Validation des compétences

Notions et contenus	**Capacités exigibles = « Je dois être capable de… »**

Phénomène de transport

1. Transport de charge

Conservation de la charge

Densité volumique de charge électrique ρ vecteur densité de courant électrique $\vec{j}$.	Passer d'une description microscopique (porteurs de charges, vitesse des porteurs) aux grandeurs mésoscopiques ρ et $\vec{j}$.
Intensité du courant électrique.	Écrire l'intensité comme le flux du vecteur densité de courant électrique à travers une surface orientée.
Bilan de charge.	Établir l'équation locale traduisant la conservation de la charge électrique en coordonnées cartésiennes à une dimension. Citer l'équation locale dans le cas tridimensionnel et en interpréter chacun des termes.
Régime stationnaire.	Définir une ligne de courant et un tube de courant. En régime stationnaire, exploiter le caractère conservatif du vecteur densité de courant électrique. Relier cette propriété à la loi des noeuds usuelle de l'électrocinétique.

Conducteur Ohmique

Loi d'Ohm locale.	Relier le vecteur densité de courant au champ électrique dans un conducteur ohmique. Citer l'ordre de grandeur de la conductivité du cuivre.
Modèle de Drude.	En régime stationnaire, établir une expression de la conductivité électrique à l'aide d'un modèle microscopique.
Résistance d'un conducteur cylindrique.	Établir l'expression de la résistance d'un câble cylindrique parcouru uniformément par un courant parallèle à son axe.
Puissance électrique. Effet Joule.	Établir l'expression de la puissance volumique reçue par un conducteur ohmique. Interpréter l'effet Joule.

Electromagnétisme

1. Symétries des champs électrique et magnétique

Symétries pour le champ $\vec{E}$, caractère polaire de $\vec{E}$. Symétries pour le champ $\vec{B}$, caractère axial de $\vec{B}$.	Exploiter les symétries et invariances d'une distribution de charges et de courants pour en déduire les propriétés de $\vec{E}$ et $\vec{B}$.

2. Champ électrique en régime stationnaire

Équations de Maxwell-Gauss et de Maxwell- Faraday.	Citer les équations de Maxwell-Gauss et Maxwell-Faraday. Particulariser ces équations au régime stationnaire.

Potentiel scalaire électrique.	Relier l'existence du potentiel scalaire électrique au caractère irrotationnel de $\vec{E}$. Exprimer une différence de potentiel comme une circulation du champ électrique.
Propriétés topographiques.	Associer l'évasement des tubes de champ à l'évolution de la norme de $\vec{E}$ en dehors des sources. Représenter les lignes de champ connaissant les surfaces équipotentielles et inversement. Évaluer le champ électrique à partir d'un réseau de surfaces équipotentielles.
Équation de Poisson.	Établir l'équation locale du deuxième ordre reliant le potentiel à la densité de charge.
Théorème de Gauss. Calculs de champ. Distribution surfacique de charge. Linéarité.	Énoncer et appliquer le théorème de Gauss. Établir le champ électrique et le potentiel créés par : - une charge ponctuelle, - une distribution de charge à symétrie sphérique. - une distribution de charge à symétrie cylindrique. Utiliser le modèle de la distribution surfacique de charge dans le cas d'une distribution volumique d'épaisseur faible devant l'échelle de description. Établir le champ électrique créé par un plan infini uniformément chargé en surface. Exploiter le théorème de superposition.
Énergie potentielle électrique d'une charge ponctuelle dans un champ électrique extérieur.	Établir la relation E_P=qV. Appliquer la loi de l'énergie cinétique à une particule chargée dans un champ électrique.
Analogie entre champ électrique et champ gravitationnel.	Établir un tableau d'analogies entre les champs électrique et gravitationnel.

3. Condensateur

Phénomène d'influence. Capacité d'un condensateur plan.	**Décrire qualitativement le phénomène d'influence.** Exprimer le champ d'un condensateur plan en négligeant les effets de bord. En déduire l'expression de la capacité.
Rôle des isolants.	Prendre en compte la permittivité du milieu dans l'expression de la capacité.
Densité volumique d'énergie électrique.	Citer l'expression de la densité volumique d'énergie électrique. Retrouver l'expression de la densité volumique d'énergie électrique dans le cas du condensateur plan à partir de la relation $E_c=1/2.C.U_c^2$.

4. Champ magnétique en régime stationnaire

Équations de Maxwell-Ampère et Maxwell-Thomson.	Énoncer les équations de Maxwell-Ampère et Maxwell-Thomson. Particulariser l'équation de Maxwell-Ampère au régime stationnaire.

Conservation du flux magnétique.	Exploiter la conservation du flux magnétique et ses conséquences sur les lignes de champ magnétique.
Théorème d'Ampère.	Énoncer et appliquer le théorème d'Ampère. Établir l'expression du champ magnétique créé par : - un fil infini ; - un fil épais et infini ; - un solénoïde infini en admettant que le champ extérieur est nul ; - une bobine torique.
Forces de Laplace.	Exprimer les forces de Laplace s'exerçant sur un conducteur filiforme, sur une distribution volumique de courant.

5. Electromagnétisme dans l'ARQS

Courants de déplacement.	Vérifier que le terme de courant de déplacement permet d'assurer la compatibilité des équations de Maxwell avec la conservation de la charge.
ARQS magnétique.	Simplifier les équations de Maxwell et l'équation de conservation de la charge dans l'ARQS en admettant que les courants de déplacement sont négligeables. Étendre le domaine de validité des expressions des champs magnétiques obtenues en régime stationnaire.
Induction.	Relier la circulation de $\vec{E}$ à la dérivée temporelle du flux magnétique, faire qualitativement le lien avec la loi de Faraday vue en première année.
Courants de Foucault.	Dans le cas d'un conducteur cylindrique soumis à un champ magnétique parallèle à son axe, uniforme et oscillant, décrire la géométrie des courants de Foucault, exprimer la puissance dissipée par effet Joule en négligeant le champ propre. Expliquer l'influence du feuilletage.
Energie magnétique. Densité volumique d'énergie magnétique. Couplage partiel, couplage parfait.	Exprimer l'énergie magnétique d'une bobine seule ou de deux bobines couplées en fonction des coefficients d'inductance et des intensités. Citer l'expression de la densité volumique d'énergie magnétique. La retrouver dans le cas de la bobine dont on néglige les effets de bord à partir de la relation $E_L=1/2.L.i^2$ Exploiter la continuité temporelle du flux magnétique. Dans le cas de deux bobines couplées, établir l'inégalité $M^2 \leq L_1L_2$.

6. Milieux ferromagnétiques

Aimant permanent, champ magnétique créé dans son environnement.	À partir d'une formule fournie exprimant le champ d'un dipôle magnétique, décrire le champ créé par un

Actions subies par un dipôle magnétique dans un champ magnétique extérieur.	aimant à grande distance et représenter qualitativement les lignes de champ magnétique. Utiliser les expressions fournies de l'énergie potentielle, de la résultante et du moment. Décrire qualitativement l'évolution d'un dipôle magnétique dans un champ extérieur.
Magnéton de Bohr	Etablir l'expression du magnéton de Bohr dans la cadre du modèle de Bohr.
Aimantation $\vec{M}$ d'un milieu magnétique.	Définir le champ d'aimantation d'un milieu magnétique.
Courants d'aimantation.	Associer à une distribution d'aimantation une densité de courants liés équivalente $\overrightarrow{J_{lié}} = \overrightarrow{rot}(\vec{M})$(relation admise).
Relation entre $\vec{B}$, $\vec{H}$ et $\vec{M}$. Équation de Maxwell-Ampère écrite avec le vecteur excitation magnétique $\vec{H}$ et $\overrightarrow{J_{libre}}$	Définir l'excitation magnétique $\vec{H}$ et écrire l'équation de Maxwell-Ampère dans un milieu magnétique. En déduire qualitativement que les sources de $\vec{H}$ sont les courants électriques libres, et que les sources de $\vec{B}$ sont les courants électriques libres et l'aimantation.
Milieu ferromagnétique.	Représenter l'allure des cycles d'hystérésis $(\vec{H};\vec{M})$ et $(\vec{H};\vec{B})$ d'un milieu ferromagnétique. Distinguer milieu dur et milieu doux, citer des exemples. **Tracer le cycle d'hystérésis d'un milieu ferromagnétique**
Milieu ferromagnétique doux.	Modéliser un milieu doux par une relation constitutive linéaire. Définir la perméabilité relative et donner un ordre de grandeur.
Circuit magnétique avec ou sans entrefer. Électroaimant.	Décrire l'allure des lignes de champ dans un circuit magnétique sachant que les lignes de champs sortent orthogonalement à l'interface dans un entrefer. En appliquant le théorème d'Ampère et la conservation du flux magnétique, exprimer le champ magnétique produit dans l'entrefer d'un électroaimant.
Inductance propre d'une bobine à noyau de fer doux modélisé linéairement.	Établir l'expression de l'inductance propre de la bobine à noyau, vérifier l'expression de l'énergie magnétique $E_{mag} = \iiint \frac{B^2}{2\mu_0\mu_r} dV$
Pertes d'une bobine réelle à noyau.	Exprimer le lien entre l'aire du cycle hystérésis et la puissance moyenne absorbée. Décrire les différents termes de perte d'une bobine à noyau : pertes fer par courants de Foucault et par hystérésis, pertes cuivre.