

**Titre :** Ondes 2 – Milieux diélectriques

**Présentée par :** Guillaume THEMEZE **Rapport écrit par :** Elise DECLERCK et Mathieu MARKOVITCH

**Correcteur :** Richard MONIER

**Date :** 23/10/20

<b>Bibliographie</b>		
<b>Titre</b>	<b>Auteurs</b>	<b>Éditeur</b>
<b>Electromagnétisme 4</b>	<b>Bertin, Faroux, Renault</b>	<b>Dunod</b>
<b>Relativité et électromagnétisme</b>	<b>Michel Raimond</b>  <b>Lien : *</b>	
<b>Cap Prépa Physique PC, PC*</b>	<b>Renvoizé, Vincent</b>  <b>Bellanger, Éric</b>  <b>Girardi, Raphaël</b>  <b>Paulin, Sébastien</b>  <b>Portelli, Baptiste</b>  <b>Saudrais, Eddie</b>	<b>PEARSON</b>
<b>{Grandin} , Raphael</b>	<b>Grandin , Raphael</b>  <b>Lien : **</b>	
<b>Chap 8: Ondes électromagnétiques dans un milieu diélectrique</b>	<b>Lien : ***</b>	

\*<http://www.phys.ens.fr/cours/notes-de-cours/jmr/electromagnetisme.htm>

\*\*[http://www.ipgp.fr/~grandin/Raphael\\_Grandin\\_personal\\_web\\_page/Teaching\\_files/4\\_milieux.pdf](http://www.ipgp.fr/~grandin/Raphael_Grandin_personal_web_page/Teaching_files/4_milieux.pdf)

\*\*\* <https://arxiv.org/abs/1610.03540>

## Plan détaillé

(indiquer parties, sous-parties, 1 ou 2 phrases d'explications par sous-partie, et références)

Niveau choisi pour la leçon : Licence

Pré-requis : Ondes électromagnétiques dans le vide, oscillateurs forcés, étude macroscopique des milieux diélectriques

Intro : cette leçon fait suite au cours sur l'électromagnétisme dans les milieux. Ici on étudie la réponse du milieu à une onde électromagnétique et à la propagation de celle-ci. On montre un prisme pour mettre en évidence la dispersion.

(manipulation qualitative, dispersion de la lumière polychromique par un prisme)

## I – Propagation d'une onde dans un milieu diélectrique linéaire homogène et isotrope (DLHI)

### 1) Hypothèses, onde monochromatique

*définitions :*

- Un milieu diélectrique acquiert un moment dipolaire  $\mathbf{P}$  sous l'effet d'un champ électrique  $\mathbf{E}$
- milieu LHI (linéaire, homogène, isotrope)

Equations de Maxwell dans un DLHI

*hypothèses :* On se place dans un milieu diélectrique, isolant (charges et courant libres nuls), non magnétique, LHI

### 2) Onde plane progressive monochromatique dans un DLHI

On écrit le champ  $\mathbf{E}$  comme OPPH en notation complexe

On établit les équations de propagation pour  $\mathbf{E}$  et  $\mathbf{B}$ , apparition de la permittivité complexe

Équation de structure de l'onde

$\mathbf{k}$  vecteur d'onde dépend de la pulsation  $\omega$  : dispersion

$\mathbf{k}$  vecteur d'onde complexe : absorption

### 3) Indice complexe

indice complexe, vitesse de phase et vitesse de groupe

## II – Electron élastiquement lié

### 1) Permittivité

Résolution des équations : on suppose  $\mathbf{E}$  homogène à l'échelle de l'atome, pfd appliqué au système proton+électron,

graphes du module et de la phase de la permittivité (passe-bas d'ordre 2)

puissance diffusée dans le milieu

exemple du micro-onde, ordres de grandeurs

### 2) Régime limite

indice du verre

régime onde évanescante, stationnaire purement électriquement et longitudinal

### 3) Autres types de polarisation

électrique, ionique, d'orientation

ccl : étude de l'arc-en-ciel

prisme : capteur d'empreinte digitale

## Questions posées par l'enseignant (avec réponses)

(l'étudiant liste les questions posées, ainsi que les réponses données par l'enseignant. Si certaines réponses manquent, l'enseignant pourra compléter le document)

- Quelles sources ont été utilisées ? Bibliographie + cours de L3 + sujet de Centrale 2013+Cohen-Tanoudji.

- Que signifie le  $I$  de  $\rho_I$ ? Charges libres (et pas liées attention).
- Quelle est la signification des termes linéaire, homogène et isotrope ? **Linéaire**: le tenseur de permittivité diélectrique ne dépend pas du champ électrique. **Homogène**: il ne dépend pas de la position. **Isotrope**: il ne dépend pas de l'orientation et on peut donc le diagonaliser (il y a une seule valeur propre, proportionnel à  $\text{Id}$ ), la permittivité devenant alors un scalaire.
- Dans quelle situation n'a-t-on pas de relation linéaire ? Dans le cas d'un champ intense, cas du laser.
- Pourquoi postule-t-on que la longueur d'onde est très grande devant la dimension de l'atome dans le modèle de Drude-Lorentz ? On veut un champ uniforme dans l'atome.
- Quels sont les noms de  $k'$  et  $k''$ ? Nombre de dispersion et d'extinction respectivement.
- Pourquoi y a-t-il un  $t$  en indice dans l'expression du vecteur de Poynting ? On précise que la moyenne est temporelle.
- C'est quoi  $G_{dB}$ ? C'est le gain :  $G_{dB} = 20\log(\epsilon_0 \chi_e)$ .
- Quel est le facteur de qualité dans le modèle de l'électron élastiquement lié ?  $Q = \omega_0/\gamma$ .
- Quelle est la distance caractéristique dans ce modèle ?
- Quelle est l'expression de  $\omega_I$ ?  $\omega_I^2 = \omega_0^2 + \omega_p^2$ .
- Quelles sont les définitions de  $\rho_P$  et  $\mathbf{j}_P$ ?  $\rho_P = -\text{div}(\mathbf{P})$  et  $\mathbf{j}_P = \partial \mathbf{P} / \partial t$ .
- Le graphe des champs électrique et magnétique amortis peut être relié à quoi ? A l'effet de peau dans les conducteurs.
- Différence avec les diélectriques ? Pas de force de rappel dans les conducteurs.
- Que sont  $f$  et  $f_0$  dans l'exemple du four à micro-ondes ?  $f_0$  est une fréquence propre de la molécule d'eau et  $f$  est la fréquence d'excitation des micro-ondes.

## Commentaires lors de la correction de la leçon

(l'étudiant note les commentaires relatifs au contenu de la leçon : niveau, sujets abordés, enchaînement, réponses aux questions, etc. L'enseignant relit, et rectifie si besoin)

Bon cours, l'essentiel est couvert

C'est une leçon assez calculatoire, il faut bien nommer les notations et symboles utilisés pour ne pas perdre la classe.

Il faut dire un peu moins de choses pour ne pas finir en précipitation (partie II-3) sert de partie tampon, gagner du temps sur les calculs).

Attention aux flèches sur les vecteurs !

Attention à la notation complexe de k, définir les notations

Apparemment le niveau indiqué doit être L3 et pas licence (pourtant on nous avait dit de ne pas être précis dans l'année : on dit CPGE ou licence).

A la fin on pert en clarté, bien définir l'abcisse et l'ordonnée des graphes

## Partie réservée au correcteur

**Avis général sur la leçon (plan, contenu, etc.) :** Le plan est approprié. Le contenu l'est aussi mais je ne pense pas que l'expérience de prisme qui montre, entre autres, la deviation de la lumiere soit la meilleure à montrer. L'utilisation du terme « indice de deviation » n'est pas recommandée dans ce contexte.

Vos reponses aux questions sont tout à fait satisfaisantes. Vous montrez une bonne distance par rapport à vos notes écrites et gerez bien votre temps. Niveau global : A

### **Notions fondamentales à aborder, secondaires, délicates :**

En général, vous montrez une bonne maîtrise du sujet qui est difficile. Dans le modèle de l'électron élastiquement lié, il convient d'enoncer toutes les forces et leurs significations. Bien distinguer les notations en complexes des notations en réels.

### **Expériences possibles (en particulier pour l'agrégation docteur) :**

Pas évident d'en trouver une. Illuminer un milieu ayant un pouvoir rotatoire pourrait être une piste à explorer.

### **Bibliographie conseillée :**

Vous avez utilisé les bonnes sources. Je recommande aussi : Leçons d'électromagnétisme de B. Latour et 51 leçons d'agréation de Thierry Meier qui vient de sortir.