

CAHIER 3

Électricité, magnétisme et circuits

Des champs aux régimes transitoires et oscillants



Image decorative en lien avec le theme general du cahier (mathematiques, etude), sans rapport avec un exercice precis

VERSION D'ENTRAÎNEMENT — sans correction

Sciences physiques — passage en L1

Niveau très exigeant, esprit prépa et ancienne série C

Objectif : calculer, modéliser, démontrer et interpréter sans raccourci

Présentation du cahier

Ce cahier développe une vision unifiée de l'électrostatique, des circuits et du magnétisme. Les exercices vont des lois de Coulomb et de Kirchhoff aux dipôles RC, RL et RLC, puis aux particules chargées et à l'induction électromagnétique.

Objectifs

- Relier champ électrique, potentiel, énergie et capacité.
- Résoudre des circuits continus par les lois de Kirchhoff.
- Étudier les régimes transitoires RC et RL et les oscillations RLC.
- Analyser forces magnétiques, induction et sélection de particules.

Méthode de travail

- 1) Faire un schéma, choisir le système étudié et préciser le référentiel.
- 2) Écrire les lois littéralement avant toute application numérique.
- 3) Contrôler les unités, les ordres de grandeur et le nombre de chiffres significatifs.
- 4) Chercher au moins vingt minutes avant de consulter une aide ou une correction.
- 5) Rédiger une conclusion physique ou chimique, pas seulement un résultat numérique.

Cette version ne contient aucune correction. Utiliser ensuite le cahier jumeau corrigé pour comparer la démarche, pas seulement le résultat.

Constantes utiles

Constante	Valeur	Unité / remarque
Accélération de la pesanteur g	9,81	$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$
Constante gravitationnelle G	$6,67 \times 10^{-11}$	$\text{N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-2}$
Célérité de la lumière c	$3,00 \times 10^8$	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
Charge élémentaire e	$1,602 \times 10^{-19}$	C
Constante d'Avogadro N_A	$6,022 \times 10^{23}$	mol^{-1}
Constante des gaz parfaits R	8,314	$\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
Constante de Faraday F	$9,6485 \times 10^4$	$\text{C}\cdot\text{mol}^{-1}$

I. Électrostatique

Exercice 1. Point de champ nul entre deux charges [Consolidation]

Éléments du cours mobilisés : Champ électrique d'une charge ponctuelle ; principe de superposition ; potentiel électrique ; géométrie sur un axe.

Indications / méthode : Étudier d'abord le sens des deux champs dans les trois régions de l'axe pour localiser le point possible. Ensuite égaliser les normes des champs opposés ; le potentiel, lui, s'additionne algébriquement.

Formules / relations utiles : $E = k|q|/r^2$; $V = kq/r$; $\vec{E}_{\text{total}} = \Sigma \vec{E}_i$; $V_{\text{total}} = \Sigma V_i$; $k = 1/(4\pi\epsilon_0)$.



Deux charges positives $+4q$ et $+q$ sont placées sur un axe, séparées par une distance d .

- 1) Montrer que le point où le champ est nul se trouve entre les charges.
- 2) Déterminer sa position mesurée depuis la charge $+4q$.
- 3) Calculer le potentiel en ce point.
- 4) Application : $q = 1,00 \text{ nC}$ et $d = 0,300 \text{ m}$.

Espace de travail

.....

.....

.....

.....

.....

Exercice 2. Dipôle électrique sur son axe [Approfondissement]

Éléments du cours mobilisés : Dipôle électrique ; potentiel ; champ dérivé du potentiel ; approximation lointaine ; développement au premier ordre.

Indications / méthode : Écrire le potentiel comme somme des contributions $+q$ et $-q$. Pour $x \gg a$, factoriser par x et utiliser une approximation au premier ordre ; le champ axial vient de $-dV/dx$.

Formules / relations utiles : $V = k\Sigma q_i/r_i$; $E_x = -dV/dx$; $p = 2qa$; loin du dipôle : $V \propto p/x^2$ et $E \propto p/x^3$.

Un dipôle est formé de $+q$ en $x = +a$ et $-q$ en $x = -a$.

- 1) Établir le potentiel $V(x)$ pour $x > a$.



- 2) En déduire le champ $E_x(x)$.
- 3) Donner les approximations lointaines en introduisant $p = 2qa$.
- 4) Calculer V et E pour $q = 2,00 \text{ nC}$, $a = 2,00 \text{ cm}$ et $x = 10,0 \text{ cm}$.

Espace de travail

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Exercice 3. Condensateur plan et diélectrique [Approfondissement]

Éléments du cours mobilisés : Capacité d'un condensateur plan ; champ uniforme ; charge ; énergie électrostatique ; diélectrique ; contraintes à tension ou charge constante.

Indications / méthode : Distinguer clairement les deux situations : source branchée $\Rightarrow$ U imposée ; source débranchée $\Rightarrow$ Q imposée. Recalculer ensuite C, U, Q, E et énergie à partir de la grandeur conservée.

Formules / relations utiles : $C_0 = \epsilon_0 S/d$; $C = \epsilon_r C_0$; $Q = CU$; $E = U/d$; $E_{\text{stockée}} = \frac{1}{2} CU^2 = Q^2/(2C)$.

Un condensateur plan a une surface $S = 2,00 \times 10^{-2} \text{ m}^2$, un écartement $d = 1,00 \text{ mm}$ et une tension $U = 200 \text{ V}$.

- 1) Calculer C, Q, E et l'énergie stockée dans le vide.
- 2) On introduit un diélectrique de permittivité relative $\epsilon_r = 4,00$ en maintenant la source branchée. Décrire les changements.
- 3) Refaire l'analyse si la source est débranchée avant l'introduction.
- 4) Expliquer l'origine de la différence énergétique.

Espace de travail

.....

.....

.....

.....

.....

.....

II. Circuits continus et transitoires



Figure geometrique pedagogique illustrant la notion

Exercice 4. Deux mailles couplées [Consolidation]

Éléments du cours mobilisés : Lois de Kirchhoff ; courants de maille ; résistance partagée ; loi d'Ohm ; bilan de puissance.

Indications / méthode : Fixer les sens des courants et conserver ces conventions jusqu'au bout. Dans la résistance commune, le courant est une différence de courants de maille ; vérifier ensuite la cohérence énergétique.

Formules / relations utiles : $U=RI$; $\sum U_{\text{maille}}=0$; $P_R=RI^2$; $P_{\text{générateur}}=EI$ (avec signe selon convention).

Deux mailles partagent une résistance $R_3=4,00 \, \Omega$. La maille gauche contient $E_1=10,0 \, \text{V}$ et $R_1=2,00 \, \Omega$; la maille droite contient $E_2=4,00 \, \text{V}$ et $R_2=6,00 \, \Omega$. Les courants de maille I_1 et I_2 sont choisis horaires.

- 1) Écrire les deux équations de Kirchhoff.
- 2) Calculer I_1 et I_2 .
- 3) Déterminer le courant dans R_3 .
- 4) Vérifier un bilan de puissance.

Espace de travail

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Exercice 5. Charge d'un condensateur RC [Approfondissement]

Éléments du cours mobilisés : Régime transitoire d'un dipôle RC ; loi des mailles ; équation différentielle du premier ordre ; constante de temps ; bilan énergétique.

Indications / méthode : Écrire $E = u_R + u_C$ avec $i = C \frac{du_C}{dt}$. Identifier la solution finale avant de résoudre ; pour un temps donné par une tension, isoler l'exponentielle puis prendre le logarithme.

Formules / relations utiles : $\tau = RC$; $u_C = E(1 - e^{-(t/RC)})$; $i = (E/R)e^{-(t/RC)}$; $q = Cu_C$; $E_C = \frac{1}{2}Cu_C^2$.

Un condensateur $C = 20,0 \mu\text{F}$ se charge à travers $R = 100 \text{ k}\Omega$ sous une tension constante $E = 12,0 \text{ V}$. Il est initialement déchargé.



Image decorative en lien avec le theme general du cahier (mathematiques, etude), sans rapport avec un exercice precis

- 1) Établir $u_C(t)$, $q(t)$ et $i(t)$.
- 2) Calculer la constante de temps.
- 3) Déterminer le temps pour atteindre $u_C = 9,00 \text{ V}$.
- 4) Comparer l'énergie fournie par la source, l'énergie stockée et l'énergie dissipée.

Espace de travail

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



Exercice 6. Puissance maximale transmise à une charge [Prépa]

Éléments du cours mobilisés : Générateur réel ; résistance interne ; loi d'Ohm ; puissance reçue ; optimisation par dérivation ; rendement.

Indications / méthode : Exprimer d'abord $I(R)$, puis $P_R(R)$. Chercher l'extremum de cette fonction sans remplacer numériquement trop tôt ; le rendement se calcule à partir des puissances ou des tensions.

Formules / relations utiles : $I=E/(R+r)$; $P_R=RI^2=E^2R/(R+r)^2$; $\eta=P_R/P_{\text{source}}=R/(R+r)$.

Un générateur réel de force électromotrice $E=12,0\text{ V}$ et de résistance interne $r=3,00\ \Omega$ alimente une résistance variable R .

- 1) Exprimer le courant et la puissance reçue par R .
- 2) Déterminer R pour laquelle cette puissance est maximale.
- 3) Calculer la puissance maximale et le rendement correspondant.
- 4) Quelle valeur de R donne un rendement de 75 % ? Quelle est alors la puissance utile ?

Espace de travail

.....

.....

.....

.....

.....

.....

III. Magnétisme et induction

Exercice 7. Particule chargée dans un champ magnétique [Prépa]

Éléments du cours mobilisés : Force de Lorentz ; mouvement circulaire uniforme ; fréquence cyclotron ; trajectoire hélicoïdale ; énergie cinétique.

Indications / méthode : Décomposer la vitesse en composantes parallèle et perpendiculaire au champ. La composante perpendiculaire crée le mouvement circulaire ; la composante parallèle reste uniforme.

Formules / relations utiles : $\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B}$; $r = mv_{\perp} / (|q|B)$; $\omega_c = |q|B/m$; $f_c = |q|B/(2\pi m)$; $\text{pas} = v_{\parallel} T$.

Un proton de vitesse $3,00 \times 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ pénètre perpendiculairement dans un champ uniforme $B = 0,200 \text{ T}$.

1) Montrer que la trajectoire est circulaire et calculer son rayon.

2) Calculer la fréquence cyclotron et l'énergie cinétique en eV.

3) La vitesse fait maintenant un angle de 30° avec B . Décrire la trajectoire.

4) Calculer le rayon de l'hélice et son pas.

Espace de travail

.....

.....

.....

.....



.....

.....

.....

.....



Figure geometrique pedagogique illustrant la notion

Exercice 8. Champs créés par des courants [Approfondissement]

Éléments du cours mobilisés : Champ magnétique d'un fil rectiligne ; solénoïde long ; interaction entre courants parallèles ; règle de la main droite.

Indications / méthode : Traiter chaque géométrie avec sa formule spécifique et préciser le sens du champ ou de la force. Pour les deux fils, calculer d'abord le champ créé par l'un au niveau de l'autre.

Formules / relations utiles : $B_{\text{fil}} = \mu_0 I / (2\pi r)$; $B_{\text{solénoïde}} = \mu_0 n I$; $F/L = \mu_0 I_1 I_2 / (2\pi d)$.

- 1) Calculer le champ à 4,00 cm d'un fil rectiligne parcouru par $I = 8,00$ A.
- 2) Calculer le champ dans un solénoïde de 1200 spires par mètre parcouru par 0,500 A.
- 3) Deux fils parallèles distants de 10,0 cm portent 8,00 A et 5,00 A dans le même sens. Calculer la force par unité de longueur.
- 4) Préciser le sens de cette force.

Espace de travail

.....

.....

.....

.....

.....

Exercice 9. Barre conductrice en mouvement [Prépa]

Éléments du cours mobilisés : Induction électromagnétique ; f.é.m. motrice ; loi de Lenz ; force de Laplace ; puissance mécanique et effet Joule.

Indications / méthode : Déterminer le sens du courant avec Lenz avant les calculs de force. Comparer ensuite Fv à RI^2 : l'égalité traduit la conversion d'énergie dans le modèle idéal.

Formules / relations utiles : $e = B\ell v$; $I = e/R$; $F = B\ell I$; $P_{\text{mec}} = Fv$; $P_J = RI^2$; $Q_{\text{charge}} = \int I dt$.

Une barre conductrice de longueur $\ell = 0,500$ m glisse à $v = 4,00$ m·s⁻¹ sur deux rails dans un champ $B = 0,800$ T, perpendiculaire au plan. La résistance totale est 2,00 Ω .

- 1) Calculer la f.é.m. induite et le courant.
- 2) Déterminer la force magnétique sur la barre.
- 3) Comparer puissance mécanique et puissance Joule.
- 4) Quelle charge traverse le circuit lorsque la barre parcourt 3,00 m ?

Espace de travail

.....

.....

.....

.....

.....

IV. Régimes inductifs et synthèse

Exercice 10. Établissement du courant dans un circuit RL [Défi]

Éléments du cours mobilisés : Régime transitoire RL ; auto-induction ; loi des mailles ; constante de temps ; énergie magnétique.

Indications / méthode : Écrire $E = Ri + L \frac{di}{dt}$. Repérer le courant final E/R et la constante de temps L/R ; les tensions aux bornes de R et L se déduisent ensuite de $i(t)$.

Formules / relations utiles : $\tau = L/R$; $i(t) = E/R \cdot (1 - e^{-(t/\tau)})$; $u_L = L \frac{di}{dt}$; $u_R = Ri$; $E_L = \frac{1}{2} Li^2$.

Une bobine idéale $L = 0,600 \text{ H}$ est en série avec $R = 12,0 \Omega$ et une source $E = 24,0 \text{ V}$.

- 1) Établir $i(t)$ lors de la fermeture, avec $i(0) = 0$.
- 2) Calculer la constante de temps et le temps pour atteindre 90 % du courant final.
- 3) Calculer l'énergie magnétique finale.
- 4) Donner les tensions aux bornes de R et L à $t = \tau$.

Espace de travail

.....

.....

.....

.....

.....

.....



Exercice 11. Oscillations électriques RLC [Défi]

Éléments du cours mobilisés : Oscillateur électrique RLC série ; oscillations libres ; amortissement ; pseudo-pulsation ; facteur de qualité ; régime critique.

Indications / méthode : Commencer par le cas idéal $R = 0$ pour reconnaître l'analogie avec l'oscillateur mécanique. Avec résistance, comparer R à la résistance critique avant d'écrire la pseudo-pulsation.

Formules / relations utiles : $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$; $q'' + (R/L)q' + (1/LC)q = 0$; $\Omega = \sqrt{(\omega_0^2 - (R/2L)^2)}$;

$Q = \omega_0 L/R$; $R_{\text{crit}} = 2\sqrt{L/C}$.

Un circuit comporte $L = 0,200 \text{ H}$ et $C = 50,0 \mu\text{F}$. Le condensateur est initialement chargé sous $10,0 \text{ V}$ et le courant initial est nul.

- 1) Dans le cas $R = 0$, déterminer la pulsation, la fréquence, $q(t)$ et i_{max} .
- 2) Calculer l'énergie totale.
- 3) Avec $R = 20,0 \Omega$, calculer la pseudo-pulsation et le facteur de qualité.
- 4) Déterminer la résistance critique.

Espace de travail

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Exercice 12. Sélecteur de vitesse et spectromètre de masse [Très exigeant]

Éléments du cours mobilisés : Force électrique et magnétique ; sélecteur de vitesse ; mouvement circulaire dans un champ magnétique ; spectrométrie de masse.

Indications / méthode : Dans le sélecteur, imposer la compensation des forces électrique et magnétique. Dans le second champ, utiliser le rayon de courbure pour relier masse, charge et vitesse.

Formules / relations utiles : $|q|E = |q|vB \Rightarrow v = E/B$; $r = mv/(|q|B')$; $m = |q|B'r/v$; $1 \text{ u} \approx 1,6605 \times 10^{-27} \text{ kg}$.

Des ions monovalents traversent un sélecteur où $E = 2,40 \times 10^4 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$ et $B = 0,150 \text{ T}$ sont croisés. Ils entrent ensuite dans un champ $B' = 0,300 \text{ T}$ et décrivent un arc de rayon $r = 12,0 \text{ cm}$.

- 1) Calculer la vitesse sélectionnée.
- 2) Déterminer la masse de l'ion en kg puis en unité de masse atomique.
- 3) Identifier l'isotope le plus plausible.
- 4) Calculer l'écart de rayon entre des isotopes de masses 20 u et 22 u.

Espace de travail

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Bilan du cahier

Le cahier est maîtrisé si l'étudiant sait orienter les tensions et les courants, écrire les équations différentielles des circuits et interpréter les échanges d'énergie dans les champs.

- ☐ Je sais identifier le système, les interactions et les hypothèses du modèle.
- ☐ Je maîtrise les équations littérales avant le calcul numérique.
- ☐ Je contrôle systématiquement dimensions, unités et ordre de grandeur.
- ☐ Je sais commenter les limites d'un modèle et interpréter physiquement le résultat.

Passer ensuite à la version corrigée du même cahier et comparer ligne par ligne la démarche suivie.