

mouvement Mesurer une vitesse, une accélération Quantifier une action	trajectoire à l'aide d'un logiciel dédié, en déduire la vitesse et l'accélération. Mettre en œuvre un capteur de vitesse, un accéléromètre. Utiliser un dynamomètre, un capteur de force.
Thermodynamique et mécanique des fluides Mesurer une pression Mesurer une température Effectuer des bilans d'énergie	Mettre en œuvre un capteur, en distinguant son caractère différentiel ou absolu. Mettre en œuvre un capteur de température. Mettre en œuvre une technique de calorimétrie.
Conduction thermique	Mettre en œuvre un dispositif de mesure de conductivité thermique, le protocole étant donné. Utiliser un capteur dans le domaine des infrarouges.
Électricité et électromagnétisme Mesurer une tension : - mesure directe au voltmètre numérique ou à l'oscilloscope numérique. Mesurer un courant : - mesure directe à l'ampèremètre numérique ; - mesure indirecte à l'oscilloscope aux bornes d'une résistance adaptée. Mesurer une énergie électrique ou magnétique Transmettre une information à l'aide d'une onde hertzienne	Capacités communes à l'ensemble des mesures électriques : - préciser la perturbation induite par l'appareil de mesure sur le montage et ses limites (bande passante, résistance d'entrée) ; - définir la nature de la mesure effectuée (valeur efficace, valeur moyenne, amplitude, valeur crête à crête, etc.). Mettre en œuvre un montage électrique permettant d'apprécier l'énergie reçue par un composant. Mettre en œuvre un dispositif permettant de moduler, d'émettre et de recevoir une onde électromagnétique.

Partie 3 - Formation disciplinaire

Premier semestre

Comportement dynamique des systèmes

La dynamique des systèmes est proposée en deux parties, séparées par la thermodynamique.

Cela permet à l'étudiant de s'approprier les modèles et les outils associés sur une plus longue période ; l'objectif est de minimiser les confusions entre les régimes libres et les régimes forcés.

La dynamique des systèmes est d'abord décrite par des équations scalaires. Cette partie sera l'occasion d'introduire auprès des étudiants quelques modélisations classiques qui seront de nouveau exploitées ultérieurement avec un degré de complexité plus important.

Dans ce but, les interactions seront d'abord décrites au travers de l'étude des aspects énergétiques.

L'étude de l'énergie permet d'analyser qualitativement le comportement d'un système avant de le modéliser par des équations différentielles.

Les systèmes simples étudiés font appel, pour leur description au niveau des interactions, à la gravitation en champ uniforme, à l'action de ressorts et à l'action d'un support en l'absence de frottement solide.

Ces systèmes évoluent spontanément vers des minima d'énergie.

On introduit des pertes énergétiques conduisant à des équations différentielles linéaires ou linéarisables.

Les compétences développées en mécanique pourront être transférées à d'autres systèmes physiques aux comportements similaires (notamment pour les régimes transitoires, les oscillations, les ondes...). Ces analogies permettront d'étudier des systèmes en postulant les équations régissant leur évolution.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Observation d'un mouvement	
Point matériel	Citer des exemples de systèmes pouvant se ramener à l'étude de leur centre de masse.
Principe d'inertie	Citer quelques exemples d'expériences où les référentiels d'étude peuvent être considérés comme galiléens.
Énergie cinétique	Définir la vitesse et l'énergie cinétique d'un point matériel.
2. Interactions conservatives	
Énergie potentielle fonction d'une seule variable spatiale	Citer les expressions de l'énergie potentielle de pesanteur associée à un champ uniforme et de l'énergie potentielle élastique associée à un ressort.
Équilibre en référentiel galiléen	Identifier sur le graphe de l'énergie potentielle les éventuelles positions d'équilibre stable et instable. Exploiter d'autres situations où l'expression de l'énergie potentielle est fournie.

3. Énergie mécanique	
Énergie mécanique	Distinguer une énergie cinétique d'une énergie potentielle.
Conservation de l'énergie	Identifier les cas de conservation de l'énergie mécanique. Déduire d'un graphe d'énergie potentielle ou d'une expression d'une énergie mécanique une vitesse ou une position en des points particuliers. Déduire d'un graphe d'énergie potentielle le comportement borné ou non de la trajectoire.
Non conservation de l'énergie mécanique Modèle d'ordre 1	Distinguer force conservative et force non conservative. Reconnaître les cas de conservation de l'énergie mécanique. Énoncer le théorème liant l'énergie mécanique à la puissance des forces non conservatives. Étudier un système modélisé par une équation différentielle linéaire d'ordre 1 à coefficients constants ; interprétation qualitative du temps caractéristique. Exploiter numériquement une interaction dissipative amenant à une équation différentielle linéaire ou non linéaire.
4. Oscillations libres	
Interprétation avec le graphe de l'énergie potentielle	Expliquer l'existence d'oscillations autour d'une position d'équilibre stable. Prévoir l'amplitude des oscillations et la vitesse maximale.
Oscillateur non amorti	Identifier et utiliser le modèle de l'oscillateur harmonique. Étude expérimentale d'un oscillateur harmonique.
Portrait de phase	Interpréter un portrait de phase fourni ou relevé expérimentalement.
Non conservation de l'énergie mécanique Modèle d'ordre 2	Utiliser le modèle de l'oscillateur harmonique amorti par frottements fluides. Résoudre et interpréter les solutions de l'équation différentielle canonique. Identifier les différents régimes et exploiter les courbes. Commenter le cas où le facteur de qualité est grand devant 1. Relier facteur de qualité et facteur d'amortissement.

Thermodynamique industrielle

Le cours de thermodynamique industrielle est une seconde approche du concept d'énergie. C'est le terreau dans lequel les étudiants vont consolider leur expertise en bilan d'énergie et leur compréhension des transformations possibles.

Le choix de l'étude de situations simples issues de la vie courante et faisant appel à des machines cycliques dithermes permet de constituer le socle indispensable à l'apprentissage des concepts de base de la thermodynamique.

Cette approche purement macroscopique vise à permettre aux étudiants de s'approprier les notions d'enthalpie H et d'entropie S et de leur faire découvrir l'univers de la thermodynamique par des exemples concrets.

On se limitera aux cas où les capacités thermiques seront indépendantes de la température.

Outre la maîtrise des capacités reliées aux notions abordées, cette partie a pour vocation l'acquisition par l'étudiant des compétences transversales suivantes :

- définir un système qui permette de faire les bilans nécessaires à l'étude ;
- faire le lien entre un système réel et sa modélisation ;
- comprendre qu'il peut exister plusieurs modèles de complexité croissante pour rendre compte des observations expérimentales ;
- utiliser des tableaux de données ou des représentations graphiques complexes.

Des études documentaires seront l'occasion de discuter de la pertinence des modèles simples proposés à l'étude.

Des logiciels de simulation permettront aussi d'améliorer ces modèles et d'étudier les effets des différents paramètres.

Notions et contenus	Capacités exigibles
5. Formes d'énergie	
L'énergie fonction d'état Stockage de l'énergie	Citer différentes formes d'énergies et les paramètres les caractérisant ; énergie cinétique (vitesse), énergie potentielle (position), énergie électrostatique (tension), énergie magnétique (intensité)...
Énergie interne U d'un système Capacité thermique à volume constant dans le cas d'un gaz parfait Capacité thermique à volume constant d'une phase condensée considérée indilatable et	Associer la modification de la température, le changement de phase d'un système, à la variation d'énergie interne. Utiliser le fait que l'énergie interne ne dépend que de la température pour un gaz parfait. Utiliser le fait que l'énergie interne ne dépend que de la température pour une phase condensée incompressible et indilatable.

incompressible	
Notion de thermostat	Décrire des thermostats naturels (atmosphère, fleuve, etc.) ou artificiels (pièce, compartiment frigorifique, etc.)
6. Transferts d'énergie	
État d'équilibre d'un système	Proposer un jeu de paramètres d'état permettant de caractériser un état d'équilibre. Différencier un système ouvert d'un système fermé. Distinguer les grandeurs extensives et les grandeurs intensives.
Transformations	Utiliser le vocabulaire usuel : isochore, isotherme, monobare, isobare, adiabatique.
Travail des forces de pression	Distinguer la pression extérieure de la pression du système. Interpréter géométriquement le travail des forces de pression dans le cas où la pression extérieure et la pression du système sont égales. Différencier un transfert d'énergie de l'énergie interne fonction d'état.
Les transferts thermiques	Décrire qualitativement la conduction, la convection et le rayonnement. Proposer des solutions technologiques pour les diminuer ou les favoriser.
Puissances électrique, mécanique et thermique	Distinguer la puissance (dimensionnement d'une installation) et l'énergie (consommation ou production).
Diagramme fonctionnel des machines cycliques dithermes	Prévoir les signes des transferts d'énergie. Définir le rendement d'un moteur. Définir le coefficient de performance (CoP) d'une machine frigorifique et celui d'une pompe à chaleur (PAC).
7. Conservation de l'énergie	
Premier principe de la thermodynamique en système fermé	Définir un système fermé et établir pour ce système un bilan énergétique faisant intervenir le travail et le transfert thermique. Expliquer en quoi le premier principe de la thermodynamique est un principe de conservation.
Bilan énergétique pour un cycle ditherme	Écrire le bilan énergétique.
8. Bilans enthalpiques	
Enthalpie d'un système monophasé, capacité thermique à pression constante dans le cas du gaz parfait et d'une phase condensée incompressible et indilatable.	Définir l'enthalpie d'un système. Exprimer le premier principe sous la forme d'un bilan d'enthalpie dans le cas d'une transformation monobare avec équilibre mécanique dans l'état initial et dans l'état final.
Enthalpie de changement d'état d'un corps pur	Connaître le vocabulaire des changements d'état et le diagramme (p, T) . Comparer les ordres de grandeurs des variations d'enthalpie des systèmes monophasés avec celles des changements d'état d'un corps pur. Calculer l'énergie récupérable lors d'un changement d'état d'un corps pur à pression constante.
Enthalpie standard de réaction	Effectuer un bilan de matière lors d'une réaction chimique. Évaluer la température atteinte par un système siège d'une transformation chimique supposée isobare et réalisée dans un réacteur adiabatique.
9. Second principe de la thermodynamique	
Le second principe $\sum \frac{Q_i}{T_i} \leq \Delta S$	Commenter la différence entre l'inégalité du second principe et l'égalité du premier.
La transformation idéale réversible	Identifier les causes d'irréversibilité. Définir une transformation isentropique.
L'inégalité de Clausius pour les machines dithermes cycliques	Majorer le rendement ou le coefficient de performance (CoP) des machines dithermes cycliques.
10. Machines dithermes	
Le premier principe en système ouvert	Définir un système ouvert en écoulement stationnaire. Utiliser des grandeurs massiques ; définir le travail indiqué massique sur les parties mobiles. Décrire les différents organes des machines (détendeur, compresseur, turbine, condenseur, évaporateur, chambre de combustion, etc.). Appliquer le premier principe en système ouvert.
Système diphasé liquide-vapeur	Exploiter les diagrammes (T,s) , (h,s) et (p,h) .

Théorèmes des moments	Calculer ou exploiter un titre massique en vapeur.
Exploitations de diagrammes ou de tableaux de données	Calculer les transferts thermiques massiques, les travaux indiqués massiques et le coefficient de performance (CoP).
Puissances	Utiliser le débit massique pour évaluer des puissances.
11. Utilisation d'un modèle	
Technologie des moteurs à pistons	Distinguer les temps mécaniques (4 temps ou 2 temps) et identifier les temps thermodynamiques (modélisation par des transformations thermodynamiques).
Modèle du gaz parfait	Calculer un paramètre avec l'équation d'état du gaz parfait. Utiliser, dans l'approximation où les capacités thermiques à pression constante et à volume constant sont constantes, la relation de Mayer et le coefficient isentropique. Citer quelques limites du modèle.
Loi de Laplace	Utiliser les lois de Laplace pour évaluer des pressions ou des températures dans le cas de compressions ou détente de gaz parfait dans l'hypothèse adiabatique et mécaniquement réversible.
Diagramme de Clapeyron	Tracer un cycle dans l'approximation d'une transformation mécaniquement réversible.
Aspects énergétiques	Calculer les transferts thermiques, les travaux et en déduire le coefficient de performance (CoP) ou le rendement.
Puissance, consommation	Lier la puissance au nombre de tours par minute.

Lois de Newton, régimes sinusoïdaux, ondes

La grandeur modélisant l'interaction est la force. Cette approche vise à enrichir l'étude énergétique.

La dynamique des systèmes en régime forcé est introduite ainsi que les outils mathématiques permettant sa modélisation.

L'utilisation de la notation complexe et le formalisme des ondes sont introduits et seront renforcés par le cours d'électromagnétisme.

Notions et contenus	Capacités exigibles
12. Lois de Newton	
Travail d'une force	Définir le travail et la puissance d'une force. Calculer le travail d'une interaction conservative. Calculer la force associée à une interaction conservative. Calculer la puissance d'une force dissipative.
Principe des actions réciproques	Énoncer le principe des actions réciproques et l'appliquer dans le cas de la réaction d'un support en l'absence de frottement solide.
Principe fondamental de la dynamique pour un point matériel de masse constante	Appliquer le principe fondamental de la dynamique dans le cas d'un mouvement rectiligne. Établir que le théorème de l'énergie mécanique découle du principe fondamental de la dynamique.
13. Oscillations forcées	
Régime sinusoïdal forcé	Utiliser la notation complexe modélisant un signal sinusoïdal. Établir en régime forcé les expressions de la position et de la vitesse d'un mobile en mouvement rectiligne oscillant. Simplifier et interpréter les solutions dans les cas limites basses fréquences et hautes fréquences ; tracer des diagrammes asymptotiques fréquentiels. Établir la possibilité de l'existence d'une résonance en amplitude.
Analogies électromécaniques	Montrer que le modèle reste pertinent pour des systèmes mécaniques ou électriques où les équations décrivant le système sont données.
Généralisation aux signaux périodiques	Exploiter un spectre, analyser la réponse du système.
14. Ondes	
Onde mécanique transversale	Établir l'équation de propagation dans le cas des ondes transversales d'une corde. Reconnaître le caractère progressif ou stationnaire d'une onde. Utiliser les conditions aux limites et identifier les modes propres d'une onde stationnaire.

Second semestre

Étude des fluides statiques et en écoulements stationnaires

Les parties 1 et 2 introduisent concrètement les concepts de champs scalaires et vectoriels. Elles doivent aussi permettre aux étudiants de saisir les notions importantes de flux et de circulation d'un champ de vecteur. Une analyse qualitative de cartographies de lignes de champ des vitesses sera recherchée et doit permettre l'appropriation des outils de l'analyse vectorielle (on pourra faire le lien avec la signification physique des opérateurs rotationnel, gradient et divergence qui seront utilisés dans le cours d'électromagnétisme).

Partie 1 : l'étudiant pourra retenir des ordres de grandeur du champ de pression et s'aider de ce champ scalaire pour saisir les propriétés de l'opérateur gradient. On évitera les calculs de force de pression délicats au profit d'exemples simples et pratiques.

Partie 2 : la notion de dérivée particulaire ainsi que l'équation de Navier-Stokes ne sont pas au programme. Seule la description eulérienne sera détaillée ; on pourra alors traiter des exemples simples d'écoulements (puits, sources, vortex, uniforme...) permettant des analogies fortes avec les champs vus en électromagnétisme. Un écoulement homogène (masse volumique uniforme dans l'espace) et stationnaire permet de traiter l'écoulement incompressible pour lequel l'équation de conservation de la masse sera introduite. L'utilisation des relations de Bernoulli constitue un prolongement du cours de thermodynamique du 1^{er} semestre, la compréhension des hypothèses de travail doit permettre aux étudiants d'adapter l'écriture du premier principe des systèmes ouverts aux problèmes étudiés. L'écoulement parfait sera défini comme étant exempt de toute dissipation énergétique et d'échange thermique interne et externe. La notion de perte de charge permet d'introduire un exemple d'écoulement non conservatif (sa présentation permettra de décrire qualitativement des écoulements réels).

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Description d'un fluide statique	
Échelle mésoscopique	Définir et connaître des ordres de grandeurs des dimensions de l'échelle mésoscopique dans le cas des liquides et des gaz.
Pression dans un fluide Forces surfaciques, forces volumiques	Citer des ordres de grandeur de la pression. Définir la force de pression. Distinguer les forces de pression des forces de pesanteur.
Champ de pression Relation de la statique des fluides	Donner l'expression de la résultante des forces pressantes s'exerçant sur un volume élémentaire de fluide. Énoncer et établir la relation de la statique des fluides dans le cas d'un fluide soumis uniquement à la pesanteur. Exprimer l'évolution de la pression avec l'altitude dans le cas d'un fluide incompressible pour l'atmosphère isotherme dans le cadre du modèle du gaz parfait. Mettre en œuvre un dispositif expérimental utilisant un capteur de pression.
2. Description d'un fluide en écoulement en régime stationnaire	
Grandeurs eulériennes Champ des vitesses Ligne de courant, tube de courant Régime stationnaire	Décrire les propriétés thermodynamiques et mécaniques d'un fluide à l'aide des grandeurs locales pertinentes. Analyser des vidéos, des simulations ou des cartographies. Évaluer le caractère divergent ou rotationnel d'un écoulement uniforme, à symétrie sphérique, à symétrie axiale (radiale ou orthoradiale) en connaissant l'expression du champ des vitesses.
Débit volumique et débit massique	Exprimer les débits volumique et massique. Définir le vecteur densité de flux de masse.
Écoulement stationnaire dont le champ des masses volumiques est uniforme	Établir un bilan local et global de matière en régime stationnaire. Établir qu'en régime stationnaire le champ des vitesses est à flux conservatif. Connaître les propriétés d'un écoulement pour lequel le champ des vitesses est à flux conservatif.
Écoulement stationnaire et irrotationnel	Connaître les propriétés d'un écoulement pour lequel le champ des vitesses est à circulation conservative.
Énergétique des écoulements parfaits dans une conduite	Définir un écoulement parfait. Énoncer, à l'aide d'un bilan d'énergie, la relation de Bernoulli en précisant les hypothèses. Établir un bilan de puissance pour un circuit hydraulique ou pneumatique avec ou sans pompe. Mettre en œuvre un protocole expérimental permettant d'étudier et d'illustrer la relation de Bernoulli.

Perte de charge singulière et régulière.	Modifier la relation de Bernoulli afin de tenir compte de la dissipation d'énergie mécanique par frottement. Mettre en évidence la perte de charge.
--	---

Exemples d'approches documentaires :

- interprétation de la viscosité d'un écoulement dit newtonien ;
- loi de Poiseuille et analogie électrique.

Conduction thermique

La partie 3 permet une nouvelle approche de la notion de bilan d'une grandeur physique. Les outils de l'analyse vectorielle déjà rencontrés en mécanique des fluides pourront être réinvestis dans cette partie. L'étude de la conduction thermique présentera des applications concrètes en se limitant à l'étude de problèmes unidimensionnels. Un retour sur les notions thermodynamiques vues au premier semestre permet d'effectuer un bilan enthalpique permettant ensuite l'établissement de l'équation de la chaleur.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3. Transfert d'énergie par conduction thermique	
Densité de flux thermique	Définir et algébriser la puissance thermique échangée à travers une surface.
Loi de Fourier	Relier la non-uniformité de la température à l'existence d'un flux thermique et interpréter son sens. Citer des ordres de grandeur de conductivité thermique pour des matériaux dans le domaine de l'habitat.
Analogie électrique dans le cas du régime stationnaire	Définir la résistance thermique. Exploiter l'analogie électrique lors d'un bilan thermique. Mettre en œuvre un protocole expérimental permettant d'évaluer la conductivité thermique d'un matériau.
Loi de Newton	Exploiter la loi de Newton fournie pour prendre en compte les échanges conducto-convectifs en régime stationnaire.
Équation de la chaleur sans terme source dans le cas d'une conduction thermique unidirectionnelle	Établir l'équation de la diffusion thermique dans le cas unidimensionnel. Interpréter qualitativement l'irréversibilité du phénomène. Relier le temps et la longueur caractéristiques d'un phénomène de diffusion thermique au coefficient de diffusion thermique par une analyse dimensionnelle.
Ondes thermiques	Établir une distance ou un temps caractéristique d'atténuation en utilisant le modèle de l'onde plane en géométrie unidirectionnelle.

Exemples d'approches documentaires :

- déterminer la résistance thermique d'un mur en analysant une documentation donnant les résistances thermiques surfaciques de différents matériaux ;
- conditionner la résistance thermique d'un transistor de puissance.

Électromagnétisme

L'électromagnétisme utilise les outils mathématiques présentés dans les parties 1, 2 et 3. Les milieux matériels envisagés auront des propriétés d'aimantation et de polarisation négligées.

Partie 4 : la détermination du champ électrostatique à l'aide du théorème de Gauss (ou de l'équation de Maxwell-Gauss) dans le cas de situations présentant de hautes symétries sera privilégiée et permettra la présentation d'applications concrètes.

Partie 5 : la conduction électrique permet de traiter un nouveau bilan en postulant la conservation de la charge. On cherchera à effectuer des analogies (avec la conductivité thermique, la mécanique des fluides...) et ainsi montrer la transversalité des modèles utilisés en physique.

Partie 6 : la détermination du champ magnétostatique à l'aide du théorème d'Ampère (ou de l'équation de Maxwell-Ampère) dans le cas de situations présentant de hautes symétries sera privilégiée et permettra la présentation d'applications concrètes.

Partie 7 : cette partie repose sur la loi de Faraday qui se prête parfaitement à une introduction expérimentale et qui peut constituer un bel exemple d'illustration de l'histoire des sciences. On n'omettra pas, à ce sujet, d'évoquer les différents points de vue que l'on peut avoir sur le même phénomène selon le référentiel où l'on se place.

Partie 8 : le phénomène d'auto-induction puis le couplage par induction-mutuelle entre deux circuits fixes permettent d'aborder le modèle du transformateur parfait ainsi que d'autres applications de l'induction dans des circuits fixes indéformables.

Partie 9 : seul le cas d'un conducteur en translation rectiligne sera abordé. Le rail de Laplace permet une mise en équation aisée du couplage électromécanique permettant ensuite d'étudier le cas du haut-parleur.

Partie 10 : les équations de Maxwell sont admises mais pourront largement être justifiées à l'aide des connaissances issues des parties précédentes. La propagation des ondes électromagnétiques dans le vide permettra de justifier la pertinence du modèle d'onde plane progressive harmonique polarisée rectilignement. 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.

Partie 11 : le dispositif des trous (ou fentes) d'Young permettra d'expliquer efficacement la modulation spatiale de l'énergie lumineuse lors d'interférences entre deux sources monochromatiques cohérentes. Aucune autre connaissance sur un autre diviseur du front d'onde n'est exigible.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4. Electrostatique du vide	
Description et effets électriques d'une accumulation de charges statiques	Définir et utiliser une fonction densité volumique, surfacique ou linéique de charges. Définir le champ électrostatique à l'aide de la force électrostatique ressentie par une charge ponctuelle d'essai placée dans le champ électrostatique d'une autre distribution. Citer quelques ordres de grandeurs de champs électriques. Énoncer le principe de Curie. Repérer les symétries et invariances d'une distribution. Définir la notion de ligne de champ électrostatique et prévoir la topographie des lignes de champ associées à une charge ponctuelle, un cylindre infini, un plan infini uniformément chargés et une sphère chargée uniformément.
Équation de Maxwell-Gauss, théorème de Gauss et équation de Maxwell-Faraday de la statique	Énoncer l'expression du champ créé par une charge ponctuelle. Énoncer le théorème de Gauss et le relier à l'équation de Maxwell-Gauss. Utiliser le théorème de Gauss pour calculer un champ électrostatique créé par une distribution présentant un haut degré de symétrie (plan, cylindre, sphère). Énoncer l'équation de Maxwell-Faraday de la statique et justifier l'existence du potentiel électrostatique. Justifier les propriétés des lignes de champ électrostatique.
Conducteur en équilibre électrostatique	Énoncer les propriétés d'un conducteur en équilibre électrostatique. Énoncer le théorème de Coulomb et les relations de passage du champ électrostatique.
Le condensateur	Établir l'expression de la capacité d'un condensateur plan dans le vide en négligeant les effets de bords. Établir l'expression de la capacité linéique d'un condensateur cylindrique dans le vide en négligeant les effets de bords. Définir la notion de densité volumique d'énergie électrique à l'aide de l'exemple du condensateur plan. Mettre en œuvre un dispositif expérimental permettant de mesurer l'énergie emmagasinée par un condensateur.
5. Conduction électrique	
Courant dans un conducteur	Définir le vecteur densité de courant. Établir l'équation de conservation de la charge à une dimension en régime variable. Énoncer sa généralisation à trois dimensions puis expliquer que le vecteur densité de courant est à flux conservatif en régime stationnaire. Énoncer la loi d'Ohm locale. Expliquer l'effet Joule, définir la résistance électrique dans un conducteur et présenter le lien avec la conduction thermique en régime stationnaire. Exprimer la condition d'application de l'ARQS en fonction de la taille du circuit et de la fréquence des signaux.
6. Magnétostatique du vide	
Effets magnétiques d'un courant de charges	Décrire un dispositif permettant de réaliser un champ magnétique quasi uniforme. Citer des ordres de grandeur de champs magnétiques : au voisinage d'aimants, dans une machine électrique, dans un appareil d'IRM, dans le cas du champ magnétique terrestre. Définir la notion de ligne de champ magnétostatique. Énoncer la relation donnant la force de Laplace s'exerçant sur un élément de circuit filiforme parcouru par un courant et placé dans un champ magnétostatique.

	<p>Identifier les propriétés de symétrie et d'invariance d'une distribution de courant. Tracer l'allure des cartes de champs magnétiques pour un aimant droit, un fil rectiligne, une spire circulaire, une bobine longue et un tore.</p>
Équation de Maxwell-Ampère de la statique, théorème d'Ampère et équation de Maxwell relative au flux du champ magnétique	<p>Énoncer le théorème d'Ampère et le relier à l'équation de Maxwell-Ampère de la statique. Énoncer l'équation de Maxwell relative au flux du champ magnétique. Utiliser le théorème d'Ampère pour déterminer le champ magnétostatique créé par une distribution présentant un haut degré de symétrie (fil infini, câble coaxial, nappe de courant supposée « infinie », tore, solénoïde « infini » en admettant que le champ magnétique est nul à l'extérieur). Énoncer les relations de passage du champ magnétostatique. Mettre en œuvre un dispositif expérimental permettant d'apprécier la validité du modèle du solénoïde infini.</p>
7. Lois de l'induction	
Flux d'un champ magnétique à travers une surface s'appuyant sur un contour fermé orienté	Évaluer le flux d'un champ magnétique uniforme à travers une surface s'appuyant sur un contour fermé orienté plan.
Loi de Faraday Courant induit par le déplacement relatif d'une boucle conductrice par rapport à un aimant ou un circuit inducteur. Sens du courant induit	Décrire, mettre en œuvre et interpréter des expériences illustrant les lois de Lenz et de Faraday.
Loi de modulation de Lenz	Utiliser la loi de Lenz pour prédire ou interpréter les phénomènes physiques observés.
Force électromotrice induite, loi de Faraday	Utiliser la loi de Faraday en précisant les conventions d'alébrisation.
8. Circuit fixe dans un champ magnétique qui dépend du temps	
Auto-induction Flux propre et inductance propre Étude énergétique	<p>Différencier le flux propre des flux extérieurs. Utiliser la loi de modulation de Lenz. Évaluer l'ordre de grandeur de l'inductance propre d'une bobine de grande longueur, le champ magnétique créé par la bobine est admis comme étant équivalent à celui déterminé en régime stationnaire. Mesurer la valeur de l'inductance propre d'une bobine. Conduire un bilan de puissance et d'énergie dans un système siège d'un phénomène d'auto-induction en s'appuyant sur un schéma électrique équivalent. Définir la notion de densité volumique d'énergie magnétique à l'aide de l'exemple du solénoïde infini. Mettre en œuvre un dispositif expérimental permettant de mesurer l'énergie emmagasinée par une bobine.</p>
Induction mutuelle entre deux bobinages	<p>Définir les flux mutuels. Indiquer l'égalité des inductances mutuelles. Conduire un bilan de puissance et d'énergie dans un système siège d'un phénomène d'auto-induction et d'induction mutuelle en s'appuyant sur un schéma électrique équivalent. Définir le couplage parfait de deux circuits. Mettre en œuvre un protocole expérimental utilisant un transformateur utilisé en transformateur de tensions, de courants et adaptateur d'impédance.</p>
Applications	Expliquer le principe du chauffage inductif, le principe d'une détection ampèremétrique, le fonctionnement d'un alternateur.
9. Circuit mobile dans un champ magnétique stationnaire	
Circuit en translation rectiligne dans un champ magnétique stationnaire. Rail de Laplace	<p>Interpréter qualitativement les phénomènes observés dans le cas du rail de Laplace. Établir les équations électrique et mécanique en précisant les conventions de signe. Établir et interpréter la relation entre la puissance de la force de Laplace et la puissance électrique. Effectuer un bilan énergétique. Expliquer l'origine des courants de Foucault et en connaître des exemples</p>

	d'utilisation. Mettre en évidence qualitativement les courants de Foucault.
Conversion de puissance électrique en puissance mécanique Haut-parleur électrodynamique	Expliquer le principe de fonctionnement d'un haut-parleur électrodynamique. Établir l'équation mécanique et l'équation électrique. Effectuer un bilan énergétique. Effectuer une étude en régime sinusoïdal forcé.
10. Propagation des ondes électromagnétiques	
Propagation des ondes électromagnétiques dans le vide	Énoncer les équations de Maxwell dans le vide. Interpréter qualitativement le lien entre l'équation de Maxwell-Faraday et la loi de Faraday. Établir l'équation de propagation des champs dans le vide.
Équation locale de Poynting	Décrire un bilan d'énergie électromagnétique dans le cas du vide et définir le vecteur de Poynting. Citer des ordres de grandeur de flux énergétiques moyens (Laser, flux solaire, etc.) Utiliser le flux du vecteur de Poynting à travers une surface orientée pour évaluer la puissance rayonnée.
Onde plane, onde plane progressive, onde plane progressive harmonique	Définir une onde plane, une onde plane progressive et une onde plane progressive harmonique. Expliquer la pertinence et les limites de ces modèles.
Onde plane progressive monochromatique polarisée rectilignement	Décrire la structure d'une onde plane progressive harmonique polarisée rectilignement. Expliquer la pertinence de ce modèle. Décrire la propagation de l'énergie des ondes planes progressives harmoniques polarisées rectilignement. Mettre en œuvre un protocole expérimental illustrant la polarisation rectiligne d'une onde électromagnétique.
Spectre des ondes électromagnétiques	Citer les domaines du spectre des ondes électromagnétiques et leur associer des applications.
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	Mettre en œuvre un dispositif permettant d'étudier une onde électromagnétique, dans le domaine des ondes centimétriques.
11. Optique ondulatoire	
Interférences	Expliquer le modèle scalaire de l'onde lumineuse. Définir l'intensité lumineuse. Décrire le phénomène d'interférence à deux ondes monochromatiques dans le cas du dispositif des trous d'Young. Définir la différence de phase, la différence de marche, l'ordre d'interférence et l'intensité lumineuse en un point du champ d'interférence de deux ondes monochromatiques cohérentes. Mettre en œuvre le dispositif expérimental des trous d'Young ou des fentes d'Young.

Exemples d'approches documentaires :

- les travaux d'Ampère sur le magnétisme ;
- validité des lois de l'électrocinétique ;
- analyse du document constructeur d'un haut-parleur (détermination du facteur de qualité, de la fréquence de résonance, du rendement, etc.).