

CONCOURS INTERNE POUR LE RECRUTEMENT :

► d'INGÉNIEURS DES ÉTUDES ET DE L'EXPLOITATION DE
L'AVIATION CIVILE (I.E.E.A.C.)

&

► d'INGÉNIEURS DU CONTRÔLE DE LA NAVIGATION AÉRIENNE
(I.C.N.A.)

ÉPREUVE OBLIGATOIRE

PHYSIQUE

Durée : 3 heures

IEEAC : Coefficient 3

ICNA : Coefficient 2

Cette épreuve comporte :

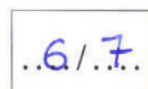
- ➡ 1 page de garde (recto)
- ➡ 1 page de consignes (recto)
- ➡ 1 page d'avertissement (recto)
- ➡ 7 pages de sujet numérotées de 1 à 7 (recto-verso)

TOUT DISPOSITIF ELECTRONIQUE EST INTERDIT (EN PARTICULIER L'USAGE DE LA CALCULATRICE)

ÉPREUVE OBLIGATOIRE

- 1) Vous devez composer lisiblement sur les copies avec un stylo à bille ou feutre à encre foncée bleue ou noire.
- 2) Les effaceurs correcteurs (comme le tippex) sont interdits car ils peuvent laisser des résidus sur les vitres du scanner lors de la numérisation des copies.
- 3) Numéroté chaque page de composition pour faciliter la correction de la copie (il n'est pas nécessaire de numéroté les pages entièrement blanches) dans la zone prévue en bas à droite de chaque copie.

Par exemple, pour la 6^e page d'une copie comportant 7 pages de composition et une page blanche, numéroté ainsi la page 6 sur 7 :



- 4) Vous devez composer uniquement sur les supports de composition officiels pour l'épreuve.
- 5) Aucun brouillon ne sera ramassé.

AVERTISSEMENT

L'utilisation des calculatrices est interdite.

Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en indiquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre.

La **présentation**, la lisibilité, l'orthographe, la qualité de la **rédaction**, la **clarté** et la **précision** des raisonnements entreront pour une **part importante** dans l'**appréciation des copies**.

En particulier, les candidats travailleront avec les expressions littérales et n'effectueront l'application numérique qu'à la fin des questions. Le résultat devra être exprimé avec 2 chiffres significatifs afin d'avoir une idée de la grandeur physique attendue.

Les résultats non justifiés ne seront pas pris en compte. Les candidats sont invités à encadrer les résultats de leurs calculs.

Les candidats répartiront équitablement leur temps entre les deux exercices qui constituent cette épreuve. Le premier exercice est sur le thème du cuivre, le second porte sur l'élaboration d'un résonateur.

EXERCICE n°1 : Autour du cuivre

Afin de caractériser certains corps, on s'intéresse à certaines de leurs propriétés comme :

- l'aspect, la couleur
- leur masse volumique
- leur conductivité électrique
- leur conductivité thermique

I Masse volumique

On s'intéresse à un cylindre de cuivre pur.

On pèse le cylindre sur une balance et on relève sa masse m .

On le plonge ensuite dans une éprouvette graduée de 25 mL initialement remplie d'un certain volume d'eau.

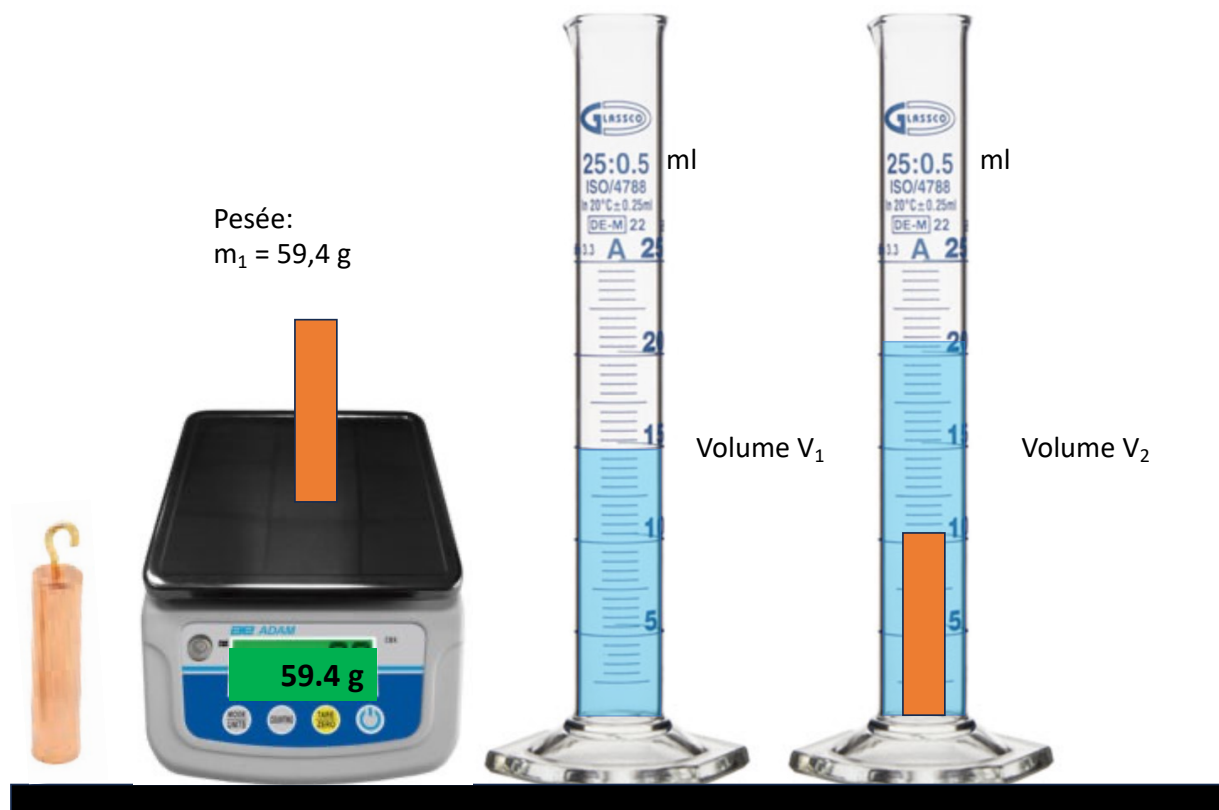


Figure n°1

Q1) En exploitant les données de la figure n°1, déterminer la masse volumique ρ du cuivre.

Les pièces de 1, 2 et 5 centimes d'euro sont de couleur cuivre. La pièce de 5 centimes d'euros a un diamètre $d = 20$ mm et une épaisseur $e = 1,7$ mm. On pèse $N = 30$ pièces de 5 centimes pour une masse de $m = 120$ g.

Q2) Ces pièces sont-elles réellement en cuivre ? Le candidat présentera une réponse argumentée.

II Conductivité électrique

Dans cette partie, on cherche à déterminer une autre grandeur propre au cuivre, sa conductivité électrique γ .

Q3) Énoncer la loi d'Ohm locale permettant de définir la conductivité électrique.

On donnera le nom et l'unité de l'ensemble des grandeurs intervenant dans la relation.

Pour déterminer la conductivité électrique, on dispose d'un câble coaxial (*Figure n°2*) d'antenne dont l'âme est constituée d'un fil de cuivre de section $S = 1 \text{ mm}^2$ et de longueur $L = 50 \text{ m}$.



Figure n°2

Q4) En supposant que la répartition des champs est uniforme sur l'ensemble du conducteur cylindrique, démontrer la relation qui existe entre la différence de potentiel U entre les deux extrémités du cylindre, le courant I qui parcourt le fil et les caractéristiques du fil : s , L et γ .

Le candidat précisera son algébrisation.

Q5) Exprimer la résistance R de l'âme.

Q6) On mesure à l'ohmmètre MTX 3290 la valeur $R_{lu} = 0,8 \Omega$. Le constructeur nous fournit les caractéristiques de son appareil en figure n°3 :

Gamme	Domaine de mesure spécifié	Résolution	Incertitude	Courant de mesure	Tension en circuit ouvert
600 Ω	0 à 600,0 Ω *	0,1 Ω	0,5 % L $\pm$ 2 D	$\approx 850 \mu\text{A}$	< 5 V
6 k Ω	0 à 6,000 k Ω	0,001 k Ω	0,5 % L $\pm$ 2 D	$\approx 126,6 \mu\text{A}$	
60 k Ω	0 à 60,00 k Ω	0,01 k Ω		$\approx 12,6 \mu\text{A}$	
600 k Ω	0 à 600,0 k Ω	0,1 k Ω		$\approx 1,26 \mu\text{A}$	
6 M Ω	0 à 6,000 M Ω	0,001 M Ω	1,5 % L $\pm$ 3 D	$\approx 240 \text{ nA}$	

Figure n°3

- Sur quelle gamme est-on ?
- Préciser l'incertitude sur R_{lu} .
- Déterminer la conductivité électrique du cuivre.
- Commenter le résultat et la méthode de mesure.

On désire déterminer la conductivité électrique à partir d'une autre méthode basée sur la loi d'Ohm macroscopique. On utilise une alimentation stabilisée continue pouvant délivrer quelques ampères sous quelques volts.

On propose les deux montages (1 et 2) ci-dessous :

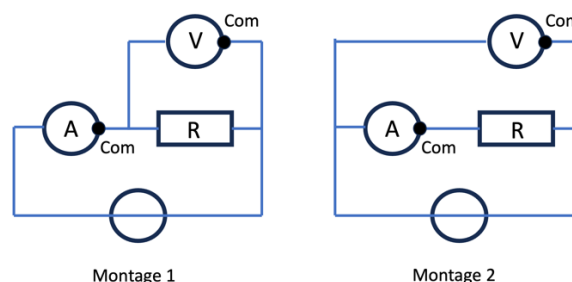


Figure n°4

On rappelle les caractéristiques du voltmètre et de l'ampèremètre :

Voltmètre en mode DC

Gamme	Domaine de mesure spécifié	Résolution	Erreur intrinsèque	Impédance d'entrée
600 mV	0 à 600,0 mV	0,1 mV	0,6 % L + 2 D	10,9 MΩ
6 V	0 à 6,000 V	0,001 V	0,3 % L + 2 D	10,9 MΩ
60 V	0 à 60,00 V	0,01 V		10,082 MΩ
600 V (*)	0 à 600,0 V	0,1 V		10,008 MΩ

Figure n°5

Ampèremètre en mode DC

Gamme	Domaine de fonctionnement	Domaine de mesure spécifié	Résolution	Incertitude (±)	Chute de tension	Protection
6 mA	0 à 6,000 mA	0,002 à 6,000 mA	1 μA	1,2 % L ± 5 D	25 mV / mA	Fusible 10A / 600V > 50 kA
60 mA	0 à 60,00 mA	0,02 à 60,00 mA	0,01 mA	1,2 % L ± 2 D	3 mV / mA	
600 mA	0 à 600,0 mA	0,2 à 600,0 mA	0,1 mA	1,2 % L ± 2 D	0,58 mV / mA	
6 A	0 à 6,000 A	0,200 à 6,000 A	0,001 A	1,2 % L ± 3 D	0,05 V / A	
10 A / 20 A (*)	0 à 20,00 A	0,20 à 20,00 A	0,01 A	1,2 % L ± 2 D	0,05 V / A	

Figure n°6

Q7) En notant R_V et R_A les résistances internes du voltmètre et de l'ampèremètre, évaluer l'erreur de méthodologie de chacun des montages ε_i définie par :

$$\varepsilon_i = \frac{|R_i - R|}{R} \text{ avec } R_i = \frac{U_i}{I_i}$$

où U_i et I_i sont les tensions et courants lus aux multimètres pour chaque montage.

Q8) Tracer l'allure des deux fonctions $\varepsilon_i(R)$.

Q9) Justifier que l'un des montages est préférable.

On lit $I = 5,230 \text{ A}$ et $U = 4,432 \text{ V}$

Q10) a) Écrire et calculer les incertitudes relatives sur la tension et le courant.

b) Quelle est l'incertitude relative sur R ?

c) Estimer sa valeur ?

d) Commenter les deux méthodes : mesure directe (Q6) et mesure volt-ampèremétrique.

III Capacité thermique

Les expériences de calorimétrie sont menées dans une enceinte (le calorimètre) suffisamment isolée pour éviter les échanges thermiques avec l'extérieur et elles sont réalisées sous pression atmosphérique constante. L'enceinte intérieure du calorimètre et ses accessoires (agitateur et thermomètre par exemple) interviennent dans les échanges thermiques, puisque leur température varie au cours des expériences. On appelle $C = 130 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}$ la capacité thermique du calorimètre, c'est-à-dire de l'enceinte intérieure du calorimètre et de ses accessoires.

On rappelle la capacité thermique massique de l'eau $c_{\text{eau}} = 4,2 \text{ J / K / g}$ et note c_{Cu} la capacité thermique massique du cuivre.

Q11) (question ouverte) Proposer un protocole expérimental en détaillant clairement les étapes (dessin possible) et les mesures afin de déterminer la capacité du calorimètre C .

On réalise l'expérience de calorimétrie dont le protocole est le suivant :

- Peser au préalable une quantité d'eau liquide à température ambiante, noter la masse $m_1 = 240 \text{ g}$ obtenue et verser cette eau dans le calorimètre, en mesurant sa température $T_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Placer la masse $m_2 = 100 \text{ g}$ de cuivre solide à la température $T_2 = 80^\circ\text{C}$ (auparavant dans une étuve dont la température est connue) dans le calorimètre.
- Fermer le calorimètre. Noter la valeur de température d'équilibre $T_3 = 22 \text{ }^\circ\text{C}$.

Q12) En considérant comme système fermé le calorimètre et son contenu, montrer qu'au cours de cette expérience l'enthalpie H de ce système vérifie $\Delta H = 0$.

Q13) Exprimer la variation de l'enthalpie au cours de la transformation étudiée en fonction des trois températures, des capacités thermiques et des masses.

Q14) Expliquer pourquoi cette expérience permet de déterminer la capacité thermique massique du cuivre c_{Cu} .

Q15) Déterminer la valeur expérimentale de c_{Cu} .

EXERCICE n°2 : Résonateur

Dans cet exercice, on désire réaliser un résonateur électrique. Pour cela nous avons besoin de réaliser une bobine d'inductance spécifique.

I Bobine torique

Dans cette partie, on désire réaliser une petite bobine.

On considère un tore de section rectangulaire, de diamètre intérieur $d_i = 20 \text{ mm}$, de diamètre extérieur $d_e = 30 \text{ mm}$ et de hauteur $h = 5 \text{ mm}$.

On bobine de manière régulière sur le tore $N = 20$ spires d'un fil de cuivre.

On désire calculer l'inductance de la bobine.

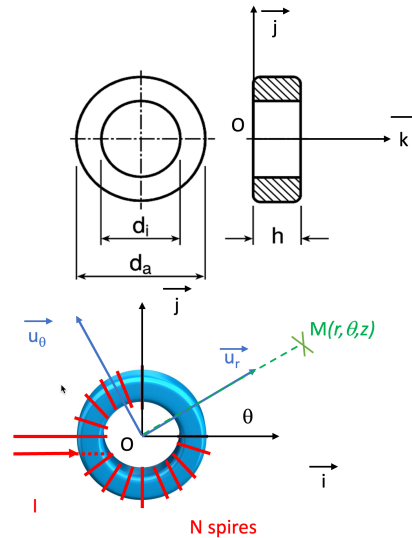


Figure n°7

Q1) Déterminer, après une étude argumentée des symétries et des invariances, la structure du champ magnétique en un point M de l'espace : $\vec{B}(r, \theta, z, t)$

Q2) Rappeler l'équation locale de Maxwell Ampère.

Q3) Préciser ce que l'on appelle le régime quasi stationnaire ?

Comment est alors modifiée l'équation de Maxwell Ampère ?

Q4) Énoncer et formuler le théorème d'Ampère.

Q5) Quel est votre choix pour le contour d'Ampère ?

Quelle est alors la circulation du champ magnétique ?

Q6) Que pouvez-vous dire de cette circulation lorsque M est à l'extérieur du tore ?

En conséquence donner la valeur du champ magnétique à l'extérieur : $\vec{B}_{\text{ext}}$.

Q7) Pour un point M à l'intérieur du tore dans un milieu matériel en remplacera la permittivité de vide $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ SI}$ par la permittivité absolue $\mu = \mu_0 \mu_r$ avec $\mu_r = 8000$ perméabilité relative.

a) Préciser l'unité de μ .

b) Établir rigoureusement que le champ magnétique à l'intérieur s'écrit :

$$\vec{B}(r, t) = \frac{\mu N I}{2\pi r} \vec{u}_r.$$

On suppose que le champ est quasi uniforme à l'intérieur du tore et on se placera sur une ligne moyenne du tore.

Q8) Définir et exprimer :

a) B en fonction de μ , N , I , d_e et d_i .

b) le flux total Φ_t à travers les N spires enroulées sur le tore en fonction de μ , N , I , d_e , d_i et h .

c) l'inductance propre L de la bobine.

d) Calculer L.

II Vérification expérimentale

Afin de vérifier notre bobinage, nous réalisons le montage de la figure n°8.

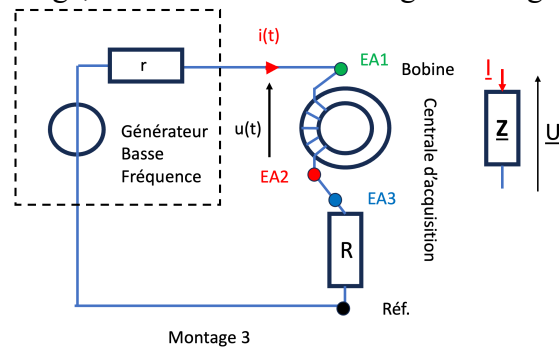


Figure n°8

On utilise un générateur basse fréquence délivrant une tension d'amplitude crête à crête E et de fréquence f . Le montage fonctionne en régime linéaire.

Q9) Comment, à partir des grandeurs analogiques EA1, EA2, EA3 mesurées par la centrale d'acquisition et d'opérations simples, peut-on accéder à la tension $u(t)$ et au courant $i(t)$ de notre dipôle ?

La centrale permet aussi de réaliser des opérations plus complexes.

- Q10)** a) Définir l'opération permettant d'accéder à la valeur efficace de $u(t)$: U_{eff}
 b) De la même manière, définir I_{eff} la valeur efficace de $i(t)$.
 c) Donner la définition de la puissance moyenne dissipée P_{moy} .

Q11) Comment s'exprime $\text{Re}(\underline{Z})$ et $\text{Im}(\underline{Z})$ en fonction de I_{eff} , U_{eff} , et P_{moy} ?

On a réalisé la manipulation pour deux amplitudes crête-crête de tensions différentes $E = 2 \text{ V}$ et $E = 8 \text{ V}$

Nous obtenons les résultats suivants

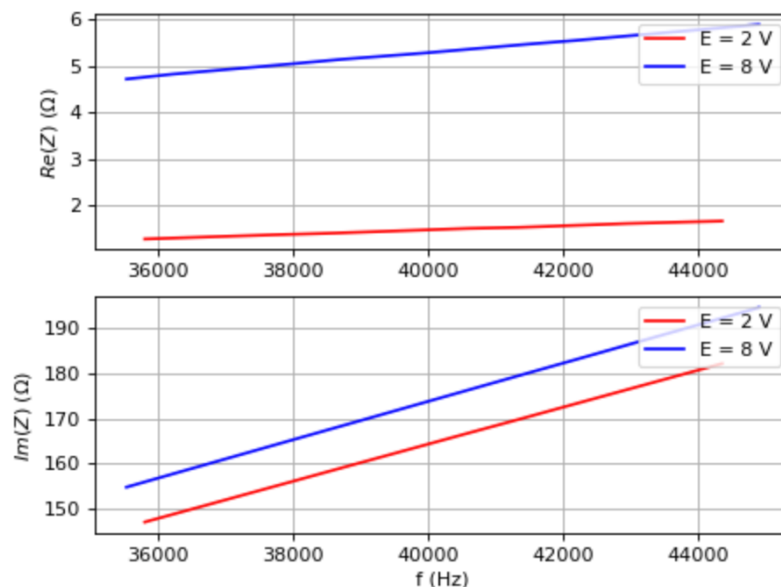


Figure n°9

Q12) Comment modéliseriez-vous $\text{Re}(\underline{Z})$,

- a) d'abord de manière grossière ?
 b) puis de manière plus précise ?

Q13) Comment modéliseriez-vous $\text{Im}(\underline{Z})$?

- a) Comment détermineriez-vous la valeur de l'inductance ?
 b) Recopier la figure et donner une estimation de la valeur de l'inductance L .
 c) Ce résultat est-il cohérent ?

III Le résonateur

Pour la suite, on prendra $L = 800 \mu\text{H}$ et on négligera la partie résistive.

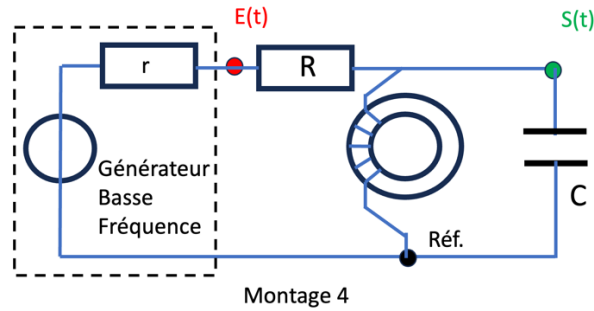


Figure n°10

Q14) Par une étude qualitative déterminer la nature du filtre.

Q15) Établir la fonction de transfert du montage $\underline{H}(j\omega) = \frac{\underline{S}}{\underline{E}}$.

Q16) Montrer qu'elle peut se mettre sous la forme : $\underline{H}(f) = \frac{H_0}{1+jQ\left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f}\right)}$.

On exprimera H_0 , Q et f_0 en fonction de R , L et C .

On désire réaliser un oscillateur proche de $f_0 \sim 40 \text{ kHz}$ avec un facteur de qualité de $Q \sim 50$.

Q17) Choisir en justifiant votre réponse parmi les propositions suivantes :

- a) la valeur du condensateur C : $C_0 = 200 \mu\text{F}$; $C_1 = 2 \text{ nF}$; $C_2 = 20 \text{ nF}$; $C_3 = 200 \text{ nF}$.
- b) la valeur de la résistance R : $R_0 = 100 \text{ k}\Omega$; $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$; $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$; $R_3 = 100 \Omega$.

FIN