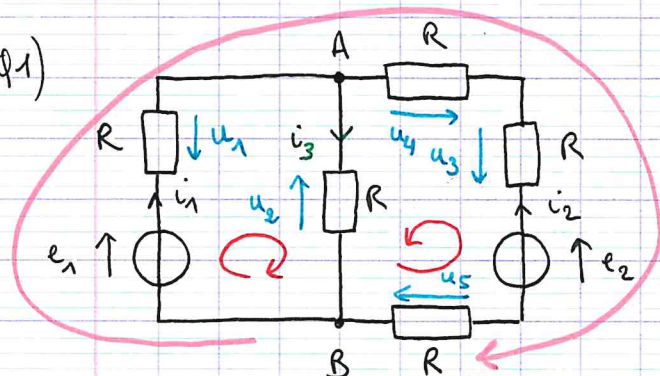


Corrigé du TDE1

EX1 - Lois de Kirchhoff

Q1)



Première étape: placer les nœuds, les nouveaux courants, les flèches de tension $u_1, \dots, u_4$ et l'orientation des mailles.

LDM (en A ou en B): $i_1 + i_2 - i_3 = 0 \Leftrightarrow i_1 + i_2 = i_3$ (1)

LDM $\curvearrowright$: $e_1 - u_1 - u_2 = 0 \Leftrightarrow e_1 = u_1 + u_2$ (2)

LDM $\curvearrowright$: $e_2 - u_2 - u_3 - u_4 - u_5 = 0 \Leftrightarrow e_2 = u_2 + u_3 + u_4 + u_5$ (3)

LDM $\curvearrowright$: $e_1 - u_1 + u_4 + u_3 - e_2 + u_5 = 0$ (4)

Lois d'ohm: $\frac{u_1}{R} = i_1$ $\frac{u_3}{R} = i_2$ $u_5 = R i_2$
 $\frac{u_2}{R} = i_3$ $\frac{u_4}{R} = i_2$

On en déduit que $u_3 = u_4 = u_5$.

(3): $e_2 = R i_3 + 3 R i_2$

(2): $e_1 = R i_1 + R i_3 \Leftrightarrow i_3 = \frac{e_1 - R i_1}{R} \Leftrightarrow i_3 = \frac{e_1}{R} - i_1$

(1): $i_3 = i_1 + i_2$

Donc dans (3): $e_2 = e_1 - R i_1 + 3 R i_2$

Et en injectant (1) dans (2): $e_1 = R i_1 + R i_1 + R i_2$

Finalement, on obtient le système:

$$\begin{cases} e_2 = e_1 - R i_1 + 3 R i_2 & (1)' \\ e_1 = 2 R i_1 + R i_2 & (2)' \end{cases}$$

2 eq., 2 inconnues on peut résoudre. On se rend compte que l'équation (4) ne nous aura servi à rien par le chemin que nous avons emprunté.

$$(2)': i_2 = \frac{e_1 - 2Ri_1}{R} \Leftrightarrow i_2 = \frac{e_1}{R} - 2i_1$$

$$(1)': e_2 = e_1 - Ri_1 + 3e_1 - 6Ri_1$$

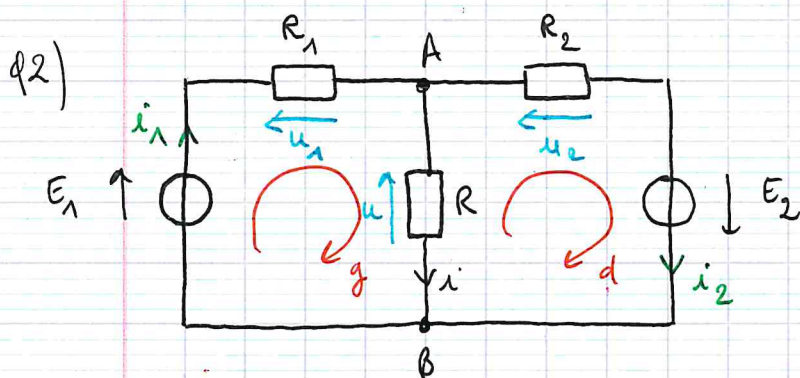
$$\Leftrightarrow 7Ri_1 = 4e_1 - e_2$$

$$\Leftrightarrow i_1 = \frac{4e_1 - e_2}{7R}$$

$$\text{Et donc } i_2 = \frac{e_1}{R} - \left(\frac{8e_1 - 2e_2}{7R} \right)$$

$$\Leftrightarrow i_2 = \frac{7e_1 - 8e_1 + 2e_2}{7R}$$

$$\Leftrightarrow i_2 = \frac{2e_2 - e_1}{7R}$$



$$\text{LDN en A: } i_1 - i - i_2 = 0 \Leftrightarrow i = i_1 - i_2 \quad (1)$$

$$\text{LDM } \textcircled{2}_g: E_1 - u_1 - u = 0 \Leftrightarrow E_1 = u_1 + u \quad (2)$$

$$\text{LDM } \textcircled{2}_d: E_2 + u - u_2 = 0 \Leftrightarrow E_2 = u_2 - u \quad (3)$$

$$\text{Lois d'ohm: } u_1 = R_1 i_1 \quad (4) \quad u_2 = R_2 i_2 \quad (6)$$

$$u = Ri \quad (5)$$

$$(1): i = i_1 - i_2 \quad \left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} (4) \text{ et } (6)$$

$$\Leftrightarrow i = \frac{u_1}{R_1} - \frac{u_2}{R_2}$$

$$\text{Or } \frac{(2)}{R_1} - \frac{(3)}{R_2}: \frac{E_1}{R_1} - \frac{E_2}{R_2} = \frac{u_1}{R_1} - \frac{u_2}{R_2} + \frac{u}{R_1} + \frac{u}{R_2}$$

Et (S): $u = Ri'$ d'où $\frac{E_1}{R_1} - \frac{E_2}{R_2} = \frac{u_1}{R_1} - \frac{u_2}{R_2} + R \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) i$

$\Leftrightarrow \frac{u_1}{R_1} - \frac{u_2}{R_2} = \frac{E_1}{R_1} - \frac{E_2}{R_2} - R \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) i$

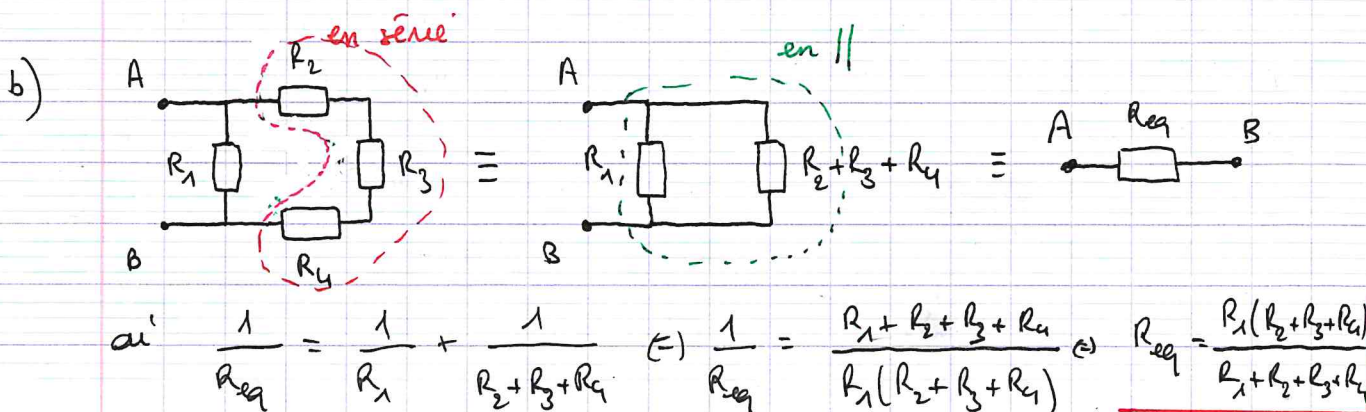
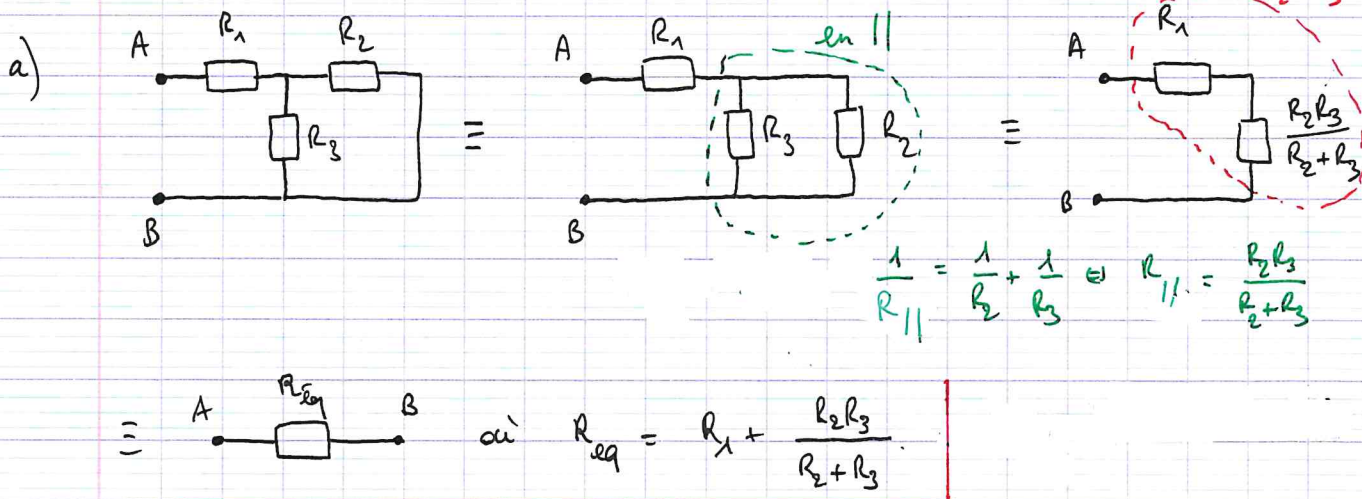
D'où $i \left(1 + R \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \right) = \frac{E_1}{R_1} - \frac{E_2}{R_2}$

$\Leftrightarrow i \left(1 + \frac{RR_1 + RR_2}{R_1 R_2} \right) = \frac{E_1 R_2 - E_2 R_1}{R_1 R_2}$

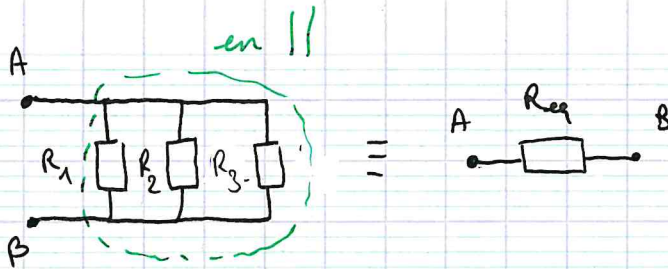
$\Leftrightarrow i \left(\frac{R_1 R_2 + RR_1 + RR_2}{R_1 R_2} \right) = \frac{E_1 R_2 - E_2 R_1}{R_1 R_2}$

$\Rightarrow i = \frac{E_1 R_2 - E_2 R_1}{R_1 R_2 + RR_1 + RR_2}$

EX2 - Association de résistances



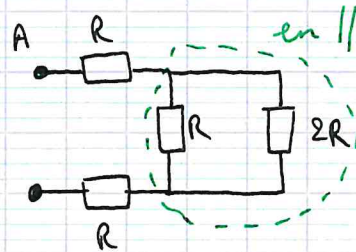
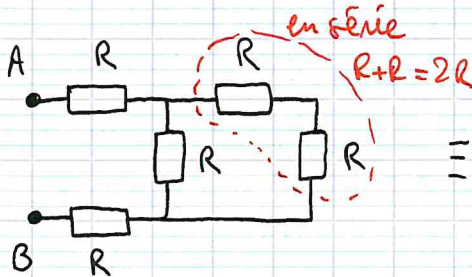
c)



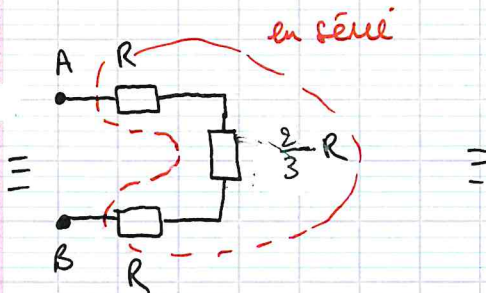
$$\text{ou} \quad \frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \Leftrightarrow \frac{1}{R_{eq}} = \frac{R_2 R_3 + R_1 R_3 + R_1 R_2}{R_1 R_2 R_3}$$

$$\Leftrightarrow R_{eq} = \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}$$

d)

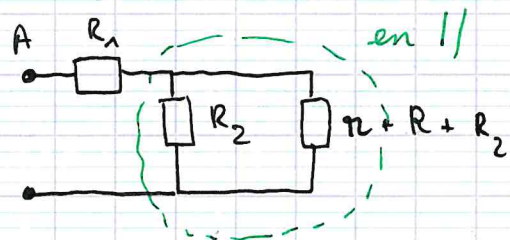
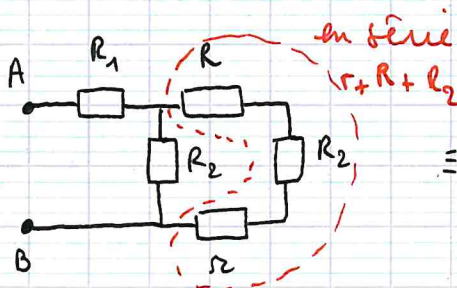


$$\frac{1}{R_{||}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{2R} = \frac{3}{2R} \Rightarrow R_{||} = \frac{2}{3}R$$

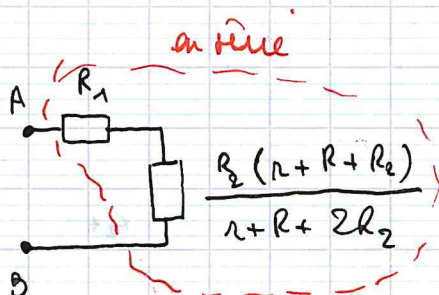


$$R_{eq} = 2R + \frac{2}{3}R \Rightarrow R_{eq} = \frac{8}{3}R$$

e)



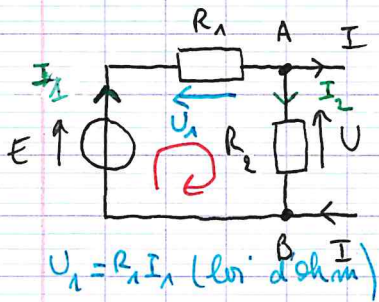
$$\frac{1}{R_{||}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{r+R+R_2} = \frac{r+R+2R_2}{(r+R+R_2)R_2} \Rightarrow R_{||} = \frac{R_2(r+R+R_2)}{r+R+2R_2}$$



$$\Leftrightarrow R_{eq} = R_1 + \frac{R_2(r+R+R_2)}{r+R+2R_2}$$

EX3 - Diviseurs de tension et diviseurs de courant

- a) R_1 et R_2 sont en série. D'après le pont diviseur de tension: $U = \frac{R_2}{R_1 + R_2} E$
- b) R_1 et R_2 sont en // . D'après le pont diviseur de courant: $I = \frac{G_2}{G_1 + G_2} I_0$
avec $G_1 = \frac{1}{R_1}$ et $G_2 = \frac{1}{R_2}$.
- c) R_1 et R_2 ne sont pas en série, on ne peut pas appliquer un pont diviseur de tension. Il faut donc utiliser les lois de Kirchhoff:



$$\text{LDM: } E - U_1 - U = 0 \Rightarrow U = E - R_1 I_1 \quad (1)$$

$$\text{LDM en A: } \frac{I_1}{1} - \frac{I_2}{2} - I = 0 \Rightarrow I_2 = I_1 - I \quad (2)$$

$$\text{Or } U = R_2 I_2 \quad (3)$$

$$\Rightarrow U = R_2 (I_1 - I)$$

$$\Rightarrow U = R_2 I_1 - R_2 I$$

$$\text{Or } \frac{I_1}{1} = \frac{E - U}{R_1} \text{ d'après (1).}$$

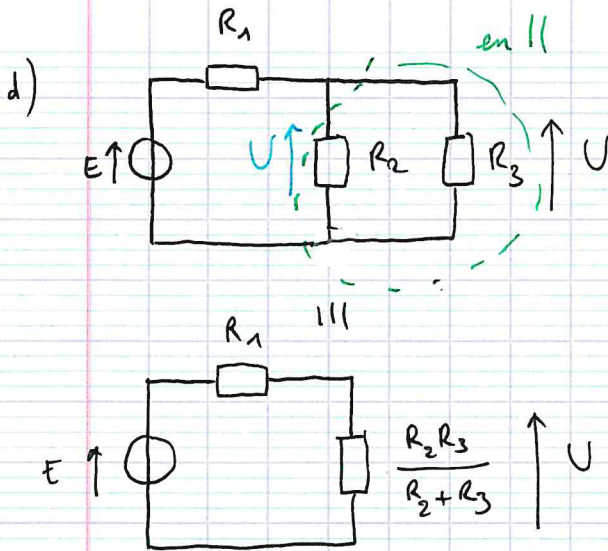
$$\text{D'où } U = \frac{R_2 (E - U)}{R_1} - R_2 I$$

$$\Rightarrow U \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) = \frac{R_2}{R_1} E - R_2 I$$

$$\Rightarrow U \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1} \right) = \frac{R_2}{R_1} E - R_2 I$$

$$\Rightarrow U = \frac{R_2}{R_1 + R_2} E - \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} I$$

Remarque: Si $I = 0$, alors on retrouve bien la formule du pont diviseur de tension



$$\frac{1}{R_{||}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{R_2 + R_3}{R_2 R_3}$$

$$\text{donc } R_{||} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}$$

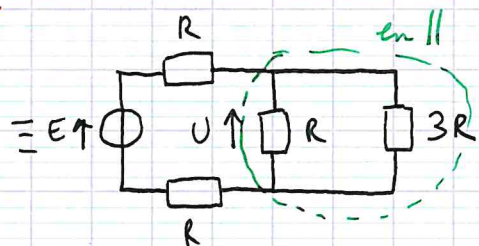
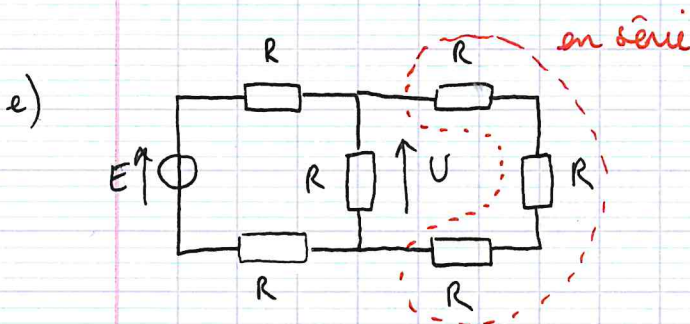
Les résistances R_1 et $\frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}$ sont placées en série, donc d'après le pont diviseur $R_2 + R_3$ de tension, il vient :

$$U = \frac{\frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}}{R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}} E$$

$$\Leftrightarrow U = \frac{\frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}}{\frac{R_1(R_2 + R_3) + R_2 R_3}{R_2 + R_3}} E$$

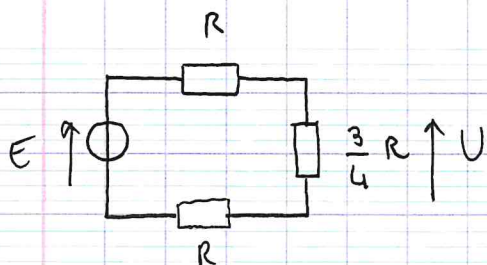
$$\Leftrightarrow U = \frac{R_2 R_3}{\cancel{R_2 + R_3}} \times \frac{\cancel{R_2 + R_3}}{R_1(R_2 + R_3) + R_2 R_3} E$$

$$\Leftrightarrow U = \frac{R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3} E$$



$$\frac{1}{R_{||}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{3R} = \frac{4}{3R}$$

$$\Rightarrow R_{||} = \frac{3}{4} R$$



Les résistances R (en haut), $\frac{3}{4}R$ et R (en bas) sont en série, donc d'après le pont diviseur de tension:

$$U = \frac{\frac{3}{4}R}{R + \frac{3}{4}R + R} E$$

$$\Leftrightarrow U = \frac{\frac{3}{4}}{2 + \frac{3}{4}} E$$

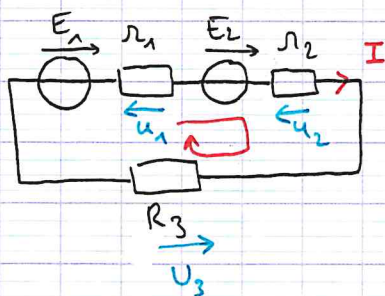
$$\Leftrightarrow U = \frac{3/4}{11/4} E$$

$$\Leftrightarrow U = \frac{3}{11} E$$

$$2 + \frac{3}{4} = \frac{8}{4} + \frac{3}{4} = \frac{11}{4}$$

EX4 - Association de générateurs

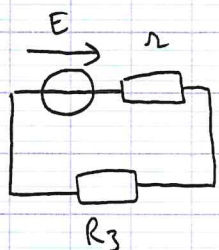
Q1)



LDM: $E_1 - u_1 + E_2 - u_2 - u_3 = 0$
 $\Leftrightarrow E_1 + E_2 = (r_1 + r_2 + R_3) I$

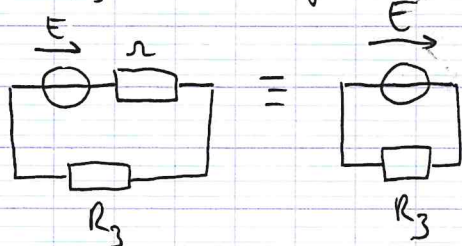
D'où $I = \frac{E_1 + E_2}{r_1 + r_2 + R_3}$

Q2)



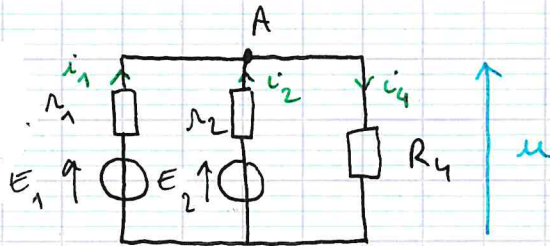
avec $E = E_1 + E_2$ et $r = r_1 + r_2$.

Lorsque $r_1 = r_2 = 0$ alors $r = 0$ et le générateur devient idéal. Alors:



Q3) On peut tout à fait brancher deux générateurs de tension en série, qu'ils soient idéaux ou réels ($r \neq 0$)

Q4)



Q5) LON en A: $i_1 + i_2 - i_4 = 0$ (1)

- Branche contenant e_1 : $u = E_1 - r_1 i_1$ (2)

- Branche contenant e_2 : $u = E_2 - r_2 i_2$ (3)

- Branche contenant R_4 : $u = R_4 i_4$ (4)

(4): $u = R_4 i_4$
 $\Rightarrow u = R_4 (i_1 + i_2)$ (1)

Or $i_1 = \frac{E_1 - u}{r_1}$ et $i_2 = \frac{E_2 - u}{r_2}$ d'où:

$$u = R_4 \left(\frac{E_1 - u}{r_1} + \frac{E_2 - u}{r_2} \right)$$

$$\Rightarrow u \left(1 + \frac{R_4}{r_1} + \frac{R_4}{r_2} \right) = R_4 \left(\frac{E_1}{r_1} + \frac{E_2}{r_2} \right)$$

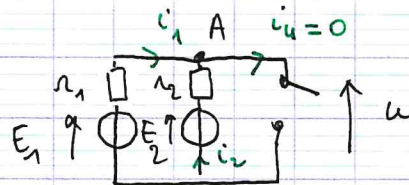
$$\Rightarrow u \left(1 + \frac{R_4(r_2 + r_1)}{r_1 r_2} \right) = R_4 \left(\frac{E_1 r_2 + E_2 r_1}{r_1 r_2} \right)$$

$$\Rightarrow u \times \left(\frac{r_1 r_2 + R_4(r_2 + r_1)}{\cancel{r_1 r_2}} \right) = R_4 \left(\frac{E_1 r_2 + E_2 r_1}{\cancel{r_1 r_2}} \right)$$

$$\Rightarrow u = \frac{R_4 (E_1 r_2 + E_2 r_1)}{R_4 (r_1 + r_2) + r_1 r_2}$$

Et $i_1 = \frac{E_1 - u}{r_1}$, $i_2 = \frac{E_2 - u}{r_2}$ en remplaçant u par son expression.

Q6) En débranchant R_4 , tout se passe comme si on mettait à sa place un interrupteur ouvert.



$$\text{En A: } i_1 + i_2 = 0$$

$$\text{On sait que } u = \frac{R_4 (E_1 r_2 + E_2 r_1)}{R_4 (r_1 + r_2) + r_1 r_2}$$

$$\Rightarrow u = \frac{R_4 (E_1 r_2 + E_2 r_1)}{R_4 (r_1 + r_2) + \frac{r_1 r_2}{R_4}}$$

$$\Rightarrow u = \frac{E_1 r_2 + E_2 r_1}{r_1 + r_2}$$

$$\text{Et donc } i_1 = \frac{E_1 - u}{r_1} = \frac{E_1}{r_1} - \left(\frac{E_1 r_2 + E_2 r_1}{r_1 (r_1 + r_2)} \right)$$

$$\Rightarrow i_1 = \frac{E_1 (r_1 + r_2) - E_1 r_2 - E_2 r_1}{r_1 (r_1 + r_2)}$$

$$\Rightarrow i_1 = \frac{E_1 r_1 + \cancel{E_1 r_2} - \cancel{E_1 r_2} - E_2 r_1}{r_1 (r_1 + r_2)}$$

$$\Rightarrow i_1 = \frac{\cancel{r_1} (E_1 - E_2)}{\cancel{r_1} (r_1 + r_2)}$$

$$\Rightarrow i_1 = \frac{E_1 - E_2}{r_1 + r_2}$$

Et d'après la LON en A, $i_1 + i_2 = 0 \Rightarrow \underline{i_2 = -i_1}$

$$Q7) \quad i_2 = \frac{E_2 - E_1}{r_1 + r_2} \quad E_2 < E_1 \text{ d'où } E_2 - E_1 < 0$$

$$\text{donc } i_2 < 0.$$

Sachant que $u > 0$, alors $P_2 = u i_2 < 0$. Le générateur 2 fonctionne en générateur.

$$Q8) \quad \text{Pour la résistance } r_1: P_{J_1} = r_1 i_1^2 = r_1 \cdot \frac{(E_1 - E_2)^2}{(r_1 + r_2)^2}$$

$$\text{" " " " } r_2: P_{J_2} = r_2 i_2^2 = r_2 \cdot \frac{(E_2 - E_1)^2}{(r_1 + r_2)^2}$$

$$\text{Soit } P_J = P_{J_1} + P_{J_2} \Rightarrow P_J = \frac{r_1 (E_1 - E_2)^2}{(r_1 + r_2)^2} + \frac{r_2 (E_2 - E_1)^2}{(r_1 + r_2)^2} \quad (E_1 - E_2)$$

$$\Rightarrow P_J = \frac{r_1 (E_1 - E_2)^2}{(r_1 + r_2)^2} + \frac{r_2 (E_1 - E_2)^2}{(r_1 + r_2)^2}$$

$$\Rightarrow P_J = \frac{(E_1 - E_2)^2 (r_1 + r_2)}{(r_1 + r_2)^2}$$

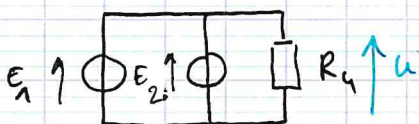
$$\Rightarrow P_J = \frac{(E_1 - E_2)^2}{r_1 + r_2}$$

$$\text{AN: } i_1 = \frac{12,6 - 12,0}{10 \times 10^{-3}} \Rightarrow \underline{i_1 = 60 \text{ A}}$$

$$P_J = \frac{0,6^2}{10 \times 10^{-3}} \Rightarrow \underline{P_J = 36 \text{ W}}$$

Il y a un risque d'incendie: les fils peuvent fondre sous un courant d'une telle intensité.

Q9)



$$u = E_1 = E_2 \Rightarrow \underline{\text{impossible!}}$$

u indéfini à la Q6

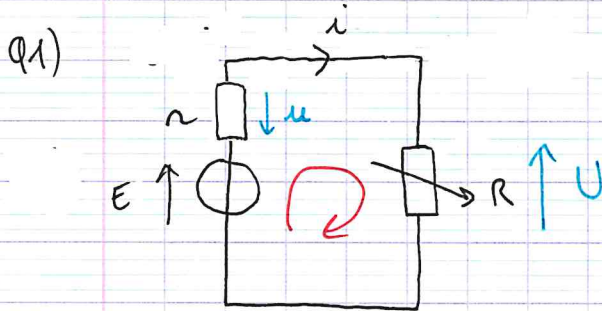
lorsque $r_1 \rightarrow 0$

$$r_2 \neq 0.$$

Prendre un générateur idéal ds cette situation mène nécessairement à une contradiction physique: $i_1 \rightarrow +\infty$ ce qui est impossible.

Q10) On ne peut SURTOUT PAS brancher deux générateurs de tension en // (risque d'incendie)

EX5 - Résistance branchée aux bornes d'un générateur réel, adaptation d'impédance



$$u = ri$$

$$U = Ri$$

Q2) D'après la LDM: $E - u - U = 0 \Rightarrow E - ri - Ri = 0$

$$\Rightarrow E = (r + R)i$$

$$\Rightarrow i = \frac{E}{r + R}$$

Q3) Par définition, $P_J = Ri^2 \Rightarrow P_J = \frac{RE^2}{(r + R)^2}$

Q4) $P_{\text{tot}} = Ei \Rightarrow P_{\text{tot}} = \frac{E^2}{r + R}$

Q5) $\frac{dP_J}{dR} = \frac{d}{dR} \left(\frac{RE^2}{(r + R)^2} \right) = E^2 \frac{d}{dR} \left(\frac{R}{(r + R)^2} \right)$

$$\left(\frac{u}{v} \right)' = \frac{u'v - uv'}{v^2}$$

$$u(R) = R \Rightarrow u'(R) = 1$$

$$v(R) = (r + R)^2 \Rightarrow v'(R) = 2 \times 1 \times (r + R)^{2-1} = 2(r + R)$$

$$\begin{aligned}
 \text{D'au} \quad \frac{dP_J}{dR} &= E^2 \times \left(\frac{(r+R)^2 - R \times 2(r+R)}{(r+R)^4} \right) \\
 &= \frac{E^2 ((r+R)^2 - 2R(r+R))}{(r+R)^4} \\
 &= \frac{E^2 (r+R - 2R)}{(r+R)^3} = \frac{E^2}{(r+R)^3} (r-R) \quad \left. \begin{array}{l} \div (r+R) \end{array} \right\}
 \end{aligned}$$

$$\frac{dP_J}{dR} \geq 0 \Leftrightarrow r-R \geq 0 \Leftrightarrow \underline{R \leq r}$$

R	0	r	$+\infty$
$\frac{dP_J}{dR}$	+	0	-
Variants de P_J	0	$P_J(r)$	0

Lorsque $\underline{R^* = r}$ alors P_J est maximale et vaut: $P_J(r) = \frac{rE^2}{(2r)^2}$
 soit $P_J(r) = \underline{P_{J,\max} = \frac{E^2}{4r}}$

$$\begin{aligned}
 \text{Q6)} \quad \eta &= \frac{P_J}{P_{\text{tot}}} \Leftrightarrow \eta = \frac{\cancel{R}E^2}{(r+R)^2} \times \frac{\cancel{r+R}}{\cancel{E^2}} \\
 &\Leftrightarrow \underline{\eta = \frac{R}{r+R}}
 \end{aligned}$$

Lorsque $R = R^* = r$ alors $\underline{\eta = \frac{1}{2}}$

NB: On peut étudier la fonction $\eta = f(r)$.

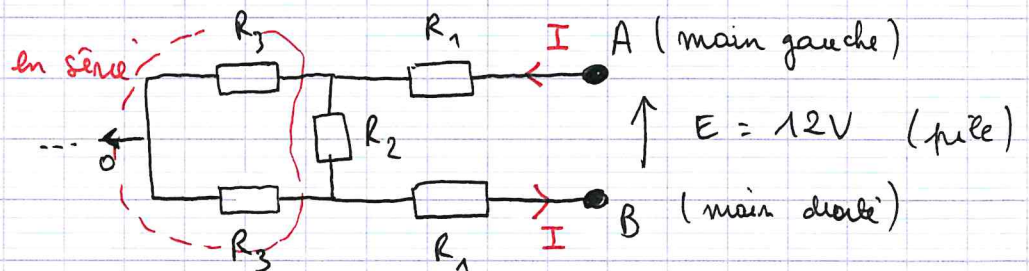
$$\frac{d\eta}{dR} = \frac{r+R-R}{(r+R)^2} = \frac{r}{(r+R)^2} > 0.$$

R	0	r	$+\infty$
$\frac{d\eta}{dR}$		+	
Variation de η	0	$\frac{1}{2}$	1

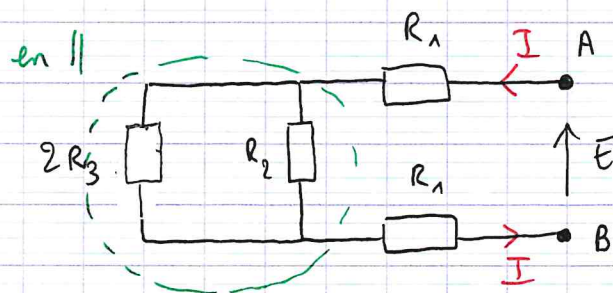
Lorsque $r = R$, la moitié de la puissance du générateur est dissipée par effet Joule de la résistance R , l'autre moitié de la résistance r . (Logique!)

EX6 - Électrocution

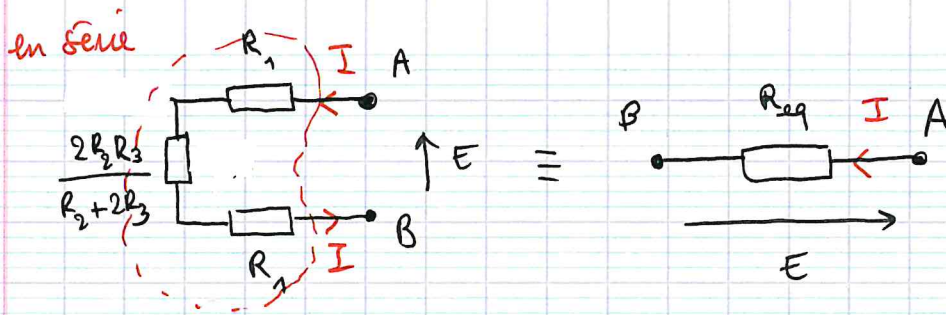
1. Si les chaussures sont isolantes, alors les pieds ne sont pas en contact avec le sol, et le courant ne peut pas traverser R_4, R_5 . Le circuit équivalent est donc :



Le courant I se limite donc au haut du corps. Déterminons la résistance équivalente entre A et B :



$$\begin{aligned} \frac{1}{R_{II}} &= \frac{1}{R_2} + \frac{1}{2R_3} \\ &= \frac{R_2 + 2R_3}{2R_2 R_3} \\ \Rightarrow R_{II} &= \frac{2R_2 R_3}{R_2 + 2R_3} \end{aligned}$$



$$R_{eq} = 2R_1 + \frac{2R_2R_3}{R_2 + 2R_3} \quad \text{AN : } R_{eq} = 2 \times 460 + \frac{2 \times 80 \times 125}{80 + 2 \times 125}$$

$$R_{eq} = 981 \Omega$$

D'où $E = R_{eq} \times I$

$$\Leftrightarrow I = \frac{E}{R_{eq}} \quad \text{AN : } I = \frac{12}{981} \quad \Leftrightarrow I = 0,012 \text{ A}$$

$$\Leftrightarrow \underline{I = 12 \text{ mA}}$$

$I < 30 \text{ mA}$. Il n'y a pas d'électrocution .

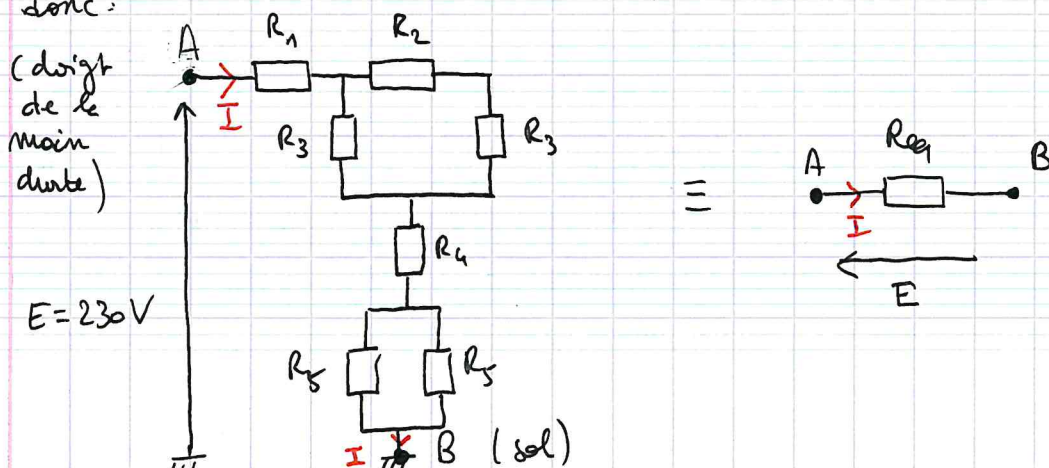
2. C'est exactement la même situation sauf que $E = 230 \text{ V}$ cette fois-ci .

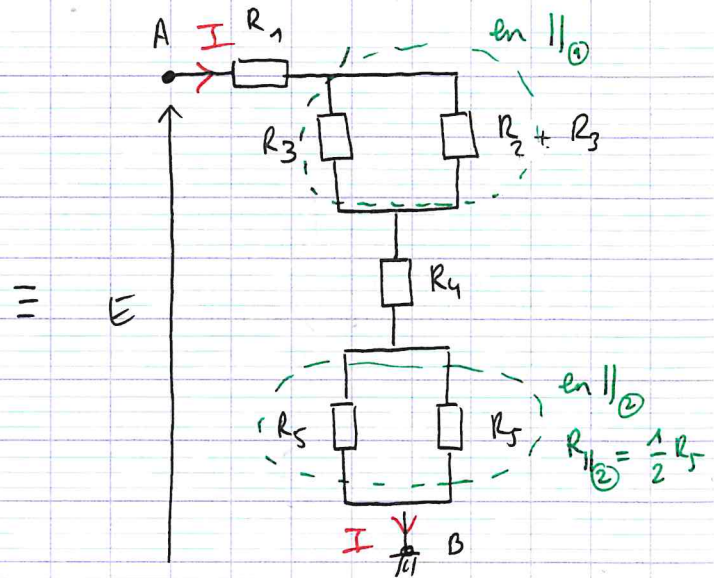
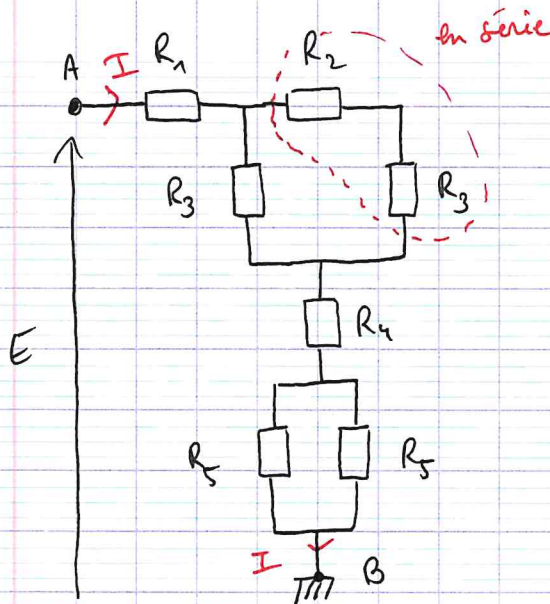
$$\text{D'où : } I = \frac{230}{981} \quad \Leftrightarrow I = 0,23 \text{ A}$$

$$\Leftrightarrow \underline{I = 230 \text{ mA}}$$

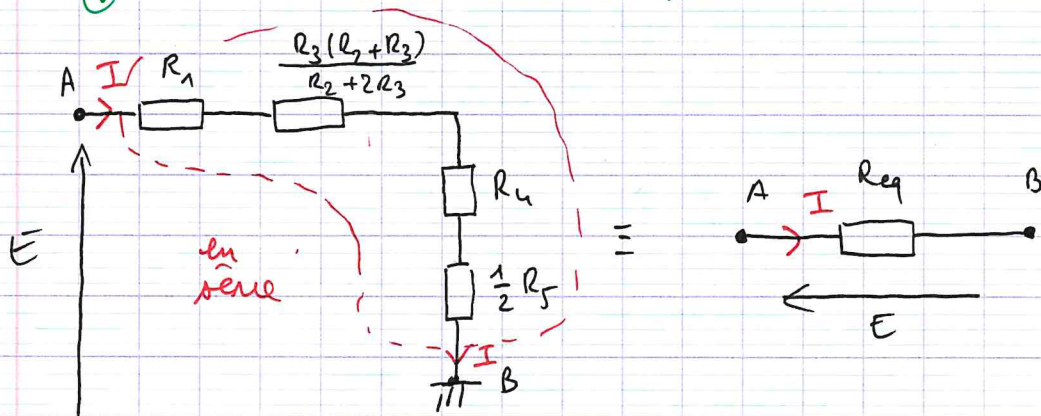
$I > 30 \text{ mA}$: électrocution assurée .

3. Cette fois-ci, les pieds touchent le sol, et un doigt d'une main est enfoncé dans la prise . Le circuit équivalent est donc :





$$\frac{1}{R_{11}} = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_2 + R_3} = \frac{R_2 + 2R_3}{R_3(R_2 + R_3)} \Rightarrow R_{11} = \frac{R_3(R_2 + R_3)}{R_2 + 2R_3}$$



$$\text{avec } R_{eq} = R_1 + R_4 + \frac{1}{2} R_5 + \frac{R_3(R_2 + R_3)}{R_2 + 2R_3}$$

$$\text{AN : } R_{eq} = 460 + 15 + 420 + \frac{125(80 + 125)}{80 + 2 \times 125}$$

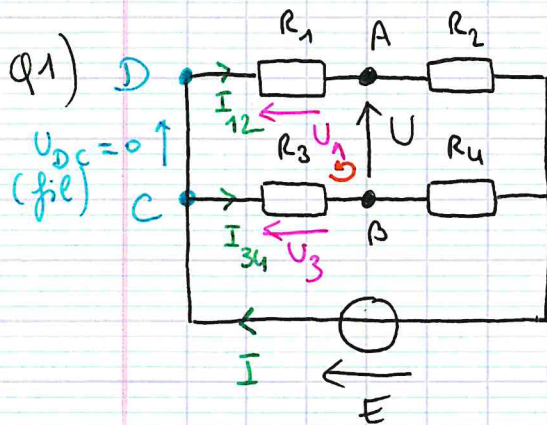
$$\underline{R_{eq} = 973 \, \Omega}$$

$$\text{D'où } I = \frac{E}{R_{eq}} \Rightarrow I = \frac{230}{973} \text{ A} \Rightarrow I = 0,236 \text{ A} \Rightarrow \underline{I = 236 \text{ mA}}$$

Encore une fois $I \gg 30 \text{ mA}$: électrocution assurée

ODG à retenir : $R_{\text{corps humain}} \approx 1 \text{ k}\Omega$

$$E_{\text{max}} = R_{\text{corps humain}} \times I_{\text{max}} \Rightarrow E_{\text{max}} = 1000 \times 30 \times 10^{-3} \Rightarrow \underline{E_{\text{max}} = 30 \text{ V}}$$

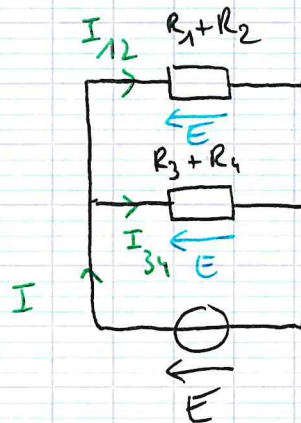
EX7 - Pont de Wheatstone

LDM: $U + U_1 - U_3 = 0$
 $\Rightarrow U = U_3 - U_1$

Or $U_1 = R_1 I_{12}$ et $U_3 = R_3 I_{34}$

D'où $U = R_3 I_{34} - R_1 I_{12}$

On remarque que $R_1 + R_2$ et $R_3 + R_4$ sont en //:



D'une part: $E = (R_3 + R_4) I_{34}$

D'autre part: $E = (R_1 + R_2) I_{12}$

D'où
$$\begin{cases} I_{12} = \frac{E}{R_1 + R_2} \\ I_{34} = \frac{E}{R_3 + R_4} \end{cases}$$

Donc:
$$U = \left(\frac{R_3}{R_3 + R_4} - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) E$$

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

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

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

Q2) $U = 0 \text{ V} \Leftrightarrow \underline{R_2 R_3 = R_1 R_4}$

Q3) $R_1 = \frac{R_2 R_3}{R_4}$ d'où $R_1 = \frac{20 \times 50}{35} \Omega \Rightarrow \underline{R_1 = 29 \Omega}$