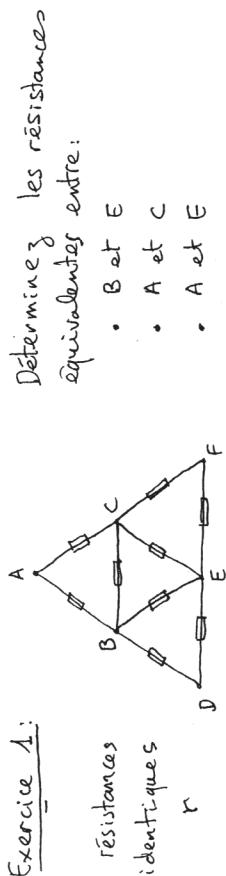
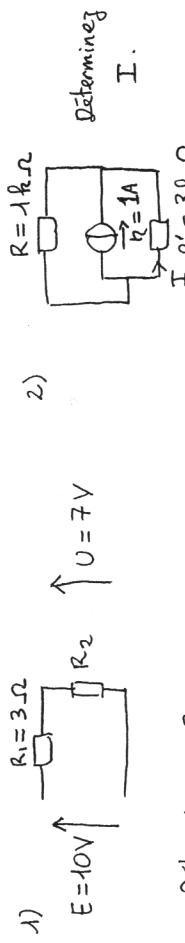


## Dévoir surveillé de Physique

1/10/2005

Exercice 4: On utilisera les montages diviseurs.

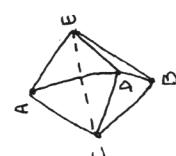


Measures: pour  $r = 1\text{ k}\Omega$  on mesure à l'ohmêtre,  
 $R_{CE} = 829\Omega$ ,  $R_{BC} = 827\Omega$  et  $R_{BE} = 829\Omega$ .  
La précision des résistances est de 5%.

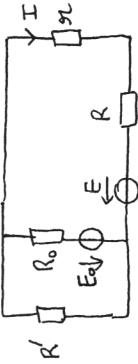
Exercice 2: Bipyramide à base triangulaire, arêtes de résistance  $r$ .

Résistances équivalentes entre :

- 3 • A et B
- 3 • A et C



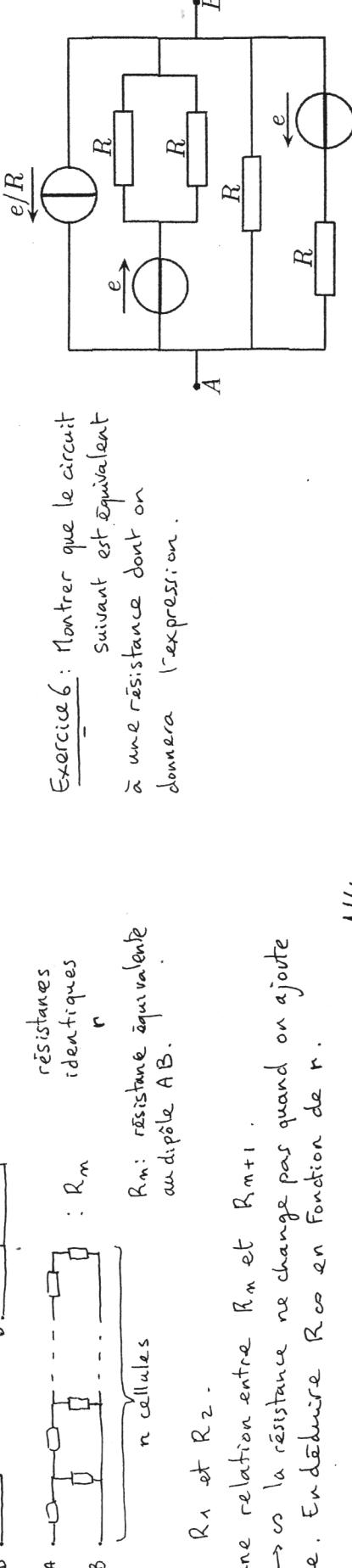
Exercice 5: Soit le circuit suivant :



Déterminer  $I$  en appliquant successivement les méthodes suivantes :

- 1) directe,
- 2) Equivalence Thévenin / Norton,

3) loi des nœuds en terme de Potentiels.



1) Calculer  $R_1$  et  $R_2$ .

2) Donner une relation entre  $R_m$  et  $R_{m+1}$ .

3) Quand  $n \rightarrow \infty$  la résistance ne change pas quand on ajoute une cellule. En déduire  $R_{\infty}$  en fonction de  $n$ .

29

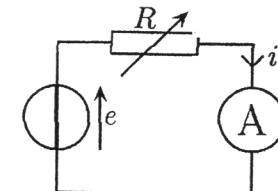
### Problème 1:

### Ampèremètre et Voltmètre réels:

#### 6 1. Ampèremètre:

On considère le montage ci-dessous dans lequel  $R$  est un résistor de résistance variable et  $e > 0$ .

- 1.1. Quelle est l'expression de l'intensité du courant affichée par l'ampèremètre lorsque l'on considère ce dernier idéal ?
- 1.2. On considère maintenant que l'ampèremètre n'est plus idéal mais équivalent à une résistance  $R_e$ . Quelle est l'intensité du courant affichée par l'ampèremètre ?
- 1.3. À partir de quelle valeur  $R_0$  de  $R$  l'intensité affichée par l'ampèremètre diffère-t-elle de moins de 5 % de celui d'un ampèremètre idéal ?

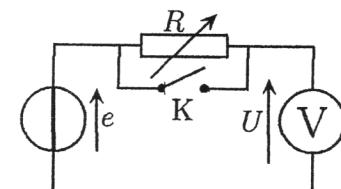


#### 9 2. Voltmètre:

$R$  est une résistance variable et on considère que le voltmètre se comporte comme une résistance  $R'$ .

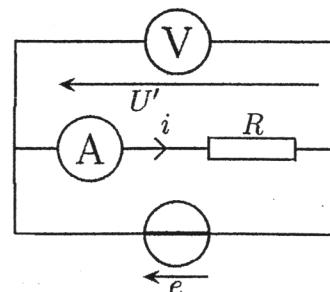
- 2.1. L'interrupteur K est d'abord fermé. Quelle est la tension  $U_0$  affichée par le voltmètre ?
- 2.2. L'interrupteur K est maintenant ouvert.

  2. (a) Pour quelle valeur de  $R$  le voltmètre affiche-t-il  $\frac{U_0}{2}$  ?
  2. (b) En déduire une méthode de détermination de  $R'$ .
  3. (c) Pourquoi arrête-ton plutôt lorsque l'affichage vaut  $\frac{2}{3}U_0$  ou  $\frac{9}{10}U_0$ ? Que vaut alors  $R$  ?

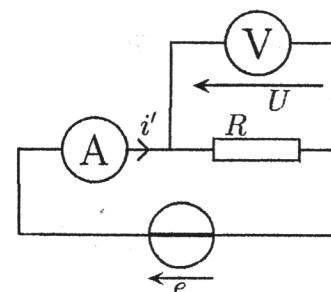


#### 14 3. Courte et longue dérivation:

Pour déterminer la caractéristique (et donc la résistance) d'un résistor, on dispose de deux montages, dits « longue » et « courte dérivation », pour déterminer simultanément la tension  $U_d$  à ses bornes et l'intensité  $i_d$  le traversant. Les deux appareils de mesure ne sont pas considérés comme idéaux.



montage longue dérivation



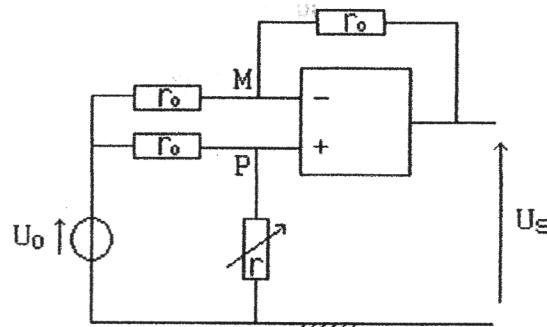
montage courte dérivation

- 3.1. Chacun des deux montages permet de mesurer parfaitement une grandeur et fait une mesure erronée de l'autre grandeur. Attribuer à chaque montage la grandeur parfaitement mesurée et expliquer pourquoi il y a une erreur pour l'autre.
- 3.2. (a) Pour chacun des deux montages, déterminer les valeurs des résistances  $R_{ld}$  et  $R_{cd}$  qui semblent être mesurées en fonction de la résistance  $R$  et des résistances  $R_a$  et  $R_v$  de l'ampèremètre et du voltmètre.
3. (b) En déduire pour quelle plage de valeurs de la résistance  $R$ , chaque montage est le plus adapté.

Problème 2:Mesure d'une pression

Les AO sont idéaux et fonctionnent en régime linéaire.

1) Quand on étudie une onde sonore, on observe que la pression  $P$  de l'air varie autour d'une valeur moyenne constante, et égale à la pression  $P_0$  en l'absence de son. Ces variations sont petites et nous considérerons:  $|\Delta P| \ll P_0$ , avec  $\Delta P = P - P_0$ . Pour mesurer ces variations de pression on utilise un capteur que l'on peut modéliser par une résistance  $r$  variant linéairement avec la pression :  $r = \alpha P$ , où  $\alpha$  est un constante. Prenons ce premier montage:

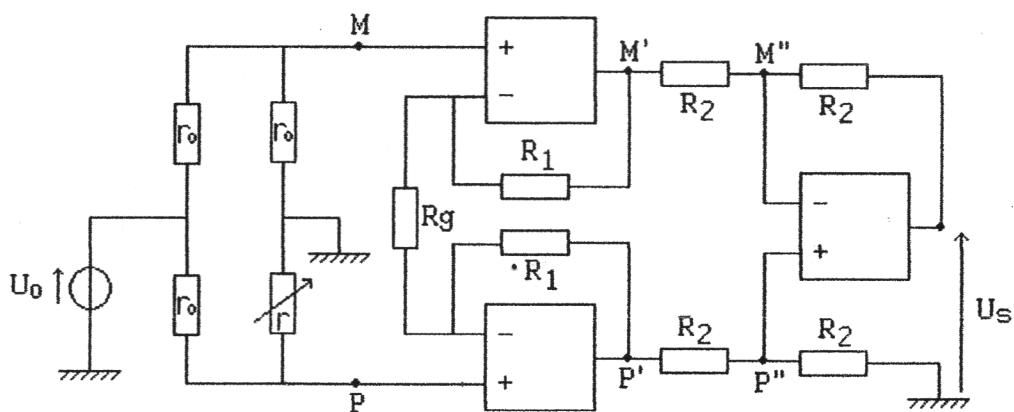


2 a) Calculer les tensions  $U_p$  et  $U_M$  entre les points  $P$  et  $M$  et la masse, puis la tension de sortie  $U_S$  en fonction de la tension  $U_0$  et des résistances  $r$  et  $r_0$ .

1,5 b) Montrer que pour  $r_0 = \alpha P_0$  la tension de sortie est proportionnelle à la surpression  $\Delta P$ .

1 c) Calculer alors la sensibilité de la chaîne de mesure, c'est à dire le rapport entre la tension de sortie et la pression acoustique  $\Delta P$ .

2) On insère maintenant le capteur dans un pont de Wheatstone amplifié:



2 a) Calculer les tensions  $U_p$  et  $U_M$  à l'entrée de l'amplificateur.

3,5 b) Montrer que  $U_{M'P'} = (1 + 2R_1/R_g) U_{MP}$

2 c) Montrer que  $U_S = 2U_{M''} - U_{M'}$  et  $U_{P'} = 2U_{P''}$

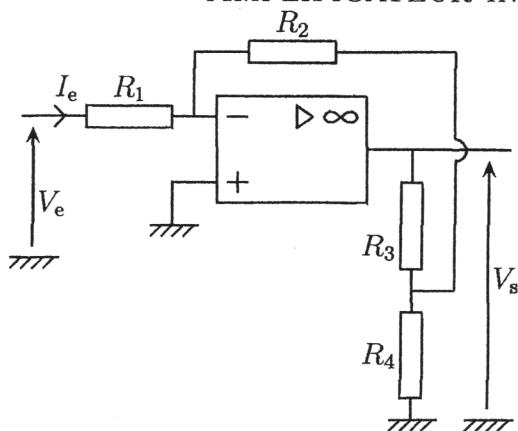
2 d) Calculer la tension de sortie en fonction de  $U_p$ ,  $U_M$ ,  $R_1$ ,  $R_2$  et  $R_g$ .

1 e) Calculer la sensibilité de la chaîne de mesure. Quel est l'intérêt de ce montage par rapport au précédent?

12

Exercice 7:

## AMPLIFICATEUR INVERSEUR MODIFIÉ



- 5
1. Déterminer l'expression du rapport  $\frac{V_s}{V_e}$ .
  2. Déterminer la résistance d'entrée définie par  $R_e = \frac{V_e}{I_e}$ .
  3. Comparer ces résultats avec un inverseur classique.
  4. Faire l'application numérique avec  $R_1 = R_2 = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $R_3 = 1,0 \cdot 10^5 \Omega$ ,  $R_4 = 1,0 \text{ k}\Omega$ .

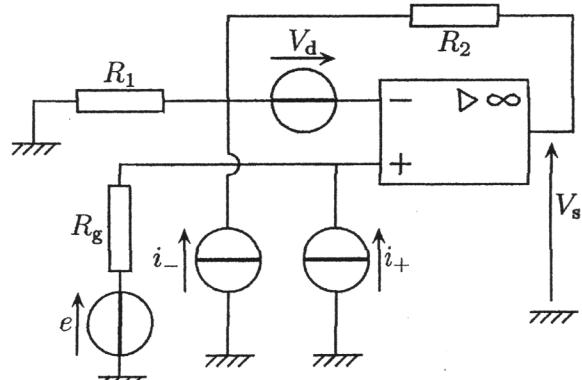
11

Exercice 8: AO NON IDÉAL

Sur le schéma ci-contre, on a modélisé une partie des défauts de l'AO par deux sources de courants pour les courants d'entrée des bornes + et - et par un générateur de tension pour la tension de décalage entre ces mêmes bornes.

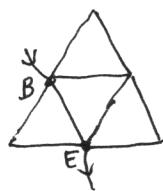
- 6
1. Calculer  $v_s$
  2. Déterminer l'erreur relative commise par rapport à un AO idéal.
  - 3

Données :  $R_g = 50 \Omega$ ;  $i_+ = i_- = 40 \text{ nA}$ ;  $V_d = 40 \text{ mV}$ ;  $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ ;  $R_2 = 1,0 \cdot 10^5 \Omega$ ;  $e = 0,5 \text{ V}$ .



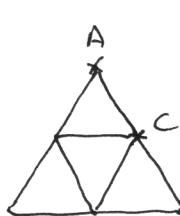
130 pts

DS 1  
Correction

1) B et E:

$$\equiv 2r \xrightarrow{r} \frac{2r}{2r} = \frac{\frac{2}{3}r}{\frac{2}{3}r} = \frac{4/3r}{\frac{2}{3}r} \Rightarrow R_{BE} = \frac{4}{9}r$$

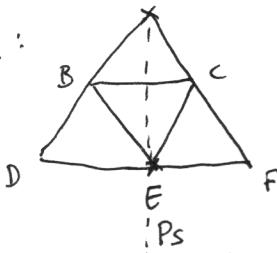
A et C:



$$\equiv \frac{2/3r}{r} = \frac{r}{4/3r} = \frac{r}{r} \Rightarrow r + \frac{4/3}{4/3+1}r = \frac{11}{7}r$$

$$\Rightarrow R_{AC} = \left(\frac{11}{7}r\right) // r = \frac{\frac{11}{7}}{\frac{11}{7}+1}r \Rightarrow R_{AC} = \frac{11}{18}r$$

A et E:



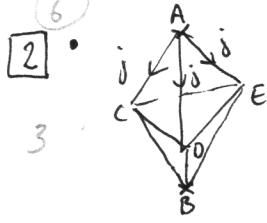
$$Ps \Rightarrow \begin{cases} V_B = V_C \\ V_D = V_F \end{cases} \Rightarrow \text{courant nul sur la branche BC} \Rightarrow \text{on l'enlève}$$

$$G \equiv \frac{r}{2/3r} \parallel \frac{r}{2/3r} \Rightarrow R_{AE} = \frac{5}{6}r$$

3) Résultats  $R_{eq} \approx 828\Omega \approx \frac{5}{6} \times (1k\Omega) = 833\Omega$ , les autres résistances équivalentes  $R_{AC} = \frac{11}{18}r \approx 611\Omega$  et  $R_{BE} = \frac{4}{9}r \approx 444\Omega$  sont éloignées de bien plus de 5% de la valeur mesurée et ne peuvent correspondre. Il ya une erreur d'énoncé, ou l'expérimentateur a commis une erreur grossière! Par symétrie il est logique de trouver  $R_{AE} \approx R_{DC} \approx R_{BF}$  (à 5% près):  $5\% \times 828\Omega \approx 41\Omega \Rightarrow 787\Omega < R_{eq} < 869\Omega$ , la valeur théorique est incluse dans cet intervalle.

Notabéne: Les erreurs d'énoncé ne sont pas rares dans les épreuves officielles. Vous devez alors continuer votre rédaction, en le signalant, et en justifiant votre démarche. L'esprit critique est une qualité fondamentale du scientifique.

6)

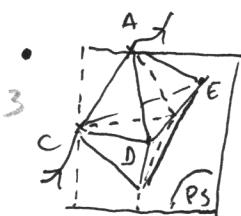


Pb invariant par rotation de  $\frac{2\pi}{3}$  selon AB  $\Rightarrow$  n courant dans

AC, AE et AD

résistances AC, AD et AE retirées.

$$\Rightarrow G \equiv A \xrightarrow{\frac{2r}{2r}} B \Rightarrow R_{AB} = \frac{2}{3}r \quad \text{plus simple: dire [Plan CDE un Pas]}$$



$V_D = V_E \Rightarrow D = E$  pour les potentiels

$$G \equiv C \xrightarrow{r+r/2} D = E \xrightarrow{r+r/2} C \xrightarrow{\frac{1}{2}+\frac{3}{2}r} C \xrightarrow{r/(3/8r + r/2)} C \xrightarrow{\frac{7}{7+1}r} C \Rightarrow R_{AC} = \frac{7}{15}r$$

3) 1)  $R_1 = 2r$ ;  $R_2 = r + r \parallel 2r = r + \frac{2}{3}r \Rightarrow R_2 = \frac{5}{3}r$

2)   $\Rightarrow R_{n+1} = r + r \parallel R_n$   
 3)  $R_{n+1} = r + \frac{rR_n}{r+R_n}$

3) qd  $m \rightarrow +\infty$ :  $R_{n+1} \approx R_n \approx R_\infty \Rightarrow R_\infty = r + \frac{rR_\infty}{r+R_\infty}$

$$\Rightarrow (r+R_\infty)R_\infty = r(r+R_\infty) + rR_\infty \Rightarrow rR_\infty + R_\infty^2 = r^2 + rR_\infty + rR_\infty \\ \Rightarrow R_\infty^2 - rR_\infty - r^2 = 0 \Rightarrow R_\infty = \frac{r \pm \sqrt{r^2 + 4r^2}}{2}$$

3,5)  $R_\infty > 0 \Rightarrow R_\infty = \frac{1 + \sqrt{5}}{2} r$

4) 1)  $U = \frac{R_2}{R_1 + R_2} E \Rightarrow ER_2 = U(R_1 + R_2) \Rightarrow (E-U)R_2 = UR_1$

2)  $\underline{R_2 = \frac{U}{E-U} R_1}$  AN:  $R_2 = 7\Omega$

3)  $I = \frac{R}{R_1 + R_2} (-U)$   $\underline{I = -\frac{R}{R_1 + R_2} U}$  AN:  $I = -\frac{1}{1+3} \times 1$   
 $\Rightarrow I = -0,25 A$

3)  $U = U_2 + U_3$

4)  $U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} (-E)$ ;  $U_3 = \frac{R_3}{R_3 + R_4} E \Rightarrow U = \left( \frac{R_3}{R_3 + R_4} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) E$

$\Rightarrow U = \frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{(R_3 + R_4)(R_1 + R_2)} E$ ;  $U = 0 \Rightarrow R_1 R_3 = R_2 R_4$

(Pont de Wheatstone équilibré)

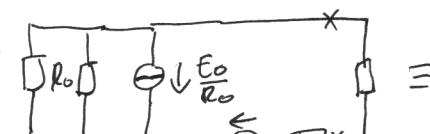
5) 1)   $\begin{cases} -R'_j + R_o(I-j) + E_o = 0 \\ -rI - RI + E - E_o - R_o(I-j) = 0 \end{cases} \quad (1)$

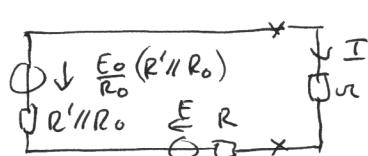
$(1) \Rightarrow j = \frac{E_o + R_o I}{R_o + R'}$   $(2)$

$(2) \Rightarrow -(r+R+R_o)I + E - E_o + \frac{R_o(E_o + R_o I)}{R_o + R'} = 0$

$\Rightarrow (R_o + R')(r + R + R_o)I - R_o^2 I = (E - E_o)(R_o + R') + R_o E_o$

$I = \frac{E(R_o + R') - E_o R'}{(R_o + R')(r + R + R_o) - R_o^2}$

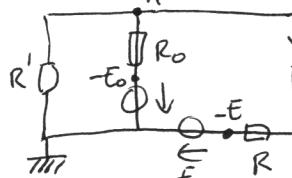
2) 



Loi de Poillef:  
 $I = \frac{E - \frac{E_o}{R_o} (R' \parallel R_o)}{r + R + (R' \parallel R_o)}$

$\Rightarrow I = \frac{E(R' + R_o) - E_o R'}{(r + R)(R' + R_o) + R' R_o}$

idem 1).

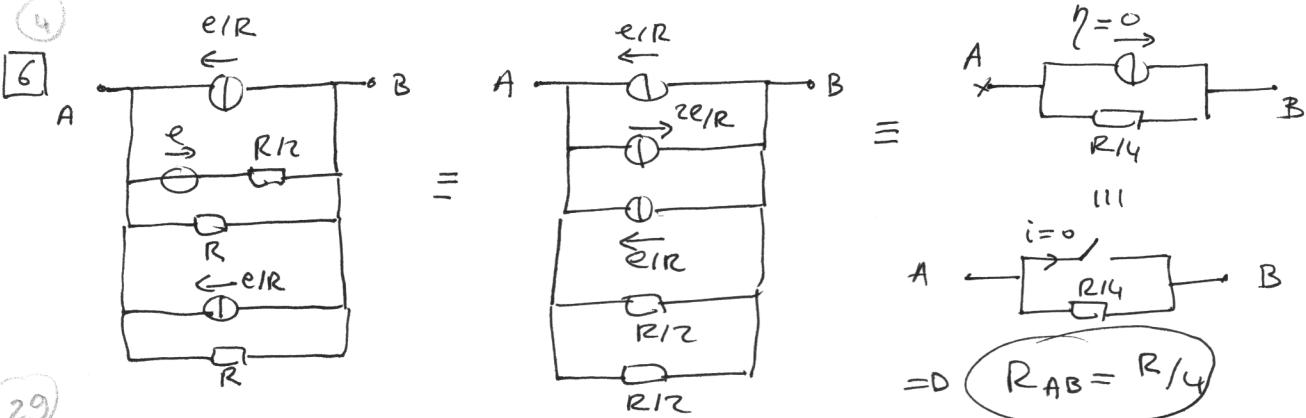
3) 

en A:  $\frac{-E_0 - V_A}{R_0} + \frac{0 - V_A}{R'} - I = 0 ; (V_A - (-E)) = (R + R')I$   
 $V_A = (R + R')I - E$

$- \frac{E_0}{R_0} - \left( \frac{1}{R_0} + \frac{1}{R'} \right) [(R + R')I - E] - I = 0$

$$\Rightarrow -R'E_0 - (R' + R_0)(-E) - (R' + R_0)(R + R')I - IR_0R' = 0$$

$$\Rightarrow I = [E(R' + R_0) - R'E_0] / [(R' + R_0)(R + R') + R_0R'] \quad \text{OK}$$



29) Pb 1) 1.1. Un ampèremètre idéal à une résistance nulle:

1)  $G \equiv \begin{array}{c} R \\ \textcircled{1} e \end{array} \Rightarrow i = \frac{e}{R}$

2)  $1.2. \begin{array}{c} R \\ \textcircled{1} e \end{array} \text{ Loi de Pouillet: } i = e / (R + R_e)$

1.3.  $i_{\text{réel}} < i_{\text{idéal}}$ ,  $i_{\text{réel}} = 95\% i_{\text{idéal}}$  (cas limite où  $R = R_0$ )

3)  $\Rightarrow \frac{e}{R_0 + R_e} = 0,95 \frac{e}{R_0} \Rightarrow R_0 = 0,95(R_0 + R_e) \Rightarrow \boxed{R_0 = \frac{R_e}{0,05} = 20R_e}$   
 $\Rightarrow R$  doit être supérieur à  $20R_e$ .

2) 2.1.  $R$  court-circuitté  $\Rightarrow G \equiv$

2)  $\begin{array}{c} R \\ \textcircled{1} e \end{array} \Rightarrow U_0 = e$

Diviseur de tension  $\Rightarrow U = \frac{R'}{R + R'} e$

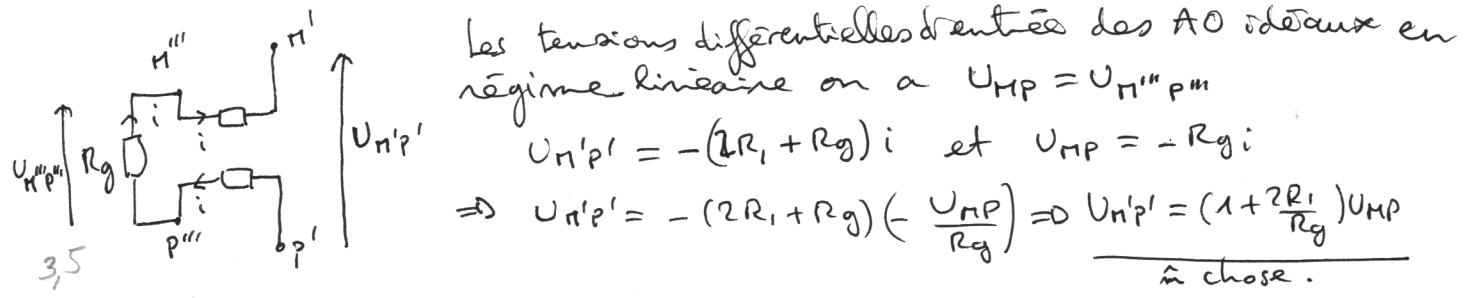
Pour  $R = R'$  on a  $U = \frac{1}{2} e = \frac{1}{2} U_0$

2) (b) On fait varier  $R$  lorsque  $U$  est la moitié de la tension mesurée à vide on a  $R = R'$ .

3) (c)  $R'$  est très grande, on possède en général de résistances variables de plus petites valeurs. si:  $U = k U_0 \Rightarrow \frac{R'}{R + R'} = k \Rightarrow R' = \frac{k}{1-k} R$

si:  $U = \frac{2}{3} U_0 \Rightarrow R' = 2R$

si:  $U = \frac{9}{10} U_0 \Rightarrow R' = 9R$



c) en  $n''$ :  $\frac{U_{n'} - U_{M''}}{R_2} + \frac{U_S - U_{n''}}{R_2} = 0 \Rightarrow 2U_{n''} = U_{n'} + U_S \text{ soit: } U_S = 2U_{n''} - U_{n'}$

d) en  $p''$ :  $\frac{U_{p'} - U_{p''}}{R_2} + \frac{0 - U_{p''}}{R_2} = 0 \Rightarrow U_{p'} = 2U_{p''}$

d)  $U_{n''} = U_{p''} \Rightarrow U_S = 2U_{p''} - U_{n'} = U_{p'} - U_{n'} = -(1 + 2R_1/R_g)(U_n - U_p)$

e)  $\Rightarrow U_S = -(1 + 2R_1/R_g) \left( \frac{1}{2} - \frac{r_o}{r_o + r} \right) U_o = -(1 + 2R_1/R_g) \frac{r_o - r}{r_o + r} \frac{U_o}{2}$

1  $\Rightarrow U_S = (1 + 2\frac{R_1}{R_g}) \frac{\Delta P}{2P_0} \frac{U_o}{2} \Rightarrow \frac{U_S}{\Delta P} = (1 + 2\frac{R_1}{R_g}) \frac{U_o}{4P_0}$

Avec  $R_1$  grand devant  $R_g$ , on augmente la sensibilité par rapport au premier montage.

12) Potentiel  $V$  au nœud entre  $R_3$  et  $R_4$ .  $V_{E-} = V_{E+} = 0$

{ en  $E^-$ :  $\frac{V_e - 0}{R_1} + \frac{V - 0}{R_2} = 0 \Rightarrow V = -\frac{R_2}{R_1} V_e$

{ en  $A$ :  $\frac{0 - V}{R_2} + \frac{V_s - V}{R_3} + \frac{0 - V}{R_4} = 0 \Rightarrow \frac{V_s}{R_3} = \left( \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \right) \left( -\frac{R_2}{R_1} V_e \right)$

5  $\Rightarrow \frac{V_s}{V_e} = -\left( \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \right) \frac{R_2 R_3}{R_1} \Rightarrow G = \frac{V_s}{V_e} = -\frac{R_3 R_4 + R_2 R_4 + R_2 R_3}{R_1 R_4}$

2.  $V_e = R_1 I_e \Rightarrow R_e = R_1$

3. Inverseur classique:  $\frac{V_s}{V_e} = -\frac{R_2}{R_1}$  ici  $\frac{V_s}{V_e} = -\frac{R_2}{R_1} \left( 1 + \frac{R_3}{R_2} + \frac{R_3}{R_4} \right)$

3 on a aussi  $R_e = R_1$

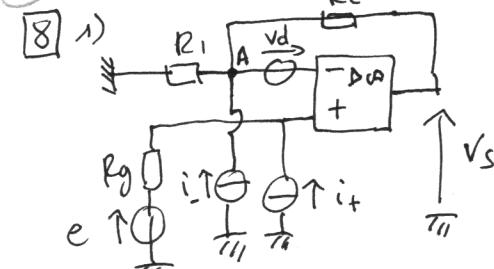
4.  $\frac{V_s}{V_e} = -\frac{10^8 + 10^7 + 10^9}{10^7} \approx -111 = G$  { inverseur classique:

2  $R_e = 10 k\Omega$

11)  $\frac{V_s}{V_e} = -\frac{10^8 + 10^7 + 10^9}{10^7} \approx -111 = G$  { inverseur classique:

$\frac{V_s}{V_e} = -1$

$R_e = 10 k\Omega$



$V_+ = V_- = V$   $V - V_A = V_d \Rightarrow V_A = V - V_d$

en  $E^+$ :  $i_+ + \frac{e - V}{R_g} = 0$  en  $A$ :  $\frac{0 - V_A}{R_1} + \frac{V_s - V_A}{R_2} + i_- = 0$

$$\Rightarrow e - V = -i_+ R_g \Rightarrow V_A \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) - i_- = \frac{V_s}{R_2}$$

$$\Rightarrow V = e + i_+ R_g \Rightarrow V_s = \left( \frac{R_2}{R_1} + 1 \right) (e + i_+ R_g - V_d) - R_2 i_-$$

$\Rightarrow V_s = \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) (e + i_+ R_g - V_d) - R_2 i_-$

2) AO idéal, montage non inverseur:  $V_{S_{ID}} = \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) e$

3)  $\left| \frac{V_s - V_{S_{ID}}}{V_{S_{ID}}} \right| = \left| \frac{\left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) (e + R_g - V_d) - R_2 i_-}{\left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) e} \right| = 0,081$

erreur relative de 8,1%  
(plus la tension d'entrée est faible plus les défauts apparaissent)

14

3.1 longue dérivation:

 $i = id$  est correctement mesuré. $U' = U_d + U_A$ ;  $U'$  diffère de la valeur réelle par la chute de tension aux bornes de l'ampermètre.3 courte dérivation:  $i' = id + i_V$ ,  $i'$  diffère de la valeur réelle par le courant ponctionné par le voltmètre. $U = U_d$ : mesure correcte.

$$3.2.(a) R_{ld} = \frac{U'}{i}$$

(b) quelle est la valeur limite de  $R$  où les deux méthodes commettent le même erreur?  
 Soit:  $\Delta R = R_a \Rightarrow c.d.: R - R_{ld}(R_a + R_v) = R_a \Rightarrow R_{ld} = \frac{R_a}{R_a + R_v + R_a}$   
 Et:  $R^2 - R_a R - R_a R_v = 0 \Rightarrow R_{ld,m} = \frac{R_a}{R_a + \sqrt{R_a^2 + 4R_a R_v}}$   
 Si:  $R_v \gg R_a \Rightarrow R_{ld,m} \approx R_a$

$$U = \frac{R}{R+R_a} U' \Rightarrow R_{ld} = \frac{R+R_a}{R} U \frac{1}{i}$$

$$i = \frac{R_v}{R+R_v} i' \Rightarrow R_{cd} = \frac{U}{i} \frac{R_v}{R+R_v}$$

$$\Rightarrow R_{cd} = \frac{R R_v}{R+R_v} = R // R_v < R$$

3.2.(b)

Si:  $R$  faible  $\Rightarrow R_{cd} \approx \frac{R R_v}{R_v} \Rightarrow R_{cd} \approx R$  (on a  $i \approx i'$  car  $R_v \gg R$ )  
 $\Rightarrow$  Le montage courte dérivation est le plus adapté pour une résistance faible

Si:  $R$  grand  $\Rightarrow R_{ld} \approx R$  (on a  $U' \approx U$  car  $R \gg R_a$ )

$\Rightarrow$  Le montage longue dérivation est le plus adapté pour une résistance grande

Pb2

$$1) \Delta P = P - P_0; r = \alpha P$$

25 a) Loi des noeuds entre nœuds de potentiels en M:  $\frac{U_s - U_M}{r_0} + \frac{U_o - U_M}{r_0} - i_- = 0$

3 A0 idéal  $\Rightarrow i_- = 0$  &  $i_+ = 0$

$$\Rightarrow U_M = \frac{1}{2} (U_o + U_s)$$

en P:  $\frac{U_o - U_P}{r_0} + \frac{0 - U_P}{r} = 0 \Rightarrow U_P \left( \frac{1}{r} + \frac{1}{r_0} \right) = \frac{U_o}{r_0}$

$$\Rightarrow U_P = \frac{r}{r+r_0} U_o$$

$$\text{imp: } U_P = U_P - V_{M,base} = V_P \text{ et } U_M = V_M - V_{M,base} = V_M$$

2 A0 idéal  $\Rightarrow \varepsilon = 0 \Rightarrow U_P = V_T = V = U_M \Rightarrow \frac{1}{2} (U_o + U_s) = \frac{r}{r+r_0} U_o$

2  $\Rightarrow U_s = \left( \frac{2r}{r+r_0} - 1 \right) U_o \Rightarrow U_s = \frac{r-r_0}{r+r_0} U_o$

b) si:  $r_0 = \alpha P_0$

1,5  $\Rightarrow U_s = \frac{\alpha P - \alpha P_0}{\alpha P + \alpha P_0} U_o = \frac{\Delta P}{P + P_0} U_o, P \gg \Delta P \Rightarrow P \approx P_0 \Rightarrow U_s = \left( \frac{U_o}{2P_0} \right) \Delta P$

Coefficient de proportionnalité:  $U_o / 2P_0$

c)  $\boxed{\frac{U_s}{\Delta P} = \frac{U_o}{2P_0}}$

2) a)  $\frac{0 - U_P}{r} + \frac{U_o - U_P}{r_0} = 0 \Rightarrow U_P \left( \frac{1}{r} + \frac{1}{r_0} \right) = \frac{U_o}{r_0} \Rightarrow U_P = \frac{r}{r+r_0} U_o$

2  $\frac{0 - U_M}{r_0} + \frac{U_o - U_M}{r_0} = 0 \Rightarrow U_M = U_o / 2$

b) courant d'entrée des A0 nuls  $\Rightarrow$  un courant qui traverse  $R_1$ ,  $R_g$  puis  $R_1$  de P à  $N'$ .