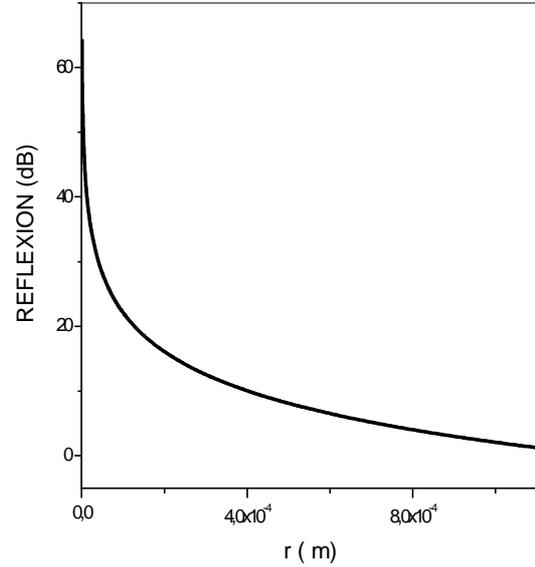


Figure 72b : Atténuation due à la réflexion

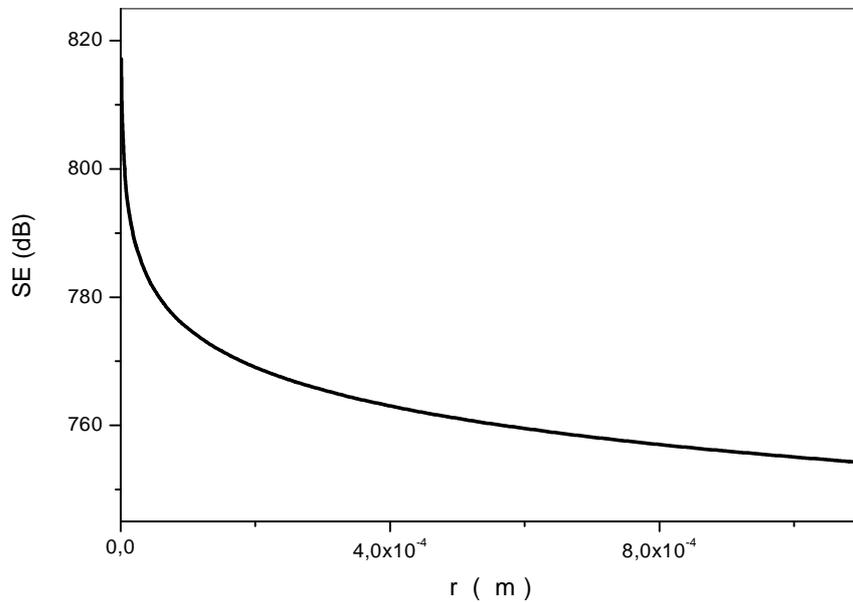


Figure 72 : variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique, en fonction de la distance pour $f = f_3 = 41,5GHz$

4.7. Cas du polymère conducteur composites LDPE /V2O3

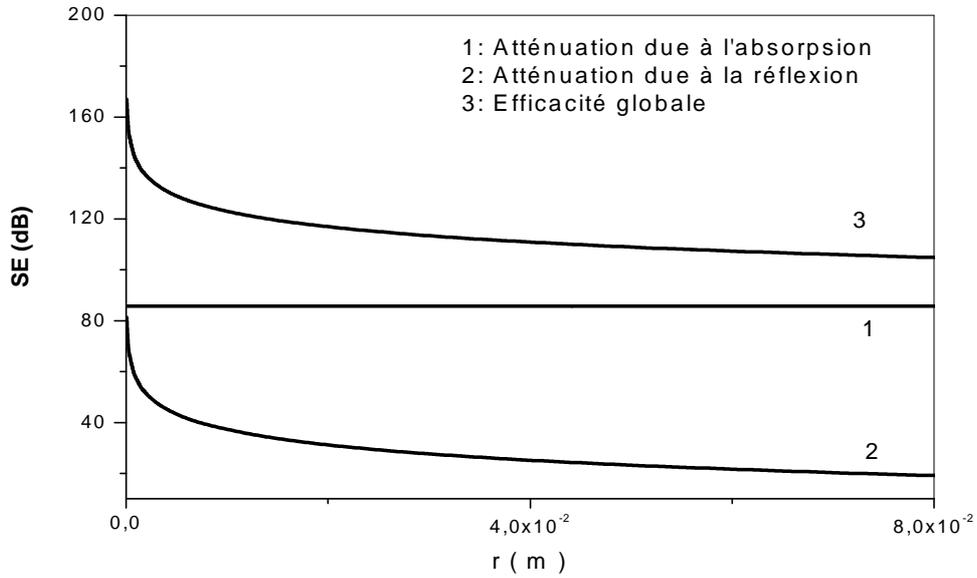


Figure 73 : variation de l’efficacité du blindage électromagnétique, en fonction de la distance pour $f = f_1 = 525MHz$

La figure 73, représente la variation de l’efficacité globale en fonction de la distance entre la source du rayonnement et l’écran du blindage. Pour la fréquence moyenne 525MHz, les différents résultats que nous avons obtenus, montrent que l’atténuation due à l’absorption est indépendante de la distance. L’atténuation due à la réflexion décroît avec la distance de 81.34 dB à 18.01 dB. Et l’efficacité globale décroît avec la distance de 167.04 dB à 103.71 dB.

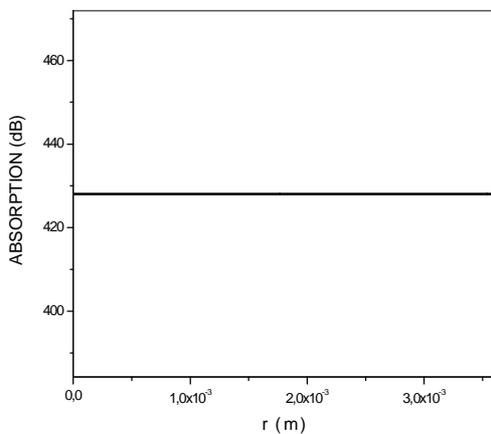


Figure 74 a : Atténuation due à l’absorption

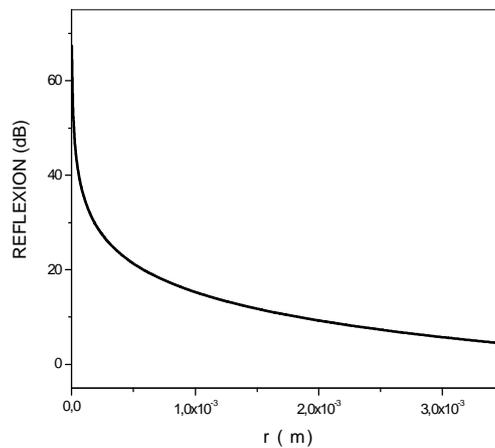


Figure 74 b : Atténuation due à la réflexion

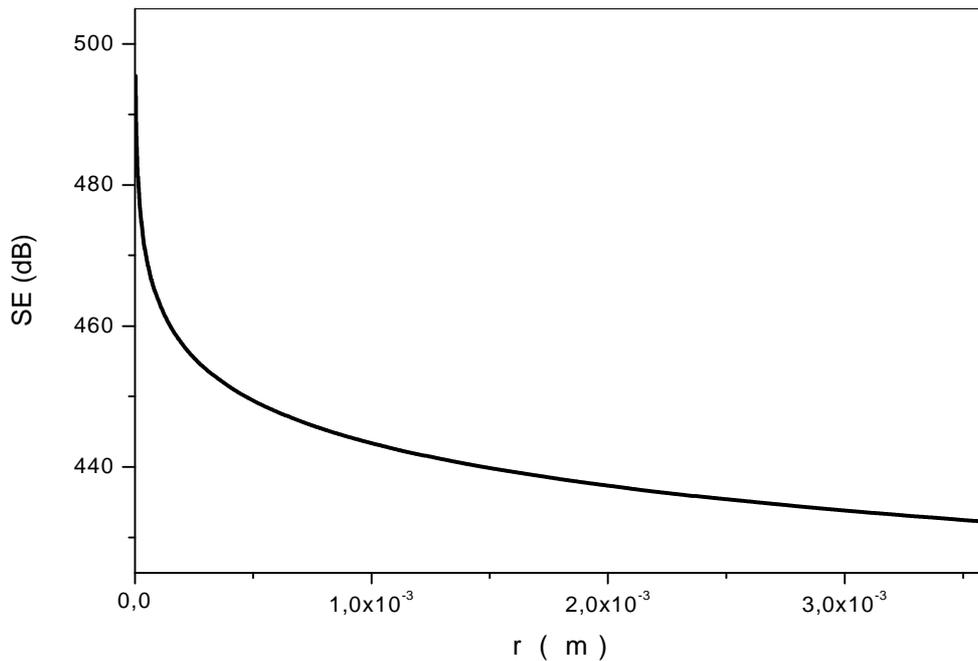


Figure 74 : variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique, en fonction de la distance pour $f = f_2 = 13,1GHz$

La figure 74a, représente la variation de l'atténuation due à l'absorption en fonction de la distance. L'examen de cette figure révèle que l'atténuation est indépendante de la distance.

La figure 74b, représente la variation de l'atténuation due à la réflexion en fonction de la distance. Sur cette figure l'atténuation décroît de 67.37 dB à 4.04 dB pour une fréquence de 13.1GHz.

La figure 74, illustre la variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique en fonction de la distance, montre que l'efficacité décroît de 495.47 dB à 432.13 dB pour une fréquence de 13.1GHz.

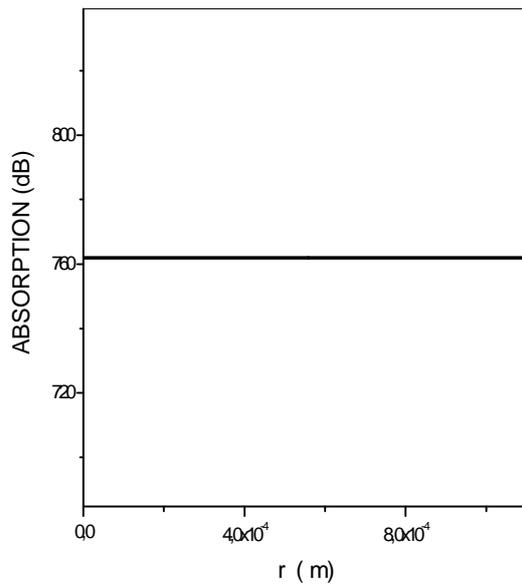


Figure 75a : Atténuation due à l'absorption

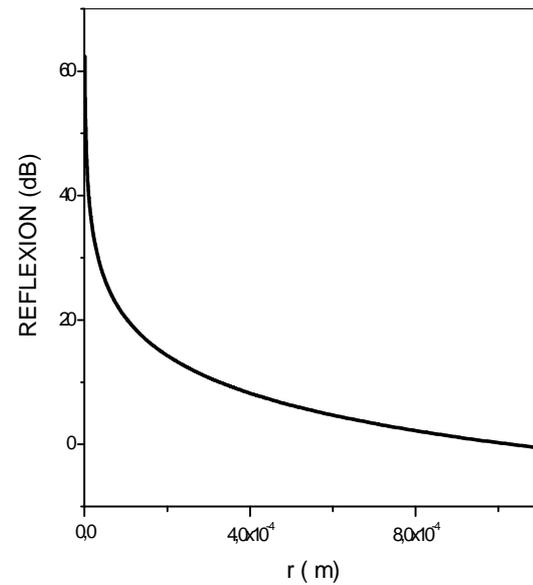


Figure 75b : Atténuation due à la réflexion

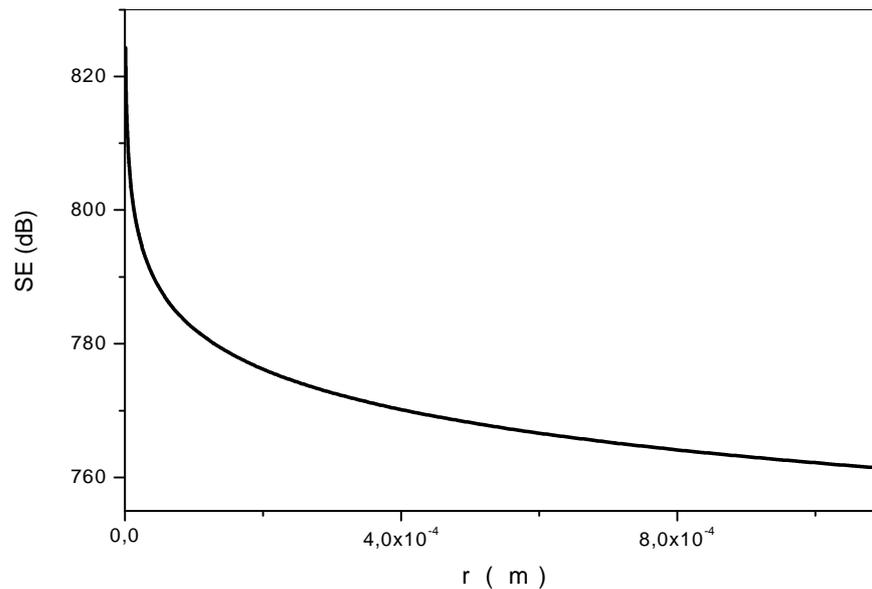


Figure 75 : variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique, en fonction de la distance pour $f = f_3 = 41,5GHz$

La figure 75a, représente la variation de l'atténuation due à l'absorption en fonction de la distance. L'examen de cette figure révèle que l'atténuation est indépendante de la distance.

La figure 75 b, représente la variation de l'atténuation due à la réflexion en fonction de la distance, sur cette figure l'atténuation décroît de 62.37 dB à 0.96 dB pour une fréquence de 41.5GHz.

La figure 75, illustre la variation de l'efficacité globale du blindage électromagnétique en fonction de la distance, montre que l'efficacité décroît de 824.32 dB à 760.98 dB pour une fréquence de 41.5GHz.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] M.belabbaci, contribution à l'étude théorique de l'efficacité du blindage électromagnétique en champ lointain cas de polymère conducteur composite, mémoire de magister, Faculté des sciences, université de Tlemcen, Algérie, mai 2008.

[2] M. Hamouni , S. Khaldi, Application du modèle non linéaire de Marko Ledvij à l'étude du comportement électrique des polymères conducteurs composites, Revue des composites et des matériaux avancés. Vol 19-n° 2/2009, pages 201à 213.

***CONCLUSION GENERALE ET
PERSPECTIVES***

CONCLUSION GENERALE

Cette étude nous a permis de mettre en évidence les effets de la fréquence de la source du rayonnement, de l'épaisseur de l'écran, de la fraction volumique des inclusions conductrices et de la distance entre la source et matériau du blindage. Sur l'efficacité du blindage électromagnétique d'un écran à base des matériaux classiques comme l'aluminium, le zinc et le trioxyde de vanadium et celui des polymères conducteurs composites tels que le nylon6 /aluminium, le nylon6 / zinc, le polyéthylène haute densité / trioxyde de vanadium et le polyéthylène basse densité / trioxyde de vanadium.

Pour mettre en évidence l'influence de la fréquence de la source de rayonnement sur l'efficacité du blindage électromagnétique assuré par les polymères conducteurs composites, nous avons pris une fraction volumique des inclusions conductrices constante. Cette fraction induit une conductivité électrique, qui vérifie l'approximation du bon conducteur $(\sigma / \omega \varepsilon_0) \gg 0$. Nous avons fixé l'épaisseur de l'écran. Cette épaisseur a été choisie supérieure à la profondeur de pénétration de l'onde électromagnétique, ce qui nous a permis de négliger les réflexions multiples $M(dB)$. La distance entre la source et l'écran du blindage égale à $r = 45 \cdot 10^{-3} m$

Pour mettre en évidence l'effet de l'épaisseur de l'écran, de la fraction volumique et de la distance sur l'efficacité du blindage électromagnétique, nous avons pris, pour chacune des trois bandes, une fréquence égale à la fréquence moyenne, soit : $f_1 = 525 MHz$, $f_2 = 13,1 GHz$ et $f_3 = 41,5 GHz$. Et la fraction volumique $\phi = 27.5\%$

Effet de la fréquence de la source du rayonnement

L'influence de la fréquence de la source du rayonnement sur l'efficacité globale du blindage électromagnétique, montre que pour les trois bandes de fréquence (radio, micro-ondes, millimétriques). les efficacités globales du blindage électromagnétique obtenus, respectivement, à l'aide des écrans en

nylon6/Al, nylon6/Zn, polyéthylène haute densité/trioxyde de vanadium et polyéthylène basse densité/trioxyde de vanadium. sont toutes supérieures à un seuil de 80 dB, pris aux normes européennes réservées aux applications militaires. Ce qui implique que tous ces polymères conducteurs composites conviennent au blindage électromagnétique d'une part. d'autre part ces polymères conducteurs composites absorbent plus de rayonnement électromagnétique qu'il n'en réfléchit : $A(\text{dB})$ plus important que $R(\text{dB})$, ceci peut être expliqué par le fait que quand une onde électromagnétique pénètre dans la matière, l'amplitude du champ électrique et magnétique décroît car une partie de l'énergie est cédée à la matière sous forme de courant de Foucault ce qui se traduit par un échauffement, la distance à laquelle l'amplitude des champs est atténuée à une épaisseur donnée appelé épaisseur de peau δ .

Pour la réflexion sur les parois métalliques est due à la désadaptation des milieux d'entrée et de sortie par rapport au blindage.

Les pertes par réflexion en champ électrique sont assurées par des faibles épaisseurs du métal par contre pour les champs magnétiques, lorsque l'épaisseur est faible, il se produit de multiples réflexions dans les matériaux qui viennent fortement réduire l'efficacité du blindage.

Ainsi, dans la bande des fréquences millimétriques (33GHz, 50GHz), l'efficacité du blindage électromagnétique à l'aide de polymère conducteur composite

Nylon6/ Zn son efficacité globale ($40\text{dB} \leq SE \leq 80\text{dB}$). ce polymère peut servir, uniquement, dans les applications civiles, d'où le nylon6/ Zn absorbe plus de rayonnement électromagnétique qu'il n'en réfléchit.

L'efficacité globale du blindage électromagnétique obtenue à l'aide des matériaux classiques : Aluminium, Zinc et trioxyde de vanadium sont aussi concernées aux applications militaires.

En effet dans ces bandes l'efficacité du blindage est supérieure à 80 dB.

2. effet de l'épaisseur de l'écran sur l'efficacité du blindage

Pour que l'influence de l'épaisseur de l'écran sur l'efficacité du blindage assurée par les matériaux classiques et les polymères conducteurs composites, on a

Pour chacune des trois bandes, une fréquence égale à la fréquence moyenne.

Nous avons varié l'épaisseur de l'écran au-delà de la profondeur de pénétration de l'onde électromagnétique ($e_p \geq \delta$).

Prise une conductivité électrique pour chaque polymère conducteur composite induit par sa fraction volumique de saturation. Pour tenir compte de l'hypothèse des réflexions multiples négligeables ($M(dB) = 0$).

La distance (source-écran) est prise égale $r = 45 \cdot 10^{-3} m$.

Les résultats que nous avons obtenus :

D'une part, on remarque que pour tous les matériaux, la contribution due à l'absorption est plus importante que celle due à la réflexion. D'autre part la réflexion reste constante lorsque l'épaisseur augmente. Ceci explique bien que la réflexion du rayonnement dépend de l'état de surface de l'écran. Alors que l'absorption croît avec l'épaisseur de l'écran elle est en fonction de la masse de l'écran, par conséquent de son épaisseur.

a. nylon6/aluminium

Pour un polymère conducteur composite nylon 6/AL, peut être utilisé dans la bande des fréquences radio, et millimétriques pour les applications civiles que les applications militaires à partir des épaisseurs données.

b. nylon 6/Zinc

Le polymère conducteur composite nylon 6/Zn peut être utilisé :

Dans la bande des fréquences radio, ne concerne ni applications civiles ni militaires.

Dans la bande des fréquences micro- ondes, pour les applications civiles à partir d'une épaisseur donnée. Et pour les applications militaires à partir d'une épaisseur d'écran $e_p = 10^{-4} mm$.

Dans la bande des fréquences millimétriques, pour les applications militaires à partir d'une épaisseur d'écran. $e_p = 25.8mm$

c. polyéthylène haute densité/ trioxyde de vanadium

Le polymère conducteur composite HDPE/V₂O₃ peut être utilisé :

Dans la bande des fréquences radio, ne concernent ni aux applications civiles ni militaires.

Dans la bande des fréquences micro ondes, pour les applications civiles, ainsi que les applications militaires pour une épaisseur d'écran $e_p = 10^{-3}mm$.

Dans la bande des fréquences millimétriques pour les applications civiles et pour les applications militaires à partir d'une épaisseur d'écran $e_p = 11mm$.

d. polyéthylène basse densité/ trioxyde de vanadium

Ce matériau conducteur composite peut être utilisé :

Dans la bande des fréquences radio, ne concernent ni aux applications civiles ni militaires.

Dans la bande des fréquences micro ondes, pour les applications civiles.

Dans la bande des fréquences millimétriques, pour les applications civiles, ainsi que pour les applications militaires à partir d'une épaisseur d'écran $e_p = 4mm$.

3. effet de la fraction volumique sur l'efficacité du blindage

Pour les quatre polymères conducteurs composites étudiés, l'atténuation due à l'absorption, celle à la réflexion et l'efficacité globale augmente lorsque la fraction volumique des inclusions croît.

1) Dans la bande de fréquence radio :

Le nylon6/ AL amorce une efficacité de blindage électromagnétique positive à partir du seuil du blindage. L'efficacité globale est supérieure à 80dB. Ce polymère conducteur composite utilisé dans certaines applications militaires.

Le nylon6/ Zn amorce une efficacité de blindage électromagnétique positive à partir du seuil du blindage son efficacité globale est inférieure à 40dB. Ce matériau ne convient ni aux applications civiles, ni aux applications militaires.

Le polyéthylène haute densité / trioxyde de vanadium et le polyéthylène basse densité / trioxyde de vanadium amorcent une efficacité de blindage électromagnétique supérieur à 80dB, donc exclu aussi bien des applications militaires.

2) Dans la bande de fréquence micro-onde :

Le nylon6/ AL : L'efficacité globale est inférieure à 40dB, ne concerne ni aux applications civiles, ni militaires

Le nylon6/ Zn amorce une efficacité de blindage électromagnétique positive à partir du seuil du blindage. L'efficacité globale est $40\text{dB} \leq SE \leq 80\text{dB}$. Donc exclu aussi bien des applications civiles.

Le HDPE/V₂O₃ et le LDPE/V₂O₃ possèdent une efficacité globale est supérieur à 80dB, il ne convient que pour des applications militaires.

3) Dans la bande de fréquence millimétrique :

Le nylon6/ AL : L'efficacité globale est inférieure à 40dB, ne concerne ni aux applications civiles, ni militaires.

Le nylon6/ Zn amorce une efficacité de blindage électromagnétique positive à partir du seuil du blindage. Sont efficacité globale dans l'intervalle $40\text{dB} \leq SE \leq 80\text{dB}$. Il est donc désigné pour les applications civiles.

Le HDPE/V₂O₃ et le LDPE/V₂O₃ génèrent des efficacités globales du blindage électromagnétique qui touchent aussi bien les domaines des applications civiles que militaires.

4. effet de la distance sur l'efficacité du blindage

Nous aboutissons à des conclusions similaires aux précédentes, quand au comportement électromagnétique du nylon6/Al, nylon6/Zn, polyéthylène haute densité/trioxyde de vanadium et polyéthylène basse densité/trioxyde de

vanadium. Pour cette effet, l'atténuation due à la réflexion et plus importante que celle due à l'absorption qui reste constante lorsque la valeur de la distance varie pour une fréquence donnée. D'autre part la réflexion décroît avec l'augmentation de la distance.

Les valeurs prises par l'efficacité globale doivent être normalement positives, en décibel, ce qui correspond bien à une atténuation. Cependant, nous avons enregistré dans le cas du nylon6/Zn, des valeurs négatives de l'efficacité du blindage électromagnétique, ceci veut dire que, dans la bande des fréquences micro-onde et millimétrique, nous avons avoir plus de champ avec l'écran en nylon6/Zn que sans écran.

Il ne s'agit guère d'une amplification mais d'un effet de directivité. En effet, il à été prouvé que pour les hautes fréquences ($f \geq 100\text{MHz}$), un mauvais écran peut se comporte comme une antenne directive.

PERSPECTIVES

Les résultats encourageants que nous avons obtenus dans ce travail, nous suggèrent de consacrer ultérieurement nos activités de recherche à l'étude des problèmes suivants:

- 1) Effet de la géométrie de la source du rayonnement sur l'efficacité du blindage électromagnétique en champs proche et lointain.

- 2) Application des polymères conducteurs composites au domaine de la furtivité.

ANNEXE

***PROPRIETES PHYSIQUES DES
MATERIAUX UTILISENT***

ALUMINIUM

Aluminium est un élément chimique important sur la planète terre avec 1,5 % de la masse totale en élément Al.

Domaine d'application

Objets en AL ou alliage d'AL revêtus d'un revêtement organique, destinés à un usage unique pour un contact de longue durée. Il s'agit d'emballages, les principaux exemples

- Boîtes pour conserves appertisées.
- Capsules.
- Opercules produits laitiers vernis.

L'aluminium n'est pas un matériau exclusif à la technologie de pointe, on le retrouve dans tous les foyers même dans de nombreuses pièces de chaque maison, de la salle de bain, à la cuisine (emballages alimentaires).

On le retrouve même dans les loisirs, comme dans les cycles ou le ski, ou on apprécie sa légèreté et sa résistance de nombreux produits différents et il est très important pour l'économie mondiale. La chine est un important pays producteur devant l'Amérique du nord (états- unis et canada).

L'Al est utilisé pour

Sa faible masse spécifique	2,7 Kg/ dm ³
Bonne conductivité thermique	237 W/ m
Faible résistivité électrique	0,026 $\mu\Omega$ m à 20°C
Conductivité électrique	37,7.10 ⁶ s/m

ZINC

Le zinc est un élément chimique, de symbole Zn et de numéro atomique 30.

Caractéristiques notables

Le zinc est un métal de couleur bleu -gris, qui se combine avec l'oxygène et d'autres non-métaux.

Le zinc peut réagir avec les éléments ambiants, humidité, oxygène, dioxyde de carbone, etc. pour former une patine. Cette patine se traduit par une diminution progressive de l'éclat métallique de la surface. La couche formée, insoluble, cohérente et protectrice, comme constituant principal du carbonate basique de zinc. En contact avec l'eau, il forme des taches blanchâtres constituées notamment d'hydroxyde et d'oxyde de zinc, produits pulvérulents généralement peu adhérents et non protecteurs, parfois appelés rouille blanche.

Le zinc est une ressource non renouvelable.

Il est aussi utilisé en agriculture, comme apport d'oligo-élément, essentiellement en zone de sols fortement calcaires.

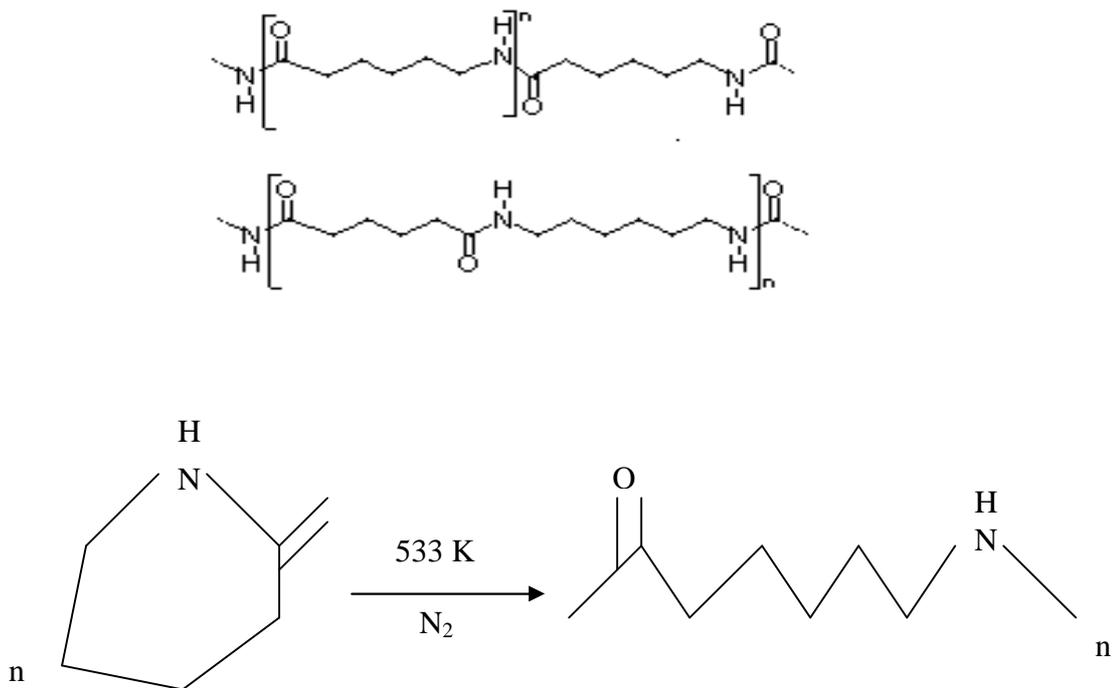
Propriétés physiques

Conductivité électrique	$16,6 \cdot 10^6 \text{ s/m}$
Conductivité thermique	166 W / (m.K)
Etat ordinaire solide	diamagnétique

NYLON 6

Les nylons sont aussi appelés polyamides, à cause du groupement amide caractéristique sur la chaîne principale. Les protéines comme la soie, que le nylon était destiné à remplacer, sont aussi des polyamide, ces groupes amides sont très polaires et peuvent faire des liaisons hydrogènes entre eux, de ce fait, et aussi parce que la chaîne du nylon est très régulière et symétrique.

Les nylons sont souvent cristallins, et font de très bonnes fibres.



nylon6 n'est pas un polymère de condensation, mais à la place est constitué par polymérisation d'anneau ouverture, ceci lui fait un cas spécial dans la comparaison entre la condensation et les polymères d'addition, sa concurrence avec 66 et l'exemple qu'il a placé ont également formé les sciences économiques de l'industrie synthétique de fibre, il a été donné le per-ton de marque déposée en l'année 1952, il est un polyamide semi cristallin.

Nylon6 est commence car le caprolactame pur, comme caprolactame à l'atome 6carbon, il a obtenu le nom nylon6.

Qualités principales

Bas frottement

Port de chaud

Facile à usiner

Isolation électrique

Propriétés

Une des propriétés principales de nylon6 est que c'est des secteurs très durs de saint de port et de volonté tels que des roulements ou des environnants simuler .là où il y a glissement de pièces mobiles ou de composants

Masse volumique	1.15.
Conductivité thermique	0.25W/ (mk).
Conductivité électrique	$10^{-12}(\text{m} \cdot \Omega)^{-1} \Omega$
Indice de réfraction n	1.52-1.53

Trioxyde de vanadium

Est un produit de haute utilisé dans une variété d'application y compris les produits chimiques et des catalyseurs de l'environnement, le traitement du gaz, la coloration

Des composés, des batteries, fixant colorants et des vitamines.

Il est produit dans le cadre certifié (système de gestion de la qualité au ARKANSAS plant.

Caractéristiques

Le vanadium est un métal blanc, mou, ductile, possède une bonne résistance à la corrosion par les composés alcalins.

Emballage : gallon des fûts en acier 55 contenant 200kg ou 400 Ibs, du produit ; fûts en carton contenant 50kg ou 100 Ibs, du produit.

Propriétés physiques :

Taille	20maille/down
Poids moléculaires	149,88 [g/mol]
Résistivité	$92.10^{-5} \Omega .cm$

POLYETHYLENE

Le polyéthylène, ou polyéthylène, est un des polymères les plus simples et les moins chers, il appartient à la famille des polyoléfines.

C'est le plus important polymère de synthèse, devant le PP, le PPC et le PS, sa production mondiale annuelle est d'une cinquantaine de millions de tonnes.

Sa température de transition vitreuse, très basse (voisine de -110°C) et sa température de fusion atteindre 140°C font prévoir un intervalle de températures d'utilisé comme plastique relativement vaste, sa nature paraffine explique sa grande inertie chimique.

Il existe différents types de PE (dont les homopolymères LDPE et HDPE) et des copolymères (LLDPE).

Le PE est la seule polyoléfine qui puisse être préparée par voie radicalaire, il est fabriqué à partir de pétrole.

Le PE est un polymère thermoplastique, translucide, chimiquement inerte.

Les trois principales familles de PE sont HDPE, LDPE, LLDPE.

- ❖ Le LDPE est plus ramifié que le HDPE, ce qui signifie que les chaînes ne s'assemble moins bien entre elles, les forces intermoléculaires de types Van Der Waals sont donc plus faibles.

Il est résulte un taux de cristallinité moindre, une plus faible densité, une malléabilité et une résistance aux chocs plus élevées, en revanche, le HDPE est plus rigide.

- ❖ Le LDPE est obtenue par polymérisation radicalaire vinylique sous très haute pression, et possède une masse molaire de l'ordre de 200.000 à 500.000.

Utilisation :

Le PE est le plastique le plus employé, se compact notamment la moitié des emballages plastique (films à usage alimentaire, agricole...).

L'utilisation la plus visible du PE est les sacs plastiques.

Lorsque le touché est plus gras, que le plastique se froisse sans bruit, se perce facilement avec le doigt, il s'agit du LDPE.

Lorsque le sac se froisse facilement sous la main, avec un bruit craquant, un touché mécanique et revient plus ou moins spontanément à sa forme d'origine, il s'agit du HDPE.

Les principales applications du HDPE sont des produits rigides : flacons (cosmétique...), bouteilles, boîtes de type trappeware.

Les principales applications du LDPE sont des produits souples : sacs, films, sachets, récipients souples (ketchup).

Résumé

Ce travail, est une contribution à l'étude théorique de l'efficacité du blindage électromagnétique à base de polymères conducteurs composites en champ proche. Dans ce cadre, nous réalisons une étude comparative entre les blindages obtenus à l'aide de matériaux classiques tels que l'aluminium, le zinc, le trioxyde de vanadium et, ceux réalisée par les polymères conducteurs composites renforcés par ces mêmes matériaux à l'instar du nylon6/aluminium, nylon6/zinc, polyéthylène haute densité/trioxyde de vanadium et du polyéthylène basse densité/trioxyde de vanadium. Nous examinerons, respectivement, l'influence de la fréquence de la source du rayonnement, l'effet de la fraction volumique de renfort, l'effet de l'épaisseur d'écran et celui de la distance entre la source et l'écran du blindage sur l'efficacité du blindage électromagnétique dans le cas du champ proche.

Ce mémoire subdivise en une introduction, deux chapitres et une conclusion générale.

Au premier chapitre, nous présentons certains concepts fondamentaux tel que, les polymères conducteurs composites, du blindage électromagnétique, calcule de l'efficacité du blindage électromagnétique.

Au deuxième chapitre, nous examinons les effets, de la fréquence de la source, de l'épaisseur de l'écran, de la fraction volumique du renfort et la distance entre la source du rayonnement et l'écran du blindage.

Mots clés : matrice, renfort, fraction volumique, matériau composite, polymère conducteur composite, onde électromagnétique, champ proche, blindage électromagnétique, efficacité.

ABSTRACT

This work is a contribution to the theoretical study of the electromagnetic effectiveness shielding containing composite conducting polymers. Within this framework we will make a comparative study comparative enters the shielding obtained using traditional materials such as aluminium, zinc, trioxyde of vanadium, and those carried out by composite conducting polymer materials reinforced by these materials such as nylon6/Al, nylon6/Zn, LDPE/V2O3, and HDPE/V2O3.

We examine, respectively, the influence of the frequency, the volume fraction of inclusion, the thickness of screen, And that of the distance between the source and the screen of the shielding On the effectiveness of the electromagnetic shielding in the case of near field.

This memory subdivides one an introduction, two chapters and a general conclusion.

At the first chapter, we present certain concepts fundamental, composite conducting polymer, shielding electromagnetic, calculate effectiveness of the electromagnetic shielding.

In the second chapter, we examine effects of frequency, of material thickness, of volumic fraction of reinforcement, and the distance enters the source and the screen of the shielding.

Key words: matrix, inclusion, volumic fraction, composite conducting polymer, near field, shielding electromagnetic effectiveness.

المخلص

هذا العمل يمثل مساهمة في الدراسة النظرية لفاعلية الحماية الكهرومغناطيسية باستعمال اللدائن المركبة الناقلة, و يشمل مقارنة بين الحماية المحققة باستعمال المواد المألوفة كالألومنيوم, الزنك, و الحماية المحققة باستعمال اللدائن الناقلة المدعمة بهذه المعادن مثل nylon6/Al, nylon 6/Zn, HDPE /V2O3, LDPE /V2O3 من اجل ذلك نتفحص على التوالي :

تأثير تواتر المصدر, نسبة الدعم الكهربائي, سمك المادة المستعملة, المسافة بين المنبع و الشاشة على فاعلية الحماية الكهرومغناطيسية.

هذه المذكرة تنقسم إلى مقدمة, فصلين والخلاصة عامة.

في الفصل الأول: نتعرض لبعض المفاهيم الأساسية لفهم و شرح النتائج مثل :

اللدائن الناقلة المركبة, ظاهرة الحماية الكهرومغناطيسية, حساب فاعلية الحماية الكهرومغناطيسية.

الفصل الثاني يتضمن تأثير العوامل السابقة على فاعلية الحماية الكهرومغناطيسية.

مفاتيح: اللدائن المركبة الناقلة, فاعلية الحماية الكهرومغناطيسية, الحقل المغناطيسي, نسبة الدعم الكهربائي.