

Physique : notions de cours et quelques applications

L'application **Qmax**, développée par un professeur du lycée Pierre de la Ramée de Saint-Quentin, permet de tester vos connaissances du programme de première année en physique et en chimie en répondant à des QCM. Elle est disponible en ligne <http://appli.qmax.fr/> et il existe une application pour smartphones Android et iPhone.

Remarque : pour ce qui suit « énoncer une loi » nécessite de donner la signification de chacun des termes utilisés (éventuellement l'unité) en illustrant si besoin d'un schéma.

1 Dynamique

Q1. Pour un point matériel en référentiel galiléen, énoncer le théorème de la puissance cinétique et le théorème de la puissance mécanique.

Q2. Définir la notion de force conservative. Pour une force de la forme $\vec{f} = -\frac{k}{r^2}\vec{u}_r$, déterminer l'énergie potentielle associée en considérant par convention une valeur nulle à l'infini.

Q3. L'énergie potentielle d'un point matériel de masse m placé dans le champ gravitationnel terrestre a pour expression $E_p(r) = -\frac{GM_T m}{r}$ avec r la distance au centre de la Terre et M_T la masse de la Terre. Montrer qu'au voisinage de la surface terrestre, condition à préciser, on retrouve l'expression habituelle fonction de l'altitude z .

Q4. On considère un mouvement à force centrale. Déterminer les deux grandeurs mécaniques conservées. Montrer que le mouvement est plan.

Q5. On considère un satellite en mouvement circulaire autour de la Terre :

- déterminer l'expression de la vitesse du satellite en fonction de la masse de la Terre, du rayon de la trajectoire et de la constante de gravitation universelle. Donner une estimation de cette vitesse ;
- retrouver la troisième loi de Kepler ;
- déterminer l'expression de l'énergie mécanique du satellite en fonction des masses, de la constante de gravitation universelle et du rayon de la trajectoire. Comment se généralise cette relation dans le cas d'un mouvement elliptique ?

Q6. Pour un mouvement elliptique, montrer qu'au périhélie et à l'aphélie, le moment cinétique s'exprime simplement en fonction de la distance à l'attracteur et de la norme de la vitesse.

Q7. À l'aide d'un bilan énergétique, retrouver l'expression de la vitesse de libération. Donner une estimation de sa valeur lorsque l'attracteur est la Terre.

Q8. On considère une particule de charge q positive qui entre dans un accélérateur linéaire, assimilé à un condensateur plan, avec une vitesse quasi-nulle.

Exprimer la vitesse en sortie de l'accélérateur en fonction de la tension U aux bornes du dispositif, de la masse m de la particule et de sa charge q . À l'aide d'un schéma, indiquer la polarité des plaques qui assure une accélération.

Q9. On considère une particule de charge $q > 0$ et de masse m en présence d'un champ magnétique uniforme et constant $\vec{B} = B_0\vec{u}_z$ avec $B_0 > 0$:

- montrer que la norme de la vitesse reste constante au cours du mouvement ;
- pour un vecteur vitesse initial $\vec{v}_0 = v_0\vec{u}_x$, en admettant le caractère circulaire du mouvement, indiquer le sens de rotation de la particule et déterminer l'expression du rayon R de la trajectoire ;
- pour un vecteur vitesse initial $\vec{v}_0 = v_{0x}\vec{u}_x + v_{0y}\vec{u}_z$, montrer que la trajectoire est une hélice dont on précisera le rayon et le pas.

Q10. *Les affirmations suivantes sont-elles vraies ?*

- en l'absence de frottements, l'énergie mécanique d'une particule se conserve ;
- en présence de frottements, l'énergie cinétique décroît ;
- dans le cas d'un problème à force centrale newtonienne, la trajectoire elliptique est associée à une énergie mécanique négative ;
- dans le cas d'un mouvement elliptique autour de la Terre, la durée que met le satellite pour aller du périhélie à l'apogée est égale à la moitié de sa période de révolution ;

2 Électrocinétique

Q11. Rappeler la condition d'application de l'ARQS. Pour la fréquence du réseau d'électricité, cela impose-t-il une contrainte « forte » ?

Q12. Rappeler les caractéristiques tension-courant d'un conducteur ohmique, d'un condensateur et d'une bobine. Définir physiquement l'inductance d'une bobine et la capacité d'un condensateur.

Q13. En partant des lois de Kirchhoff, démontrer :

- la loi d'association des impédances en série ;
- la loi d'association des impédances en parallèle ;
- la formule du pont diviseur de courant ;
- la formule du pont diviseur de tension.

Q14. Montrer que pour une association parallèle de deux condensateurs, la capacité équivalente est égale à la somme des capacités des condensateurs. Qu'en est-il pour une association série ?

Q15. Rappeler les expressions des constantes de temps d'une association R-C, d'une association R-L. Rappeler l'expression de la pulsation propre d'une association L-C.

Q16. On considère la décharge d'un condensateur au sein d'un circuit *RLC* série :

- montrer que la tension aux bornes du condensateur vérifie l'équation différentielle :

$$u_c'' + \frac{\omega_0}{Q} u_c' + \omega_0^2 u_c = 0$$

- préciser l'expression du facteur de qualité, expliquer sa signification en montrant qu'il peut être vu comme le rapport de deux temps caractéristiques ;
- déterminer l'expression de la tension au cours du temps dans le cas d'un régime pseudo-périodique ;
- pour un régime « lentement » amorti, montrer que le facteur de qualité peut être défini comme :

$$Q = 2\pi \times \frac{\text{énergie emmagasinée au sein du système}}{\text{énergie perdue sur une période}}$$

Q17. Rappeler les équivalents basse fréquence et haute fréquence du condensateur et de la bobine, en considérant :

- les impédances des dipôles ;
- les caractéristiques ;
- l'aspect physique.

Q18. Rappeler la définition de la pulsation de coupure :

- en raisonnant sur le gain réel du filtre ; en raisonnant sur le gain en décibel.

Q19. Proposer un filtre passe-haut et un filtre passe-bas du premier ordre constitués de l'association d'un condensateur et d'un conducteur ohmique. Exprimer la fonction de transfert. Représenter le diagramme de Bode.

Q20. À l'aide d'une association série condensateur, bobine et conducteur ohmique, proposer des montages permettant de réaliser un filtre passe-haut, un filtre basse-bas, un filtre passe-bande en se basant sur les équivalents des composants à basse et haute fréquence.

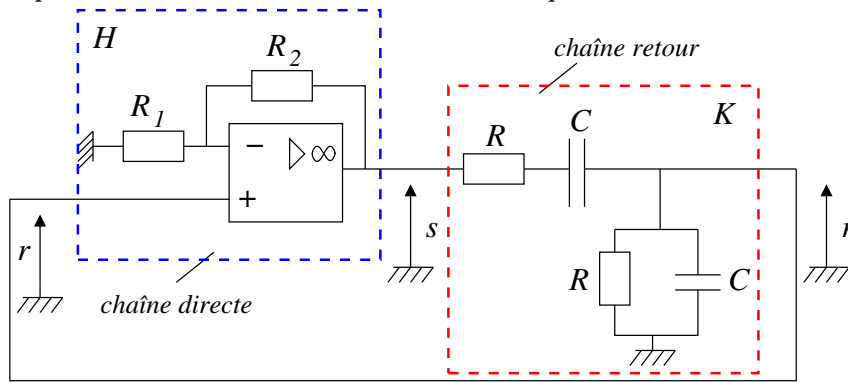
Q21. On considère en entrée d'un filtre un signal complexe superposition d'une somme de signaux sinusoïdaux dont les fréquences sont multiples de la fréquence fondamentale (par exemple un signal créneau). Expliquer comment déterminer l'expression du signal de sortie connaissant la fonction de transfert du filtre.

Q22. ALI :

- rappeler la caractéristique d'un ALI réel ;
- rappeler la caractéristique d'un ALI idéal ; pour des gains statiques raisonnables (≤ 10) dans quelle gamme de fréquences le modèle de l'ALI idéal est-il applicable ?
- donner des estimations de la valeur limite de la tension de sortie, du courant limite en sortie, de la vitesse limite de balayage ;
- quelle condition nécessaire permet d'envisager un fonctionnement linéaire pour l'ALI idéal ?

Q23. Proposer des montages élémentaires composés d'un ALI, de conducteurs ohmiques et de condensateurs permettant de réaliser les opérations : dérivation, intégration, inversion, amplification non inverseuse, suiveur, comparateur simple, montage à hystérésis.

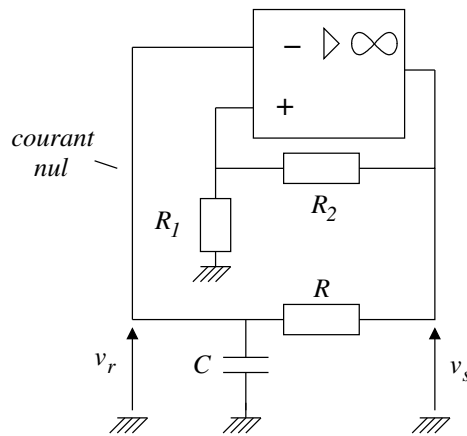
Q24. Expliquer le principe de fonctionnement de cet oscillateur quasi-sinusoïdal.



On pourra admettre que la fonction de transfert du filtre est donnée par

$$\underline{K}(j\omega) = \frac{1}{3} \times \frac{1}{1 + j \times \frac{1}{3} \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)} \quad \text{avec} \quad \omega_0 = \frac{1}{RC}$$

Q25. On considère l'oscillateur de relaxation suivant :



- on fait l'hypothèse d'un fonctionnement linéaire pour l'ALI. Montrer que l'on aboutit à une contraction ;
- l'ALI fonctionnant en régime de saturation, décrire les phases de fonctionnement, tracer les courbes donnant les tensions v_r et v_s au cours du temps et déterminer la période des oscillations.

Q26. On considère un signal basse fréquence (signal audio par exemple) que l'on veut transmettre à l'aide d'une antenne (radio) :

- expliquer pour quelles raisons ce signal ne peut être émis directement ;
- expliquer l'intérêt de le multiplier par un signal haute fréquence appelée porteuse. Représenter le signal résultant en sortie du multiplieur et son spectre en fréquence ;
- proposer une méthode, appelée démodulation synchrone, permettant d'extraire le signal modulant du signal modulé en amplitude. Représenter l'évolution du spectre en fréquence au cours des étapes de la démodulation.

Q27. Rappeler le critère de Shannon pour la numérisation d'un signal.

3 Thermodynamique

Q28. Énoncer le premier principe de la thermodynamique, le deuxième principe de la thermodynamique et le premier principe industriel. Dans chaque cas, on précisera la signification des termes utilisés.

Q29. pour une évolution monobare où les travaux se limitent aux travaux des forces de pression, montrer que $\Delta H = Q_p$ (on néglige les variations d'énergies cinétique et potentielle).

Q30. Énoncer les deux lois de Joule pour un gaz parfait.

Q31. Rappeler la relation de Mayer pour un gaz parfait. En déduire les capacités thermiques massiques à pression et volume constant en fonction de $\gamma = c_p/c_v$, de la masse molaire M et de R la constante des gaz parfaits.

Q32. On considère une mole de gaz parfait enfermée dans un récipient dont la partie supérieure est un piston mobile. À l'état initial, l'intérieur comme l'extérieur sont à la température T_0 et à la pression P_0 . On ajoute brutalement une masse sur le piston ce qui revient à imposer $P_{ext} = 2P_0$. Déterminer l'état final du système, ainsi que les échanges énergétiques et la variation d'énergie interne du système :

- pour une transformation monotherme ;
- pour une transformation adiabatique (parois calorifugées) ;
- sachant que la différentielle de l'entropie est donnée par $dS = \frac{C_v dT}{T} + \frac{P}{T} dV$, réaliser un bilan entropique pour chacune des évolutions précédentes.

Q33. À l'aide du second principe, retrouver sa version historique proposée par Lord Kelvin : « un système en contact avec une seule source de chaleur ne peut, au cours d'un cycle, que recevoir du travail et fournir un transfert thermique »

Q34. On considère une machine thermique ditherme fonctionnant de manière cyclique. Pour les trois systèmes classiques, moteur, pompe à chaleur, machine réfrigérante :

- réaliser un schéma synoptique indiquant le système qui subit les transformations, le sens réel des échanges et les entités physiques associées à la source chaude et la source froide ;
- déterminer l'expression de l'efficacité de la machine en fonction des échanges d'énergie et exprimer cette efficacité en fonction des températures des sources pour un fonctionnement réversible.

Q35. Description microscopique :

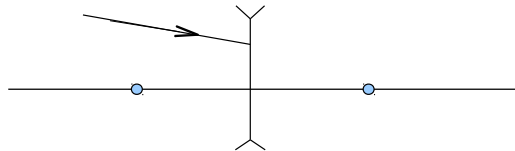
- que compte-t-on dans l'énergie interne ?
- rappeler les hypothèses du modèle du gaz parfait ; quelle propriété particulière possède l'énergie interne d'un gaz parfait ?
- à l'aide d'un modèle microscopique pour lequel on se limite à un ensemble de particules ayant toute la même norme de vitesse et pouvant se diriger selon 3 directions et 6 sens, exprimer la pression cinétique en fonction de la masse des particules, de leur vitesse et de la densité particulaire ;
- pour un gaz monoatomique, rappeler le lien entre l'énergie cinétique microscopique et la température.

Q36. *Les affirmations suivantes sont-elles vraies ?*

- lors d'une évolution isotherme, il n'y a pas d'échanges thermiques ;
- lors d'une évolution adiabatique, la température peut varier ;
- pour une machine réfrigérante, le fluide caloporteur a, en tout point du cycle, une température inférieure ou égale à la température de la source chaude ;
- lors d'une évolution, l'entropie du système ne peut qu'augmenter ;
- lors d'une évolution réversible, l'entropie du système est préservée.

4 Optique

- Q37.** Rappeler les lois de Descartes pour la réflexion et la réfraction. Expliquer le principe de la réflexion totale.
- Q38.** On considère une fibre optique de longueur L composée de deux matériaux cylindriques de même axe. La partie centrale, de rayon a_0 , cœur de la fibre, possède un indice n_1 , la partie extérieure un indice $n_2 < n_1$. Un faisceau lumineux possédant toutes les incidences entre dans la fibre, déterminer :
- le rayon le plus incliné par rapport à l'axe de la fibre pouvant se propager au sein de celle-ci ;
 - l'écart temporel à la sortie de la fibre entre le rayon cheminant le long de l'axe et le rayon le plus incliné ;
 - la fréquence maximale utilisable pour la transmission des informations.
- Q39.** Rappeler les conditions de l'approximation de Gauss pour les systèmes optiques.
- Q40.** Rappeler les définitions d'objet réel, objet virtuel, image réelle, image virtuelle.
- Q41.** Dans le cas d'une lentille mince compléter les phrases suivantes :
- un rayon incident passant lui ou son prolongement par le foyer principal objet émerge. . . ;
 - un rayon incident parallèle à l'axe optique émerge. . . ;
 - un rayon incident passant par le centre optique . . . ;
 - deux rayons incidents parallèles entre eux émergent de telle sorte que. . . ;
 - deux rayons issus d'un même point du plan focal objet émergent. . . ;
- Q42.** Pour une lentille convergente, placer les foyers principaux objet et image et tracer l'image d'un objet successivement placé :
- en amont du foyer objet ;
 - entre le foyer objet et la lentille ;
 - au-delà de la lentille.
- Q43.** Pour une lentille divergente, placer les foyers principaux objet et image et tracer l'image d'un objet successivement placé :
- en amont de la lentille ;
 - au-delà de la lentille.
- Q44.** Construire le rayon émergent dans la configuration indiquée.



- Q45.** Une lentille convergente (L), de distance focale $f' = 5,0$ cm, constitue l'objectif d'un projecteur de diapositives. Elle donne d'une diapositive de hauteur $h = 24$ mm une image sur un écran situé à la distance $D = 4,0$ m du projecteur. Déterminer la position de la diapositive par rapport à la lentille ainsi que la hauteur H de l'image obtenue sur l'écran.
- Q46.** On place un objet dans le plan focal objet d'une lentille convergente de vergence V :
- déterminer graphiquement la position de l'image ;
 - comment s'appelle cet instrument d'optique ?
 - déterminer le grossissement de cet instrument (on rappelle qu'à l'œil nu, la plus petite distance à laquelle on peut observer un objet est $d_m \approx 25$ cm) ;
 - déterminer la condition portant sur d_m et V qui assure que l'instrument remplit son rôle.
- Q47.** Rappeler les définitions de la minute d'arc et de la seconde d'arc. Sous quel angle voit-on la Lune et le Soleil depuis la Terre. Quel est le pouvoir de résolution de l'œil ?
- Q48.** Expliquer comment réaliser une lunette afocale à l'aide de deux lentilles convergentes :
- préciser la position des lentilles l'une par rapport l'autre et leur nom ;
 - représenter le trajet d'un rayon incident faisant un angle α avec l'axe optique ;
 - déterminer le grossissement de cette lunette en fonction des distances focales des lentilles.

5 Introduction au monde quantique

Q49. Rappeler la relation de Louis de Broglie qui permet d'associer une longueur d'onde λ à toute particule de quantité de mouvement p .

Rappeler la relation de Planck qui lie l'énergie d'une photon et la fréquence de l'onde.

Q50. Énoncer le principe d'incertitude d'Heisenberg qui relie les indéterminations Δx sur la position et Δp sur la quantité de mouvement. Proposer une interprétation physique simple.

Q51. On considère une particule de masse m piégée dans un puits de potentiel infini de largeur a :

- par analogie avec une corde vibrante fixée à ses deux extrémités, exprimer les longueurs d'onde possibles de la particule assimilée à une onde ;
- en déduire les quantités de mouvement ainsi que les énergies cinétiques associées ;
- en utilisant le modèle du puits infini, estimer, en MeV, l'énergie minimale d'un nucléon confiné au sein d'un noyau ;
- on admet que la fonction d'onde de la particule vérifie l'équation différentielle :

$$\forall x \in]0, a[, \quad \frac{\hbar^2}{8\pi^2 m} \frac{d^2\psi(x)}{dx^2} + E\psi(x) = 0$$

En imposant l'annulation de la fonction d'onde aux limites du domaine (probabilité de présence nulle), retrouver les énergies possibles pour la particule au sein du puits.

6 Électromagnétisme (hors ondes)

Q52. Rappeler les expressions des opérateurs divergence, gradient, rotationnel, laplacien, laplacien vectoriel en coordonnées cartésiennes.

Q53. Énoncer les équations de Maxwell dans le cadre de l'électrostatique. En déduire l'équation locale vérifiée par le potentiel électrostatique.

Q54. Rappeler l'expression du champ électrostatique et du potentiel associé pour une charge q placé à l'origine du système de coordonnées.

Q55. Énoncer le théorème de Gauss avec un schéma à l'appui et en précisant la signification des termes de l'expression.

Retrouver cette relation à l'aide de l'équation locale de Maxwell Gauss.

Q56. On considère une couche uniformément chargée avec une densité volumique ρ . Cette couche est centrée sur le plan xOy , infinie selon les directions (Ox) et (Oy) et d'épaisseur $2e$ selon (Oz) :

- déterminer le champ électrique en tout point de l'espace ;
- retrouver le cas limite du plan portant une charge surfacique uniforme σ dont on précisera l'expression ;
- montrer que l'on retrouve la relation de passage pour le champ électrique.

Q57. On considère un condensateur sphérique constitué de deux coquilles sphériques de rayon R_1 et $R_2 > R_1$ portant des charges opposées Q et $-Q$.

En utilisant le théorème de Gauss et la circulation du champ électrique :

- retrouver l'expression de la capacité de ce condensateur ;
- dans quel cas retrouve-t-on l'expression de la capacité d'un condensateur plan ?

Q58. Énoncer le théorème de Gauss gravitationnel.

Déterminer le champ de gravitation dans tout l'espace dans le cas d'une distribution à symétrie sphérique de masse volumique $\rho(r) = \rho_0 (1 - r^2/R^2) \quad \forall r \in [0, R]$ et 0 sinon.

Q59. Énoncer les équations de Maxwell dans le cadre de la magnétostatique. En déduire les équations intégrales associées et les interpréter physiquement.

Q60. On considère un solénoïde d'axe Oz , de rayon R et comptant n spires par unité de longueur :

- dans quel cas une bobine réelle peut-elle être assimilée à un solénoïde infini ?
- déterminer l'expression du champ magnétique au sein du solénoïde (on admettra la nullité du champ magnétique à l'extérieur) ;

— en utilisant cette relation, estimer le champ magnétique pouvant être créé par une bobine.

Q61. On considère la distribution suivante, supposée infinie selon l'axe Oz et constituée :

- d'un fil cylindrique épais, d'axe Oz et de rayon R_1 , parcouru par un courant I uniformément réparti au sein du fil ;
- d'un conducteur métallique cylindrique d'axe Oz et de rayon $R_2 > R_1$ parcouru par un courant $-I$ qui circule sur la surface de ce conducteur ;
- l'espace entre le fil et le conducteur ($r \in]R_1, R_2[$) et l'espace au-delà du conducteur ($r > R_2$) sont assimilés au vide.

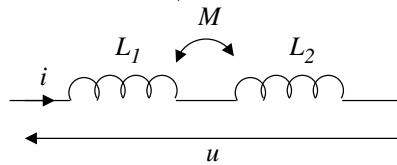
Déterminer l'expression du champ magnétique dans tout l'espace.

Q62. Énoncer les équations de Maxwell dans le cadre de l'ARQS.

Q63. Définir les notions d'inductance propre et d'inductance mutuelle en terme de flux magnétique avec un schéma à l'appui.

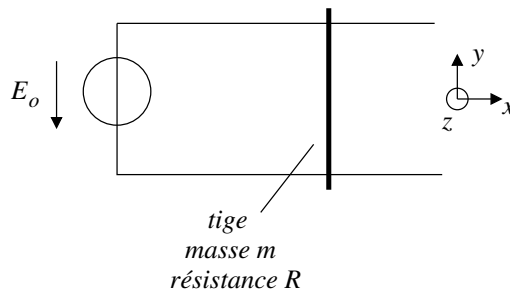
Q64. Connaissant le champ magnétique créé par un solénoïde en déduire l'expression de l'inductance propre de ce solénoïde en fonction du nombre de spires, de la longueur et de la section du solénoïde. Estimer alors l'inductance d'une bobine couramment utilisée en travaux pratiques.

Q65. On considère le circuit suivant composé de deux bobines placées à la suite l'une de l'autre, on note L_1 et L_2 les inductances propres, M l'inductance mutuelle (supposée positive dans cette configuration) :



- rappeler l'inégalité générale liant M , L_1 et L_2 ;
- exprimer l'énergie magnétique du dispositif en fonction des inductances et du courant i ;
- montrer que le dispositif est équivalent à une unique inductance dont on précisera l'expression ;
- on retourne la seconde bobine, déterminer la nouvelle inductance équivalente.

Q66. On considère le dispositif suivant type rails de Laplace comportant un générateur de force électromotrice E_0 , deux rails très bons conducteurs électriques et une tige conductrice de résistance R et de masse m mobile sans frottements le long des rails. Le tout est placé dans un champ magnétique uniforme et constant $\vec{B} = B_0 \vec{u}_z$ avec $B_0 > 0$. Le plan xOy désigne le plan horizontal. La tige est initialement au repos. On néglige l'inductance propre du dispositif.



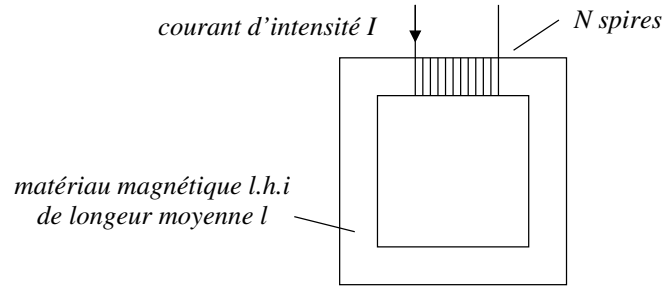
Déterminer la loi horaire vérifiée par la vitesse de la tige.

Q67. Donner l'expression des équations de Maxwell au sein d'un matériau magnétique en précisant la relation entre l'excitation magnétique, le champ magnétique et l'aimantation.

Q68. Matériau ferromagnétique :

- définir un tel matériau ;
- représenter son cycle d'hystérésis en faisant apparaître le champ rémanent, le champ à saturation et l'excitation coercitive ;
- distinguer matériau dur et matériau doux ;
- pour un matériau doux, donner une estimation de la perméabilité magnétique relative.

Q69. On considère la carcasse ferromagnétique de perméabilité relative μ_r sur le dispositif ci-après et on suppose que les lignes de champ sont parfaitement canalisées :



- déterminer l'inductance propre du dispositif (après avoir déterminé l'excitation magnétique, on pourra en déduire le champ magnétique et l'inductance propre) ;
- reprendre le calcul en supposant la présence d'un entrefer de longueur e .

Q70. Les affirmations suivantes sont-elles vraies ?

- le théorème d'Ampère sous la forme $\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \sum I_{\text{enlacés}}$ est vrai quelle que soit la fréquence ;
- le théorème de Gauss est seulement vrai en électrostatique ;
- la relation $\vec{E} = -\overrightarrow{\text{grad}}(V)$ n'est vraie qu'en électrostatique ;
- la relation $\vec{E} = -\overrightarrow{\text{grad}}(V)$ reste vraie dans l'ARQS ;
- dans le cas d'un fil infini centré sur l'axe (Oz) et parcouru par un courant I uniforme, le vecteur champ magnétique est invariant par toute translation selon (Oz) ;
- dans le cas d'un fil infini centré sur l'axe (Oz) et parcouru par un courant I uniforme, le vecteur champ magnétique est invariant par toute rotation d'angle θ ;
- un plan de symétrie des charges est un plan de symétrie du champ électrostatique ;
- un plan de symétrie des courants est un plan d'antisymétrie du champ magnétique ;
- en un point d'un plan de symétrie des courants, le champ magnétique est perpendiculaire à ce plan ;
- pour un matériau ferromagnétique, on a la relation $\vec{B} = \mu_0 \mu_r \vec{H}$;

7 Phénomènes de transport

Q71. Équation locale de conservation de la charge électrique :

- énoncer cette loi en précisant son domaine de validité ;
- retrouver cette loi dans le cadre d'un modèle à une dimension ;
- montrer que l'on peut retrouver cette loi à l'aide des équations de Maxwell ;
- simplifier cette loi en régime permanent, que dire alors du vecteur densité volumique de courant électrique ? Quelle loi usuelle de l'électrocinétique retrouve-t-on ?

Q72. Loi d'Ohm locale :

- énoncer cette loi en précisant son domaine de validité ;
- donner un ordre de grandeur de la conductivité électrique pour un métal comme le cuivre ;
- en déduire l'expression de la résistance électrique d'un tronçon cylindrique de longueur ℓ et de section S ;
- donner l'expression de la puissance volumique dissipée par effet Joule.

Q73. Énoncer les lois de Fourier et de Fick. Préciser leur domaine de validité. Citer quelques ordres de grandeur de conductivité thermique dans les conditions usuelles : air, eau, béton, acier.

Q74. Équation de la diffusion thermique :

- énoncer cette loi dans son cadre le plus général pour un matériau de masse volumique ρ , de capacité thermique massique c , de conductivité thermique λ , en présence d'un apport en volume caractérisé par une puissance volumique p ;
- retrouver cette loi dans le cadre d'un modèle à une dimension ;
- simplifier cette loi en l'absence d'apport en volume. Montrer qu'en un temps caractéristique τ , le phénomène de diffusion s'effectue sur une distance caractéristique L qui peut s'exprimer en fonction de τ et de la diffusivité thermique $\kappa = \frac{\lambda}{\rho c}$.

Q75. Résistance thermique :

- donner la définition générale de la résistance thermique en précisant ses conditions de validité au sens strict ;
- déterminer, en négligeant les effets de bord, la résistance thermique d'un bloc cylindrique de longueur ℓ selon son axe Oz , de rayon intérieur R_1 et de rayon extérieur R_2 possédant une conductivité thermique λ et pour lequel on impose une différence de température sur les deux cylindres limites. On pourra commencer par montrer que le flux thermique à travers un cylindre de rayon $r \in]R_1, R_2[$ est indépendant de r ;
- la notion de résistance thermique peut être utilisée dans un cadre d'ARQS thermique. Préciser les conditions d'application de cette approximation.

Q76. On considère une sphère homogène de rayon a_0 , de conductivité thermique λ dans laquelle se produisent des réactions nucléaires conduisant à une puissance volumique thermique apportée p . L'extérieur est à la température T_0 et on suppose que le transfert thermique conducto-convectif sortant d'un élément de surface d'aire dS de la sphère est donnée par $\delta\phi = h(T(a_0) - T_0)dS$ avec $T(a_0)$ la température à la surface de la sphère.

On se place en régime permanent. Déterminer le champ de température au sein de la sphère.

Q77. On suppose le sol assimilable à un demi-espace infini homogène de conductivité thermique λ , de capacité thermique massique c et de masse volumique ρ . À la surface, on considère une fluctuation sinusoïdale de température modélisant l'évolution de la température quotidienne ou annuelle.

- déterminer l'équation aux dérivées partielles vérifiée par le champ de température au sein du sol ;
- exprimer, par un raisonnement aux dimensions, la distance caractéristique de diffusion de la perturbation thermique en fonction des caractéristiques de cette perturbation et du sol ;
- montrer que les fluctuations quotidiennes pénètrent beaucoup moins dans le sol que les fluctuations annuelles.

Q78. Statique des fluides :

- déterminer un équivalent volumique des forces de pression ;
- en déduire l'équation de la statique des fluides, en considérant l'équilibre d'un petit volume de fluide placé dans le champ de pesanteur terrestre avec \vec{u}_z axe vertical ascendant ;
- pour un fluide incompressible de masse volumique ρ , montrer que la grandeur $p(z) + \rho gz$ est indépendant de z (p désignant la pression) ;

- dans le modèle de l'atmosphère isotherme, retrouver l'expression du champ de pression et faire apparaître une longueur caractéristique H dont on estimera la valeur ;
- dans le cas d'une loi affine de température $T(z) = T_0(1 - a \times z)$, déterminer le nouveau champ de pression. Proposer des valeurs réalistes pour T_0 et a ;
- retrouver le cas limite de l'atmosphère isotherme.

Q79. Équation locale de conservation de la masse :

- exprimer localement la loi de conservation de la masse en fonction du vecteur densité volumique de courant de masse et de la masse volumique ;
- retrouver ce résultat dans le cas particulier d'un modèle à une dimension ;
- en régime permanent, que dire du vecteur densité de courant de masse ?
- pour un écoulement homogène et incompressible, que dire du vecteur vitesse ?

Q80. On considère un champ de vitesse de cisaillement de la forme $\vec{v} = v_x(y)\vec{u}_x$. Donner l'expression de la force de viscosité exercée par la couche située à l'altitude y sur la couche située en $y + dy$ en faisant apparaître S la section commune et η la viscosité dynamique dont on précisera l'unité ainsi que la valeur dans le cas de l'eau. Préciser la dimension de la viscosité cinématique $\nu = \eta/\rho$ avec ρ la masse volumique du fluide.

Q81. Nombre de Reynolds :

- pour un écoulement au sein d'une conduite de diamètre D à la vitesse débitante U , pour un fluide de viscosité dynamique η et de masse volumique ρ , rappeler l'expression du nombre de Reynolds et vérifier que ce nombre est sans dimension ;
- éliminer la vitesse débitante de la formule en faisant apparaître le débit volumique ;
- rappeler les deux grands types de régime d'écoulement en fonction de la valeur du nombre de Reynolds ;
- vérifier qu'un écoulement d'eau au sein d'une conduite est en général turbulent.

Q82. Résistance hydraulique :

- rappeler la définition de la résistance hydraulique ;
- on considère un écoulement visqueux, incompressible et laminaire au sein d'une conduite cylindrique d'axe Oz , de rayon a et un profil de vitesse $\vec{v} = v_z(r, z)\vec{u}_z$. Montrer que le champ des vitesses ne dépend pas de la variable z ;
- la conduite a une longueur L , la pression en amont est P_0 , la pression en aval est $P_1 < P_0$; à l'aide d'un bilan de quantité de mouvement sur un système bien choisi, déterminer l'équation différentielle vérifiée par le champ de vitesse ;
- en déduire l'expression du champ de vitesse, le débit volumique et la résistance hydraulique de la conduite.

Q83. Traînée et portance :

- rappeler la définition des forces de traînée et de portance subies par un objet au sein d'un écoulement ;
- rappeler la définition des coefficients de traînée et de portance ;
- préciser les modèles de forces de traînée selon le régime d'écoulement.

Q84. *Les affirmations suivantes sont-elles vraies ?*

- la loi d'Ohm locale est valable quelle que soit la fréquence ;
- l'équation locale de conservation de la charge est valable quelle que soit la fréquence ;
- on considère un bilan thermique sur un système ; en régime permanent, le flux entrant est nécessairement égal au flux sortant ;
- en l'absence de terme source, pour un problème à une dimension dépendant de la seule variable spatiale x , l'équation de la diffusion thermique s'écrit : $\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$ avec $T(x, t)$ le champ de température, ρ la masse volumique, c la capacité thermique massique et λ la conductivité thermique du milieu ;
- pour un problème à symétrie sphérique, cette même équation prend la forme : $\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial r^2}$;
- dans l'eau, la pression augmente d'environ 1 bar tous les 10 mètres ;
- pour un cylindre immobile placé dans un écoulement perpendiculaire à son axe de révolution, la force de portance est nulle ;
- pour un cylindre en rotation placé dans un écoulement perpendiculaire à son axe de révolution, la force de portance est nulle ;

8 Bilans macroscopiques

Q85. Rappeler l'expression du premier principe industriel et ses conditions d'application.

Q86. Énoncer la relation de Bernoulli et ses conditions d'application.

Q87. Citer des exemples de pertes de charge. Comment adapter la relation de Bernoulli en considérant un terme de pertes de charge homogène à une pression ?

Q88. On considère un réservoir de « grande section » S et de hauteur H présentant une ouverture de « petite section » s à sa base. Le sommet du réservoir et l'eau qui sort du réservoir sont en contact avec l'air :

- déterminer l'expression de la vitesse en sortie du réservoir en fonction de la hauteur h d'eau dans le réservoir ;
- en déduire le temps de vidange du réservoir.

Q89. On considère une plaque occupant le plan (xOy) sur laquelle repose un fluide occupant le demi-espace $z > 0$. Le fluide possède une viscosité cinématique ν et une masse volumique ρ . On ne tient pas compte de l'effet de la pesanteur, la pression est supposée uniforme dans le fluide et on considère un champ des vitesses de la forme $\vec{v}(z, t) = v_x(z, t)\vec{u}_x$:

- en considérant un bilan de quantité de mouvement sur un système bien choisi, montrer que le champ des vitesses vérifie l'équation aux dérivées partielles :

$$\frac{\partial v_x}{\partial t} = \nu \frac{\partial^2 v_x}{\partial z^2}$$

- on suppose que la plaque a un mouvement oscillant $\vec{v} = v_0 \cos(\omega t)\vec{u}_x$. Déterminer le champ des vitesses au sein du fluide.

Q90. *Les affirmations suivantes sont-elles vraies ?*

- le premier principe industriel s'applique pour un écoulement stationnaire ;
- la formulation habituelle de la loi de Bernoulli nécessite en particulier un axe vertical dirigé vers le haut, un référentiel galiléen et un écoulement incompressible.

9 Ondes

Q91. On considère une corde vibrante dont le déplacement vertical vérifie une équation de d'Alembert :

$$\forall t, \forall x \in]0, L[, \quad \frac{\partial y^2}{\partial x^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial y^2}{\partial t^2} = 0$$

On considère que la corde est fixée à ses deux extrémités $x = 0$ et $x = L$ et on cherche une solution sous la forme d'une onde stationnaire :

- rappeler en notation réelle la forme d'une onde stationnaire ;
- en considérant une solution stable, déterminer l'expression générale d'une solution ;
- en imposant les conditions aux limites, montrer que les fréquences sont quantifiées ;
- écrire la solution la plus générale comme combinaison des modes propres ;
- comment détermine-t-on alors les constantes d'intégration ?

Q92. Équation d'ondes pour les ondes acoustiques :

- rappeler les conditions de l'approximation acoustique ;
- en utilisant un principe fondamental de la dynamique pour un petit élément de fluide, la relation locale de conservation de la masse et le coefficient de compressibilité isentropique, établir un système de trois équations portant sur les fluctuations de masse volumique, de pression et de vitesse résultant du passage de l'onde ;
- linéariser ces équations et en déduire à une dimension l'équation aux dérivées partielles vérifiée par le champ de surpression.

Q93. Rappeler l'expression de la célérité d'une onde acoustique en fonction de la masse volumique du milieu et du coefficient de compressibilité isentropique. Dans le modèle du gaz parfait, en déduire la célérité en fonction de la température, du coefficient γ , de la constante des gaz parfaits et de la masse molaire. Application numérique pour l'air.

Q94. Impédance acoustique.

On considère une onde acoustique plane progressive harmonique se propageant dans le sens des x croissants :

- déterminer le coefficient de proportionnalité entre la surpression et la vitesse locale du fluide appelé impédance acoustique ;
- montrer que ce résultat reste vrai si on se contente d'une onde plane progressive avec des champs de surpression et de vitesse de la forme $p(t - x/c)$ et $v(t - x/c)$;
- ce résultat est-il vrai pour une onde stationnaire ? que devient-il dans le cas d'une propagation dans le sens des x décroissants ?

Q95. Pour une onde stationnaire, montrer qu'un nœud de vitesse est associé à un ventre de surpression et inversement.

Dans le cadre d'un modèle élémentaire, proposer une première configuration qui peut s'apparenter à un nœud de vitesse et une seconde pouvant s'apparenter à un nœud de surpression.

Q96. Intensité sonore et niveau sonore.

On définit le vecteur densité de courant d'énergie acoustique par $\vec{\Pi} = p \times \vec{v}$:

- quelle est la dimension de cette grandeur ?
- quel est son lien avec l'intensité sonore ? avec le niveau sonore en décibel ?
- dans le cadre d'une OPPH, exprimer la moyenne dans le temps du vecteur $\vec{\Pi}$ en fonction de la masse volumique du fluide, de la célérité des ondes sonores et de l'amplitude de la fluctuation de vitesse.

Q97. En partant des équations de Maxwell, retrouver l'expression de l'équation de propagation des champs électrique et magnétique dans le vide.

Q98. En partant des équations de Maxwell, retrouver l'expression du théorème de Poynting et commenter chacun des termes de l'équation.

Q99. Pour une onde électromagnétique OPPH dans le vide :

- montrer qu'une telle onde est transverse ;
- exprimer la relation entre les champs magnétique et électrique ;
- relier la moyenne du vecteur de Poynting, la moyenne de la densité volumique d'énergie électromagnétique

et la célérité de la lumière dans le vide.

Q100. On considère deux plans infinis conducteurs parfaits situés en $z = 0$ et $z = a$. On admet que le champ électrique est nul dans le conducteur parfait et que la composante tangentielle du champ électrique est continue à une interface. La zone entre les armatures est assimilée au vide et on cherche un champ électrique de la forme $\vec{E}(z, t) = \underline{E}_0 e^{j\omega t} f(z) \vec{u}_x$ en notation complexe :

- quelle est l'équation aux dérivées partielles vérifiée par le champ électrique entre les plaques ?
- en déduire l'expression générale de la fonction f et montrer que les fréquences admissibles sont quantifiées ;
- déterminer le champ magnétique dans cette même zone ;
- montrer que le vecteur de Poynting est nul en moyenne dans le temps.

Q101. Ondes dans les milieux :

- donner le sens physique d'un vecteur d'onde complexe en définissant en particulier une distance caractéristique d'atténuation ;
- donner les formules générales donnant la vitesse de phase et de la vitesse de groupe ;
- dans quel cas parle-t-on de milieu dispersif ?
- particulariser leurs expressions pour les deux relations de dispersion suivante : $k = \omega/c$ et $k = \sqrt{\omega^2 - \omega_1^2}/c$.
Commentaire.

Q102. On considère une onde de fréquence de l'ordre du GHz au sein d'un conducteur réel :

- montrer que le milieu reste localement neutre ;
- montrer que le vecteur courant de déplacement est négligeable devant le vecteur courant de charges ;
- en déduire l'équation vérifiée par le champ électrique dans ce milieu ;
- estimer alors, sans « longs calculs », la profondeur de pénétration pour une telle onde.

Q103. *Les affirmations suivantes sont-elles vraies ?*

- les ondes sonores sont des ondes longitudinales ;
- les ondes électromagnétiques sont nécessairement des ondes transverses ;
- pour toute onde OPPH, la relation de dispersion s'écrit $k = \omega/c$;
- une équation de d'Alembert conduit nécessairement à une relation de dispersion de la forme $k = \omega/c$;
- pour une onde stationnaire, le vecteur de Poynting est égal au vecteur nul ;
- l'ionosphère se comporte comme un filtre passe-bas vis à vis des ondes électromagnétiques ?
- pour communiquer avec les satellites depuis la Terre, il est souhaitable d'utiliser des ondes électromagnétiques de fréquence supérieures ou égales au GHz.

10 Puissance et conversion d'énergie

Q104. Caractéristiques d'un signal :

- définir la notion de valeur moyenne et de valeur efficace ; cas particulier d'un signal sinusoïdal ;
- quelle est la valeur de la tension efficace au niveau d'une prise électrique ?

Q105. Puissance électrique :

- définir la puissance instantanée reçue par un composant en fonction de la tension à ses bornes et de l'intensité du courant qui le traverse toutes deux définies en convention récepteur ;
- pour un dipôle linéaire et des formes de tension et de courant sinusoïdales déphasées de φ , exprimer la puissance moyenne reçue par le dipôle en fonction des grandeurs efficaces de la tension et du courant et du facteur de puissance ;
- pour une installation électrique, quel est l'intérêt de relever le facteur de puissance ? quelle solution met-on en œuvre ?

Q106. Transformateur :

- rappeler les principales hypothèses du transformateur idéal et les conventions d'orientation habituelles ;
- dans le cadre de ces hypothèses, établir les formules de transformation des tensions et des courants ;
- en supposant la perméabilité magnétique relative élevée mais finie, déterminer les inductances propres et l'inductance mutuelle du système. Quelle relation existe-t-il entre ces grandeurs ? Commentaire ;
- citer les principales sources de pertes au sein d'un transformateur réel, leurs dépendances avec la fréquence et les méthodes utilisées pour les limiter.

Q107. Machine synchrone.

Expliquer le principe de la machine synchrone en fonctionnement moteur puis récepteur sur le modèle simple où le rotor peut être assimilé à une aiguille aimantée ou à une petite spire parcourue par un courant permanent, détailler en particulier :

- les types de courant circulant dans le stator et le rotor ;
- la configuration des bobines du stator ;
- le champ magnétique créé par le stator ;
- les rôles respectifs joués par le rotor et le stator (inducteur ou induit) ;
- les schémas électriques équivalents d'une phase du stator et du rotor ;
- les limites du moteur synchrone.

Q108. Machine à courant continu.

Expliquer le principe du moteur à courant continu, détailler en particulier :

- les types de courant circulant dans le stator et le rotor ;
- les champs magnétiques créés par le stator et le rotor et l'importance du système balais-collecteurs ;
- les rôles respectifs joués par le rotor et le stator (inducteur ou induit) ;
- le schéma électrique équivalent du rotor ;
- le lien entre couple moteur et intensité du courant au sein du rotor, le lien entre la force contre électromotrice et la vitesse de rotation ;
- les limites du moteur à courant continu.

Q109. Interrupteurs idéaux.

Rappeler les caractéristiques en convention récepteur de la diode idéale et du transistor idéal. Proposer un modèle plus réaliste pour la diode réelle ainsi que l'équation liant u et i sur la partie passante.

Q110. Sources idéales.

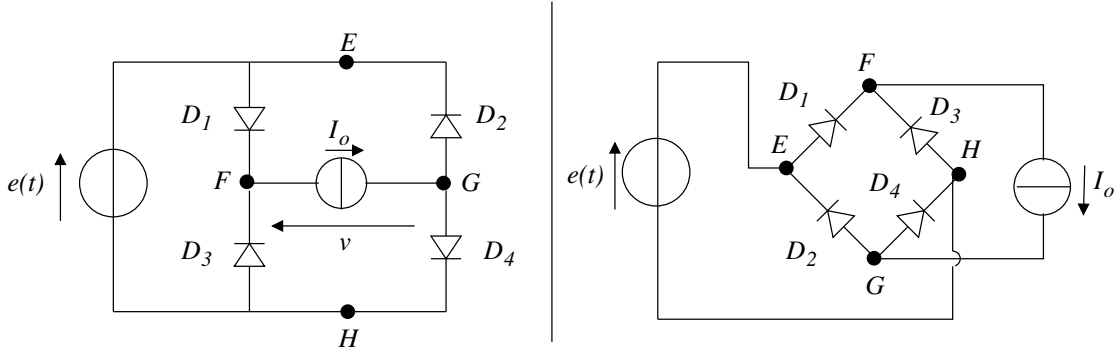
Rappeler les caractéristiques d'une source idéale de tension et d'une source idéale de courant ainsi que les règles d'associations possibles et celles interdites.

Q111. Hacheur simple :

- proposer une structure élémentaire permettant de mettre en œuvre une conversion DC/DC entre une source de tension et une source de courant à l'aide d'un transistor et d'une diode ;
- analyser les phases de fonctionnement ;
- vérifier que la conversion de puissance est bien parfaite et qu'elle peut être réglée en jouant sur le rapport cyclique pilotant le transistor.

Q112. Redressement double alternance.

On considère la structure suivante dans laquelle la source d'entrée est une source sinusoïdale et les diodes sont supposées idéales.



- indiquer les diodes passantes dans chacune des phases du fonctionnement ;
- montrer que l'on réalise bien un redressement double alternance ;
- cette structure peut-elle être directement utilisée pour recharger une batterie ? quel dispositif faut-il ajouter entre le redressement et la batterie ?

Q113. Onduleur :

- rappeler le rôle d'un onduleur et proposer des applications concrètes ;
- en considérant un générateur de tension comme source d'entrée et une charge $R - L$ décrire le fonctionnement d'une commande pleine onde dans le cadre d'une structure en pont ;
- expliquer la limite d'une commande pleine onde ;
- proposer qualitativement une solution pour améliorer la commande.

Q114. *Les affirmations suivantes sont-elles vraies ?*

- pour un signal électrique, la grandeur efficace et l'amplitude sont reliées par $U_{\text{eff}} = U_{\text{max}}/\sqrt{2}$;
- en présence d'une excitation purement sinusoïdale, la puissance moyenne reçue par un dipôle linéaire est nulle ;
- en régime sinusoïdal, la puissance reçue par une bobine est nulle à chaque instant ;
- l'alimentation du rotor d'une machine synchrone est une alimentation qui délivre un courant continu ;
- pour un moteur à courant continu, le stator est l'inducteur ;
- pour une machine synchrone, les rôles inducteur/induit sont inversés lorsqu'on passe du fonctionnement moteur (conversion électrique \rightarrow mécanique) au fonctionnement générateur (conversion mécanique \rightarrow électrique) ;
- pour un moteur synchrone, le champ statorique est en avance sur le champ rotorique ;
- pour une machine synchrone produisant de l'énergie électrique, le champ statorique est en avance sur le champ rotorique.