

**ER2 du 16 novembre 2017, 1 heure.** Sans document ni calculatrice.

Notation sur 50 points : deux points pour une réponse juste, moins un demi-point pour une réponse fausse, zéro point en l'absence de réponse. Une réponse au plus autorisée par question (sinon moins un demi-point à la question).

S.I. : unités de base du Système International.

N° étudiant : .....

Prénom : .....

Nom : .....

### Énergie (20 points)

Q1. Dans le domaine de l'énergie, TEP signifie Tonne Equivalent...

- ☐ Plutonium      ☒ Pétrole      ☐ Personne      ☐ Pollution

Q2. La puissance instantanée consommée ou fournie par un dipôle dont la tension à ses bornes est  $u(t) = U\sqrt{2}\sin(\omega t)$  et le courant le parcourant  $i(t) = I\sqrt{2}\sin(\omega t - \varphi)$  est

- ☒  $u(t)i(t)$       ☐  $UI\cos\varphi$       ☐  $UI\sin\varphi$       ☐  $2UI$

Q3. La valeur efficace d'un signal  $s(t)$  de période  $T$  se calcule ainsi (analyse dimensionnelle possible...) :

- ☒  $\sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T s^2(t) dt}$       ☐  $\sqrt{\int_0^T s^2(t) dt}$       ☐  $\frac{1}{T} \int_0^T s^2(t) dt$       ☐  $\frac{1}{T} \sqrt{\int_0^T s^2(t) dt}$

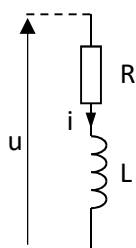
Q4. Soit une puissance à acheminer donnée (par exemple d'une centrale électrique à un transformateur). Pour minimiser les pertes en ligne il faut

- ☒ la tension la plus élevée possible et le facteur de puissance le plus proche de 1 possible  
☐ la tension la plus basse possible et le facteur de puissance le plus proche de 0 possible  
☐ la tension la plus élevée possible et la puissance réactive la plus élevée possible  
☐ la tension la plus basse possible et la puissance réactive la plus proche de 1 possible

Q5. Dans le cadre du cours n°5 de 2E102 (par Marc Hélier), « Smart grids » peut se traduire en français par

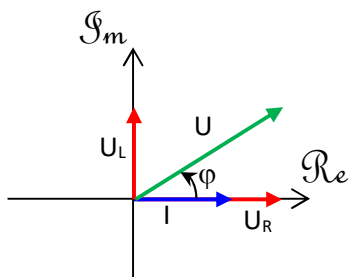
- ☒ gestion intelligente de l'énergie      ☐ grille élégante  
☐ maîtrise de l'énergie nucléaire      ☐ utilisation de petites voitures électriques

Q6 à Q10. Les alternateurs présents dans les génératrices éoliennes peuvent être composés d'enroulements réalisés avec du fil de cuivre. Ils sont alors représentés par une résistance montée en série avec une inductance.

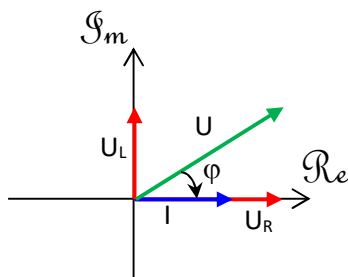


$$\begin{aligned} i(t) &= I\sqrt{2}\sin(2\pi ft) \\ f &= 50 \text{ Hz} \\ U &= 250 \text{ V} \\ R &= 40 \, \Omega \\ L &= 3/(10\pi) \text{ H} \end{aligned}$$

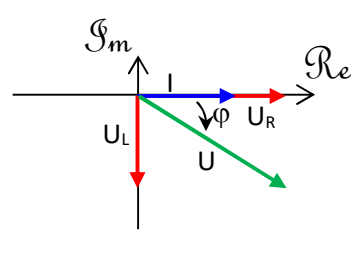
Q6. L'allure du diagramme de Fresnel relatif à ce circuit est (le courant est pris comme référence ici) :



☐



☐



☐

$$Z = R + jL\omega \rightarrow \text{module de } Z = \text{racine carrée de } (40^2 + (2\pi \cdot 50 \cdot 3/10\pi)^2)$$

Q7. Le module de l'impédance complexe de ce circuit vaut  $=r.c. \text{ de } (1600 + 900)$   
☒ 50  $\Omega$       ☐ 40  $\Omega$       ☐ 100  $\Omega$       ☐ 300  $\Omega$

Q8. L'intensité efficace vaut  
☐ 2,5 A      ☒ 5 A      ☐ 2300 A      ☐ 10 kA       $I = U/\text{module de } Z$   
 $I = 250V/50\text{ohms}$

Q9. La tension efficace aux bornes de la résistance vaut  
☒ 200 V      ☐ 230 V      ☐ 150 V      ☐ 5,5 V  
 $R \cdot I = 40 \cdot 5$

$\cos(\phi) = UR/U$   
 (cf le schéma de Q6) donc  $\cos(\phi) = 200/250 = 4 \cdot 200/1000 = 0,8$

#### Capteur : généralités (8 points)

Q11. Qu'est-ce que l'erreur dite de finesse dans le domaine des capteurs ?  
☐ Le manque d'épaisseur du capteur      ☒ L'influence du capteur sur le mesurande  
☐ Le manque de sensibilité du capteur      ☐ L'influence du mesurande sur le capteur

Q12. Soit deux capteurs du même type (capteurs A et B) permettant de déterminer le mesurande  $m$  à partir d'une tension mesurée  $U$ . Un expérimentateur teste ces capteurs en faisant passer de manière quasi-instantanée le mesurande de 0 S.I. à 3 S.I. et mesure la tension  $U$  des deux capteurs (figure 1). Il en déduit que le capteur A

- ☐ est plus rapide que le B et a une bande-passante plus grande que le B
- ☐ est plus rapide que le B et a une bande-passante plus petite que le B
- ☐ est plus lent que le B et a une bande-passante plus grande que le B
- ☒ est plus lent que le B et a une bande-passante plus petite que le B

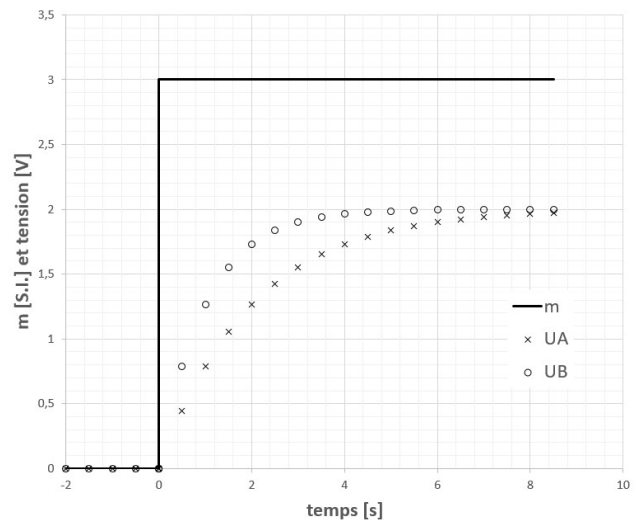


Fig.1. Mesurande  $m$  (en S.I.), tension de sortie du capteur A (UA) et du capteur B (UB) (en volt) en fonction du temps (Q12).

Q13. Soit un capteur résistif dont la résistance  $R$  varie avec le mesurande  $m$  ainsi :  $R = A \cdot m$  où  $A$  s'exprime en  $\Omega$  divisé par l'unité du mesurande en S.I. (unité omise par la suite). Pour le capteur à l'état neuf  $A$  vaut 10 et pour ce même capteur usagé (par exemple après 1 an d'utilisation)  $A$  vaut 5. Avec le capteur usagé ( $A = 5$ ), un utilisateur mesure à l'ohmmètre une résistance de 10  $\Omega$  mais en déduit la valeur du mesurande  $m$  en utilisant la courbe d'étalonnage d'origine (état neuf,  $A = 10$ ). Il fait donc une erreur absolue sur le mesurande, erreur dite d'étalonnage, de (exprimée en unité du mesurande en S.I.)

☐ 0,5      ☒ 1      ☐ 2      ☐ 4  
 valeur vraie de  $m$ :  $m = R/A_{\text{usagé}} = 10/5 = 2$ ; valeur calculée de  $m$ :  $m = R/A_{\text{neuf}} = 10/10 = 1$

Q14. Le capteur de la question 13 est dans l'état usagé. On considère que la courbe d'étalonnage n'évolue pas dans le temps ( $A$  reste constant et vaut 5). Cette erreur d'étalonnage (décrite en Q13) entraîne une  
☐ moins bonne fidélité    ☐ diminution des erreurs systématiques    ☐ diminution des erreurs aléatoires    ☒ moins bonne justesse

#### Capteurs de température (8 points)

Q15. Soit la sonde Pt100 dont la courbe d'étalonnage est  $R(T) = 100(1 + aT)$  [ $\Omega$ ] avec  $a = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ . Si la grandeur électrique mesurée est sa résistance  $R$ , que vaut la sensibilité de ce capteur ?

☒ 0,35  $\Omega/^\circ\text{C}$       ☐  $\approx 3^\circ\text{C}/\Omega$       ☐ 0,35  $^\circ\text{C}^{-1}$       ☐  $\approx 3^\circ\text{C}$

$$S = dR/dT = 100 \text{ ohms} \cdot a \text{ en } ^\circ\text{C}^{-1}$$

RPt100 appelée R: R augmente quand T augmente.

Q16. Une sonde Pt100 est utilisée pour déterminer une température connaissant sa courbe d'étalonnage (rappelée à la question 15). Pour mesurer la résistance de la sonde Pt100 et éviter le phénomène d'emballement thermique, quel circuit préconisez-vous ? (Vous supposerez que les appareils de mesure sont parfaits.)

- ☒ Générateur de tension, ampèremètre et sonde Pt100 : les 3 en série  $PJ = U^2/R \rightarrow T \text{ augmente} \rightarrow R \text{ augmente} \rightarrow PJ \text{ diminue: pas d'emball.}$
- ☐ Générateur de tension, ampèremètre et sonde Pt100 : les 3 en parallèle
- ☒ Générateur de courant, voltmètre et sonde Pt100 : les 3 en série  $PJ = RI^2 \rightarrow T \text{ augmente} \rightarrow R \text{ augmente} \rightarrow PJ \text{ augmente: emballement}$
- ☐ Générateur de courant, voltmètre et sonde Pt100 : les 3 en parallèle

Q17. Soit une CTN dont la résistance a comme expression  $R(T) = R_0 \exp[\beta(1/T - 1/T_0)]$  avec  $R_0 = 5 \text{ k}\Omega$ ,  $T_0 = 300 \text{ K}$  et  $\beta = 1000 \text{ K}$ . Quelle est l'incertitude sur la température mesurée pour une température vraie de  $27^\circ\text{C}$  si la température est directement déduite de la mesure de  $R(T)$  avec un ohmmètre dont l'incertitude sur la résistance vaut  $\pm 0,5\%$  ? (Vous pourrez par exemple calculer dans un 1<sup>er</sup> temps le TCR.)

- ☒  $\approx \pm 0,45^\circ\text{C}$  ☐  $\approx \pm 1 \text{ K}$  ☐  $\approx \pm 0,15^\circ\text{C}$  ☐  $\approx \pm 2 \text{ K}$

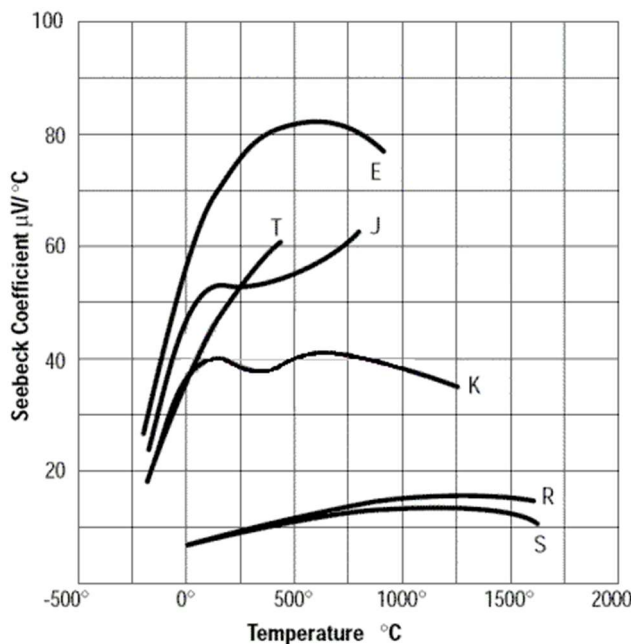


Fig.2. Coefficient Seebeck pour différents thermocouples (Q18).

$$\begin{aligned} \text{TCR}(300\text{K}) &= (1/R(300\text{K})) \cdot (dR/dT) \text{ à } 300\text{K} \\ \rightarrow \Delta T &= (\Delta R/R) / \text{TCR} \\ dR/dT &= R \cdot (-\beta/T^2) \\ \text{TCR}(300\text{K}) &= -\beta/(300 \cdot 300) = -1000/90000 \\ \Delta T &= -(0,5/100) \cdot 90000/1000 \text{ K} = \pm 0,5 \cdot 0,9 \text{ K} \end{aligned}$$

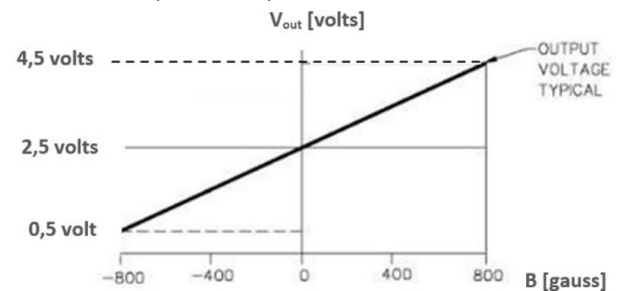


Fig.3. Courbe d'étalonnage d'un capteur de champ magnétique (Q19).

Q18. Soit un thermocouple composé d'un matériau A et d'un matériau B. Vous savez que son type est E, J, K, R, S ou T et cherchez à le déterminer. Pour cela vous placez la jonction A-B à une température de  $0^\circ\text{C}$  et les deux extrémités du thermocouple à une température de  $20^\circ\text{C}$ . Vous mesurez au voltmètre une tension de  $0,75 \text{ mV}$ . Vous répétez l'opération avec cette fois la jonction A-B à  $250^\circ\text{C}$  et les deux extrémités du thermocouple à  $270^\circ\text{C}$ . Vous mesurez alors au voltmètre une tension de  $1,05 \text{ mV}$ . Quel est le type de ce thermocouple ? (Vous pourrez vous servir de la figure 2.)

- ☐ E ☒ T ☐ J ☐ K
- coef Seebeck SAB:  $SAB(\text{autour de } 0^\circ\text{C}) = 750 \text{ microvolt}/20^\circ\text{C} = 37,5 \text{ microvolt}/^\circ\text{C} \rightarrow \text{T ou K}$
- $SAB(\text{autour de } 250^\circ\text{C}) = 1050 \text{ microvolt}/20^\circ\text{C} = 52,5 \text{ microvolt}/^\circ\text{C} \rightarrow \text{T ou J}$
- Capteurs de champ magnétique (8 points)**

Q19. Soit un capteur de champ magnétique dont la courbe d'étalonnage est donnée sur la figure 3. Que vaut B si la tension mesurée est de  $3 \text{ V} \pm 0,1 \text{ V}$  (c'est-à-dire avec une incertitude de mesure) ?

- ☐  $175 \pm 20 \text{ gauss}$  ☒  $200 \pm 40 \text{ gauss}$  ☐  $225 \pm 10 \text{ gauss}$  ☐  $250 \pm 30 \text{ gauss}$
- $V = 2,5 + B/400$  en volt avec B en gauss  $\rightarrow V = 3\text{V}$  alors  $B = 200 \text{ gauss}$  et  $dV/dB = 1/400$

Q20. Soit un capteur à effet Hall donnant la valeur du champ magnétique B à partir de la mesure de la tension  $V_{\text{mes}}$ . Rappelons que  $V_{\text{mes}} = R_H IB/z$  où  $R_H$  est la constante de Hall, I le courant injecté par un générateur de courant dans le matériau et z l'épaisseur du matériau. L'utilisateur souhaite améliorer la sensibilité d'un facteur 4 en modifiant I ( $R_H$  et z inchangés) : on suppose que les variations de température due à la variation de la puissance

en V/gauss

$$\begin{aligned} \Delta B &= \Delta V \cdot 400 \\ &= 0,1 \cdot 400 \\ &= 40 \text{ en gauss} \end{aligned}$$

$$S = dV/dB = R_H \cdot I / z \rightarrow I \text{ est } \times 4 \text{ pour que } S \times 4$$

$$P_{\text{Joule}} = RI^2 \text{ donc } P_{\text{Joule}} \times 16$$

dissipée par effet Joule ne sont pas influentes). Quelle est la conséquence sur la puissance dissipée par effet Joule dans le matériau ? Elle va être augmentée d'un facteur

- ☐ 2 ☐ 4 ☐ 8 ☒ 16

Q21. Quelle doit-être l'unité de  $R_H$  pour que l'équation du capteur à effet Hall  $V_{\text{mes}} = R_H IB/z$  soit homogène en dimension ?

- ☒  $m^3/C$  ☐  $Vm/A$  ☐  $Vm/T$  ☐  $AT/Vm$

$R_H$  en  $Vm/(AT)$  or  $(m/s) \cdot T = (V/m)$  (cf force de Lorentz) donc  $T = Vs/m^2$  donc  $R_H$  en

Q22. La GMR (MagnétoRésistance Géante) est utilisée dans les disques durs pour

- ☐ effacer ☒ lire ☐ écrire ☐ lire, écrire et effacer
- $$Vm \cdot m^2 / (A \cdot Vs) = m^3 / (As) = m^3 / C$$

### Capteurs d'éclairement (6 points)

Q23. Le schéma équivalent *approché* d'une photodiode (exemple de caractéristique : figure 4) dans le 3<sup>ème</sup> quadrant ( $I_D$  et  $V_D$  négatifs) quand la fréquence de l'éclairement tend vers zéro (BF) et quand elle tend vers l'infini (HF) est respectivement

- ☐ BF : générateur de courant, HF : circuit-ouvert ☒ BF : générateur de courant, HF : court-circuit  
☐ BF : résistance, HF : circuit-ouvert ☐ BF : résistance, HF : court-circuit

Q24. Soit la photodiode dont la caractéristique est donnée sur la figure 4. Pour un éclairement  $\phi$  continu constant compris entre 0 et 2  $mW/cm^2$ , quelle est la *meilleure* relation entre  $I_D$  et  $\phi$  dans le 3<sup>ème</sup> quadrant ( $I_D$  et  $V_D$  négatifs) ?

- ☐  $I_D$  indépendant de  $\phi$  ☐  $I_D(mA) \approx -\phi(mW/cm^2)/200$   
☐  $\phi(mW/cm^2)$  indépendant de  $I_D$  ☒  $I_D(mA) \approx -\phi(mW/cm^2)/20$

Par exple pour la carac à  $2mW/cm^2$ :  $2/(-0,1) = 20$

Q25. Soit le circuit de la figure 5 avec  $E = 1,2 V$ ,  $R_{LOAD} = 8 k\Omega$  et une photodiode dont la caractéristique est donnée sur la figure 4. Que vaut l'éclairement si  $V_{\text{mes}} = 0,2 V$  ? (Vous pouvez tracer la droite de charge sur la figure 4 ou vous servir de Q24 ou utiliser une autre méthode.)

en  $mW/(mA \cdot cm^2)$

- ☐  $\approx 0,2 mW/cm^2$  ☒  $\approx 0,5 mW/cm^2$  ☐  $\approx 1,4 mW/cm^2$  ☐  $\approx 1,7 mW/cm^2$

$$I_D = -V_{\text{mes}}/R_{LOAD} = -0,2/8 \text{ en mA et } \phi = -I_D(mA) \cdot 20 \text{ (phi en } mW/cm^2)$$

$$\text{donc } \phi = -(-0,2/8) \cdot 20 = 4/8 = 0,5 mW/cm^2$$

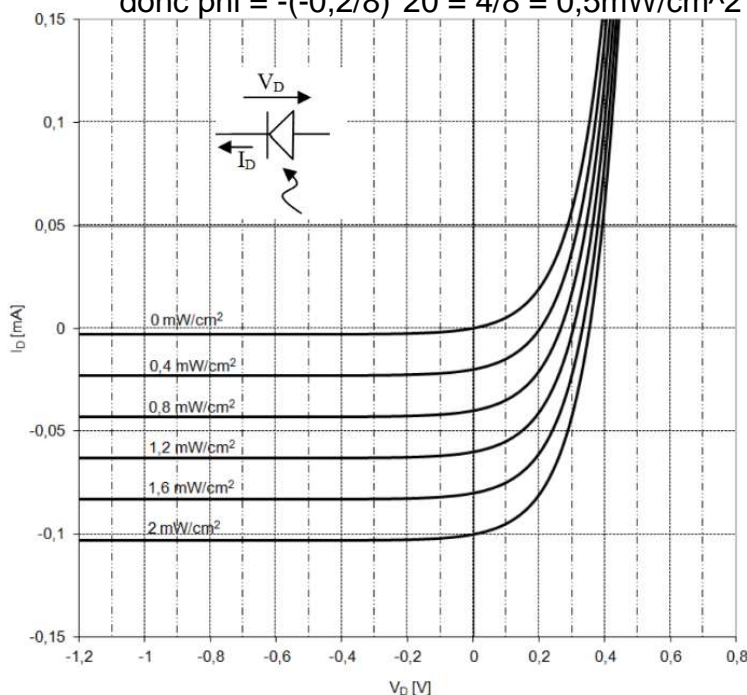


Fig.4.  $I_D(V_D)$  d'une photodiode pour différents éclaircissements (Q23 à Q25).

Autre méthode:

droite de charge:  $E = -R_{LOAD} \cdot I_D - V_D$   
 $\rightarrow I_D = -(E + V_D)/R_{LOAD}$  à tracer

$$E + V_D - V_{\text{mes}} = 0$$

$$\rightarrow V_D = 0,2 - 1,2$$

$$\rightarrow V_D = -1V$$

Placer le point E

$V_D = -1V$  sur la

droite de charge:

correspond à

$$\phi = 0,5 mW/cm^2$$

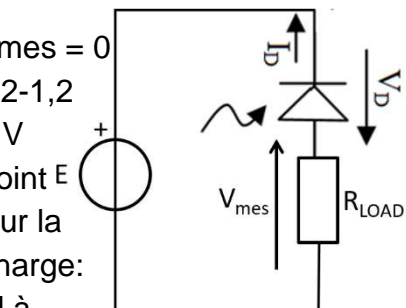


Fig.5. Circuit avec photodiode (Q25).