

Corrigé
Physique Appliquée
Concours I.E.S.S.A. – Session 2023

Corrigé proposé par Emmanuel Guillaud, PSI*, Lycée Dumont d'Urville, Toulon. N'hésitez pas à me signaler les coquilles éventuelles par les canaux habituels. Merci d'avance.

Première partie.

1. Pour un condensateur, $|Z_C| = 1/(\omega \cdot C)$ donc à basse fréquence ($\omega \rightarrow 0$), $|Z_C| \rightarrow +\infty$; le dipôle se comporte comme un interrupteur ouvert. À l'inverse, à haute fréquence ($\omega \rightarrow +\infty$), $|Z_C| \rightarrow 0$; le dipôle se comporte comme un fil.

⇒ **Réponses A et D.**

2. Pour une bobine, $|Z_L| = L \cdot \omega$ donc le comportement est inversé par rapport à un condensateur.

⇒ **Réponses B et C.**

3. Le rapport $|u_s/u_e|$ tend vers 0 à haute fréquence puisque le condensateur se comporte comme un fil, tandis que le rapport tend vers 1 à basse fréquence puisque la bobine se comporte comme un fil, de même que la résistance puisque le condensateur empêche tout passage de courant. On est donc en présence d'un filtre passe-bas (de deuxième ordre).

⇒ **Réponse A.**

4. D'après la relation du pont diviseur de tension,

$$\frac{u_s}{u_e} = \frac{\frac{1}{j \cdot C \cdot \omega}}{R + j \cdot L \cdot \omega + \frac{1}{j \cdot C \cdot \omega}} = \frac{1}{1 + j \cdot R \cdot C \cdot \omega - L \cdot C \cdot \omega^2}. \quad \blacksquare \quad (1)$$

⇒ **Réponse B.**

5. Par identification, $H_0 = 1$.

⇒ **Réponse B.**

6. Par identification, $\omega_0 = 1/\sqrt{L \cdot C}$.

⇒ **Réponse B.**

7. Par identification, $R \cdot C = 1/(Q \cdot \omega_0)$, soit :

$$Q = \frac{1}{R \cdot C \cdot \omega_0} = \frac{\sqrt{L \cdot C}}{R \cdot C} = \frac{1}{R} \cdot \sqrt{\frac{L}{C}}. \quad \blacksquare \quad (2)$$

⇒ **Réponse D.**

8. C'est un filtre passe-bas donc le diagramme de Bode en gain présente une asymptote horizontale à basse fréquence.

⇒ **Réponse A.**

9. À basse fréquence, le filtre n'affecte pas le signal ($u_s/u_e = 1$).

⇒ **Réponse E.**

10. Même explication.

⇒ **Réponse C.**

11. À haute fréquence, s'agissant d'un filtre passe-bas d'ordre 2, le diagramme de Bode en gain présente une asymptote à -40 dB/dec.

⇒ **Réponse D.**

12. À haute fréquence,

$$\frac{u_s}{u_e} \sim \frac{1}{\left(\frac{j \cdot \omega}{\omega_0}\right)^2}, \quad \blacksquare \quad (3)$$

donc le montage présente un comportement double intégrateur.

⇒ **Réponse C.**

13. De même, toujours à haute fréquence,

$$\arg\left(\frac{u_s}{u_e}\right) \rightarrow \arg\left(\frac{1}{\left(\frac{j \cdot \omega}{\omega_0}\right)^2}\right) = \pi. \quad \blacksquare \quad (4)$$

⇒ **Réponse D.**

14. Pour $\omega = \omega_0$,

$$\frac{u_s}{u_e} = \frac{H_0}{j \cdot \frac{\omega}{Q \cdot \omega_0}} = -\frac{j \cdot Q \cdot \omega_0}{\omega_0} = -j \cdot Q, \quad \blacksquare \quad (5)$$

d'où :

$$\arg\left(\frac{u_s}{u_e}\right) = \frac{\pi}{2}. \quad \blacksquare \quad (6)$$

⇒ **Réponse B.**

15. D'après ce qui précède,

$$G = Q = \frac{1}{R} \cdot \sqrt{\frac{L}{C}}. \quad \blacksquare \quad (7)$$

⇒ **Réponse D.**

16. On repart de l'expression de la fonction de transfert (Qu. 4) :

$$\left(1 + j \cdot R \cdot C \cdot \omega + (j \cdot \omega)^2 \cdot L \cdot C\right) \cdot u_s = u_e, \quad \blacksquare \quad (8)$$

soit, en repassant en notation réelle :

$$L \cdot C \cdot \frac{d^2 u_s}{dt^2} + R \cdot C \cdot \frac{du_s}{dt} + u_s = u_e. \quad \blacksquare \quad (9)$$

⇒ **Réponse C.**

Deuxième partie.

17. On est en présence d'une onde plane se propageant suivant (O_z), dans le sens des z croissants, polarisée rectilignement suivant $\vec{e}_y$.

⇒ **Réponses B et C.**

18. Dans le vide, $\rho = 0$ donc l'équation de Maxwell-Gauss s'écrit $\text{div}(\vec{E}) = 0$. Par ailleurs, d'après l'équation de Maxwell-Faraday, $\vec{\text{rot}}(\vec{E}) = -\partial\vec{B}/\partial t$.

⇒ **Réponses B et D.**

19. D'après l'équation de Maxwell-Faraday,

$$\vec{\text{rot}}(\vec{\text{rot}}(\vec{E})) = \vec{\text{rot}}\left(-\frac{\partial\vec{B}}{\partial t}\right) = -\frac{\partial\vec{\text{rot}}(\vec{B})}{\partial t}, \quad \blacksquare \quad (10)$$

avec :

$$\vec{\text{rot}}(\vec{\text{rot}}(\vec{E})) = \vec{\text{grad}}(\text{div}(\vec{E})) - \Delta\vec{E} = -\Delta\vec{E} \quad \blacksquare \quad (11)$$

puisque $\text{div}(\vec{E}) = 0$ (Maxwell-Gauss), et :

$$\vec{\text{rot}}(\vec{B}) = \mu_0 \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{\partial\vec{E}}{\partial t} \quad \blacksquare \quad (12)$$

dans le vide (Maxwell-Ampère), soit finalement :

$$\Delta\vec{E} - \mu_0 \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{\partial^2\vec{E}}{\partial t^2} = \vec{0}. \quad \blacksquare \quad (13)$$

⇒ **Réponse B.**

20. Par définition, $\mu_0 \cdot \epsilon_0 \cdot c^2 = 1$.

⇒ **Réponse D.**

21. Pour une onde plane,

$$\begin{aligned} \vec{B} &= \frac{\vec{k} \wedge \vec{E}}{\omega} = \frac{\vec{e}_z \wedge \vec{E}}{c} = \frac{E_0}{c} \cdot \cos(\omega \cdot t - k \cdot z) \cdot \vec{e}_z \wedge \vec{e}_y \\ &= -\frac{E_0}{c} \cdot \cos(\omega \cdot t - k \cdot z) \cdot \vec{e}_x. \end{aligned} \quad \blacksquare \quad (14)$$

⇒ **Réponse C.**

22. Par définition,

$$\begin{aligned} \vec{\Pi} &= \frac{\vec{E} \wedge \vec{B}}{\mu_0} = -\frac{E_0^2}{\mu_0 \cdot c} \cdot \cos^2(\omega \cdot t - k \cdot z) \cdot \vec{e}_y \wedge \vec{e}_x \\ &= +\frac{E_0^2}{\mu_0 \cdot c} \cdot \cos^2(\omega \cdot t - k \cdot z) \cdot \vec{e}_z. \end{aligned} \quad \blacksquare \quad (15)$$

⇒ **Réponse A.**

23. C'est une puissance surfacique.

⇒ **Réponse C.**

24. Par définition,

$$u_e = \frac{1}{2} \cdot \epsilon_0 \cdot \vec{E}^2 = \frac{\epsilon_0 \cdot E_0^2}{2} \cdot \cos^2(\omega \cdot t - k \cdot z). \quad \blacksquare \quad (16)$$

⇒ **Réponse B.**

25. Pour une onde plane, il y a équirépartition de l'énergie entre $\vec{E}$ et $\vec{B}$ donc $u_e = u_b$.

⇒ **Réponse B.**

Troisième partie.

26. Pour un système en rotation autour d'un axe fixe, $E_c = (1/2) \cdot J \cdot \Omega^2$, soit ici :

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot \frac{m \cdot L^2}{3} \cdot \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2. \quad \blacksquare \quad (17)$$

⇒ **Réponse B.**

27. On a $z_A = L \cdot \cos(\theta)$ donc le centre de gravité de la barre est en $z_G = (L/2) \cdot \cos(\theta)$. En outre, comme on a orienté l'axe (O_z) dans le sens descendant, $E_p = -m \cdot g \cdot z_G$, soit :

$$E_p = -m \cdot g \cdot \frac{L}{2} \cdot \cos(\theta). \quad \blacksquare \quad (18)$$

⇒ **Réponse C.**

28. Par définition,

$$L_{/O_x} = J \cdot \Omega = J \cdot \frac{d\theta}{dt} = \frac{m \cdot L^2}{3} \cdot \frac{d\theta}{dt}. \quad \blacksquare \quad (19)$$

⇒ **Réponse C.**

29. Le bras de levier vaut $x_G = (L/2) \cdot \sin(\theta)$ et le poids tend à faire tourner la barre dans le sens indirect donc $M = -x_G \cdot P$. On en déduit que :

$$M = -\frac{m \cdot g \cdot L}{2} \cdot \sin(\theta). \quad \blacksquare \quad (20)$$

⇒ **Réponse D.**

30. On applique le théorème du moment cinétique à la barre par rapport à (O_x), dans le référentiel du laboratoire, supposé galiléen :

$$J \cdot \frac{d^2\theta}{dt^2} = M = -\frac{m \cdot g \cdot L}{2} \cdot \sin(\theta), \quad \blacksquare \quad (21)$$

soit :

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{3}{m \cdot L^2} \cdot \frac{m \cdot g \cdot L}{2} \cdot \sin(\theta) = \frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{3 \cdot g}{2 \cdot L} \cdot \sin(\theta) = 0. \quad \blacksquare \quad (22)$$

⇒ **Réponse B.**

31. Dans la limite des petites oscillations, $\sin(\theta) \approx \theta$. On reconnaît alors l'équation d'un oscillateur harmonique de pulsation propre

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{3 \cdot g}{2 \cdot L}}, \quad \blacksquare \quad (23)$$

soit :

$$T = \frac{2 \cdot \pi}{\omega_0} = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot L}{3 \cdot g}}. \quad \blacksquare \quad (24)$$

⇒ **Réponse A.**

Quatrième partie.

32. En magnétostatique, $\vec{B}$ est donné par les équations de Maxwell-Thomson et de Maxwell-Ampère.

⇒ **Réponses A et D.**

33. ⇒ **Réponses A et D.**

34. Les plans de symétrie des courants sont des plans d'antisymétrie pour $\vec{B}$.

⇒ **Réponses B et D.**

35. D'après le cours, pour un point M situé dans la bobine,

$$\vec{B}(M) = \frac{\mu_0 \cdot N_1 \cdot I_1}{h} \cdot \vec{e}_z. \quad \blacksquare \quad (25)$$

⇒ **Réponse E.**

36. Le flux propre est donc donné par :

$$\Phi_p = N_1 \cdot \pi \cdot a^2 \cdot B = \frac{\mu_0 \cdot N_1^2 \cdot \pi \cdot a^2}{h} \cdot I_1. \quad \blacksquare \quad (26)$$

⇒ **Réponse D.**

37. Par définition, $\Phi_p = L_1 \cdot I_1$, donc :

$$L_1 = \frac{\mu_0 \cdot N_1^2 \cdot \pi \cdot a^2}{h}. \quad \blacksquare \quad (27)$$

⇒ **Réponse C.**

38. L'énergie magnétique stockée dans le solénoïde s'écrit :

$$W_m = \frac{1}{2} \cdot L_1 \cdot I_1^2 = \frac{\mu_0 \cdot N_1^2 \cdot \pi \cdot a^2 \cdot I_1^2}{2 \cdot h}. \quad \blacksquare \quad (28)$$

⇒ **Réponse D.**

39. Le flux de $\vec{B}_1$ à travers (S_2) est donné par :

$$\Phi_{12} = N_2 \cdot \pi \cdot b^2 \cdot B_1 = \frac{\mu_0 \cdot N_1 \cdot N_2 \cdot \pi \cdot b^2}{h} \cdot I_1 = M \cdot I_1, \quad \blacksquare \quad (29)$$

soit, par identification,

$$M = \frac{\mu_0 \cdot N_1 \cdot N_2 \cdot \pi \cdot b^2}{h}. \quad \blacksquare \quad (30)$$

⇒ **Réponse E.**

40. L'énergie propre du solénoïde (S_2) s'écrit, de manière similaire à l'expression obtenue à la Qu. 38 :

$$W_{m,2} = \frac{\mu_0 \cdot N_2^2 \cdot \pi \cdot b^2 \cdot I_2^2}{2 \cdot h}, \quad \blacksquare \quad (31)$$

et l'énergie de couplage s'écrit :

$$W_{m,c} = M \cdot I_1 \cdot I_2 = \frac{\mu_0 \cdot N_1 \cdot N_2 \cdot \pi \cdot b^2 \cdot I_1 \cdot I_2}{h}. \quad \blacksquare \quad (32)$$

L'énergie totale s'écrit par conséquent, en notant $W_{m,1}$ l'expression obtenue à la Qu. 38 :

$$W_m' = W_{m,1} + W_{m,2} + W_{m,c}. \quad \blacksquare \quad (33)$$

⇒ **Réponse C.**

41. Le champ magnétique créé par la première bobine étant non nul exclusivement à l'intérieur de celle-ci, son flux à travers la bobine (S_2) s'écrit :

$$\Phi_{12} = N_2 \cdot \pi \cdot a^2 \cdot B_1 = \frac{\mu_0 \cdot N_1 \cdot N_2 \cdot \pi \cdot a^2}{h} \cdot I_1, \quad \blacksquare \quad (34)$$

soit :

$$M = \frac{\mu_0 \cdot N_1 \cdot N_2 \cdot \pi \cdot a^2}{h}. \quad \blacksquare \quad (35)$$

⇒ **Réponse D.**

42. L'inductance propre ne dépend pas de l'orientation relative des circuits donc est inchangée mais l'inductance mutuelle est changée en son opposée.

⇒ **Réponses B et C.**

Cinquième partie.

43. D'après la relation de conjugaison,

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}, \quad \blacksquare \quad (36)$$

avec, pour un objet et une image réels, $D = \overline{AA'} = \overline{AO} + \overline{OA'}$, donc :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA'} - D} = \frac{D}{\overline{OA'} \cdot (D - \overline{OA'})} = \frac{1}{f'}, \quad \blacksquare \quad (37)$$

soit :

$$\overline{OA'}^2 - D \cdot \overline{OA'} + D \cdot f' = 0. \quad \blacksquare \quad (38)$$

On calcule le discriminant : $\Delta = D \cdot (D - 4 \cdot f')$. On doit avoir $\Delta \geq 0$ pour avoir des solutions réelles, et par hypothèse, $D > 0$ (objet et image sont chacun d'un côté de la lentille) donc on doit avoir $D - 4 \cdot f' \geq 0$, soit :

$$D \geq 4 \cdot f'. \quad \blacksquare \quad (39)$$

⇒ **Réponse B.**

44. On montre de la même façon que :

$$\overline{OA}^2 + D \cdot \overline{OA} + D \cdot f' = 0. \quad \blacksquare \quad (40)$$

On calcule le discriminant :

$$\Delta = D^2 - 4 \cdot D \cdot f' = \left(\pm \sqrt{D^2 - 4 \cdot D \cdot f'} \right)^2 \quad \blacksquare \quad (41)$$

(puisque $\Delta > 0$), donc :

$$\overline{OA} = -\frac{D}{2} \pm \frac{\sqrt{D^2 - 4 \cdot D \cdot f'}}{2}. \quad \blacksquare \quad (42)$$

⇒ **Réponse A.**

45. On déduit de ce qui précède que $d^2 = D^2 - 4 \cdot D \cdot f'$.

⇒ **Réponse B.**

46. On utilise la relation précédente :

$$f' = \frac{D^2 - d^2}{4 \cdot D} = 24 \text{ cm}. \quad \blacksquare \quad (43)$$

⇒ **Réponse D.**

Sixième partie.

47. En Python, l'addition et la multiplication par un scalaire effectuées sur des listes sont des opérations de concaténation.

⇒ **Réponses B et C.**

48. i varie de 0 à $n - 1$ inclus.

⇒ **Réponse D.**

49. `a = "False"` affecte une chaîne de caractère à a et non le booléen `False` qui fait l'objet du test. La condition du test n'est donc pas vérifiée.

⇒ **Réponse A.**