1) Équations de Maxwell en exercices

2) Thermodynamique de l'oxydoréduction et diagrammes potentiel - pH en cours et exercices

3) Ajouter :ondes électromagnétiques dans le vide. Réflexion sur un métal parfait. Onde stationnaire en cours et en exercices proches du cours.

ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES DANS LE VIDE

L'équation d'onde pour $\overrightarrow{E}$ et $\overrightarrow{B}$ dans une région vide de charges et de courants a été établie dans le chapitre sur les équations de Maxwell.

I. Ondes planes

- Définition d'une onde plane (OP).
- Solution générale de l'équation d'onde pour une onde plane dont les plans d'onde sont orthogonaux à Ox :

$$s(x,t) = f\left(t - \frac{x}{v}\right) + g\left(t + \frac{x}{v}\right)$$

  où f et g sont deux applications de $\mathbb{R} \longrightarrow \mathbb{R}$ quelconques, dérivables deux fois. La démonstration de cette relation est hors programme. Seule la vérification que cette expression est bien une solution a été faite.
- Interprétation des deux termes en tant qu'ondes planes progressives (OPP).
- Généralisation à une onde plane dont les plans d'onde sont orthogonaux à une droite orientée Δ de vecteur unitaire directeur $\overrightarrow{u}$:

$$s(M,t) = f\left(t - \frac{\overrightarrow{u}.\overrightarrow{r}}{v}\right) + g\left(t + \frac{\overrightarrow{u}.\overrightarrow{r}}{v}\right)$$

II. Onde plane progressive sinusoïdale ou harmonique (OPPS ou OPPH)

- Définition : $s(x,t) = S_m \cos(\omega t - kx + \varphi)$ avec $k = \frac{\omega}{v}$. Double périodicité spatiale et temporelle : période temporelle T, longueur d'onde λ. Relation $\lambda = vT$.
- Fonction de phase $\Phi(x,t)$. Propagation de la phase. Vitesse de phase v_φ.
- Représentation complexe associée $\underline{s}(x,t)$. Cas général : vecteur d'onde $\overrightarrow{k} = k\,\overrightarrow{u}$ et

$$\underline{s}(M,t) = \underline{S}_m \exp[\,i(\omega t - \overrightarrow{k}.\overrightarrow{r})] \quad \text{avec} \quad \underline{S}_m = S_m\, e^{i\varphi}$$

III. Cas des OPPS électromagnétiques

- Définition. Représentation complexe associée. Vecteurs amplitudes complexes $\overrightarrow{\underline{E}}_m$ et $\overrightarrow{\underline{B}}_m$.

$$\overrightarrow{\underline{E}}(M,t) = \overrightarrow{\underline{E}}_m \exp[i(\omega t - \overrightarrow{k}.\overrightarrow{r})] \text{ et } \overrightarrow{\underline{B}}(M,t) = \overrightarrow{\underline{B}}_m \exp[i(\omega t - \overrightarrow{k}.\overrightarrow{r})]$$

- Règles de calcul avec les représentations complexes.
- Transposition des équations de Maxwell dans le vide dans le domaine complexe. Application : transversalités électrique et magnétique de l'onde ; relation de structure de l'OPPS électromagnétique :

$$\overrightarrow{k}.\overrightarrow{E} = 0 \;\; ; \;\; \overrightarrow{k}.\overrightarrow{B} = 0 \quad \text{et} \quad \overrightarrow{B} = \frac{\overrightarrow{k} \wedge \overrightarrow{E}}{\omega} = \frac{\overrightarrow{u} \wedge \overrightarrow{E}}{c}$$

- OPPS électromagnétique polarisée rectilignement : vecteur polarisation $\overrightarrow{u_p}$.

$$\overrightarrow{\underline{E}}(M,t) = E_m \overrightarrow{u_p} \cos(\omega t - \overrightarrow{k}.\overrightarrow{r} + \varphi)$$

- OPPS électromagnétique polarisée circulairement : polarisations circulaires gauche et droite.
- Énergie d'une OPPS électromagnétique : $u_e = u_m$. Vecteur de Ponyting $\vec{\pi} = u_{em}\, c\, \vec{u}$. Interprétation de cette relation : propagation de l'énergie électromagnétique à la vitesse c.

IV. Réflexion sur un métal parfait

- Définition d'un métal parfait. Conséquences sur les grandeurs électromagnétiques.
- Relations de passage métal - vide.
- Réflexion sur un métal parfait d'une OPPS EM arrivant en incidence normale et polarisée rectilignement : onde réfléchie.
- Onde résultante stationnaire. Définition générale d'une onde stationnaire. Nœuds et ventres de vibration.
- Calcul du courant surfacique $\overrightarrow{j_S}$ à la surface du métal.

QUESTIONS DE COURS

1. Donner l'expression du potentiel de Nernst d'un couple Ox/Réd à toute température, puis à 25°C. Donner la définition de la constante de Faraday F.
2. Retour sur le cours de thermodynamique. Montrer que pour une transformation monobare et monotherme d'une cellule électrochimique on a :

$$G_F - G_I = W_{\text{él,reçu}}(I \to F) - T_s S_C(I \to F) < 0$$

3. Établir un bilan d'énergie électromagnétique pour un volume V délimité par une surface fermée S_F : forme intégrale puis locale (identité de Poynting). Donner sans démonstration les expressions de la densité d'énergie électromagnétique u_{em} et du vecteur de Poynting $\vec{\pi}$ en fonction de $\overrightarrow{E}$ et $\overrightarrow{B}$. Préciser l'interprétation de $\vec{\pi}$.
4. Établir l'équation de conservation de la charge à partir des équations de Maxwell. Établir les équations de d'Alembert pour $\overrightarrow{E}$ et pour $\overrightarrow{B}$ dans une région vide de charges et de courants.
5. Définir ce qu'est une onde plane et les plans d'onde.
6. Vérifier que $s(x,t) = f\left(t - \frac{x}{v}\right) + g\left(t + \frac{x}{v}\right)$ est solution de l'équation de d'Alembert unidimensionnelle pour une onde plane scalaire dont les plans d'onde sont orthogonaux à Ox.
7. Définir une onde plane progressive sinusoïdale (OPPS). Expliciter la double périodicité temporelle et spatiale. Relation entre λ, T et v.
8. Donner sans démonstration les différentes opérations dans le domaine complexe pour une OPPS complexe. En déduire les transversalités électrique et magnétique de l'OPPS électromagnétique dans le vide et obtenir la relation de structure.
9. Définir une OPPS EM polarisée rectilignement. Dans le cas où une OPPS EM se propage selon $+\overrightarrow{e_z}$, indiquer ce qu'est une polarisation ciculaire. Étudier les deux cas (polarisations circulaires gauchet et droite) selon le déphasage Φ de la composante E_y par rapport à la composante E_x de $\overrightarrow{E}$.
10. Une OPPS incidente $\overrightarrow{\underline{E}_i}$ polarisée rectilignement arrivant de $-\infty$ sur un plan métallique parfait situé en $x = 0$, déterminer le champ électrique $\overrightarrow{\underline{E}_r}$ de l'onde réfléchie. Déterminer les champs magnétiques $\overrightarrow{\underline{B}_i}$ et $\overrightarrow{\underline{B}_r}$, puis les champs résultants $\overrightarrow{\underline{E}}$ et $\overrightarrow{\underline{B}}$.