

1. Thermodynamique chimique : équilibres chimiques et premier principe selon programme de colles précédent.
2. Dipôles électrostatique et magnétique selon le programme de colles précédent.
3. Exercices d'induction électromagnétique MPSI.
4. Suite thermochimie :

### PROPRIÉTÉS DES GRANDEURS STANDARD

- Théorème des combinaisons linéaires d'équation-bilan.
  - État standard de référence d'un élément. Réaction de formation. Grandeur standard de formation. Loi de Hess.
  - Approximation d'Ellingham : le programme de MP se place explicitement dans l'approximation d'Ellingham.
5. En question de cours uniquement et/ou exercices proches du cours : équations de Maxwell en régime quelconque mais pas d'exercices sur les ondes électromagnétiques que je n'ai pas traité (pas de notion d'OPPS pour le moment). Énergie électromagnétique.

### ÉQUATIONS DE MAXWELL

#### I. Équations de Maxwell

- Les quatre équations de Maxwell. Formulations locale et intégrale.
- Compatibilité avec l'équation de conservation de la charge.
- Principe de superposition.
- Symétries.
- Cas particulier du régime stationnaire (ou permanent). Existence de  $V$ , relation entre  $\vec{E}$  et  $V$  et équation de Poisson.

- Transformation galiléenne du champ électromagnétique. Incompatibilité de l'électromagnétisme et des lois de composition des vitesses et des accélérations en mécanique classique.

#### II. Onde électromagnétique

- Equation de d'Alembert. Par analyse dimensionnelle, identification de la célérité des ondes.
- Exemple d'une onde sur une corde.
- Équation de d'Alembert pour  $\vec{E}$  et  $\vec{B}$  dans une région vide de charges et de courants. Relation  $1/c^2 = \epsilon_0\mu_0$ .
- Application au rayonnement du dipôle électrique. Expression du champ électromagnétique dans la zone de rayonnement.

#### III. Cas particulier de l'ARQS

- Définition de la zone ARQS. Les quatre équations de Maxwell dans la zone ARQS. Conséquence sur  $\vec{j}$  (flux conservatif) et théorème d'Ampère.
- Induction électromagnétique (révisions MPSI).
  - Cas d'une boucle de courant placée dans un champ magnétique variable (cas de Neumann) : loi de Faraday :  $e = -d\Phi_B/dt$ . Généralisation à un circuit quelconque. Schéma électrocinétique équivalent.
  - Cas d'un circuit mobile dans un champ magnétique permanent (cas de Lorentz) : loi de Faraday encore valable. Exemple des rails de Laplace. Bilan d'énergie.
  - Loi de modération de Lenz.
- Révision des notions d'inductance propre et mutuelle pour les circuits filiformes (révisions MPSI).

#### IV. Énergie électromagnétique

- Puissance échangée entre les porteurs de charges mobiles (PCM) et le champ électromagnétique. Densité volumique de puissance  $\vec{j} \cdot \vec{E}$ . Puissance échangée dans un petit élément de volume  $d\tau$  :  $\delta P_{em} = \vec{j} \cdot \vec{E} d\tau$ .
- Énergie électromagnétique. Densité volumique d'énergie électromagnétique  $u_{em}$  et vecteur de Poynting  $\vec{\pi}$  :

$$u_{em} = \frac{\varepsilon_0 \|\vec{E}\|^2}{2} + \frac{\|\vec{B}\|^2}{2\mu_0} \quad \text{et} \quad \vec{\pi} = \frac{\vec{E} \wedge \vec{B}}{\mu_0}$$

(La démonstration de ces expressions a été faite mais elle est hors programme)

- Identité de Poynting (forme locale et intégrale) :

$$\frac{\partial u_{em}}{\partial t} + \vec{j} \cdot \vec{E} + \text{div } \vec{\pi} = 0$$

et

$$\frac{dU_{em}}{dt} + \iiint_V \vec{j} \cdot \vec{E} d\tau + \Phi(\vec{\pi}/S_F) = 0$$

- Applications : puissance électromagnétique rayonnée par un dipôle à travers une sphère de rayon  $r$ , relation entre puissance échangée  $P_{em}$  échangée entre le champ électromagnétique et les PCM et puissance dissipée par effet Joule dans un conducteur ohmique, énergie électrique stockée dans un condensateur et énergie magnétique stockée dans une bobine.

#### Liste des questions de cours :

1. Transfert thermique au cours d'une réaction chimique. Établir la relation entre  $H_F - H_I$  et  $Q$  au cours d'une transformation monobare. Dans le cas d'une réaction à la fois monobare et monotherme, établir la relation fondamentale reliant  $Q_p$ ,  $\Delta_r H^0(T_a)$  et  $\xi_F$ .

2. Énoncer le théorème des combinaisons linéaires d'équations-bilan.
3. Définir l'état standard de référence d'un élément ainsi que la réaction de formation d'un constituant physico-chimique. Énoncer la loi de Hess.
4. Les 4 équations de Maxwell en régime quelconque. Formulations locale et intégrale.
5. Montrer la conservation de la charge électrique à partir des équations de Maxwell.
6. Établir l'équation de d'Alembert pour une corde vibrante.
7. Établir les équations de d'Alembert pour  $\vec{E}$  et  $\vec{B}$  dans une région vide de charges et de courants. Par analyse dimensionnelle, identifier la célérité de propagation des ondes électromagnétiques dans le vide.
8. Définition de la zone ARQS et condition pour qu'un point  $M$  appartienne à cette zone. Équations de Maxwell dans la zone ARQS.
9. Dipôle rayonnant : savoir définir  $\vec{p}(t)$  et expliquer ce que sont les approximations dipolaire et relativistes. Savoir donner l'organisation des trois longueurs  $d$ ,  $c\tau_{car}$  et  $r = OM$  dans la zone de rayonnement.

*L'expression du champ électromagnétique du rayonnement dipolaire n'est pas à connaître : elle doit être donnée. En revanche, le calcul des vecteurs  $\vec{E}$  et  $\vec{B}$  peut être demandé dans des cas particulier, par exemple lorsque  $\vec{p}(t) = p(t) \vec{e}_z$ . Le calcul de  $\vec{\pi}$  et de la puissance électromagnétique rayonnée à travers la sphère de rayon  $r$  et de centre  $O$  peut être demandé.*

10. Établir les expressions intégrale puis locale de la conservation de l'énergie électromagnétique (identité de Poynting).