



BLAISE PASCAL  
PT 2018-2019

Programme des colles semaine 22 : du 11 au 15 mars

# ARQS et ondes

## Au programme des questions de cours

- ▷ Établir l'équation de propagation des ondes électromagnétiques dans le vide ou dans un conducteur ohmique en basse fréquence, au choix de l'interrogateur. L'étudiant doit savoir simplifier les équations de Maxwell dans le conducteur ohmique.
- ▷ Démontrer la relation de structure. Sur un exemple de champ électrique donné par l'interrogateur, identifier la direction de propagation et de polarisation de l'onde puis en déduire le champ magnétique.
- ▷ En partant de l'équation de propagation rappelée par l'interrogateur, établir la relation de dispersion dans un conducteur ohmique. En déduire l'expression d'une « OPPH » et l'interpréter (effet de peau, amplitude exponentiellement décroissante au cours de la propagation).
- ▷ Déterminer le temps de cohérence  $\tau_c$  d'une raie de longueur d'onde  $\lambda$  et largeur  $\Delta\lambda$ .
- ▷ Rappeler sous quelles conditions deux ondes sont cohérentes. Établir la formule de Fresnel.

| Il n'est pas demandé d'établir les conditions de cohérence, mais seulement de les énoncer.

- ▷ Construire l'image d'un objet proposé par l'interrogateur au travers d'une lentille convergente. On s'attachera essentiellement aux cas « moins simples » : images virtuelles, à l'infini, etc.
- ▷ Définir le phénomène de réflexion totale à une interface entre deux milieux et établir à quelles conditions il apparaît.

| D'après la loi de réfraction,

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad \text{soit} \quad \sin \theta_2 = \frac{n_1}{n_2} \sin \theta_1$$

| Si  $n_1 < n_2$  l'angle de réfraction  $\theta_2$  existe toujours, mais si  $n_1 > n_2$  il n'existe que si

$$\frac{n_1}{n_2} \sin \theta_1 < 1 \quad \text{donc} \quad \theta_1 < \arcsin \frac{n_2}{n_1} = \theta_{lim}.$$

| Il y a donc deux conditions, sur les indices ( $n_1 > n_2$ ) et sur l'angle d'incidence ( $\theta_1 > \theta_{lim}$ ).

## Au programme des exercices

### Chapitre 17 : Électromagnétisme en régime variable

| On s'intéressera surtout cette semaine aux bilans d'énergie, éventuellement en lien avec les ondes électromagnétiques.

Extrait du programme officiel : partie 4 « Électromagnétisme », bloc 3 « Équations de Maxwell ».

Dans le bloc 3, une vision cohérente des lois de l'électromagnétisme est présentée. Le cadre adopté est celui de l'approximation des régimes quasi-stationnaires magnétiques où les effets des distributions de courants dominent ceux des distributions de charges.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Principe de la conservation de la charge : formulation locale.	Établir l'équation locale de la conservation de la charge dans le cas à une dimension.
Équations de Maxwell : formulations locale et intégrale.	Interpréter qualitativement le lien entre l'équation de Maxwell-Faraday et la loi de Faraday. Écrire et interpréter les équations de Maxwell sous forme intégrale.

Notions et contenus	Capacités exigibles
	Relier qualitativement le couplage spatio-temporel entre champ électrique et champ magnétique au phénomène de propagation. Dédurre l'équation locale de la conservation de la charge.
Approximation des régimes quasi-stationnaires (ou quasi-permanents) magnétique.	Comparer une durée typique d'évolution des sources à une durée de propagation de l'onde électromagnétique.

En **gras**, les points devant faire l'objet d'une approche expérimentale.

Extrait du programme officiel : partie 4 « Électromagnétisme », bloc 4 « Énergie du champ électromagnétique ».

Dans le bloc 4, on s'intéresse à l'aspect énergétique de l'électromagnétisme. Aucun modèle relatif à la loi d'Ohm locale n'est exigible ; l'accent est mis sur les échanges d'énergie entre la matière et le champ électromagnétique, sur l'utilisation du flux du vecteur de Poynting pour évaluer une puissance rayonnée à travers une surface et sur les bilans d'énergie et de puissance.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Densité volumique de force électromagnétique. Puissance volumique cédée par le champ électromagnétique aux porteurs de charge.	Établir et utiliser l'expression de la puissance volumique cédée par le champ électromagnétique aux porteurs de charge.
Loi d'Ohm locale. Densité volumique de puissance Joule.	Analyser les aspects énergétiques dans le cas particulier d'un milieu ohmique.
Densité volumique d'énergie électromagnétique et vecteur de Poynting : bilan d'énergie.	Utiliser le flux du vecteur de Poynting à travers une surface orientée pour évaluer la puissance rayonnée. Effectuer un bilan d'énergie sous forme locale et intégrale. Interpréter chaque terme de l'équation locale de Poynting, l'équation locale de Poynting étant donnée.

En **gras**, les points devant faire l'objet d'une approche expérimentale.

## Chapitre 18 : Ondes électromagnétiques

Extrait du programme officiel : partie 4 « Électromagnétisme », bloc 5 « Propagation ».

Le bloc 5, articulé autour de la propagation des ondes électromagnétiques, est l'occasion d'illustrer l'efficacité du formalisme local des équations de Maxwell en insistant sur les aspects qualitatifs et sur la variété des applications qui en découlent. Si le modèle de l'onde plane est présenté dans le cadre de l'espace vide de courant et de charge, l'étude des ondes électromagnétiques dans un milieu ohmique permet d'enrichir les compétences des étudiants sur les phénomènes de propagation en abordant l'effet de peau. La réflexion d'une onde électromagnétique sur un métal parfait et son confinement dans une cavité permettent aux étudiants d'approfondir leurs connaissances sur les ondes stationnaires et de découvrir des savoir-faire spécifiques permettant leur étude efficace. La notion de densité de courant surfacique est introduite, mais le calcul de l'intensité à travers un segment ne relève pas du programme.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Équations de propagation des champs dans une région vide de charges et de courants.	Établir les équations de propagation à partir des équations de Maxwell.
Onde plane dans l'espace vide de charge et de courant. Onde plane progressive et aspects énergétiques.	Citer les solutions de l'équation de d'Alembert à une dimension. Décrire la structure d'une onde plane et d'une onde plane progressive dans l'espace vide de charge et de courant.
Onde plane progressive monochromatique.	Expliquer le caractère idéal du modèle de l'onde plane monochromatique. Citer les domaines du spectre des ondes électromagnétiques et leur associer des applications.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Exemple d'états de polarisation d'une onde plane progressive et monochromatique : polarisation rectiligne. Polariseurs.	Reconnaître une onde plane polarisée rectilignement. <b>Mettre en évidence une polarisation rectiligne.</b>
Propagation d'une onde électromagnétique dans un milieu ohmique en régime lentement variable. Effet de peau.	Établir et interpréter l'expression de la grandeur caractéristique d'atténuation de l'onde électromagnétique dans un milieu ohmique.
Réflexion sous incidence normale d'une onde plane, progressive et monochromatique polarisée rectilignement sur un plan conducteur parfait.  Onde stationnaire.	Exploiter la nullité des champs dans un métal parfait. Établir l'expression de l'onde réfléchie en exploitant les relations de passage fournies.  Interpréter qualitativement la présence de courants localisés en surface.  Reconnaître et caractériser une onde stationnaire.
Applications aux cavités à une dimension. Mode d'onde stationnaire.	Utiliser la méthode de séparation des variables. <b>Mettre en œuvre un dispositif permettant d'étudier une onde électromagnétique, dans le domaine des ondes centimétriques.</b>

En **gras**, les points devant faire l'objet d'une approche expérimentale.

## Révisions : Ondes et optique géométrique

Tout le programme de PTSI. Les relations de conjugaison et de grandissement doivent normalement toujours être rappelées par un énoncé, cependant je recommande aux étudiants de connaître les relations avec origine au centre optique (de Descartes), tout particulièrement pour l'oral :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'} \quad \text{et} \quad \gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}.$$

---

### Et après ?

---

- ▷ Chapitre 19 : Modélisation des ondes lumineuses ;
- ▷ Chapitre 20 : Interférences par division du front d'onde ;
- ▷ Révisions sur l'oxydoréduction et les diagrammes potentiel-pH.

Bon courage à tous,  
Étienne Thibierge.