

ROYAUME DU MAROC

Ministère de l'Éducation Nationale, de l'Enseignement Supérieur,  
de la Formation des Cadres et de la Recherche Scientifique

Présidence du Concours National Commun  
École Hassania des Travaux Publics  
EHTP

Concours National Commun d'admission  
aux Grandes Écoles d'Ingénieurs ou assimilées  
Session 2005

ÉPREUVE DE PHYSIQUE II

Filière **TSI**

Durée 4 heures

Cette épreuve comporte 5 pages au format A4, en plus de cette page de garde  
L'usage de la calculatrice est *autorisé*

**L'énoncé de cette épreuve comporte 5 pages.  
L'usage de la calculatrice est autorisé.**

On veillera à une présentation claire et soignée des copies. Il convient en particulier de rappeler avec précision les références des questions abordées.

Le sujet comporte deux parties *totale*ment indépendantes. Chacune de ces parties traite de divers aspects de la mesure de la température d'un corps.

**1<sup>ère</sup> partie**

**Étude d'un système de mesure de la température d'un liquide**

Pour suivre l'évolution de la température centigrade  $\theta$  d'un liquide, on peut utiliser un capteur de température de contact qui plonge dans ce liquide. Le capteur délivre alors une tension électrique  $u_c$  image de la température  $\theta$ .

On modélise le capteur de température par une source de tension de force électromotrice  $e_c$  proportionnelle à la température centigrade  $\theta$  de l'eau et d'impédance interne réelle  $R_c$ . On peut mettre  $e_c$  sous la forme :

$$e_c = k\theta$$

avec  $k = 10 \text{ mV} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$  la constante de température propre au capteur utilisé. Vu la faible valeur de  $k$ , le signal délivré par le capteur nécessite une *amplification*.

**1.1. Montage amplificateur non inverseur**

**1.1.1. Étude élémentaire**

On considère le montage représenté figure 1. Le montage fonctionne de manière linéaire. On

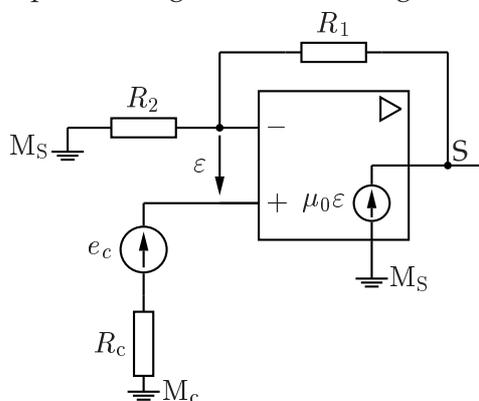


Figure 1: Amplificateur non inverseur.

suppose que l'amplificateur opérationnel est idéal, excepté le défaut d'amplification :  $v_S = \mu_0 \epsilon$ , avec  $\mu_0$  réel et fini.

1.1.1.1. Donner un critère *expérimental* de linéarité d'un système physique ( $\Sigma$ ).

1.1.1.2. Décrire un protocole expérimental simple que l'on pourrait mettre en œuvre pour déterminer si un système physique ( $\Sigma$ ) fonctionne de manière linéaire.

1.1.1.3. Rappeler les propriétés d'un amplificateur opérationnel idéal.

1.1.1.4. Quel est l'ordre de grandeur de  $\mu_0$  pour un amplificateur opérationnel réel du type TL081 ?

1.1.1.5. On suppose que les masses  $M_c$  et  $M_S$  sont identiques. Dans tout le problème on supposera que le potentiel électrique  $V(M_S)$  est nul. Déterminer dans ces conditions l'expression du potentiel électrique  $V_S$ . Quel résultat retrouve-t-on lorsque  $\mu_0$  est choisi infini ?

1.1.2. **Prise en compte de la tension de mode commun**

En réalité dans les conditions de l'expérience, le capteur de température est éloigné de plus d'un mètre de l'amplificateur. Dans ces conditions les potentiels de masse  $V(M_S)$  et  $V(M_c)$  sont différents du fait de diverses perturbations. On modélise l'effet de ces perturbations par une source de tension de force électromotrice  $e_M$  et de résistance interne  $R_M$  (figure 2). On suppose toujours  $V(M_S) = 0$  V.

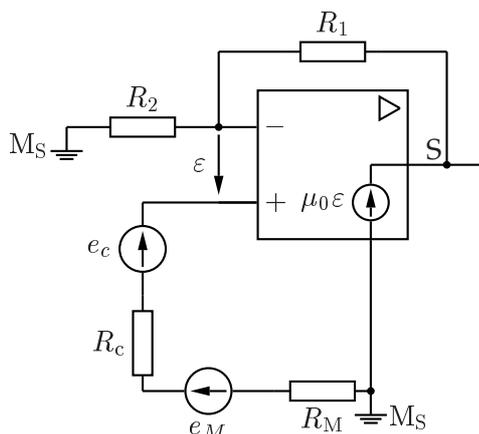


Figure 2: Amplificateur non inverseur avec prise en compte des défauts de masse.

1.1.2.1. Déterminer dans ces conditions la nouvelle expression du potentiel électrique  $V_S$  en fonction de  $e_c$  et de  $e_M$ .

1.1.2.2. Sachant que dans les conditions de l'expérience  $e_M$  est de l'ordre de 50 mV, quel est l'inconvénient majeur du montage amplificateur non inverseur pour mesurer la température ambiante ?

1.2. **Utilisation d'un amplificateur différentiel**

Un amplificateur différentiel (figure 3) est constitué :

- d'une voie amplificatrice inverseuse d'impédance d'entrée infinie et d'amplification en tension  $-A_1$ , dont l'entrée est marquée  $-$  ;
- d'une voie amplificatrice non inverseuse d'impédance d'entrée infinie d'amplification en tension  $A_2$ , dont l'entrée est marquée  $+$  ;
- d'un sommateur idéal qui additionne les tensions fournies par chacune des voies précédentes.

avec  $A_1$  et  $A_2$  des constantes réelles positives.

1.2.1. Donner l'expression de  $v_s$  en fonction de  $v_-$  et  $v_+$ .

1.2.2. On pose  $v_{MC} = \frac{v_+ + v_-}{2}$  et  $v_d = v_+ - v_-$ .

1.2.2.1.  $v_{MC}$  est appelée tension de mode commun. Quel nom peut-on donner à la tension  $v_d$  ? Indiquer un composant fréquemment utilisé en travaux pratiques et qui peut être modélisé comme un amplificateur différentiel.

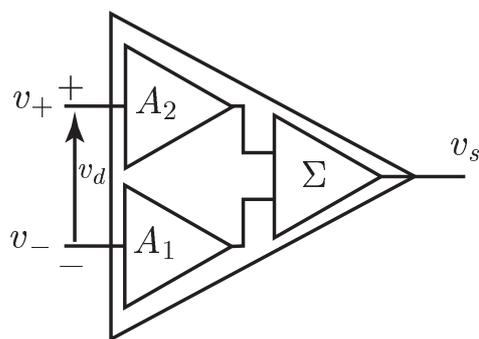


Figure 3: Structure d'un amplificateur différentiel.

1.2.2.2. Montrer que la tension de sortie  $v_s$  de l'amplificateur différentiel peut se mettre sous la forme suivante :

$$v_s = A_d \left( v_d + \frac{1}{\tau_r} v_{MC} \right) \quad (1)$$

Avec  $\tau_r = A_d/A_{MC}$  le taux de rejection en mode commun. On donnera les expressions de  $A_d$  et de  $A_{MC}$  en fonction de  $A_1$  et  $A_2$ .

1.2.2.3. Que valent  $A_d$  et  $A_{MC}$  pour un amplificateur opérationnel idéal ?

1.2.2.4. Le constructeur d'un amplificateur opérationnel TL081 indique que le taux de rejection en mode commun exprimé en décibels vaut 120 dB. Estimer les valeurs respectives de  $A_d$  et  $A_{MC}$  pour cet amplificateur opérationnel.

### 1.2.3. Conditions d'utilisation de l'amplificateur différentiel

Vu de ses bornes d'entrée + et -, l'amplificateur différentiel présente les impédances réelles  $R_d$  et  $R_{MC}$  représentées figure 4. La force électromotrice  $e_M$  provoque l'apparition des tensions  $v_M^+$  à l'entrée + et  $v_M^-$  à l'entrée - du fait des résistances  $R_d$  et  $R_{MC}$ .

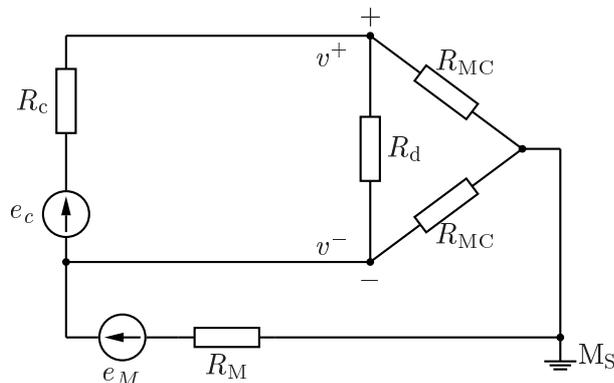


Figure 4: Modélisation de l'effet des impédances d'entrée d'un amplificateur différentiel.

1.2.3.1. Rappeler l'énoncé et les conditions d'application du théorème de superposition des réseaux linéaires.

1.2.3.2. En appliquant le théorème de superposition, exprimer les potentiels  $v_M^+$  et  $v_M^-$ , ayant pour origine la tension  $e_M$ , en fonction de  $e_M$ ,  $Y_M = 1/R_M$ ,  $Y_{MC} = 1/R_{MC}$ ,  $Y_d = 1/R_d$  et  $Y_c = 1/R_c$ .

1.2.3.3. Montrer que si l'on choisit  $R_d$  et  $R_{MC}$  très supérieures à la fois à  $R_c$  et à  $R_M$  alors les potentiels  $v_M^+$  et  $v_M^-$  sont égaux et valent  $e_M$ .

1.2.3.4. De même montrer, lorsque  $R_d$  et  $R_{MC}$  sont très supérieures à la fois à  $R_c$  et à  $R_M$ , que les potentiels  $v_c^+$  (borne d'entrée +) et  $v_c^-$  (borne d'entrée -), ayant pour origine la tension  $e_c$ , sont tels que :

$$v_c^+ - v_c^- = e_c$$

1.2.3.5. Finalement déterminer l'expression de la tension différentielle  $v_+ - v_-$  aux bornes de l'amplificateur différentiel dans les conditions d'utilisation introduites précédemment.

On supposera désormais ces conditions vérifiées dans tout le problème.

1.2.3.6. Donner dans ces conditions les expressions des tensions  $v_d$ ,  $v_{MC}$  et  $v_s$  de l'amplificateur différentiel en fonction de  $e_c$  et  $e_M$ .

1.2.3.7. À quelle condition sur  $\tau_r$  l'influence de la tension de perturbation  $e_M$  est-elle négligeable ?

#### 1.2.4. Amplificateur d'instrumentation INA126

Une réalisation possible de l'amplificateur différentiel précédent est montrée figure 5. Cet amplificateur de mesures (INA126) comporte deux amplificateurs opérationnels supposés idéaux et fonctionnant en régime linéaire. L'amplification en tension différentielle  $A_d$  peut être fixée à l'aide de la résistance extérieure  $R_G$ .

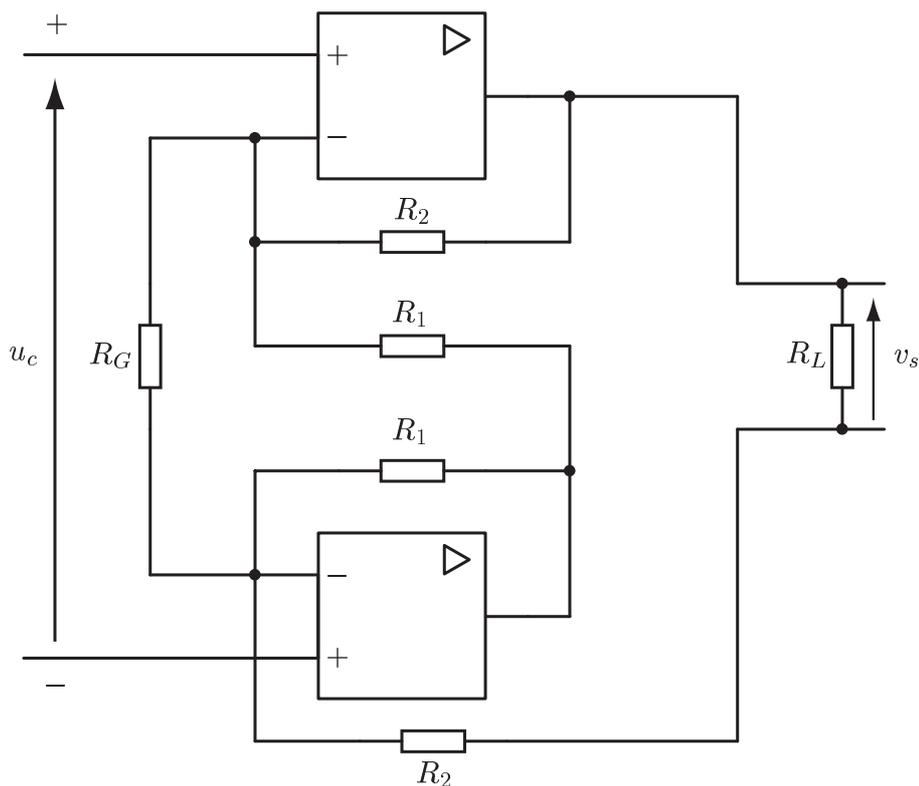


Figure 5: Structure d'un amplificateur différentiel INA126.

1.2.4.1. Déterminer l'expression de la tension  $v_s$  aux bornes de la résistance de charge  $R_L$  en fonction de la tension  $u_c$ . En déduire les expressions de l'amplification différentielle  $A_d$  et de l'amplification de mode commun  $A_{MC}$  en fonction de  $R_1$ ,  $R_2$  et  $R_G$ .

1.2.4.2. Que vaut le taux de rejection  $\tau_r$  pour ce montage ? Que peut-on dire de l'influence de la tension perturbatrice  $e_M$  avec ce montage ?

1.2.4.3. Dédurre des calculs précédents l'expression de la tension  $v_s$  en fonction de la température centigrade  $\theta$ .

1.2.4.4. On donne  $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$  et  $R_2 = 40 \text{ k}\Omega$ . Quelle valeur faut-il donner à  $R_G$  pour obtenir  $A_d = 10$  ? Quelle est alors la valeur numérique de la tension  $v_s$  lorsque  $\theta = 20^\circ \text{C}$  ?

1.2.5. Conclure sur l'intérêt de l'amplificateur différentiel pour la mesure de la température  $\theta$ . On comparera ses performances à celles de l'amplificateur non inverseur.

FIN DE L'ÉPREUVE