

# LP2021 : Absorption Dispersion

14 juin 2021

Clément Gidel & Pascal Wang

**Niveau : L2**

**Commentaires du jury**

**Bibliographie**

- 🔗 [http://www.mmelzani.fr/documents/plasma/plasma\\_ondes.pdf](http://www.mmelzani.fr/documents/plasma/plasma_ondes.pdf) → commentaires sur le plasma
- 🔗 [http://www.mmelzani.fr/documents/plasma/plasma\\_demo\\_pfd\\_un\\_elec.pdf](http://www.mmelzani.fr/documents/plasma/plasma_demo_pfd_un_elec.pdf) → commentaires sur le plasma

**Prérequis**

- prérequis

**Expériences**

- ☞ Biréfringence du quartz

## Table des matières

<b>1</b>	<b>Mise en évidence de la dispersion</b>	<b>3</b>
1.1	Premier exemple : ondes dans un plasma . . . . .	3
1.2	Paquet d'onde . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Mise en évidence de l'absorption</b>	<b>4</b>
2.1	Retour sur le plasma . . . . .	4
2.2	Exemple d'absorption : Effet de peau . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Câble coaxial avec pertes</b>	<b>4</b>

## Préparation

Biblio : on suit principalement le Sanz, HPrepa, [Melzani 1](#) [Melzani 2](#), Polydon, Portelli, GHP, De Gennes, Berkeley Physique des ondes, Physics of Waves, Arnt Inge Vistnes, calcul étalement en jpg, regarder Tec et Doc pour l'ordre 2

Plan : On peut aller assez vite sur les exemples et def en partie I et faire des considérations sur les modèles menant à cette dispersion / absorption en partie II. En partie III on peut s'attarder plus longtemps sur des exemples. Je pense qu'il aurait été pas mal de faire plutôt la partie sur la force de Lorentz en partie III car c'est moins crucial.

Manip : Cable coaxial avec pulse qui se déforme et s'atténue (dispersion + atténuation).

Passage : Il est crucial de donner des ODGs et des messages clés dans cette leçon. C'est une leçon très physique qui mérite d'être nourrie de commentaires et d'analyses précises sur les exemples proposés. Sur le modèle de Lorentz il faut pas passer trop de temps sur les calculs qui sont sur diapo mais bien discuter physiquement ce que cela apporte. Bien préciser les systèmes physiques qu'on étudie, comme par exemple le métal pour l'effet de peau en partie 1.

## Introduction

On peut donner comme exemples de dispersion et absorption des exemples de la vie courante : dispersion par un prisme, absorption d'une onde éom dans un fil de cuivre en TP, ou même câble coax.

### Propagation dans un câble coaxial

Est-ce pertinent de montrer le pulse dans le câble coaxial si on n'y revient pas ensuite? On envoie un pulse carré dans le câble coaxial, et on prend des points de mesures à l'oscilloscope en sortie du GBF, au milieu du câble, et au bout du câble. Le pulse se déforme, et en étant optimiste on peut attribuer ceci à la dispersion lors de la propagation. Prendre un pulse étroit pour bien visualiser. Attention à ne pas associer diminution en amplitude (qui s'accompagne d'un étalement) à une perte énergétique du signal lors de la propagation

**Présentation** On montre la vidéo : <https://youtu.be/51CQCcgIIXw?t=194>. On utilise un câble coaxial de 50m. Il faut choisir une impulsion suffisamment courte pour distinguer les signaux aller et retour (pas de chevauchement). En diminuant le rapport cyclique, on observe bien le signal aller et le signal retour. On observe un retard, alors qu'en régime permanent ou en ARQS globale, les retards n'existent pas. *L'impulsion est déformée : il y a eu dispersion et absorption. On aurait pu prendre une pulse sinusoidal pour avoir moins de dispersion.*

🔴 Je pense qu'il aurait mieux fallu mettre pulse sinusoidal pour absorption et pulse carré pour dispersion. Il y a aussi une subtilité concernant la réflexion, l'impédance étant pas forcément réelle, elle peut dépendre de la fréquence.

**Milieu dispersif** La dispersion peut être due aux CL ou au milieu. Dans cette leçon, on ne s'intéresse qu'au milieu : on prend des milieux (semi-infinis). Un milieu est dispersif lorsque la vitesse de phase d'une OPPM dépend de la fréquence.

**Milieu absorbant** : Un milieu absorbant est un milieu qui possède une partie imaginaire non nulle pour son vecteur d'onde (sauf si imaginaire pur, onde évanescence mais peut être que ça vaut peut être le coup de pas en parler tout de suite).

**Objectif : Rémi** Etudier la manifestation de l'absorption et de la dispersion dans différents systèmes physiques. On peut aussi éventuellement étudier certains modèles qui permettent d'expliquer l'origine physique d'un milieu dispersif.

**Objectif : Clément** Mon idée de plan c'est plutôt de partir d'exemples simples et d'introduire progressivement la manifestation de la dispersion et d'absorption. La différence entre onde évanescence (plasma basse fréquence) et onde absorbée (effet de peau) mérite selon moi d'être discutée dans cette leçon. L'exemple de la propagation du paquet d'onde comme illustration "théorique" est une idée, juxtaposée à certains exemples physiques. Les relations de Kramers-Kroning, la réponse non instantanée c'est pour moi trop subtil pour pouvoir faire une sous partie sur ça. Les exemples pertinents sont pour moi :

1. Paquet d'onde avec ordre 0, 1, 2
2. Ondes dans un conducteur : effet de peau montre un bon exemple d'absorption et de dispersion. ODGs possible avec effet de peau.
3. Câble coaxial, eq des télégraphistes. On a dispersion et absorption mais avec condition de Heaviside on a simplement absorption. ODGs possible avec caract classiques.
4. Ondes dans un plasma, HF donne dispersion sans absorption, BF donne onde évanescence (différent d'absorption car vecteur moyen de Poynting est nul ! ). ODGs possible avec inosphère, signalGPS.
5. Chaîne de pendules à la limite.

## 1 Mise en évidence de la dispersion

### 1.1 Premier exemple : ondes dans un plasma

On fait le plasma classique dans le cas haute fréquence. On rappelle juste les hypothèses clairement mais on fait pas les calculs et on donne juste la relation de dispersion. L'idée est de dire qu'à HF on a propagation avec dispersion mais SANS atténuation.

On précise bien que c'est le milieu qui donne le caractère dispersif, avec le terme d'inertie qui est proportionnel à la fréquence. On peut montrer animation / programme Python pour montrer les graphes de relation de dispersion. On peut donner ODGs avec signal GPS qui est 2 ondes de fréquence différentes et ça c'est good, premier exemple simple.

↓ On peut alors dire qu'en réalité on envoie pas une onde unique mais un paquet d'onde

## 1.2 Paquet d'onde

On peut ici faire le paquet d'onde en toute généralité. On fait l'ordre 0 et 1 et on met en évidence de la dispersion par le glissement de phase. On décrit pas vraiment un système physique précis mais on peut éventuellement dire que c'est assez courant en physique (optique, ect). L'idée est de donner une première idée de la dispersion à travers ce GIF. L'ordre 2 est essentiel car il montre la complexité avec l'absorption, où il ne faut pas confondre absorption et étalement du paquet d'onde. *Ce qui est important de dire c'est qu'à priori on sait pas jusqu'à quel ordre on va aller, ça va dépendre de l'expérience. Pour moi, il y a quand même un lien forme entre paquet d'onde et relation de dispersion. Mais dans tous les cas, l'idée est d'illustrer le fait qu'on a une dispersion qui vient de ce glissement de phase.*

L'ordre 2 est crucial car il montre la complexité du problème, fait poser des questions du style comment on différencie étalement et absorption...

↓ On a alors vu comment se manifestait la dispersion, mais sur mon signal du cable coax, pq mon ampli diminue / l'absorption n'

## 2 Mise en évidence de l'absorption

### 2.1 Retour sur le plasma

On peut juste revenir sur l'exemple du plasma à BF et dire qu'on a  $k$  imaginaire pur, ça pourrait être vu comme de l'absorption mais c'est une onde évanescente...

On dit alors que c'est pas de l'absorption car le vecteur moyen de Poynting est nul! On fait le calcul du poly de Ferrand. L'idée est alors de lever cette ambiguïté : pour avoir absorption, il faut que l'onde se propage dans le milieu!

### 2.2 Exemple d'absorption : Effet de peau

On peut alors donner un exemple : effet de peau dans un conducteur. On fait pas les calculs mais encore une fois on peut juste donner la relation de dispersion. On voit qu'on a une partie imaginaire ET réelle donc on a à la fois propagation et absorption. On peut donner ODGs des épaisseurs de peau, et expliquer pq on voit pas en TP pour fil de cuivre.

Ensuite on peut faire le calcul du vecteur de Poynting et montrer qu'il décroît exp. On fait un lien précis avec la partie précédente.

## 3 Câble coaxial avec pertes

**Modèle avec pertes** On a ajouté  $r$  qui modélise les pertes par effet Joule,  $g$  qui modélise le caractère imparfait de l'isolant entre l'âme et la gain.

**Relation de dispersion** [expression] On note que la relation est complexe : il va y avoir dispersion et absorption, l'absorption elle-même dépendant de la fréquence.

**Message** On a un système qui présente dispersion et absorption. On peut même modéliser l'un ou l'autre avec la condition de Heaviside. On peut revenir sur l'expérience introductive.

## Conclusion

Cette leçon a permis de comprendre la propagation d'un signal réel à travers un milieu réel, qui en général est dispersif et absorbant. Les points importants sont les suivants :

- Un signal de durée finie s'étalement à mesure qu'il se propage.
- L'information et l'énergie se propagent généralement à la vitesse de groupe.

Les conséquences sont importantes pour la transmission d'informations, que ce soit par les lignes téléphoniques ou pour Internet, ou pour des signaux GPS. Nous nous sommes restreints aux milieux infinis. Nous verrons plus tard que des conditions aux limites peuvent produire de la dispersion, même dans un milieu non dispersif (un guide d'onde dans le vide par exemple).

**Ouverture :**

## Questions

- Revenir sur manip cable coax. Expliquer le rapport cyclique. EN quoi ça change ? Ca permet de pas noyer l'onde retour dans une autre onde envoyée. En fait ici on règle la durée du pulse par rapport à la période du signal (?). Rapport cyclique n'est peut être pas le bon terme pour une impulsion. SOURCE de l'absorption ? Chute de tension à cause de la rg du géné, et absorption du cable. Comment faire différence entre absorption et étalement du signal du à la dispersion ?
- Exemples de disperison dues aux CL ? Ondes gravito capillaires, guide d'onde, fibre optique.
- Pourquoi à 1d ça ne restreint pas la physique ? Yes si isotrope.
- Il y a qq erreurs dans l'épaisseur de peau askip.
- Etre clair sur ce que signifie  $A$  dans le paquet d'onde.
- Pour l'ordre 2, on peut montrer la simulation sans parler de calculs.
- Comment différencier dispersion avec étalement et absorption dans le cas du paquet d'onde à l'ordre 2 ? Donner une image de l'absorption et dispersion ? Est ce que c'est vraiment l'aire qui est conservée ? **I lfaut absolument parler de l'ordre 2 car il permet de faire clairement différence entre dispersion et absorption.**
- $P_q$  dans le modèle de Lorentz on prend pas en compte partie mangétique ?
- Origine de la force de rappel ? champ électrique crée par le noyau. Frottement visqueux ? Vient de l'accélération de l'électron qui fait perdre de l'énergie par rayonnement.
- En fait sur la partie du modèle de Lorentz il faut être clair sur les grandeurs introduites et à la limite en introduire le moins possible. Typiquement il faut dire clairement le lien entre  $\epsilon$  et la vitesse de phase/groupe ou bien l'indice du matériau.
- Discuter du déphasage entre  $E$  et  $B$ . Modèle de l'électron élastiquement lié permet de retrouver ça ? La phase c'est l'arctan de  $\text{Im}/\text{Re}$ , en gros on a une grandeur complexe. C'est important de faire le lien avec ce qu'on a présenté.
- Probablement qu'il y a un choix à faire entre modèle micro et description macro. Clément pense que les exemples macros sont suffisants.

## Commentaires

### Commentaires 1

Faire ressortir les messages importants : Dans une leçon sur la dispersion, important de dire que la dispersion peut être générée par le milieu ou par les conditions aux limites. Important de dire en introduction que on se focalise que sur les milieux dispersifs. Dire que la dispersion déforme le signal. Un milieu est dispersif pour un paquet d'onde donné. Analogie avec l'électricité/filtrage peut être intéressante pour dire que ça dépend de la fréquence de la porteuse par exemple.

Intro sur arc en ciel bien. Peut aussi parler des problèmes liés aux télécommunications.

On peut traiter les milieux ohmiques pour parler d'effet de peau et d'atténuation.

Alternative : relation de Rayleigh, dispersion normale/anormale. Ondes hydrodynamiques, BUP ondes gravitocapillaires. Chaine de pendules

Biblio : Garing (ondes mécaniques, diélectriques). H prépa sur le plasma. Dunod ancien programme pour la vitesse de groupe.

La vitesse de groupe peut être négative au voisinage de zones d'absorption.

## Commentaires 2 / questions

- Hypothèses du plasma : Localement neutre, direct avec onde transverse.
- Cations inertes ? Rapport des masses insuffisant, il faut comparer le rapport des forces également.
- Cas  $\omega = \omega_p$  ? On peut faire une onde longitudinale dans le plasma car on a plus de contraintes sur E longitudinal à l'interface. Même effet dans un diélectrique avec des charges de polarisation. Effet Compton ? (exo dans le Garing).
- Qu'est ce qui se pass pour Ondes qui sont réfléchies sur le plasma (faibles fréquences) ? Ondes radios réfléchies. Marche encore de nos jours (Paris-Antarctique) ? Pas vraiment parce que maintenant on a est sur 100Mhz (FM), à l'époque c'était modulation d'amplitude.
- Pulsation négative ? On peut faire une intégrale selon  $k$ , plus physique ? EN fait la relation de dispersion est au carré!!!! C'est pour ça qu'il faut intégrer sur les pulsations négatives.
- Ecriture de  $v_\phi$  avec  $Re(k)$  quand  $k$  est imaginaire pur ? Faire attention à bien préciser qu'on est pas dans ce cas....
- Exemples et illustration de  $k'$  et  $k''$ , signification physique (propagation, dispersion).
- Faire des simulations d'absorption plutôt que de faire des calculs.
- Peut on compenser la dispersion en fréquence par la dispersion en hauteur d'eau pour une onde gravito capillaire ? Lien avec soliton ?
- Mentionner autres exemples que éom où milieux dispersif.
- Hypothèses diluée essentielle, car on doit négliger les interactions pour E qui reste tranverse et neutralité méso-scopique.
- Simuler dispersion avec les bonnes valeurs du câble coaxial peut être une bonne idée (on mesure expérimentalement et on met les valeurs dans un code Python). Attention au problème d'adaptation d'impédance pour vérifier correctement que ce qu'on voit c'est la dispersion et pas l'adaptation d'impédance.

## Passage : Ondes dans les plasma Valentin Dorel

### Plan

Niveau : L2 Prérequis : Ondes éom dans le vide, OH, analyse de Fourier

I) Cadre et hypothèses II) Equation d'onde III) Paquet d'onde et information

Intro : def du plasma, exemple d'application (ionosphère, Iter).

I) 1) Hypothèses : cf Pascal. Attention ici on a supposé localement neutre alors que c'est onde transverse qui impose localement neutre...

2) Oscillation des plasmas. On fait un bilan de matière sur une petite tranche qui se déplace. On trouve que la conservation du nombre de porteurs (on garde les ions). Le déplacement des porteurs  $\xi$  suit une EDL de type OH avec comme pulsation, pulsation plasma.

II)1) Conductivité dans les plasmas. On néglige force magnétique de Lorentz car non relat, et mouvement des ions avec Born Oppenheimer (on avait pas justifié l'hypothèse avant, je pense que c'est discutable de faire ça que maintenant). On fait alors le PFD à 1 électron. Calcul classique donne alors conductivité imaginaire pure.

2) Equation d'onde. On écrit les eq de Maxwell,  $div(\vec{E}) = 0$  encore une fois pas obligée si on considère ondes transverses. On trouve alors l'équation d'Helmoltz avec un terme  $i\frac{\partial E}{\partial t}$  qui est l'équation d'onde.

3) Relation de dispersion. Classique, avec Graphe Python. On calcule ensuite vitesse de phase et groupe. Discussion à haute et basse fréquence (propagation et onde évanescence).

III) 1) Un signal réel est bel et bien un paquet d'onde qu'on peut décomposer sur base d'ondes planes. Développement comme avec Ferrand. Ordre 1, 2.

2) ODGs avec ionosphère.

## Remarques / questions

- Ca manque des ODGs, notamment quand on introduit la pulsation plasma par exemple. Les messages sont clairs cependant, l'idée du mouvement OH des porteurs est bien.
- **Un piège classique est de dire qu'on néglige les interactions entre charges car le plasma est dilué. On néglige les interactions de type Coulombien mais pas les interactions globales qui se manifestent dans le courant  $\vec{j}$  qui crée un champ éom.**
- Ecran plasma c'est même chose? Selon wiki, oui, on applique champ électrique et en modulant intensité on module la luminosité.
- Densité, def?
- Hypothèse où on néglige les interactions entre particules? Un plasma est un GP? Hypothèses sur la nature du milieu?
- Prise en compte du champ magnétique Terrestre? Il faudrait un ODG du champ électrique de l'onde GPS.
- Subtilité : notation complexe marche qu'en régime permanent. On établit l'EDL sur  $\rho$  (mais conductivité réelle????).
- Détailler que si on a onde évanescence on a pas d'absorption.
- Comparaison entre plasma et conducteur pour une réflexion? Analogie dans le cas métal parfait? (ONDES EVANESCENTE DANS METAL DANS LE CAS OU ELLE SE PROPAGE????) Bon Moralité c'est que quand la conductivité est imaginaire pure dans l'un cas ou l'autre.
- Pourquoi on utilise TF plutôt que SF? Signal non périodique.
- Question sur extension spatiale du paquet d'onde? Si le paquet est plus étalé il faut prendre en compte terme d'ordres supérieurs?