

## LP 28 – Ondes électromagnétiques dans les milieux diélectriques

Correction : Karim Helal, Jason Reneuve

### Remarques détaillées :

#### Intro :

Attention à la définition charges libres = électrons de valence. Les charges libres sont les électrons de la bande de conduction (et les « trous » associés dans la bande de valence), ie arrachés du nuage électronique. Tous les électrons de valence ne sont pas libres !

« Séparer les charges – des charges + » : formulation maladroite ; les barycentres des charges +/- sont non confondus, mais les charges ne sont pas complètement séparées dans le matériau...

### 1. Polarisation d'un milieu matériel

#### 1.1. Les mécanismes de polarisation

Bien exposé, attention cependant à ne pas laisser entendre que les différents mécanismes de polarisation sont incompatibles entre eux ! Un diélectrique présente en général plusieurs mécanismes de polarisation en même temps.

#### 1.2. Vecteur polarisation

Attention à bien insister sur les notions de champs micro/méso, et sur le moyennage (qu'est-ce que porte la polarisation ? Ce sont les atomes/molécules, moyennés sur des « petits » volumes élémentaires). La démo de l'expression de  $\rho_p$  et  $j_p$  n'est pas nécessaire et peut être évacuée pour gagner du temps sur d'autres parties.

### 2. Modèle de l'électron élastiquement lié

#### 2.1. Hypothèses et équations

Le modèle a été bien détaillé et a abouti aux bonnes équations, cependant ses motivations sont mal comprises. Le modèle de l'électron élastiquement lié (comme celui de Drude pour les conducteurs) est une approche phénoménologique : à partir de données empiriques (courbes d'absorption/dispersion), on construit un « toy-model » qui permet de retrouver quantitativement les données expérimentales. Les hypothèses du modèle sont complètement non-physiques (approximer le potentiel Coulombien par un potentiel élastique...) mais sont faites par besoin de simplicité et permettent tout-de-même de retrouver les comportements macroscopiques des matériaux. Le modèle se place donc dans la théorie de la réponse linéaire : la susceptibilité est la « fonction de transfert » du matériau, liant « entrée » = champ électrique et « sortie » = polarisation !

#### 2.2. Réponse du système

Sur le fond : très bien, les données sur les fréquences de résonance, les facteurs de qualité et les mécanismes de polarisation associés sont essentielles et souvent oubliées dans cette leçon. Manquent cependant des courbes expérimentales d'absorption/dispersion, à comparer avec les courbes-modèles de la susceptibilité.

Sur la forme : cette partie devrait être introduite avant le modèle de l'électron élastiquement lié, afin de suivre la démarche phénoménologique du problème. On veut étudier le comportement électrique/optique d'un matériau, en utilisant les outils connus pour le vide : les équations de Maxwell (devenues mésoscopiques par nécessité de moyennage). La susceptibilité diélectrique est introduite comme une relation de fermeture (relation constitutive) de manière ad hoc, et c'est le modèle de l'électron élastiquement lié qui donne un comportement fréquentiel à la susceptibilité à partir de paramètres phénoménologiques

### **3. Propagation d'une OEM dans un diélectrique**

#### **3.1. Équations de Maxwell**

Il faut bien insister sur la nécessité de moyenner tous les champs :  $\rho$  et  $j$  ne sont pas les seuls champs mésoscopiques.  $E$ ,  $B$  et  $P$  sont aussi des champs moyennés et ne sont pas les champs des équations de Maxwell dans le vide (champs microscopiques) ! Etablir des équations de Maxwell sur des champs moyennés n'est pas du tout immédiat, c'est possible uniquement car les opérateurs moyenne et dérivées commutent.

La première équation d'onde apparaît dans cette partie à la minute 38, ce qui est dommage pour une leçon dont le titre est « ondes... ». Les OEM (équation, structure...) devraient apparaître plus tôt et occuper une proportion plus grande dans la leçon.

#### **3.2. Relation de dispersion**

Attention aux erreurs de calcul avec la relation  $k=k_1-i*k_2$ , qui est bien une relation vectorielle ! Le signe – devant  $k_2$  n'est là que pour le confort dans l'expression finale de  $E$  (signe – dans l'exponentielle décroissante), mais peut perturber l'auditoire si ça sort de nulle part !

La différence entre atténuation (décroissance de l'amplitude au cours de la propagation) et absorption (aspect énergétique) doit être maîtrisé si ces mots sont prononcés.

#### **3.3. Absorption et Dispersion**

Des courbes expérimentales d'absorption/dispersion seraient les bienvenues ici, afin de les comparer au modèle.

Le développement limité de l'indice optique pour retrouver la loi de Cauchy est un peu lourd, il gagnerait à être allégé. Après avoir obtenu le résultat, on peut montrer sur les courbes de dispersion le domaine de fréquence où ce développement est possible.

Les exemples finals sont importants et très appréciés à la fin de cette leçon qui présente le piège d'être trop mathématique.