

## Licence d'éducation : Enseignement Secondaire Physique et Chimie

### S4-M26 : Électromagnétisme dans la matière

Pr. Omar Mommadi

Année universitaire 2024/2025

#### 1. Objectif visé

L'objectif général de ce module est de comprendre et analyser les phénomènes électromagnétiques macroscopiques dans les milieux matériels, de modéliser le comportement des conducteurs, diélectriques et milieux magnétiques, et d'étudier la propagation des ondes dans ces milieux.

Les objectifs spécifiques sont :

- Maîtriser les notions de conducteurs en équilibre, de polarisation et d'aimantation.
- Comprendre et appliquer les théorèmes fondamentaux (Gauss, Ampère, Coulomb) dans les milieux matériels.
- Assimiler le concept des vecteurs excitation ( $\vec{D}$  et  $\vec{H}$ ) et les conditions de passage entre différents milieux.
- Comprendre les équations de Maxwell macroscopiques et l'énergie électromagnétique.
- Analyser la propagation des ondes électromagnétiques dans divers milieux matériels.

#### Méthodes Pédagogiques :

- **Cours magistral** : Présentation des notions théoriques, des modèles physiques et du formalisme mathématique.
- **Travaux dirigés (TD)** : Résolution d'exercices d'application (3 séries couvrant les conducteurs, diélectriques et magnétiques).
- **Travaux Pratiques (TP)** : Expérimentation en laboratoire (Susceptibilité magnétique, cycle d'hystérésis, constante diélectrique).

#### Supports du Cours :

- Manuels de physique quantique.
- Simulation et animations pour visualiser les phénomènes quantiques.

#### 2. Public cible

Les étudiants de la filière : Licence en Education Spécialité "Enseignement Secondaire - Physique Chimie" (LEPC).

#### 3. Stratégie Pédagogique

Le volume horaire global de ce module est de 29 séances, il se déroule sous forme de 24 séances de cours, TD, 3 séances de TP et de 2 séances d'évaluations :

Composante(s) du module :	Volume horaire (VH)					
	Cours	TD	TP	Activités Pratiques	Evaluation des connaissances	VH global
Electrostatique / Magnétostatique.						
VH global du module	28h	22h	12h		6h	68h
% VH	41%	32%	18%		9%	100%

---

#### 4. Modalités d'Evaluation

---

Les connaissances sont évaluées à travers des contrôles continus, des analyses de textes et un examen final/

- **Contrôles continus (40%) :** (Assiduité, exposés, participation aux TD, tests partiels ...)
- **Examen de fin de semestre (60%)**

---

#### 6. Modalité de validation

---

Le module est validé si la note d'évaluation obtenue est supérieure ou égale à 10/20.

L'étudiant conserve, pour le rattrapage, les notes obtenues dans les éléments du module qui sont supérieures ou égales 10/20. La note de rattrapage est prise en compte sans que la note du module dépasse 10/20.

---

#### 7. Plan Du Cours

---

<b>CHAPITRE 1 : Milieux Conducteurs</b>		
<b>Semaine 1</b>	<b>Séance 1</b>	<p style="text-align: center;"><b>Conducteur en équilibre électrostatique</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>○ Définition et propriétés fondamentales.</li><li>○ Champ électrique <math>\vec{E}</math> et potentiel <math>V</math> à l'intérieur et à la surface.</li><li>○ Répartition des charges électriques.</li></ul>
	<b>Séance 2</b>	<p style="text-align: center;"><b><u>Théorème de Coulomb et Pression</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>○ Démonstration du théorème de Coulomb à la surface.</li><li>○ Pression électrostatique exercée sur la surface du conducteur.</li><li>○ Pouvoir des pointes.</li></ul>
<b>Semaine 2</b>	<b>Séance 3</b>	<p style="text-align: center;"><b><u>Phénomène d'Influence Électrostatique</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>○ Conducteurs en présence de charges extérieures.</li><li>○ Influence totale et influence partielle.</li><li>○ Théorème des éléments correspondants.</li></ul>
	<b>Séance 4</b>	<p style="text-align: center;"><b><u>TD 1 : Conducteurs en équilibre</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>○ Exercices sur les sphères conductrices (potentiel, capacité, densité surfacique).</li><li>○ Mise en contact de conducteurs et transfert de charges.</li><li>○ Calculs des champs électrostatiques.</li></ul>

Semaine 3	Séance 5	<p style="text-align: center;"><b>Capacités et Condensateurs</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Définition de la capacité propre d'un conducteur.</li> <li>○ Matrice des coefficients d'influence pour un système de conducteurs.</li> <li>○ Étude des condensateurs (plan, cylindrique, sphérique).</li> </ul>
	Séance 6	<p style="text-align: center;"><b>TD 1 : Condensateurs et Énergie</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Calcul de la capacité équivalente (associations série/parallèle).</li> <li>○ Calcul de l'énergie électrostatique emmagasinée.</li> <li>○ Problèmes sur les forces s'exerçant sur les armatures.</li> </ul>
<b>CHAPITRE 2 : Milieux Diélectriques</b>		
Semaine 4	Séance 7	<p style="text-align: center;"><b>Introduction et Polarisation</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Isolants vs. Conducteurs : Le dipôle électrique microscopique.</li> <li>○ Polarisation électronique, ionique et d'orientation.</li> <li>○ Définition du vecteur polarisation <math>\vec{P}</math>.</li> </ul>
	Séance 8	<p style="text-align: center;"><b>Charges de Polarisation</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Densité volumique de charges de polarisation <math>\rho_p</math>.</li> <li>○ Densité surfacique de charges de polarisation <math>\sigma_p</math>.</li> <li>○ Potentiel et champ dépolarisant <math>\vec{E}_p</math> créés par la matière.</li> </ul>
Semaine 5	Séance 9	<p style="text-align: center;"><b>TD 2 : Vecteur Polarisation</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Exercices sur les répartitions de charges de polarisation (sphères, cylindres).</li> <li>○ Calcul du champ dépolarisant pour des géométries simples.</li> <li>○ Utilisation du vecteur <math>\vec{P}</math> dépendant du temps ou de l'espace.</li> </ul>
	Séance 10	<p style="text-align: center;"><b>Vecteur Excitation Électrique et Théorème de Gauss</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Définition du vecteur déplacement/excitation <math>\vec{D}</math>.</li> <li>○ Généralisation du théorème de Gauss aux milieux matériels.</li> <li>○ Relations fondamentales entre <math>\vec{E}</math>, <math>\vec{D}</math> et <math>\vec{P}</math>.</li> </ul>
Semaine 6	Séance 11	<p style="text-align: center;"><b>Milieux L.H.I et Énergie</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Milieux Linéaires, Homogènes et Isotropes (L.H.I).</li> <li>○ Susceptibilité électrique <math>\chi_e</math> et permittivité relative <math>\epsilon_r</math>.</li> <li>○ Densité d'énergie électrostatique dans un diélectrique.</li> </ul>

		<b><u>TD 2 : Condensateurs à diélectriques</u></b>
	<b>Séance 12</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Calcul de <math>\vec{E}</math> et <math>\vec{D}</math> dans un condensateur partiellement rempli.</li> <li>○ Application du théorème de Gauss macroscopique.</li> <li>○ Énergie nécessaire pour polariser un diélectrique.</li> </ul>
<b>Semaine 7</b>	<b>Séance 13</b>	<p style="text-align: center;"><b><u>Conditions de Passage</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Continuité de la composante tangentielle de <math>\vec{E}</math>.</li> <li>○ Discontinuité de la composante normale de <math>\vec{D}</math>.</li> <li>○ Réfraction des lignes de champ à l'interface de deux diélectriques.</li> </ul>
	<b>Séance 14</b>	<b>Contrôle continue N° 1 / Correction contrôle continue N° 1.</b>
<b>CHAPITRE 3 : Milieux Magnétiques</b>		
<b>Semaine 8</b>	<b>Séance 15</b>	<p style="text-align: center;"><b><u>Introduction et Aimantation</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Origine microscopique du magnétisme (moment magnétique orbital et de spin).</li> <li>○ Définition du vecteur aimantation <math>\vec{M}</math>.</li> <li>○ Analogie avec le vecteur polarisation <math>\vec{P}</math></li> </ul>
	<b>Séance 16</b>	<p style="text-align: center;"><b><u>Courants d'Aimantation</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Densité volumique de courants liés <math>\vec{j}_m</math>.</li> <li>○ Densité surfacique de courants liés <math>\vec{k}_m</math>.</li> <li>○ Potentiel vecteur <math>\vec{A}</math> et champ magnétique <math>\vec{B}</math> créés par la matière.</li> </ul>
<b>Semaine 9</b>	<b>Séance 17</b>	<p style="text-align: center;"><b><u>TD 3 : Aimantation et Courants liés</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Calcul des vecteurs densité de courants d'aimantation.</li> <li>○ Étude de cylindres et sphères uniformément aimantés.</li> <li>○ Détermination du champ magnétique microscopique <math>\vec{B}</math>.</li> </ul>
	<b>Séance 18</b>	<p style="text-align: center;"><b><u>Vecteur Excitation Magnétique et Théorème d'Ampère</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Définition du vecteur excitation magnétique <math>\vec{H}</math>.</li> <li>○ Généralisation du théorème d'Ampère aux milieux aimantés.</li> <li>○ Relations fondamentales entre <math>\vec{B}</math>, <math>\vec{H}</math> et <math>\vec{M}</math>.</li> </ul>
<b>Semaine 10</b>	<b>Séance 19</b>	<p style="text-align: center;"><b><u>Classification des Milieux Magnétiques</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Milieux L.H.I : Susceptibilité <math>\chi_m</math> et perméabilité <math>\mu_r</math>.</li> <li>○ Diamagnétisme (Loi de Lenz microscopique) et Paramagnétisme.</li> <li>○ Introduction au Ferromagnétisme et température de Curie.</li> </ul>
	<b>Séance 20</b>	<p style="text-align: center;"><b><u>TD 3 : Champs <math>\vec{B}</math> et <math>\vec{H}</math> dans la matière</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Application du théorème d'Ampère macroscopique (câbles coaxiaux avec gaines magnétiques).</li> <li>○ Calcul des champs dans les cavités de milieux aimantés.</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Conditions de passage pour <math>\vec{B}</math> et <math>\vec{H}</math>.</li> </ul>
Semaine 11	Séance 21	<p style="text-align: center;"><b>Ferromagnétisme et Cycle d'Hystérésis</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Domaines de Weiss et parois de Bloch.</li> <li>○ Étude du cycle d'hystérésis (Aimantation rémanente, champ coercitif).</li> <li>○ Pertes magnétiques et applications (transformateurs, aimants permanents).</li> </ul>
	Séance 22	<p style="text-align: center;"><b>Applications et Ondes : Équations de Maxwell Macroscopiques</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Formulation de quatre équations de Maxwell dans la matière.</li> <li>○ Courants de déplacement dans les diélectriques.</li> <li>○ L'équation de conservation de la charge.</li> </ul>
Semaine 12	Séance 23	<p style="text-align: center;"><b>Ondes Électromagnétiques dans les Diélectriques LHI</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Équation de propagation (d'Alembert) dans un diélectrique parfait.</li> <li>○ Vitesse de phase et indice de réfraction <math>n</math>.</li> <li>○ Impédance caractéristique du milieu.</li> </ul>
	Séance 24	<p style="text-align: center;"><b>Ondes Électromagnétiques dans les Conducteurs</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Modèle d'Ohm local et dispersion.</li> <li>○ Atténuation de l'onde et Effet de peau (profondeur de pénétration <math>\delta</math>).</li> <li>○ Réflexion sur un conducteur parfait.</li> </ul>
Semaine 13	Séance 25	<p style="text-align: center;"><b>Synthèse et Révisions</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Concepts de charges libres vs charges liées.</li> <li>○ Comparaison théorique entre <math>\vec{P}</math> et <math>\vec{M}</math>.</li> <li>○ Résolution d'un problème type "Condensateur réel".</li> </ul>
	Séance 26	<b>Contrôle continue N° 2 / Correction contrôle continue N° 2.</b>
<b>Examen Fin de Module</b>		

---

## 8. THÈMES DE TRAVAUX PRATIQUES

---

### TP 1 : Mesure de la Constante Diélectrique

- Détermination de la permittivité relative de divers matériaux isolants (verre, plastique, air).
- Étude de l'influence de l'épaisseur et de la surface des armatures d'un condensateur

### TP 2 : Mesure de la Susceptibilité Magnétique

- Utilisation d'une balance de Gouy.
- Détermination de la nature magnétique (diamagnétique, paramagnétique) de différents échantillons.

### TP 3 : Étude de l'Hystérésis Magnétique

- Mesure de l'aimantation et du champ coercitif.
- Tracé du cycle d'hystérésis pour différents matériaux ferromagnétiques.
- Calcul des pertes magnétiques

- Borvon, G. (2009). Histoire de l'électricité : de l'ambre à l'électron. Vuibert.
- Darrigol, O. (2003). Electrodynamics from ampere to Einstein. Oxford University Press.
- Pérez, J. P., Carles, R., Fleckinger, R., & Lagoute, C. (2001). Electromagnétisme : fondements et applications (Vol. 4). Dunod.
- Rabia, A. (2018). ÉLECTROMAGNÉTISME-Électrostatique et magnétostatique-Charges, champs, milieux matériels-Les lois. Applications. Exercices corrigés-Niveau B. Editions Ellipses.
- Griffiths, D. J. (2023). *Introduction to electrodynamics*. Cambridge University Press.
- <https://phet.colorado.edu/fr/simulations/capacitor-lab>
- Kittel, C., (1993). *Physique de l'état solide*. Dunod.
- [http://www.sciences.univ-nantes.fr/physique/perso/cortial/bibliohtml/praimh\\_j.html](http://www.sciences.univ-nantes.fr/physique/perso/cortial/bibliohtml/praimh_j.html)
- [https://physique.ostralo.net/electrisation/electrisation\\_sphere.htm](https://physique.ostralo.net/electrisation/electrisation_sphere.htm)
- [https://phet.colorado.edu/sims/html/john-travoltage/latest/john-travoltage\\_all.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/john-travoltage/latest/john-travoltage_all.html)