

## Exercices sur les réseaux électriques en courant continu

Ce document est une compilation des exercices posés en devoirs surveillés d'électricité au département Génie Electrique et Informatique Industrielle de l'IUT de Nantes. Ces devoirs se sont déroulés généralement sans documents, sans calculette et *sans téléphone portable...*

Les devoirs d'une durée de 80 min sont notés sur 20 points. Donc chaque point proposé au barème correspond approximativement à une activité de 4 min.

Ces exercices correspondent aux chapitres 0, 1 et 2 de la ressource [Baselecpro](#) sur le site [IUTenligne](#).

Un corrigé avec barème de correction est remis aux étudiants en sortie du devoir (C'est souvent le seul moment où ils vont réfléchir à ce qu'ils ont su (ou pas su) faire dans ce devoir)

Personnellement, je me refuse à manipuler le barème d'un devoir lors de la correction dans le but d'obtenir une moyenne présentable. (*ni trop ni trop peu...*)

La moyenne d'un devoir doit refléter l'adéquation entre les objectifs de l'enseignant et les résultats des étudiants.

Les documents proposés ici sont délivrés dans un format qui permet tout assemblage/désassemblage ou modification à la convenance de l'utilisateur. Les dessins et les équations ont été réalisés avec Word97.

Nos étudiants disposent d'une masse considérable d'informations sur internet. Les enseignants sont maintenant soucieux de leur apprendre à utiliser intelligemment cet immense champ de connaissance. Ils leur apprennent notamment à citer les sources...

Ressource [ExercicElecPro](#) proposée sur le site Internet [iutenligne.net](#)

### Copyright : droits et obligations des utilisateurs

L'auteur ne renonce pas à sa qualité d'auteur et aux droits moraux qui s'y rapportent du fait de la publication de son document.

Les utilisateurs sont autorisés à faire un usage non commercial, personnel ou collectif, de ce document notamment dans les activités d'enseignement, de formation ou de loisirs. Toute ou partie de cette ressource ne doit pas faire l'objet d'une vente - en tout état de cause, une copie ne peut pas être facturée à un montant supérieur à celui de son support.

Pour tout extrait de ce document, l'utilisateur doit maintenir de façon lisible le nom de l'auteur *Michel Piou* et la référence au site Internet *IUT en ligne*. La diffusion de toute ou partie de cette ressource sur un site internet autre que le site IUT en ligne est interdite.

Une version de Baselecpro est disponible sous forme d'un livre aux éditions *Ellipses* dans la collection *Technosup* sous le titre

[ÉLECTRICITÉ GÉNÉRALE – Les lois de l'électricité](#)

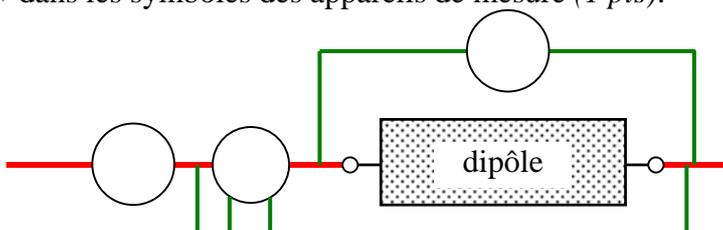
Michel PIOU - Agrégé de génie électrique – IUT de Nantes – France

## Table des matières

|   |    |
|---|----|
| 1. Questions de cours.....  | 1  |
| 2. Parce qu'un petit schéma vaut mieux qu'un long discours... (1 pt) .....                      | 1  |
| 3. Parce qu'un petit schéma vaut mieux qu'un long discours... (2 pts).....                      | 1  |
| 4. Association de résistances répartition de puissance (2,5pts) (avec une calculette).....      | 2  |
| 5. Association de résistances, répartition de puissance (sans calculette) (4pts).....           | 3  |
| 6. Résistance équivalente à une association de 5 résistances (1pt) .....                        | 4  |
| 7. Résistance équivalente à une association de 6 résistances (2pt) .....                        | 4  |
| 8. Résistance équivalente à une association en série et en parallèle (3 pts) .....              | 5  |
| 9. Association de petites et de grandes résistances (3 pts) .....                               | 6  |
| 10. Point de fonctionnement d'un montage avec un dipôle non-linéaire (2 pts).....               | 8  |
| 11. Circuit de commande d'une LED dans un afficheur (2 pts) .....                               | 9  |
| 12. Panneau photovoltaïque (5 pts) .....  | 10 |
| 13. Modèle de Thévenin et modèle de Norton d'une source non idéale .....                        | 13 |
| 14. Théorème de Millman littéral par les lois de Kirchhoff (3,5 PTS) .....                      | 14 |
| 15. Théorème de Millman numérique par les lois de Kirchhoff. (3,5 pts) .....                    | 15 |
| 16. Résistances en étoile – Millman (3,5 pts) .....   | 16 |
| 17. Réseau linéaire – Norton/Thévenin/Millman (6,5 pts) .....                                   | 17 |
| 18. Réseau linéaire – Norton/Thévenin/Millman variante (6 pts) .....                            | 19 |
| 19. Commande d'un transistor MOS de puissance (3 pts) .....                                     | 21 |
| 20. Montage stabilisateur de tension à diode zener (4 pts).....                                 | 22 |
| 21. Applications du théorème de Thévenin 1 source-3 résistances (2 pts).....                    | 24 |
| 22. Réseau électrique linéaire superposition/Thévenin (4,5 pts).....                            | 25 |
| 23. Réseau électrique linéaire dualité Thévenin/Norton (9 pts) .....                            | 26 |
| 24. Réseau électrique linéaire 3 sources (4,5 pts).....   | 28 |
| 25. Convertisseur numérique analogique version 1 (7 pts) .....                                  | 30 |
| 26. Convertisseur numérique analogique version 2 (1,5 pts) .....                                | 31 |
| 27. Démonstration du théorème de Thévenin à partir du théorème de superposition. (7,5 pts)..... | 33 |

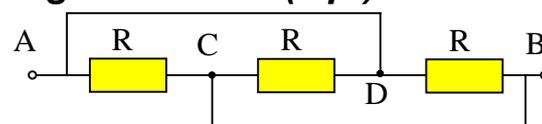
## 1. Questions de cours

- Ecrire la formule du pont diviseur de courant (en courant continu) et représenter le schéma associé (1 pts).
- Ecrire la formule du pont diviseur de tension (en courant continu) et représenter le schéma associé (1 pts).
- Un réseau électrique linéaire en régime continu est considéré entre deux points A et B. Enoncer le théorème Thévenin et le théorème de Norton relatifs à ce réseau.. (Préciser les expressions de la tension équivalente de Thévenin  $E_{eq}$ , la résistance équivalente  $R_{eq}$  et le courant équivalent de Norton  $I_{eq}$ ). Quelle relation existe entre  $E_{eq}$ ,  $R_{eq}$  et  $I_{eq}$  ?
- On souhaite mesurer le courant, la tension et la puissance du dipôle suivant. Positionner correctement les lettres « A », « V » et « W » dans les symboles des appareils de mesure (1 pts).



## 2. Parce qu'un petit schéma vaut mieux qu'un long discours... (1 pt)

Déterminer la résistance équivalente au dipôle AB ci-contre sachant que celui-ci est constitué de trois résistances de valeur « R » identiques.



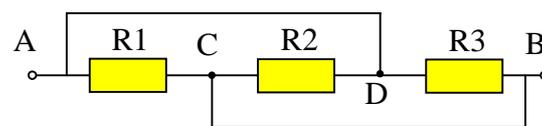
**Corrigé :** Les points A et D sont un même nœud. Les points C et B sont un même nœud. Les 3 résistances sont donc en parallèle :

$$R_{\text{équivalente}} = \frac{R}{3}$$

## 3. Parce qu'un petit schéma vaut mieux qu'un long discours... (2 pts)

Déterminer l'expression littérale de la résistance équivalente  $R_{eq}$  du dipôle AB ci-contre en fonction de  $R_1$ ,  $R_2$  et  $R_3$ .

Sachant que  $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 1 \text{ M}\Omega$  et  $R_3 = 100 \Omega$  Proposer une estimation de  $R_{eq}$  à 2% près <sup>(1)</sup>



**Corrigé :**

Les points A et D sont un même nœud. Les points C et B sont un même nœud. Les 3 résistances sont donc en parallèle. Lorsque des résistances ont des valeurs très différentes et qu'elles sont en parallèle, le courant passe très majoritairement par la résistance qui « résiste » le moins. La valeur de la résistance équivalente est très proche de la valeur de la résistance la plus faible :

$$R_{eq} = \left( R_1^{-1} + R_2^{-1} + R_3^{-1} \right)^{-1} \approx R_3 = 100 \Omega \quad \text{A la calculatrice : } R_{eq} = 99 \Omega$$

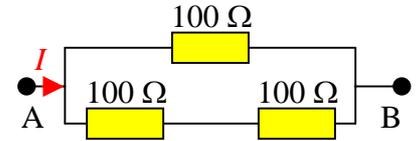
<sup>(1)</sup> En considérant les associations de « grandes » et de « petites » résistances, on peut établir ce résultat sans calculatrice.

(Voir [http://public.iutenligne.net/electronique/piou\\_fruitet\\_fortun/baselecpro/acquisition/pdf/DL-001051-04-01.01.00.pdf](http://public.iutenligne.net/electronique/piou_fruitet_fortun/baselecpro/acquisition/pdf/DL-001051-04-01.01.00.pdf))

**4. Association de résistances répartition de puissance (2,5pts) (avec une calculette)**

(Test sur la capacité à mobiliser ses connaissances dans une situation nouvelle en utilisant le fléchage des grandeurs). Les valeurs numériques ont été choisies de façon que les calculs soient très simples.

Les trois résistances de 100 Ω ci-contre sont reliées de façon à constituer un dipôle A-B unique.



a) Quelle est la valeur **numérique** de la résistance équivalente du dipôle A-B ainsi constitué?

b) Chacune des résistances de 100 Ω constituant le dipôle A-B supporte 0,5 Watt au maximum sans risque d'échauffement excessif.

On projette de faire passer un courant continu  $I = 100 \text{ mA}$  dans le dipôle A-B.

Les résistances risquent-elles un dépassement de leur température limite ? (Justifier la réponse par un petit calcul)

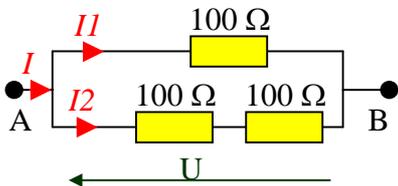
**Rappel :** Une résistance de valeur  $R$  traversée par un courant continu «  $I$  » et soumise à une tension continue

$$U = R.I \text{ absorbe une puissance électrique : } P = U.I = R.I^2 = \frac{U^2}{R}$$

Corrigé :

100 Ω en série avec 100 Ω égal 200 Ω . 200 Ω en parallèle avec 100 Ω égal  $\left(\frac{1}{200} + \frac{1}{100}\right)^{-1} = \frac{200}{3} \Omega$

On en déduit :  $R_{eq} = 66,7 \Omega$

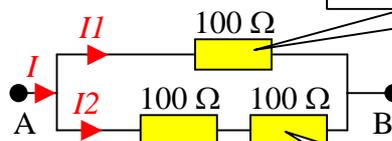


$$I_1 = \frac{U}{100} ; I_2 = \frac{U}{200} \Rightarrow I_1 = 2.I_2 = \frac{2}{3}.I = \frac{2}{3}.0,1 \text{ A}$$

(On peut retrouver ce résultat avec la formule du pont diviseur de courant)

La résistance qui consomme la plus forte puissance (0,444 W) reste en dessous des 0,5 W.

Il n'y a donc aucun risque.



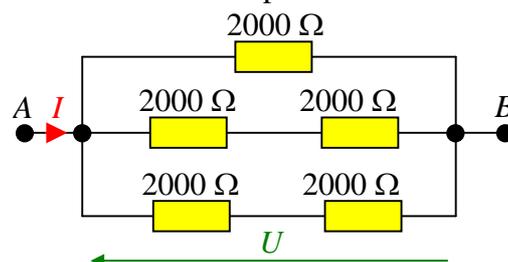
$$P = 100 \cdot \left(0,1 \cdot \frac{2}{3}\right)^2 = \frac{4}{9} = 0,444 \text{ W}$$

$$P = 100 \cdot \left(0,1 \cdot \frac{1}{3}\right)^2 = \frac{1}{9} = 0,111 \text{ W}$$

### 5. Association de résistances, répartition de puissance (sans calculatrice) (4pts)

(Test sur la capacité à mobiliser ses connaissances dans une situation nouvelle en utilisant le fléchage des grandeurs). Les valeurs numériques ont été choisies de façon que les calculs soient très simples.

Les cinq résistances de  $2000\ \Omega$  ci-contre sont reliées de façon à constituer un dipôle A-B unique.



a) Quelle est la valeur **numérique** de la résistance équivalente du dipôle A-B ainsi constitué?

b) Chacune des résistances de  $2000\ \Omega$  constituant le dipôle A-B supporte  $0,25\ \text{Watt}$  au maximum sans risque d'échauffement excessif.

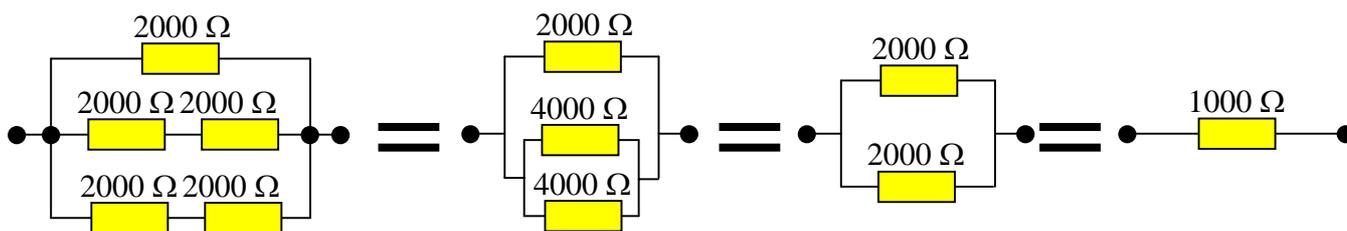
On projette de faire passer un courant continu  $I = 20\ \text{mA}$  dans le dipôle A-B.

Les résistances risquent-elles un dépassement de leur température limite ? (Justifier la réponse par un petit calcul).

**Rappel :** Une résistance de valeur  $R$  traversée par un courant continu «  $I$  » et soumise à une tension continue

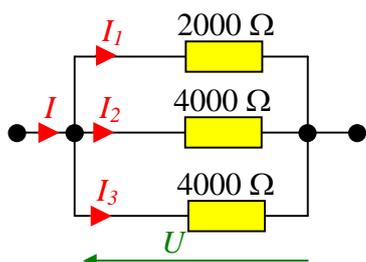
$$U = R.I \text{ absorbe une puissance électrique : } P = U.I = R.I^2 = \frac{U^2}{R}$$

Corrigé :



$2000\ \Omega$  en série avec  $2000\ \Omega$  égal  $4000\ \Omega$  .  $4000\ \Omega$  en parallèle avec  $4000\ \Omega$  égal  $2000\ \Omega$

De proche en proche, on en déduit :  $R_{eq} = 1000\ \Omega$  1,5 pt

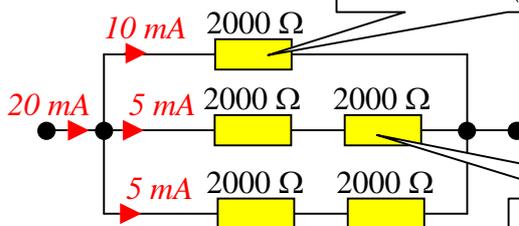


$$I_1 = \frac{U}{2000} ; I_2 = I_3 = \frac{U}{4000} \Rightarrow I_1 = 2.I_2 = 2.I_3$$

$$P = 2000 * (10^{-2})^2 = 0,2\ \text{W}$$

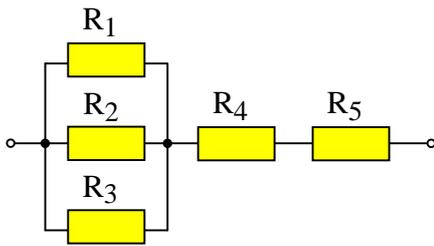
La résistance qui consomme la plus forte puissance ( $0,2\ \text{W}$ ) reste en dessous des  $0,25\ \text{W}$ .  
Il n'y a donc aucun risque.

1,5 pt



$$P = 2000 * (5.10^{-3})^2 = 0,05\ \text{W}$$

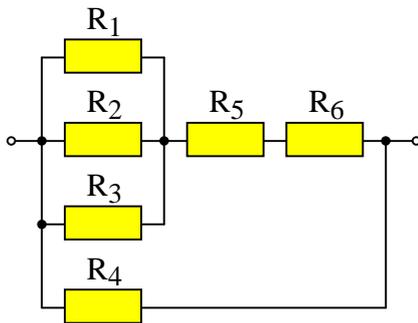
**6. Résistance équivalente à une association de 5 résistances (1pt)**



Donner l'expression littérale de la résistance équivalente au dipôle ci-contre.  
(Il n'est pas nécessaire de simplifier l'expression)

Corrigé :  $R_{eq} = \left( R_1^{-1} + R_2^{-1} + R_3^{-1} \right)^{-1} + R_4 + R_5$

**7. Résistance équivalente à une association de 6 résistances (2pt)**



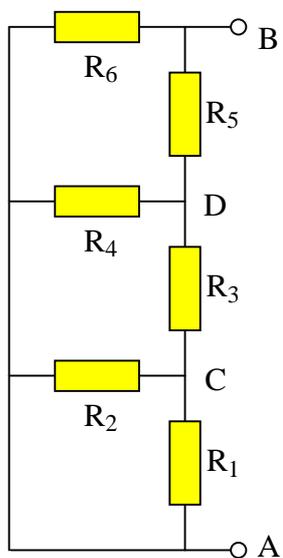
Donner l'expression littérale de la résistance équivalente au dipôle ci-contre.  
(Il n'est pas nécessaire de simplifier l'expression)

Corrigé :  $R_{eq} = \left\{ \left[ \left( R_1^{-1} + R_2^{-1} + R_3^{-1} \right)^{-1} + R_5 + R_6 \right]^{-1} + R_4^{-1} \right\}^{-1}$

### 8. Résistance équivalente à une association en série et en parallèle (3 pts)

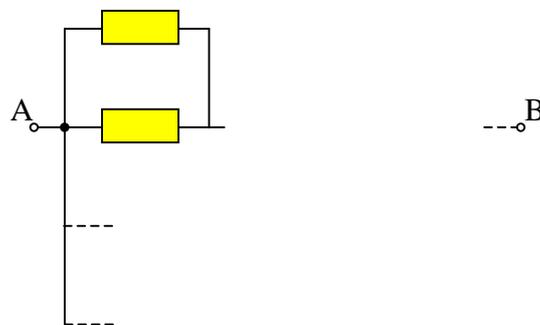
Test sur la capacité à redessiner un schéma électrique pour se l'approprier.

Mise en œuvre des relations sur les résistances identiques en série ou en parallèle.



a) Redessiner le schéma du dipôle « A-B » ci-contre en complétant le schéma ci-dessous :

(Ce montage ne comporte que quatre nœuds : Le nœud « A » est placé à gauche. Le nœud « B » est placé à droite. Les nœuds « C » et « D » seront placés judicieusement) Les résistances seront dessinées à l'horizontal entre ces quatre nœuds ; leur nom sera indiqué.



b) Sachant que  $R_1 = R_2 = R_4 = R_6 = 20\text{ k}\Omega$  et que  $R_3 = R_5 = 10\text{ k}\Omega$ , calculer la résistance équivalente du dipôle A-B. (Les valeurs sont telles que le calcul peut se faire très facilement sans calculette)

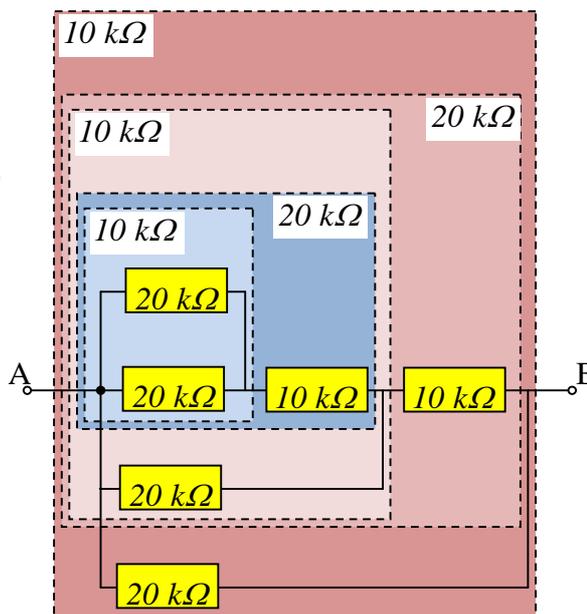
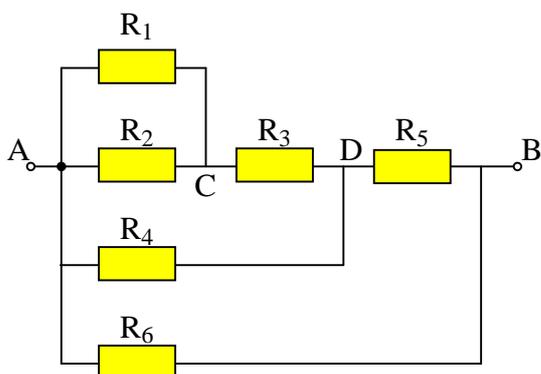
Corrigé :

Cette association se rencontre dans les convertisseurs numérique/analogique de type R/2R

$20\text{ k}\Omega$  en parallèle avec  $20\text{ k}\Omega$  égal  $10\text{ k}\Omega$

$10\text{ k}\Omega$  en série avec  $10\text{ k}\Omega$  égal  $20\text{ k}\Omega$

De proche en proche, on en déduit :  $R_{AB} = 10\text{ k}\Omega$



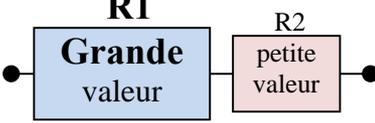
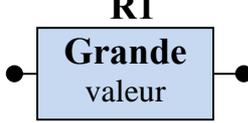
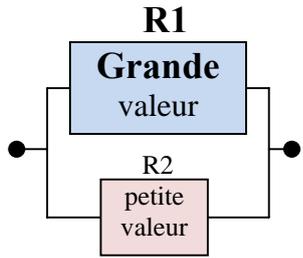
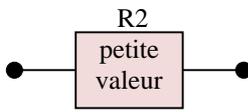
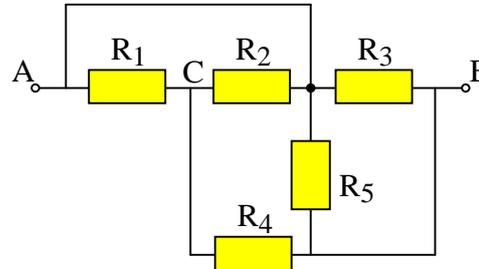
$$\left\{ \left( \left( \left( 20\text{ k}\Omega // 20\text{ k}\Omega \right) + 10\text{ k}\Omega \right) // 20\text{ k}\Omega \right) + 10\text{ k}\Omega \right\} // 20\text{ k}\Omega = 10\text{ k}\Omega$$

$\underbrace{\hspace{10em}}_{10\text{ k}\Omega}$   
 $\underbrace{\hspace{10em}}_{20\text{ k}\Omega}$   
 $\underbrace{\hspace{10em}}_{10\text{ k}\Omega}$

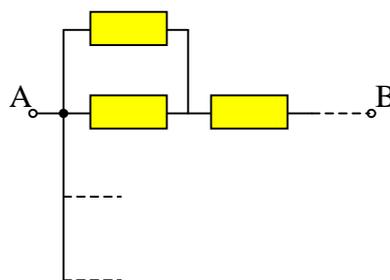
### 9. Association de petites et de grandes résistances (3 pts)

Test sur la capacité à redessiner un schéma électrique pour se l'approprier.

Test sur la capacité à établir un ordre de grandeur.

|   |  |
|---|--|
| <p><b>Complément de cours pour simplifier les calculs de résistances équivalente:</b></p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p><b>R1</b><br/>Grande valeur</p>  </div> <div style="font-size: 2em;">≈</div> <div style="text-align: center;"> <p><b>R1</b><br/>Grande valeur</p>  </div> </div><br><div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p><b>R1</b><br/>Grande valeur</p>  </div> <div style="font-size: 2em;">≈</div> <div style="text-align: center;"> <p><b>R2</b><br/>petite valeur</p>  </div> </div> | <p>Soit le dipôle « A-B » ci-dessous constitué de 5 résistances.</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>Les valeurs des différentes résistances sont les suivantes :</p> <p><math>R_1 = R_2 = 100\Omega</math> ; <math>R_3 = 50\text{ k}\Omega</math><br/> <math>R_4 = 50\Omega</math> ; <math>R_5 = 100\text{ k}\Omega</math></p> |
|---|--|

a) Redessiner le schéma du dipôle « A-B » en faisant apparaître les éléments en parallèle ou en série en s'inspirant du modèle suivant :



(Ce montage ne comporte que trois nœuds : Le nœud « A » sera placé à gauche. Le nœud « B » sera placé à droite. Le nœud « C » sera placé au milieu. Les résistances seront dessinées à l'horizontale entre ces trois nœuds ; leur nom sera indiqué.

b) Donner l'expression littérale de la résistance équivalente de ce dipôle en fonction de  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$  et de  $R_5$ . (Il n'est pas nécessaire de simplifier l'expression)

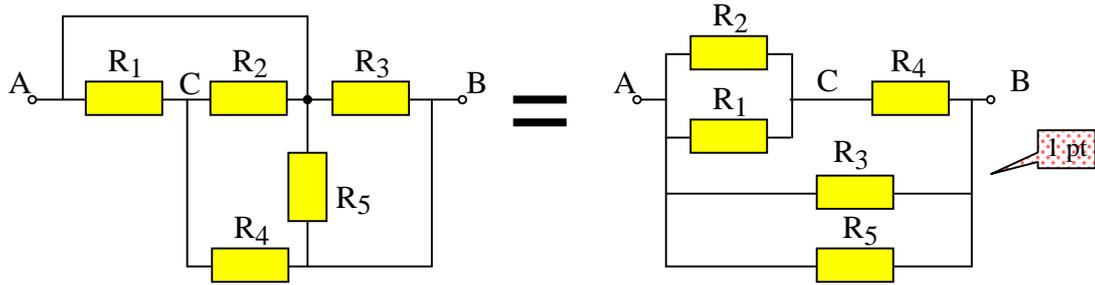
c) Lorsqu'on utilise une calculatrice ou un logiciel de calcul, il est souvent fort utile de pouvoir vérifier l'ordre de grandeur d'un résultat pour détecter d'éventuelles erreurs... voir le complément de cours ci-dessus.

Pour la valeur de la résistance équivalente de ce dipôle « A-B », six résultats différents sont proposés. Sans justification, sélectionner (en l'encadrant) celui qui semble le plus réaliste :

(Bon : +1pt ; rien : 0 ; faux : -1pt)

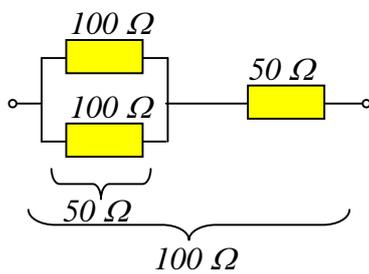
$R_{eq} = 50,2\text{ k}\Omega$ ,  $R_{eq} = 150\Omega$  ;  $R_{eq} = 100\text{ k}\Omega$  ;  $R_{eq} = 33,3\text{ k}\Omega$  ;  $R_{eq} = 99,7\Omega$  ;  $R_{eq} = 50\text{ k}\Omega$

Corrigé



$$R_{AB} = \left\{ \left[ \left( R_1^{-1} + R_2^{-1} \right)^{-1} + R_4 \right]^{-1} + R_3^{-1} + R_5^{-1} \right\}^{-1}$$

1 pt



$$\Rightarrow R_{AB} = 100 \parallel 50 \cdot 10^3 \parallel 100 \cdot 10^3 \approx 100 \Omega$$

1 pt

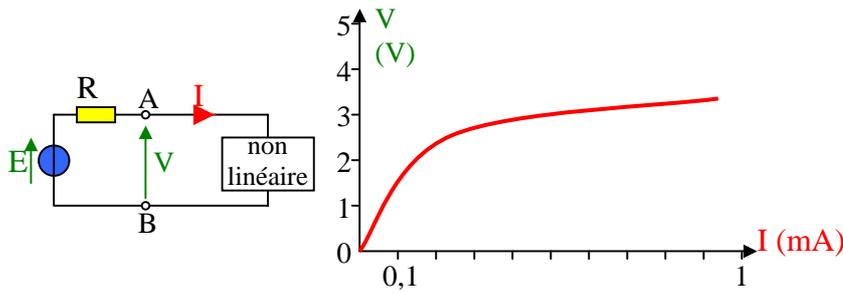
Calcul avec le logiciel « Scilab » :

R1=100;R2=100;R3=5e4;R4=50;R5=1e5;

Req=(((R1^(-1)+R2^(-1))^(-1)+R4)^(-1)+R3^(-1)+R5^(-1))^(-1)

Réponse : Req = 99.700897

**10. Point de fonctionnement d'un montage avec un dipôle non-linéaire (2 pts)**



On souhaite déterminer le point de fonctionnement du montage ci-contre.

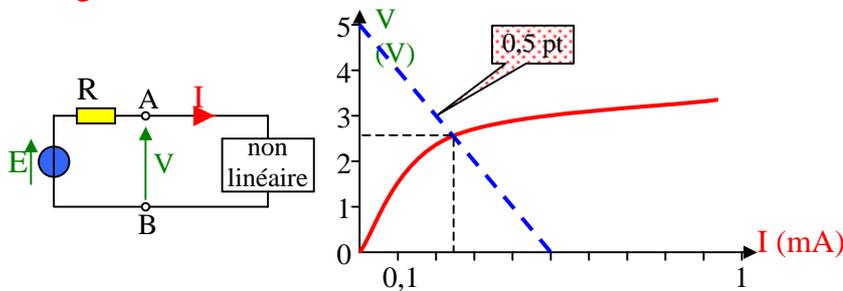
a) Exprimer la relation  $V$  en fonction de  $I$  pour le dipôle constitué de la source « E » et de la résistance « R » (à gauche des points A et B)

Sachant que  $E = 5\text{ V}$  et que  $R = 10\text{ k}\Omega$ , représenter le graphe de cette fonction  $V(I)$  sur le graphe ci-contre.

b) La caractéristique  $V(I)$  déjà présente (en trait gras) sur le graphe ci-dessus représente la relation entre la tension et le courant dans le dipôle non linéaire (à droite des points A et B).

En déduire graphiquement la valeur de  $V$  et la valeur de  $I$  dans le montage ci-dessus.

Corrigé :



a)  $V = E - R.I = 5 - 10000.I$

La fonction  $V(I)$  est une droite 0,5 pt

$I = 0 \Rightarrow V = 5\text{ V}$

$I = 0,5\text{ mA} \Rightarrow V = 0$

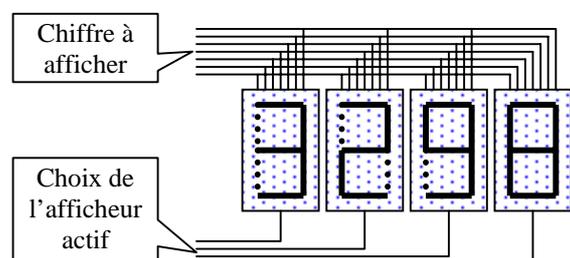
Le point de fonctionnement du montage se situe à l'intersection de la droite  $V(I)$  et de la courbe caractéristique du dipôle non-linéaire (car il doit être simultanément sur la droite en pointillé et sur la courbe en trait plein).

On en déduit graphiquement  $V \approx 2,6\text{ V}$  et  $I \approx 0,24\text{ mA}$  0,5 pt + 0,5 pt

## 11. Circuit de commande d'une LED dans un afficheur (2 pts)

Objectif : Ne pas paniquer devant un contexte compliqué pour un calcul très simple.  
Aucune connaissance sur les transistors, les LED ou les afficheurs n'est nécessaire.

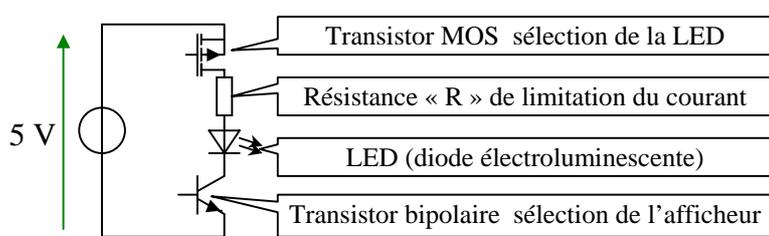
Contexte de l'exercice : (Sa lecture n'est pas indispensable à la résolution de l'exercice).



On veut afficher une valeur numérique constituée de 4 chiffres décimaux. Chaque chiffre est obtenu en sélectionnant certains segments d'un « afficheur 7 segments ». Chaque segment est réalisé avec une LED <sup>(2)</sup> qui peut être allumée ou éteinte.

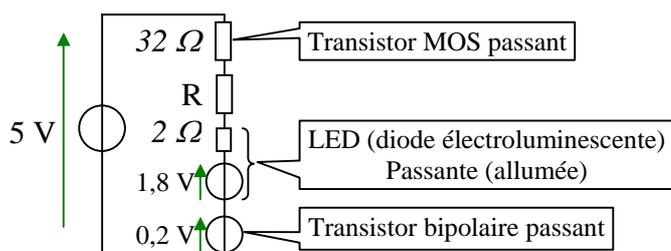
Il y a donc au total :  $7 \times 4 = 28$  LED qui peuvent être commandées.

Pour minimiser le nombre de connections, on choisit de commander un seul afficheur à la fois. Si la succession des affichages est suffisamment rapide, l'œil humain ne la détecte pas. Les 7 connections de pilotage des chiffres sont communes aux 4 afficheurs. Il y a donc au total  $7 + 4 = 11$  liaisons



Le circuit de commande d'une LED <sup>(2)</sup> comporte un transistor MOS pour la commande du chiffre à afficher, une résistance de limitation de courant, la LED commandée et un transistor bipolaire pour le choix de l'afficheur actif. Le tout est alimenté sous 5 V.

On veut qu'une LED d'un afficheur soit allumée. Le transistor MOS et le transistor bipolaire qui la commandent doivent donc être passants.



Dans ce cas, le transistor MOS se comporte comme une résistance de  $32 \Omega$ .

La LED se comporte comme une résistance de  $2 \Omega$  en série avec une f.c.e.m. de 1,8 V.

Le transistor bipolaire se comporte comme une f.c.e.m. de 0,2 V.

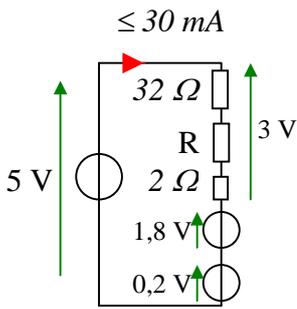
a) Calculer « R » pour que le courant dans le circuit ne dépasse pas 30 mA (tout en étant le plus proche possible de cette valeur)

b) On trouve couramment dans le commerce des résistances dont les valeurs sont choisies dans la série « E12 » : (valeurs 10 ; 12 ; 15 ; 18 ; 22 ; 27 ; 33, 39 ; 47 ; 56 ; 68 et 82 multipliées par  $10^n$ )

Pour répondre à l'objectif du a), choisir la valeur de la résistance « R » la mieux adaptée sachant qu'elle doit être obtenue avec une seule résistance choisie dans la série « E12 ».

<sup>(2)</sup> « LED » (ou Light Emitting Device). On dit aussi « DEL » (ou Diode électroluminescente)

Corrigé



D'après la loi d'ohm :  $\frac{3}{32 + R + 2} \leq 30 \text{ mA}$

$\Leftrightarrow 32 + R + 2 \geq \frac{3}{30 \cdot 10^{-3}} = 100 \Omega$

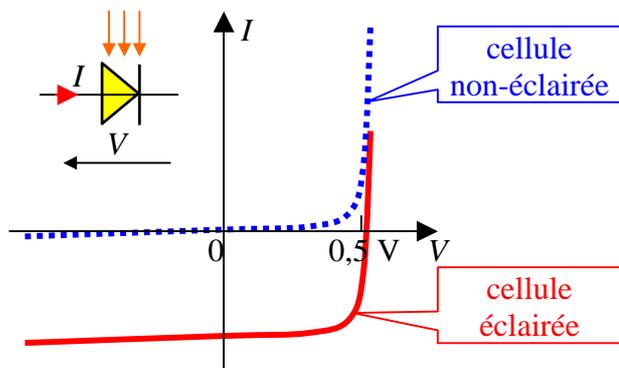
$\Leftrightarrow R \geq 100 - 32 - 2 \Leftrightarrow R \geq 66 \Omega$ .

Dans la série E12, on choisit donc  $R = 68 \Omega$

## 12. Panneau photovoltaïque (5 pts)

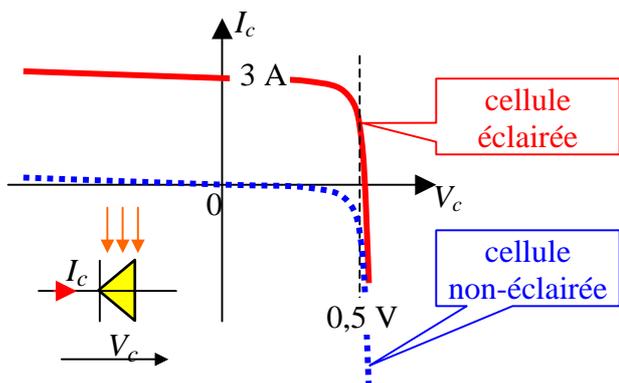
Objectif : mobiliser ses connaissances et faire face à une situation inédite sans paniquer.  
Utiliser des graphiques pour déterminer des valeurs (approximatives)

### La cellule photovoltaïque



Lorsqu'elle n'est pas éclairée, une cellule photovoltaïque possède une caractéristique semblable à celle d'une diode. Mais son courant en inverse est relativement élevé.

Sous l'effet d'un rayonnement lumineux, cette caractéristique se déplace vers les courants négatifs.



Pour des raisons pratiques, on préfère inverser la convention d'orientation du courant et de la tension. Voir ci contre

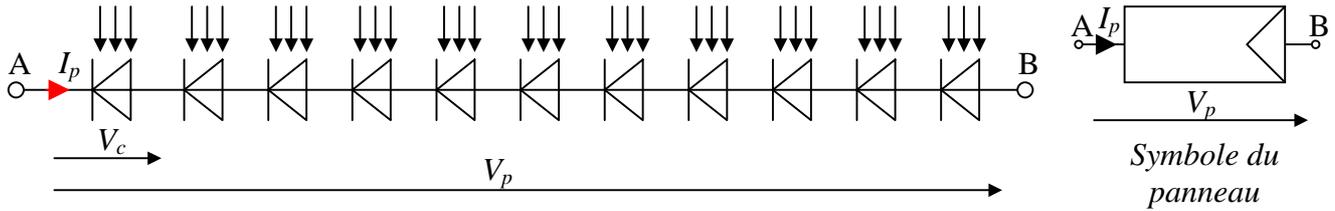
On a relevé (ci-dessous) quelques points de la caractéristique d'une cellule éclairée à  $600 \text{ W/m}^2$  et quelques points de la caractéristique de cette même cellule lorsqu'elle n'est pas éclairée :

| Cellule éclairée ( $600 \text{ W/m}^2$ ) |     |       |        |
|--|-----|-------|--------|
| $V_c$                                    | 0 V | 0,5 V | 0,51 V |
| $I_c$                                    | 3 A | 2,5 A | 0 A    |

| Cellule non-éclairée |       |         |        |     |
|----------------------|-------|---------|--------|-----|
| $V_c$                | -20 V | -16,7 V | -5,8 V | 0 V |
| $I_c$                | 3 A   | 2,5 A   | 0,9 A  | 0 A |

**Le panneau photovoltaïque**

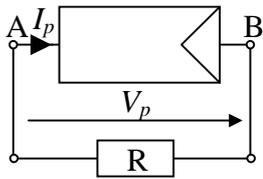
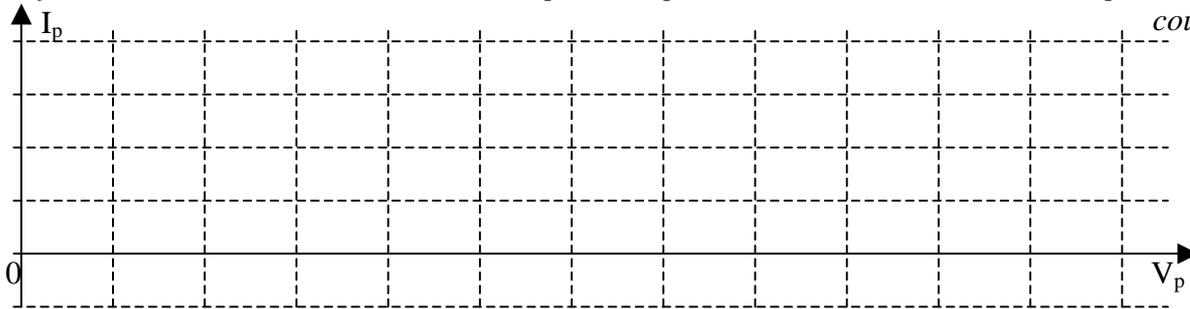
Un panneau photovoltaïque est généralement constitué de 24 ou 36 cellules mises en série. Mais pour simplifier les calculs, nous supposons que le panneau n'est constitué que de 11 cellules identiques en série.



a) Représenter, ci-dessous, l'allure de la caractéristique  $I_p$  en fonction de  $V_p$  du panneau (orienté en convention générateur) lorsqu'il est éclairé avec une densité de puissance de  $600\text{W/m}^2$

**Méthode :** pour trois valeurs différentes du courant  $I_p$ , on connaît la tension aux bornes d'une cellule

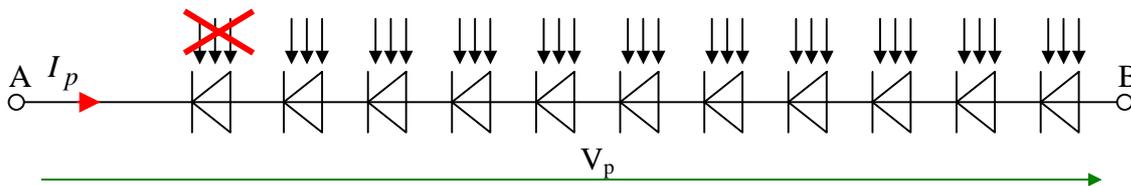
Il faut chercher la tension aux bornes du panneau pour chacune de ces trois valeurs puis tracer l'allure de la courbe à partir de ces trois points. (Ne pas oublier de graduer les axes)



b) Le panneau photovoltaïque (dipôle A-B) est connecté aux bornes d'une résistance de  $R = 2,2 \Omega$  (voir ci-contre). Représenter (sur le graphe précédent) la caractéristique  $I_p$  en fonction de  $V_p$  de la résistance  $R$ . En déduire une estimation de la valeur de  $I_p$ , la valeur de  $V_p$  et la valeur de la puissance électrique  $P_p$  délivrée par le panneau à la résistance lorsqu'il est éclairé à  $600\text{W/m}^2$ .

**Méthode :** Le panneau et la résistance sont traversés par le même courant et soumis à la même tension...

c) Les feuilles d'un arbre sont tombées sur la première cellule du panneau. Elle n'est plus éclairée. Les 10 autres cellules restent éclairées à  $600\text{W/m}^2$  :



A partir de 3 points, représenter, ci-après, l'allure de la caractéristique  $I_p$  en fonction de  $V_p$  du panneau dans ces nouvelles conditions. En déduire une estimation graphique de la valeur de  $I_p$  et de la valeur de  $V_p$  délivrés par le panneau à la résistance  $R = 2,2 \Omega$

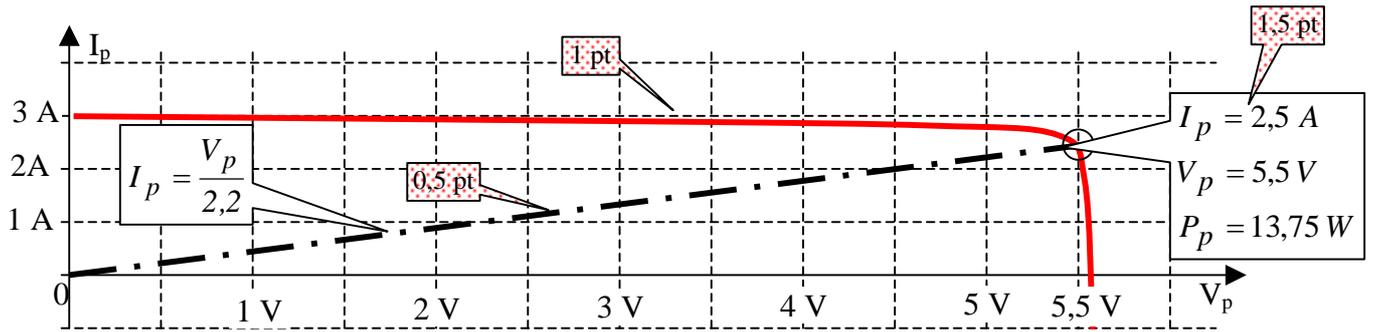
Même méthode que a). (Ne pas oublier de graduer les axes)



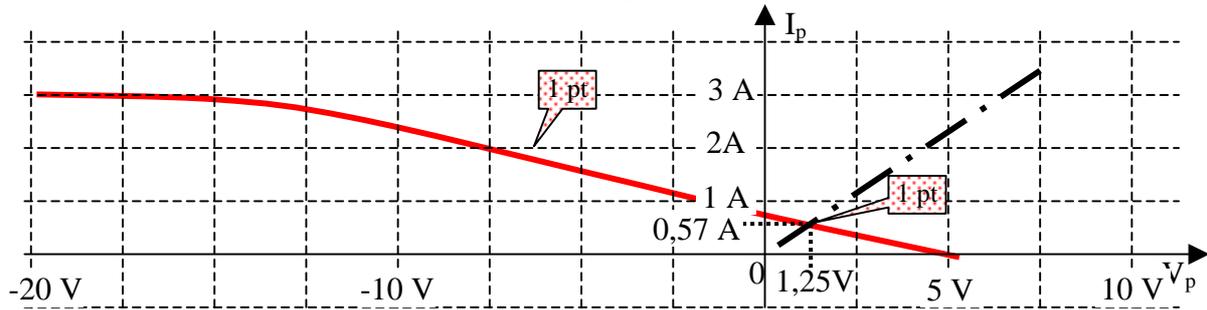
Corrigé :

a) et b) Mise en série de 11 dipôles identiques :

Pour un même courant, la tension totale est 11 fois plus élevée que la tension aux bornes d'une seule cellule.



c) Par sommation des tensions aux bornes des 11 cellules, on obtient :

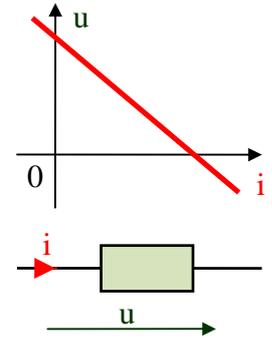


Le nouveau point d'intersection donne  $I_p \approx 0,57 \text{ A}$ ,  $V_p \approx 1,25 \text{ V}$

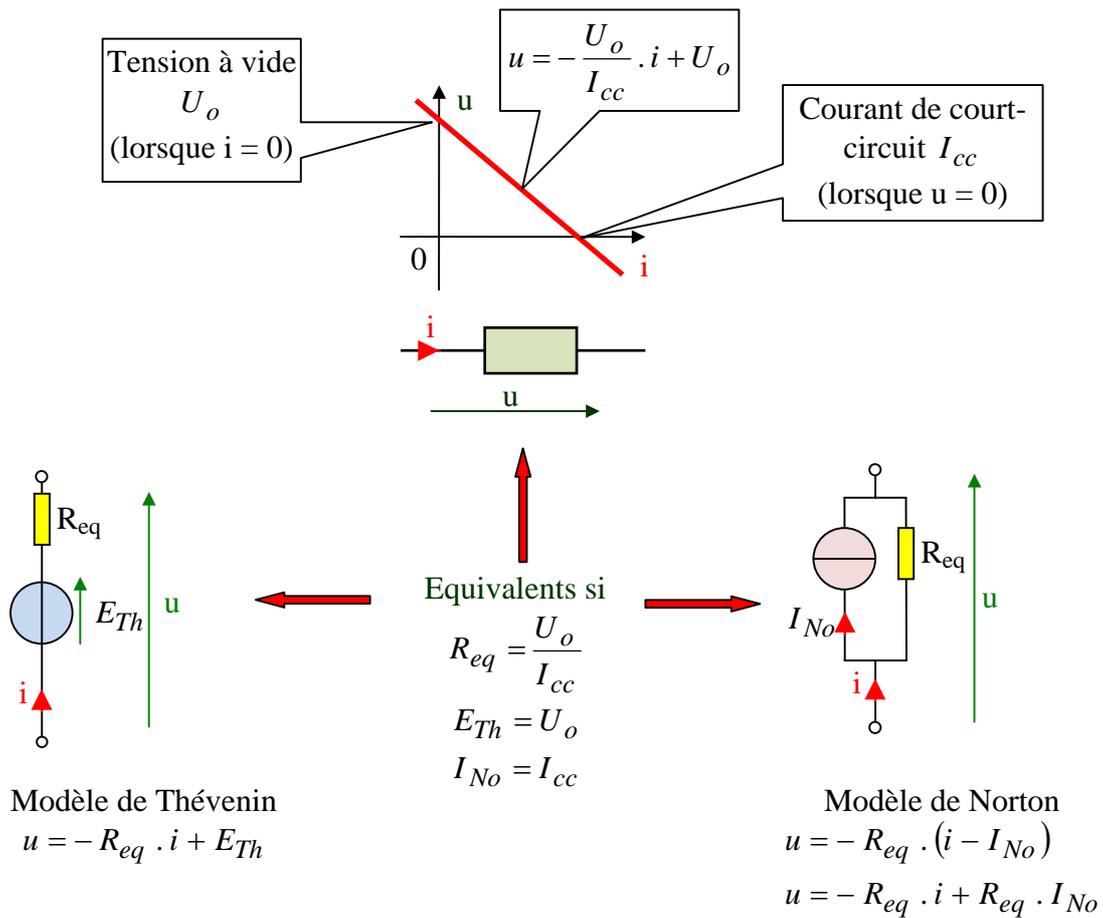
et  $P_p = I_p * V_p \approx 0,71 \text{ W}$ . On constate que si l'une des cellules est ombrée, l'ensemble du panneau ne produit presque plus d'énergie électrique.

### 13. Modèle de Thévenin et modèle de Norton d'une source non idéale

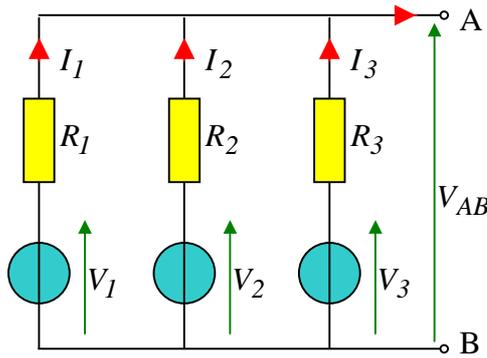
(2 pts): Soit une source de courant continu « réelle » dont la caractéristique  $u(i)$  est une droite. Faire figurer sur celle-ci le courant de court-circuit  $I_{cc}$  et la tension à vide  $U_o$ . Représenter son modèle équivalent de Thévenin et son modèle équivalent de Norton. Préciser (en fonction de  $U_o$  et  $I_{cc}$ ) la valeur de sa résistance interne  $R_{eq}$ , de sa tension équivalente de Thévenin  $E_{Th}$  et de son courant équivalent de Norton  $I_{No}$ .



Corrigé :



**14. Théorème de Millman littéral par les lois de Kirchhoff (3,5 PTS)**



Soit le dipôle A-B ci-contre.

a) Exprimer  $I_1$  en fonction de  $V_1$ ,  $V_{AB}$  et  $R_1$

b) Exprimer  $I_1 + I_2 + I_3$  en fonction de  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$ ,  $V_{AB}$  et  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ .

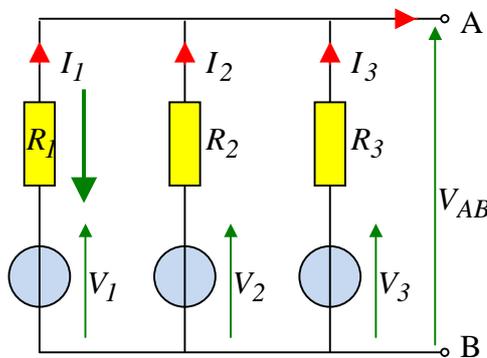
c) Le dipôle A-B est « à vide » (Il n'est pas relié à un autre circuit électrique).  
En déduire la valeur numérique de  $I_1 + I_2 + I_3$ .

Puis **en déduire** l'expression de  $V_{AB}$  en fonction des paramètres  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$  et  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ .

Exprimer le résultat sous la forme  $V_{AB} = \frac{\dots}{\dots}$

$$V_{AB} = \frac{\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

Corrigé :



a)  $I_1 = \frac{V_1 - V_{AB}}{R_1}$  1 pt

b) Même type de relations pour  $I_2$  et pour  $I_3$

$$I_1 + I_2 + I_3 = \frac{V_1 - V_{AB}}{R_1} + \frac{V_2 - V_{AB}}{R_2} + \frac{V_3 - V_{AB}}{R_3}$$

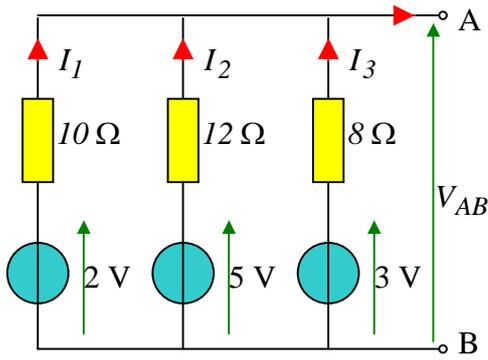
ou

$$I_1 + I_2 + I_3 = \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} - V_{AB} \cdot \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$$

c) Le dipôle A-B est « à vide »  $\Leftrightarrow I_1 + I_2 + I_3 = 0 \Rightarrow \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} - V_{AB} \cdot \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) = 0$

$$\Leftrightarrow V_{AB} = \frac{\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

**15. Théorème de Millman numérique par les lois de Kirchhoff. (3,5 pts)**



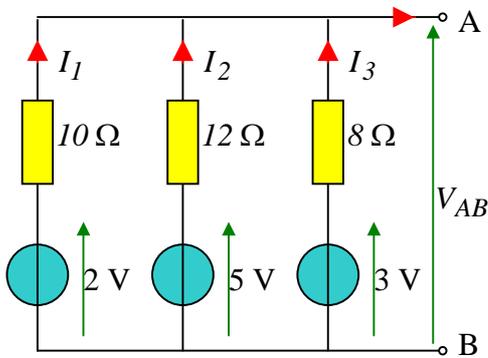
Exprimer  $I_1$  (en Ampère) en fonction de  $V_{AB}$  et des valeurs numériques ci-contre. De même, exprimer  $I_2$  et  $I_3$ .

Sachant que le dipôle A-B est à vide <sup>(3)</sup>, exprimer  $I_1 + I_2 + I_3$

**En déduire** <sup>(4)</sup> l'expression de  $V_{AB}$  sous la forme

$$V_{AB} = \frac{\frac{2}{1}}{\frac{\dots}{1}} + \frac{\frac{5}{1}}{\frac{\dots}{1}} + \frac{\frac{3}{1}}{\frac{\dots}{1}} \quad (\text{ne pas effectuer le calcul})$$

Corrigé :



$$I_1 = \frac{2 - V_{AB}}{10} \quad I_2 = \frac{5 - V_{AB}}{12} \quad \text{et} \quad I_3 = \frac{3 - V_{AB}}{8}$$

0,5x3 pts

0,5 pt

Sachant que le dipôle A-B est à vide :  $I_1 + I_2 + I_3 = 0$  (loi des nœuds)

$$\Rightarrow I_1 + I_2 + I_3 = \frac{2 - V_{AB}}{10} + \frac{5 - V_{AB}}{12} + \frac{3 - V_{AB}}{8} = 0$$

$$\Leftrightarrow 0 = \frac{2}{10} + \frac{5}{12} + \frac{3}{8} - \frac{V_{AB}}{10} - \frac{V_{AB}}{12} - \frac{V_{AB}}{8}$$

$$\Leftrightarrow 0 = \frac{2}{10} + \frac{5}{12} + \frac{3}{8} - V_{AB} \cdot \left( \frac{1}{10} + \frac{1}{12} + \frac{1}{8} \right)$$

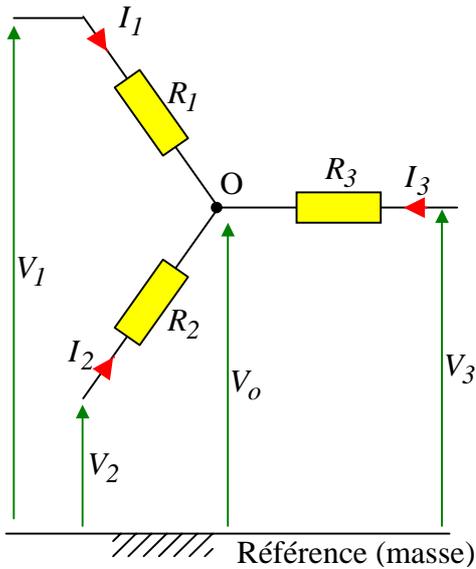
$$\Leftrightarrow V_{AB} = \frac{\frac{2}{10} + \frac{5}{12} + \frac{3}{8}}{\frac{1}{10} + \frac{1}{12} + \frac{1}{8}} \quad (\text{ne pas effectuer le calcul})$$

1,5 pt

<sup>(3)</sup> « à vide » : il n'est pas relié à un autre réseau électrique

<sup>(4)</sup> Indiquer le raisonnement qui conduit au résultat

**16. Résistances en étoile – Millman (3,5 pts)**



Soit le montage de trois résistances en étoile ci-contre soumis à des tensions  $V_1$ ,  $V_2$  et  $V_3$  produites par des sources non représentées.

**a) Exprimer  $I_1$  en fonction de  $V_1$ ,  $V_o$  et  $R_1$**

Exprimer  $I_2$  en fonction de  $V_2$ ,  $V_o$  et  $R_2$

Exprimer  $I_3$  en fonction de  $V_3$ ,  $V_o$  et  $R_3$

**b) Appliquer la loi des nœuds au point « O ».**

**En déduire** l'expression de  $V_o$  en fonction des paramètres  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$  et  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ .

**Exprimer** le résultat sous la forme 
$$V_o = \frac{\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

**Corrigé**

$$I_1 = \frac{V_1 - V_o}{R_1} ; I_2 = \frac{V_2 - V_o}{R_2} ; I_3 = \frac{V_3 - V_o}{R_3}$$

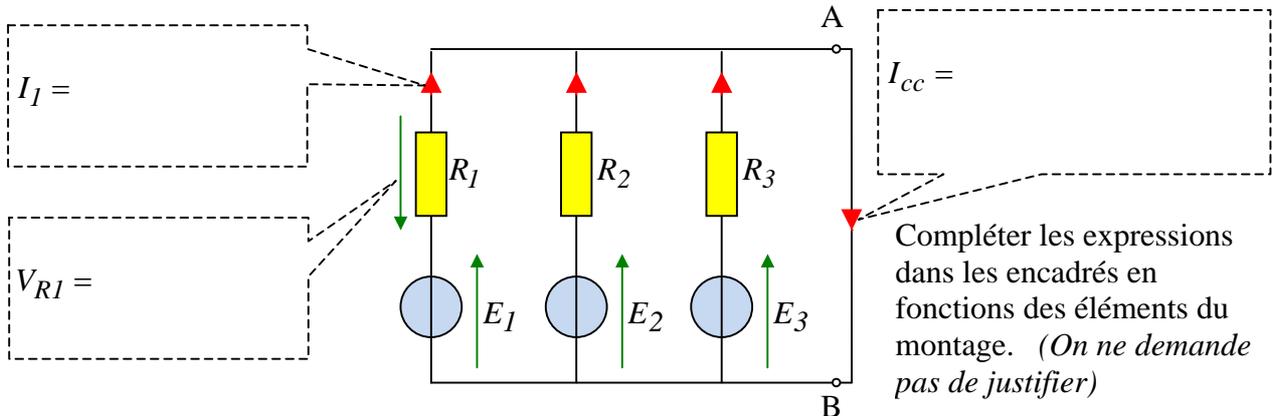
$$\text{Loi des nœuds en « O » : } I_1 + I_2 + I_3 = 0 \Leftrightarrow \frac{V_1 - V_o}{R_1} + \frac{V_2 - V_o}{R_2} + \frac{V_3 - V_o}{R_3} = 0$$

$$\Leftrightarrow \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} - V_o \cdot \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) = 0 \Leftrightarrow V_o = \frac{\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

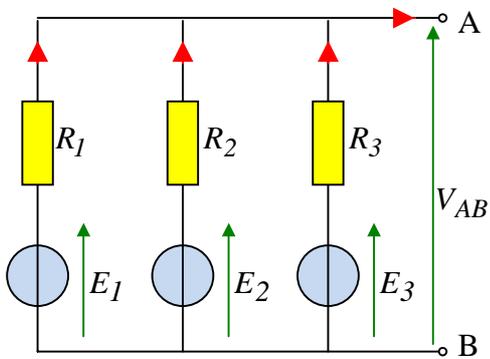
### 17. Réseau linéaire – Norton/Thévenin/Millman (6,5 pts)

Test sur la capacité à utiliser les théorèmes de Thévenin et de Norton.

Test sur la capacité à redessiner un schéma



Compléter les expressions dans les encadrés en fonctions des éléments du montage. (On ne demande pas de justifier)



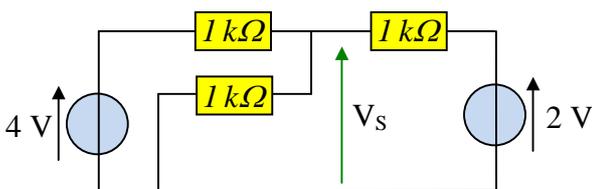
Déterminer le dipôle équivalent de Norton du dipôle AB ci-contre en fonction des éléments du schéma. (Le dessiner et préciser les valeurs de  $I_{eq}$  et de  $R_{eq}$  en fonction des éléments du montage). (pas de justification)

Exprimer la tension à vide  $V_{AB}$  aux bornes de ce dipôle. (Justifier en quelques mots)

Mettre le résultat sous la forme :

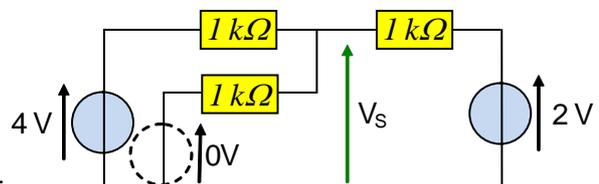
$$V_{AB} = \frac{E_1 + \dots + \dots}{\frac{\dots}{I} + \frac{\dots}{I} + \frac{\dots}{I}} \quad (5)$$

Application :



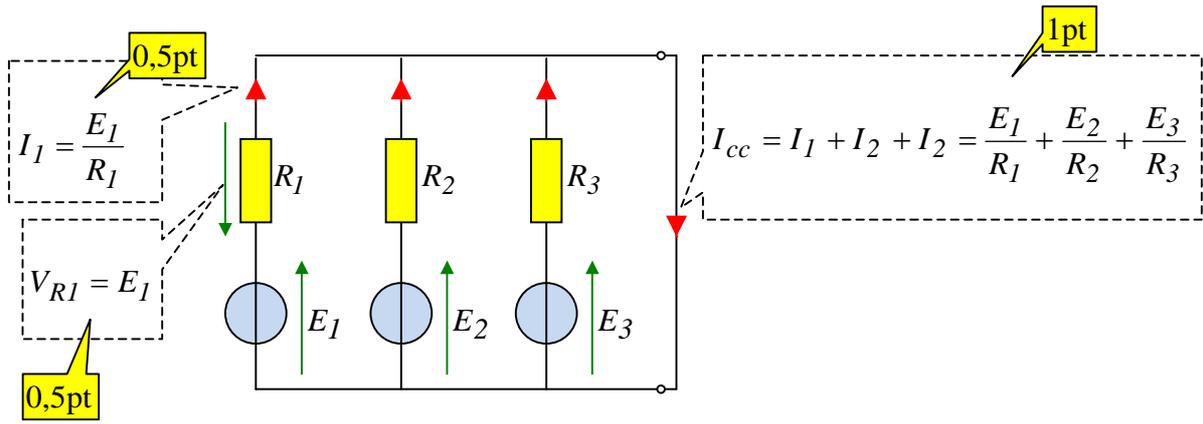
Calculer la valeur numérique de  $V_s$  (6)  
(Pas de justification demandée)

(5) Ce résultat est appelé « Théorème de Millman »



(6) Le résultat est très rapide si on utilise la relation précédente avec :

Corrigé :

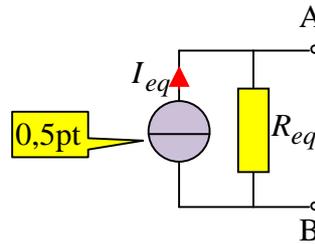


$I_{eq} = I_{cc}$  0,5pt

(courant de court-circuit du dipôle A-B)

$R_{eq} = R_1 // R_2 // R_3 = \left( R_1^{-1} + R_2^{-1} + R_3^{-1} \right)^{-1}$

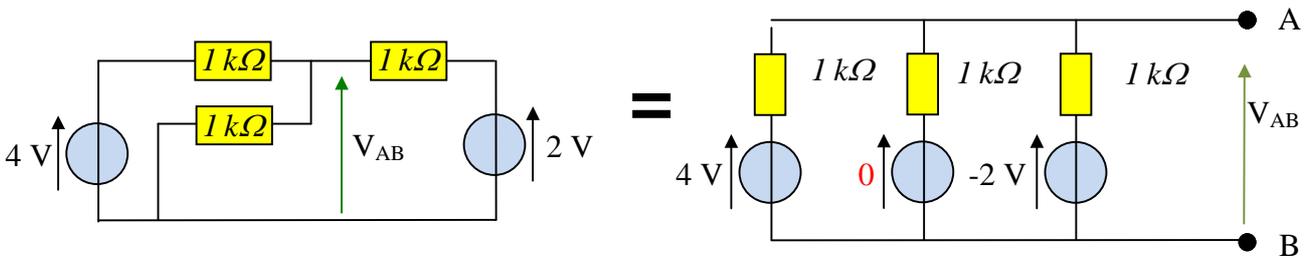
ou  $R_{eq} = \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)^{-1}$  1pt



0,5pt

La tension à vide  $V_{AB}$  aux bornes de ce dipôle est la tension équivalente de Thévenin :  $V_{AB} = R_{eq} \cdot I_{eq}$

$\Rightarrow V_{AB} = \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)^{-1} \cdot \left( \frac{E_1}{R_1} + \frac{E_2}{R_2} + \frac{E_3}{R_3} \right) \Rightarrow V_{AB} = \frac{\frac{E_1}{R_1} + \frac{E_2}{R_2} + \frac{E_3}{R_3}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$  1pt

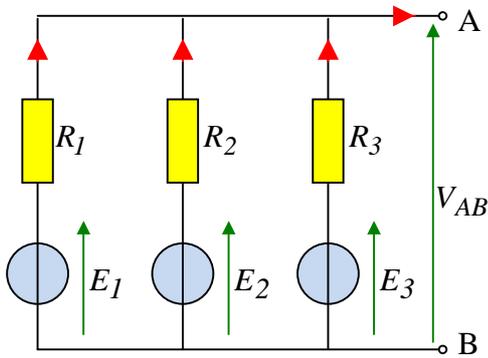


$V_{AB} = \frac{\frac{4}{10^3} + \frac{0}{10^3} + \frac{2}{10^3}}{\frac{1}{10^3} + \frac{1}{10^3} + \frac{1}{10^3}} = \frac{6}{3} = 2V$  1pt

### 18. Réseau linéaire – Norton/Thévenin/Millman variante (6 pts)

Test sur la capacité à utiliser les théorèmes de Thévenin et de Norton.

Test sur la capacité à redessiner un schéma



Déterminer le dipôle équivalent de Norton du dipôle AB ci-contre en fonction des éléments du schéma. (Le dessiner et préciser les valeurs de  $I_{eq}$  et de  $R_{eq}$ ).

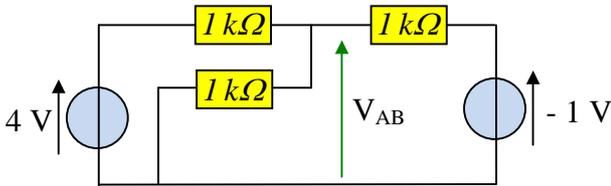
(Pas de justification demandée)

Exprimer la tension à vide  $V_{AB}$  aux bornes de ce dipôle.

Mettre le résultat sous la forme :

$$V_{AB} = \frac{\frac{E_1}{I} + \dots + \dots}{\frac{\dots}{I} + \frac{\dots}{I} + \frac{\dots}{I}} \quad (1)$$

Application :

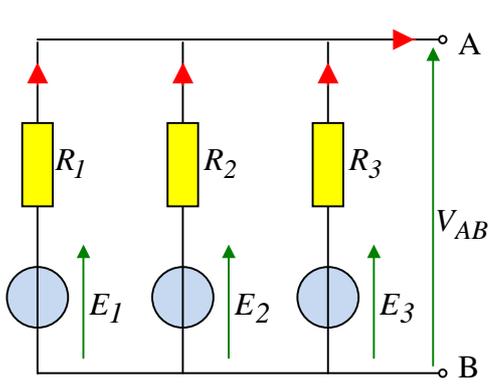


Calculer la valeur numérique de  $V_{AB}$   
(attention à la valeur négative « -1 V »)

Le résultat est très rapide si on utilise la relation précédente

(1) Ce résultat est appelé « Théorème de Millman »

Corrigé :



$$I_{eq} = \frac{E_1}{R_1} + \frac{E_2}{R_2} + \frac{E_3}{R_3}$$

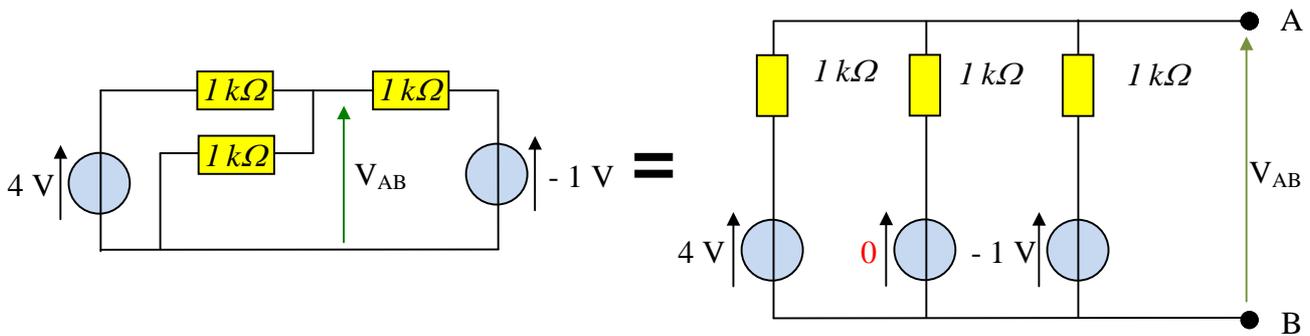
(courant de court-circuit du dipôle A-B)

$$R_{eq} = R_1 // R_2 // R_3 = \left( R_1^{-1} + R_2^{-1} + R_3^{-1} \right)^{-1}$$

$$\text{ou } R_{eq} = \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)^{-1}$$

La tension à vide  $V_{AB}$  aux bornes de ce dipôle est la tension équivalente de Thévenin :  $V_{AB} = R_{eq} \cdot I_{eq}$

$$\Rightarrow V_{AB} = \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)^{-1} \cdot \left( \frac{E_1}{R_1} + \frac{E_2}{R_2} + \frac{E_3}{R_3} \right) \Rightarrow V_{AB} = \frac{\frac{E_1}{R_1} + \frac{E_2}{R_2} + \frac{E_3}{R_3}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$



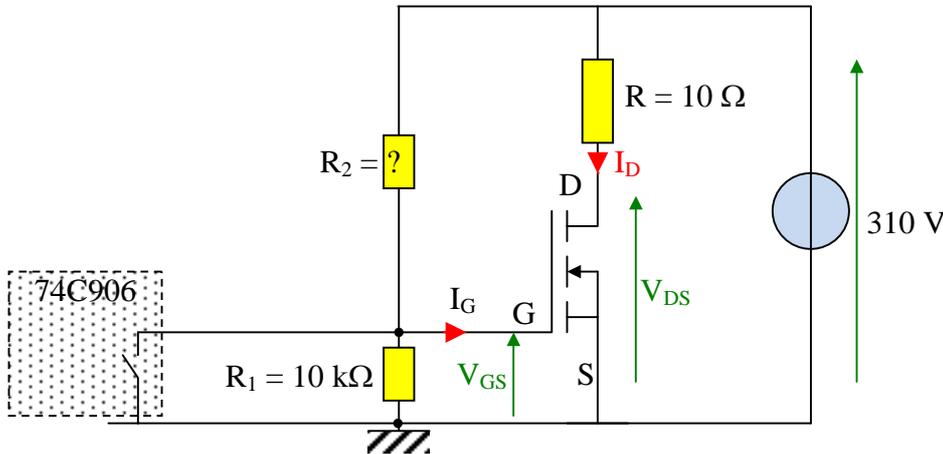
$$V_{AB} = \frac{\frac{4}{10^3} + \frac{0}{10^3} + \frac{-1}{10^3}}{\frac{1}{10^3} + \frac{1}{10^3} + \frac{1}{10^3}} = \frac{\frac{3}{10^3}}{\frac{3}{10^3}} = 1V$$

### 19. Commande d'un transistor MOS de puissance (3 pts)

Le schéma ci-dessous représente la commande d'un transistor MOS à partir de la sortie d'un circuit intégré logique 74C906. (Aucune de connaissance des MOS ou des 74C906 n'est nécessaire).

Le courant  $I_G$  sur la grille « G » du transistor MOS est tellement faible par rapport aux autres courants du montage qu'on peut le négliger. On considèrera donc  $I_G = 0$ .

Vu de sa sortie, le circuit logique 74C906 se comporte comme un interrupteur.



a) Quelle est la valeur numérique de  $V_{GS}$  lorsque l'interrupteur du 74C906 est **fermé** ?

b) Lorsque l'interrupteur du 74C906 est **ouvert**, on veut  $V_{GS} \geq 10 V$ .  
Etablir l'expression de  $V_{GS}$  en fonction de  $R_1$  et  $R_2$ .

Déterminer la valeur de la résistance  $R_2$ , (un seul composant), choisie dans la liste de la série « E12 » ci-dessous telle que  $V_{GS}$  soit le plus près possible de 10 V avec  $V_{GS} \geq 10 V$ .

|        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 Ω    | 1,2 Ω  | 1,5 Ω  | 1,8 Ω  | 2,2 Ω  | 2,7 Ω  | 3,3 Ω  | 3,9 Ω  | 4,7 Ω  | 5,6 Ω  | 6,8 Ω  | 8,2 Ω  |
| 10 Ω   | 12 Ω   | 15 Ω   | 18 Ω   | 22 Ω   | 27 Ω   | 33 Ω   | 39 Ω   | 47 Ω   | 56 Ω   | 68 Ω   | 82 Ω   |
| 100 Ω  | 120 Ω  | 150 Ω  | 180 Ω  | 220 Ω  | 270 Ω  | 330 Ω  | 390 Ω  | 470 Ω  | 560 Ω  | 680 Ω  | 820 Ω  |
| 1 kΩ   | 1,2 kΩ | 1,5 kΩ | 1,8 kΩ | 2,2 kΩ | 2,7 kΩ | 3,3 kΩ | 3,9 kΩ | 4,7 kΩ | 5,6 kΩ | 6,8 kΩ | 8,2 kΩ |
| 10 kΩ  | 12 kΩ  | 15 kΩ  | 18 kΩ  | 22 kΩ  | 27 kΩ  | 33 kΩ  | 39 kΩ  | 47 kΩ  | 56 kΩ  | 68 kΩ  | 82 kΩ  |
| 100 kΩ | 120 kΩ | 150 kΩ | 180 kΩ | 220 kΩ | 270 kΩ | 330 kΩ | 390 kΩ | 470 kΩ | 560 kΩ | 680 kΩ | 820 kΩ |

Corrigé :

a) Quelle est la valeur numérique de  $V_{GS}$  lorsque l'interrupteur du 74C906 est **fermé** ?:

$V_{GS} = 0 V$  (en court-circuit)

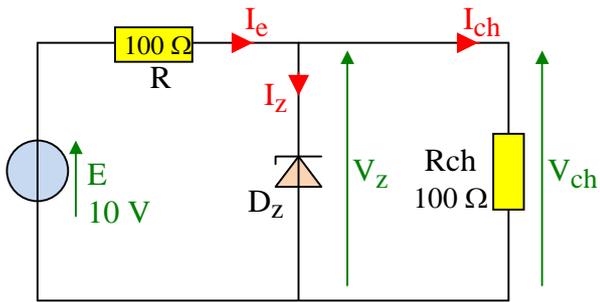
b) Lorsque l'interrupteur du 74C906 est **ouvert** :  $V_{GS} = \frac{310 \cdot R_1}{R_1 + R_2} = \frac{310 \cdot 10^4}{10^4 + R_2}$  (pont diviseur de tension)

$$V_{GS} \geq 10 V \Leftrightarrow \frac{310 \cdot 10^4}{10^4 + R_2} \geq 10 V \Leftrightarrow \frac{310 \cdot 10^4}{10} \geq 10^4 + R_2$$

$$\Leftrightarrow R_2 \leq 31 \cdot 10^4 - 10^4 = 30 \cdot 10^4 \Omega = 300 k\Omega . \text{ On prend donc } R_2 = 270 k\Omega$$

## 20. Montage stabilisateur de tension à diode zener (4 pts)

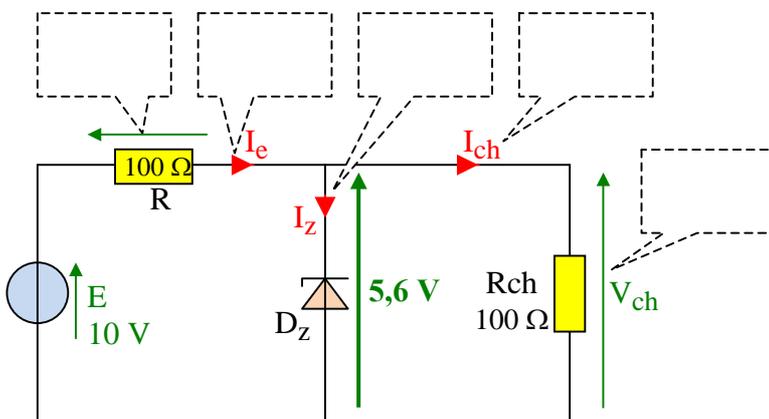
(Aucune connaissance des diodes zener n'est nécessaire pour cet exercice)



La diode zener  $D_Z$  du montage ci-contre est un dipôle qui ne peut présenter que deux états :

- Si  $D_Z$  est **passante** : La tension  $V_Z$  à ses bornes vaut 5,6 V et le courant  $I_Z$  qui la traverse est positif.
- Si  $D_Z$  est **bloquée** : Le courant  $I_Z$  est nul et la tension  $V_Z$  à ses bornes est inférieure à 5,6 V.

Sachant que la diode zener ne peut pas être simultanément « passante » et « bloquée », nous allons envisager successivement les deux possibilités :

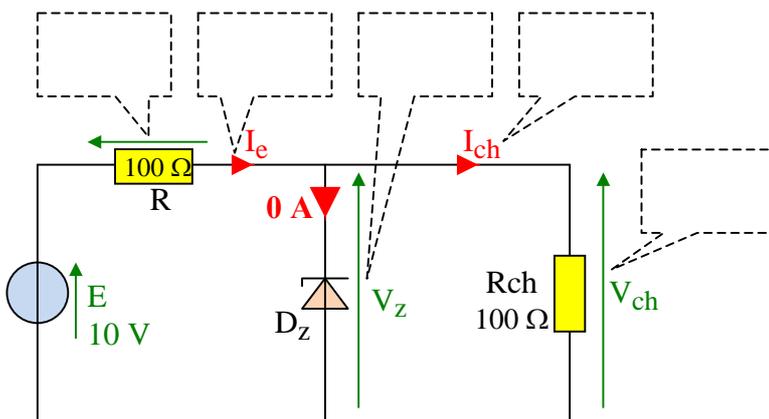


**a) Supposons la diode zener « passante ».**

On suppose donc  $V_Z = 5,6 V$ .

En appliquant la loi des mailles et la loi des nœuds, indiquer directement les valeurs numériques des tensions et des courants sur le schéma ci-contre.

Vérifier si ce montage permet d'avoir simultanément  $V_Z = 5,6 V$  et  $I_Z > 0$ , puis conclure si l'hypothèse « diode zener passante » est vraie ou fausse.



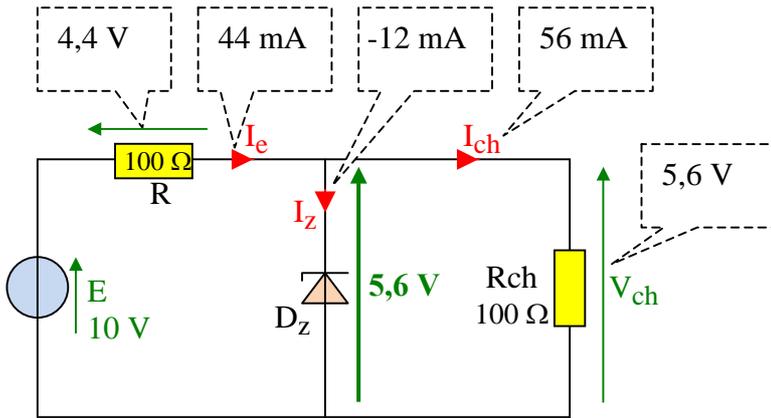
**b) Supposons la diode zener « bloquée ».**

On suppose donc  $I_Z = 0$ .

En appliquant la loi des mailles et la loi des nœuds, indiquer directement les valeurs numériques des tensions et des courants sur le schéma ci-contre.

Vérifier si ce montage permet d'avoir simultanément  $I_Z = 0$  et  $V_Z < 5,6 V$ , puis conclure si l'hypothèse « diode zener bloquée » est vraie ou fausse.

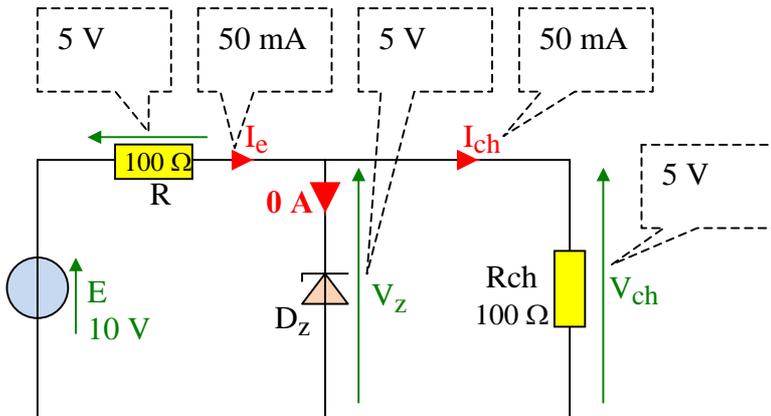
Corrigé :



a) Supposons la diode zener « passante ».

On suppose donc  $V_z = 5,6 V$ .

En appliquant la loi des mailles et la loi des nœuds, on obtient  $V_z = 5,6 V$  et  $I_z < 0$ , donc l'hypothèse « diode zener passante » est fausse.



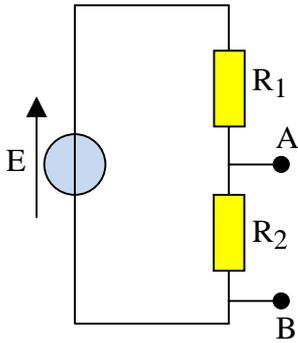
b) Supposons la diode zener « bloquée ».

On suppose donc  $I_z = 0$ .

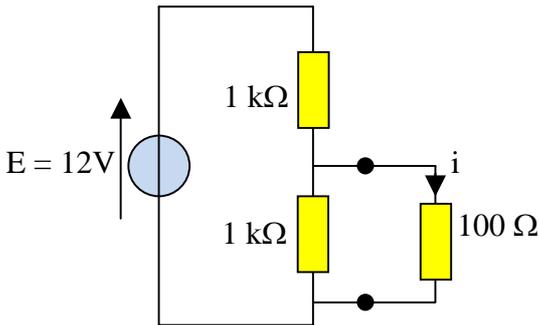
En appliquant la loi des mailles et la loi des nœuds, on obtient  $I_z = 0$  et  $V_z < 5,6 V$ , donc l'hypothèse « diode zener bloquée » est vraie.

*Si la première hypothèse était fausse, la seconde était obligatoirement vraie puisqu'il n'y avait que deux situations possibles.*

**21. Applications du théorème de Thévenin 1 source-3 résistances (2 pts)**

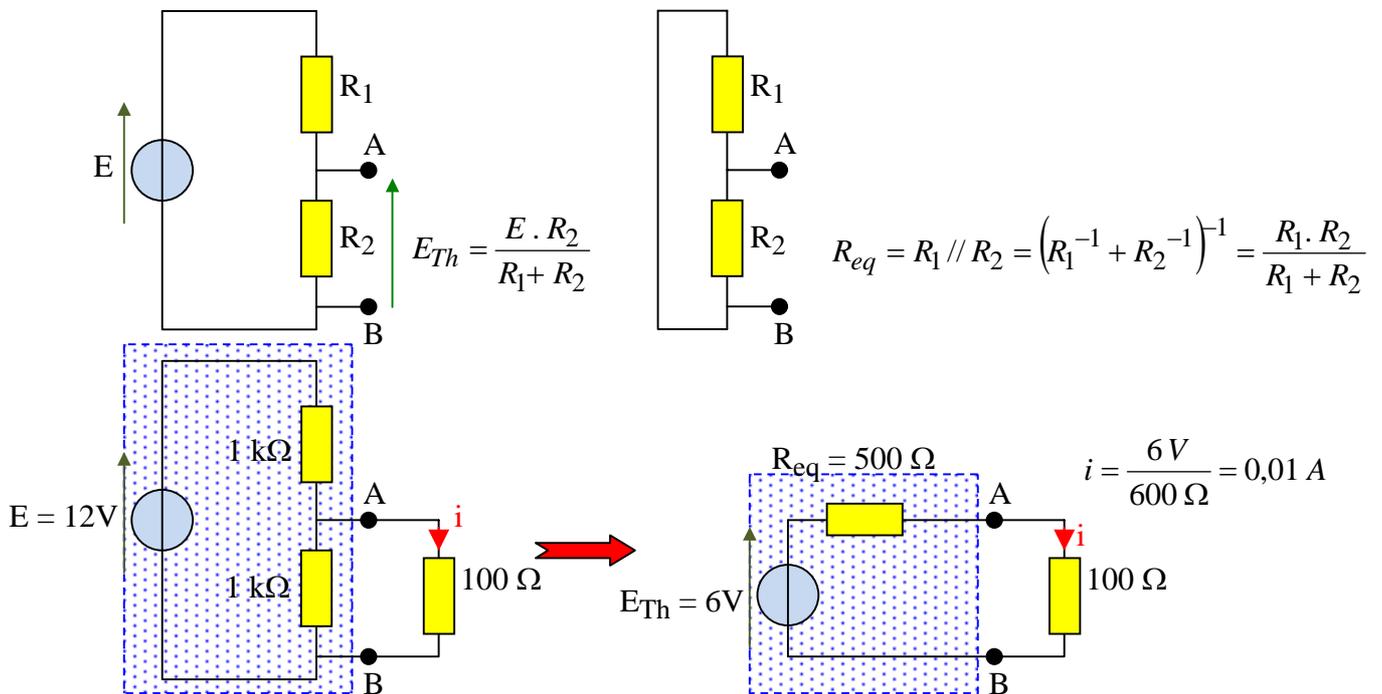


Déterminer les expressions des éléments  $E_{Th}$  et  $R_{eq}$  du dipôle de Thévenin équivalent au dipôle AB. ci-contre



En déduire la valeur de « i » dans le montage ci-contre.

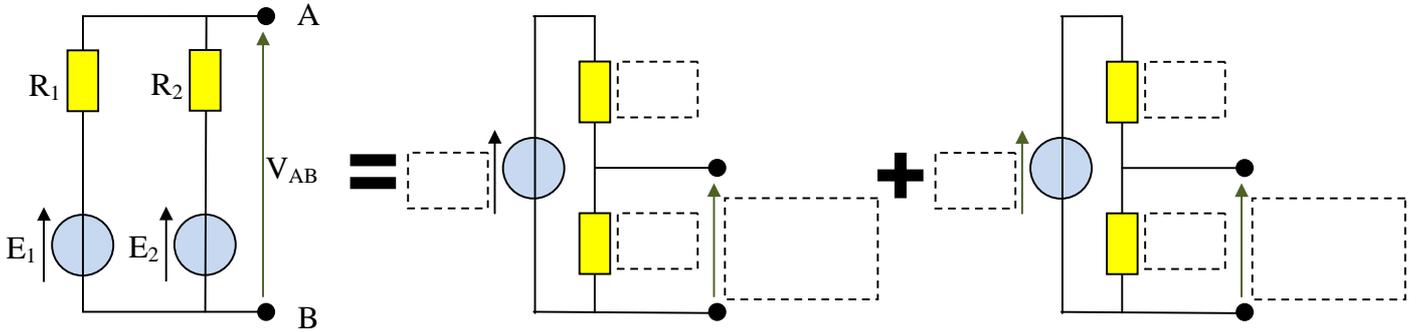
Corrigé :



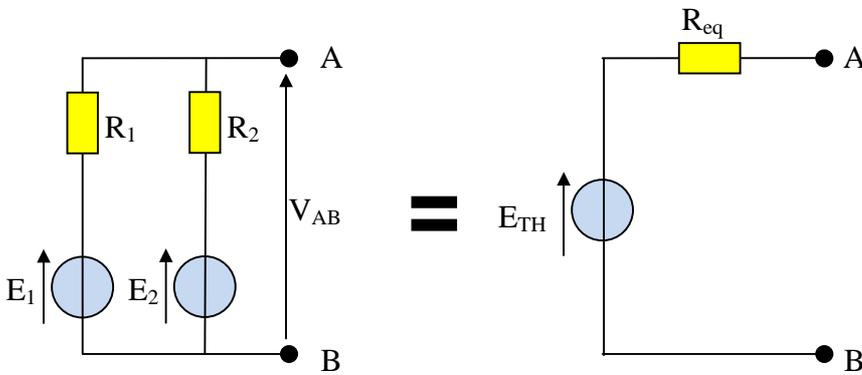
**22. Réseau électrique linéaire superposition/Thévenin (4,5 pts)**

a) Pour illustrer le théorème de superposition, compléter les cadres en pointillés en utilisant uniquement les paramètres  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $R_1$  et  $R_2$ .

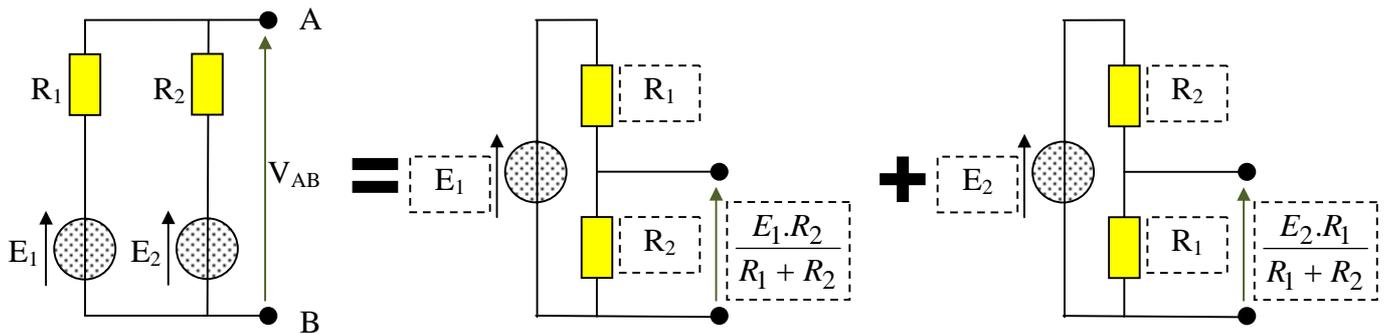
En déduire  $V_{AB}$  en fonction de  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $R_1$  et  $R_2$ .



b) Déterminer les éléments  $E_{TH}$  et  $R_{eq}$  du modèle équivalent de Thévenin du dipôle AB.



Corrigé :



$$V_{AB} = \frac{E_1 \cdot R_2 + E_2 \cdot R_1}{R_1 + R_2} \text{ . Le dipôle « AB » est « à vide » : Il n'est relié à rien.}$$

$$E_{TH} = V_{AB} \text{ à vide} = \frac{E_1 \cdot R_2 + E_2 \cdot R_1}{R_1 + R_2} \quad R_{eq} = \left( R_1^{-1} + R_2^{-1} \right)^{-1} \text{ ou } R_{eq} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

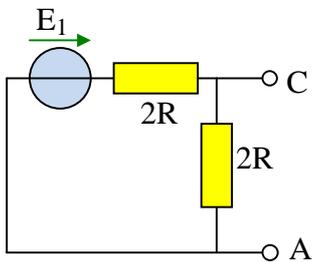
### 23. Réseau électrique linéaire dualité Thévenin/Norton (9 pts)

Test sur la capacité à utiliser les théorèmes de Thévenin et de Norton et la dualité Thévenin/Norton.

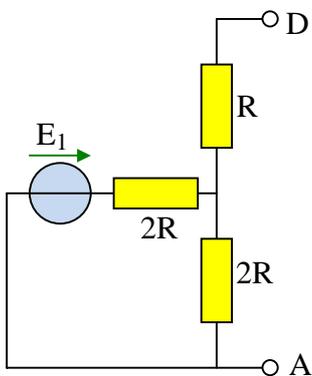
Test sur la capacité à simplifier un schéma

Par convention, deux résistances de même nom ont même valeur.

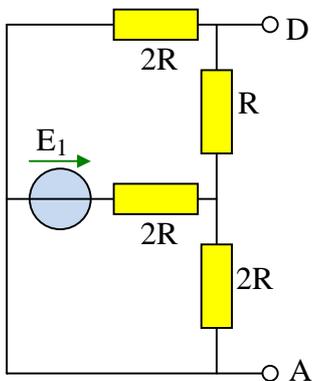
Dans l'exercice suivant, les résistances «  $2R$  » sont de valeur double des résistances «  $R$  »



- a) Déterminer le dipôle équivalent de Norton du dipôle AC ci-contre en fonction des éléments du schéma. (Le dessiner et préciser les valeurs de  $I_{eq}$  et de  $R_{eq}$ ).  
(Pas de justification demandée)

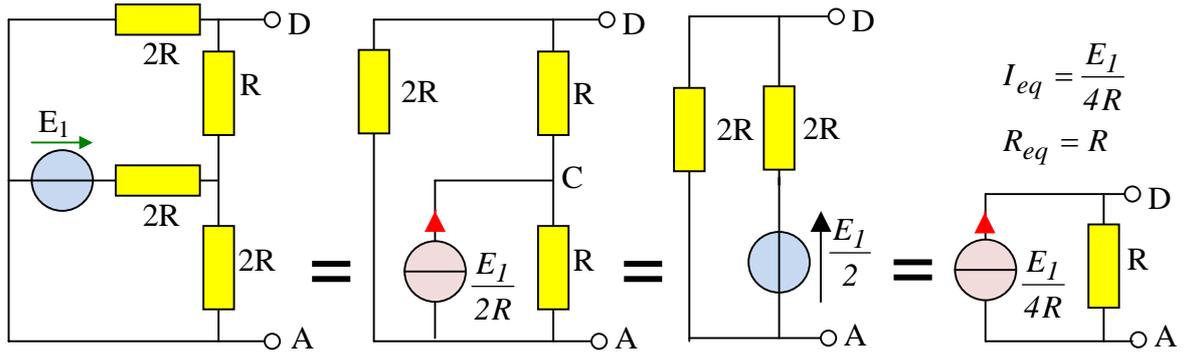
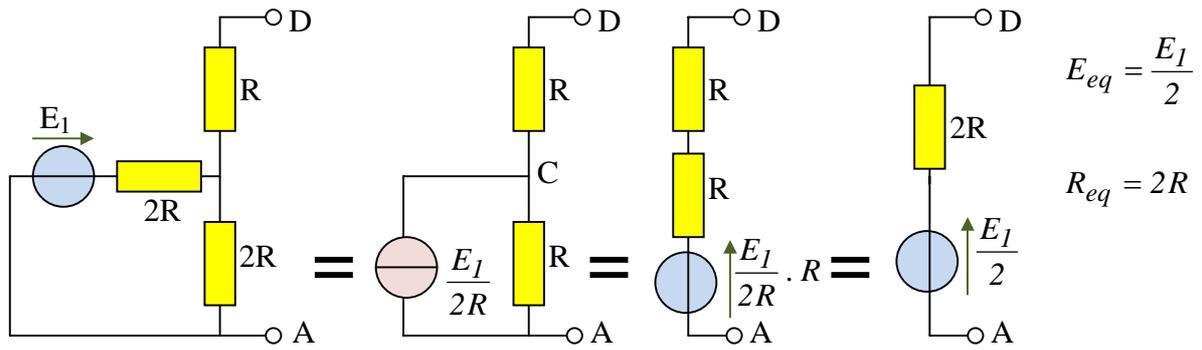


- b) Déterminer le dipôle équivalent de Thévenin du dipôle AD ci-contre en fonction des éléments du schéma. (Le dessiner et préciser les valeurs de  $E_{eq}$  et de  $R_{eq}$ ).  
(Pas de justification demandée)



- c) Déterminer le dipôle équivalent de Norton du dipôle AD ci-contre en fonction des éléments du schéma. (Le dessiner et préciser les valeurs de  $I_{eq}$  et de  $R_{eq}$ ).  
(Pas de justification demandée)

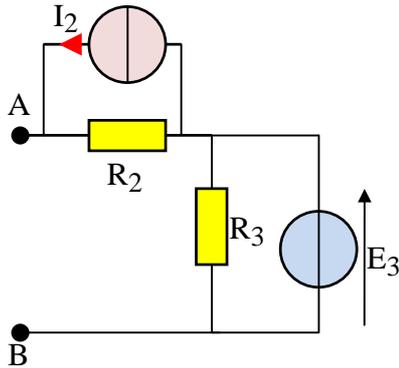
Corrigé :



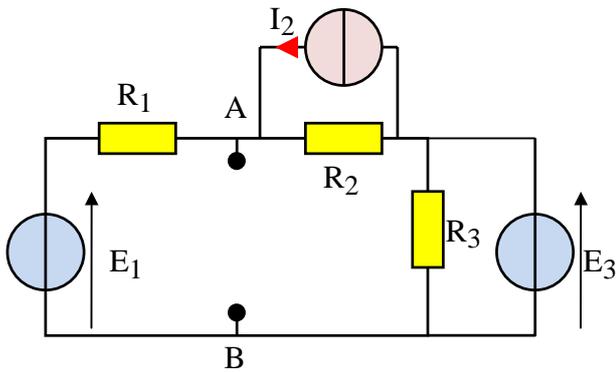
### 24. Réseau électrique linéaire 3 sources (4,5 pts)

(Attention, les questions a), b) et c) sont liées)

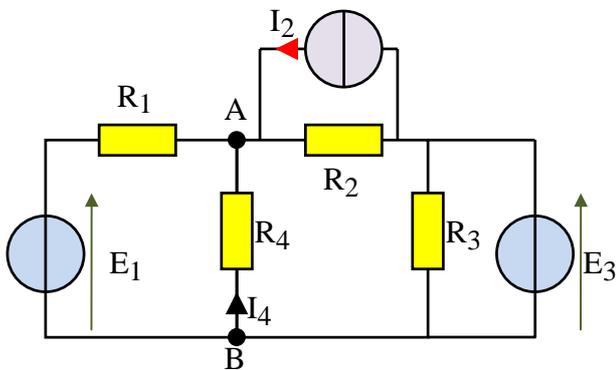
a) ci-contre en



Déterminer le schéma équivalent de Thévenin du dipôle AB fonction des éléments du montage.



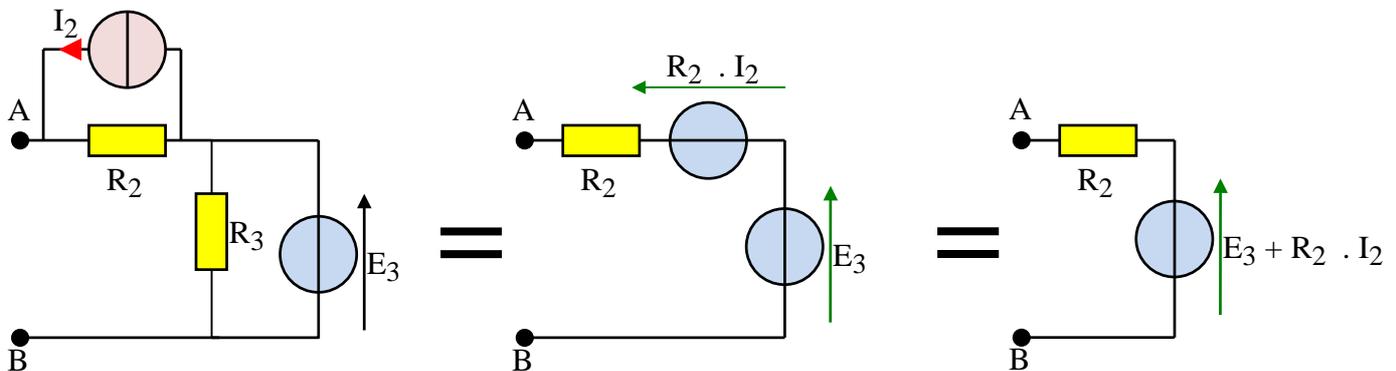
b) Déterminer le schéma équivalent de Norton du dipôle AB ci-contre en fonction des éléments du montage.

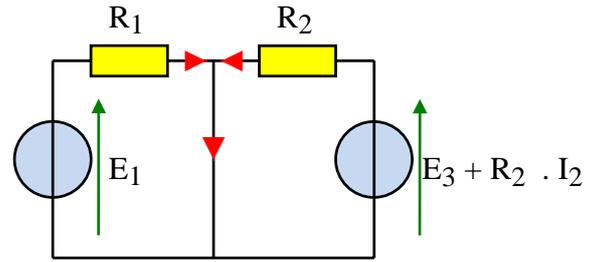
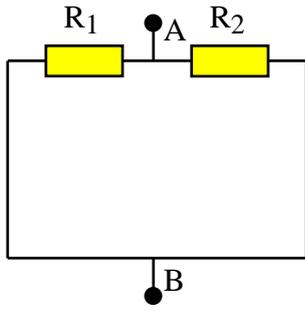


c) Dans le schéma ci-contre, exprimer  $I_4$  en fonction des éléments du montage. (Il n'est pas demandé de développer l'expression)

Corrigé :

a)





$$R_{eq} = R_1 // R_2 = (R_1^{-1} + R_2^{-1})^{-1}$$

ou

$$R_{eq} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

$$I_{cc} = \frac{E_1}{R_1} + \frac{E_3 + R_2 \cdot I_2}{R_2} = \frac{E_1}{R_1} + \frac{E_3}{R_2} + I_2$$

## 25. Convertisseur numérique analogique version 1 (7 pts)

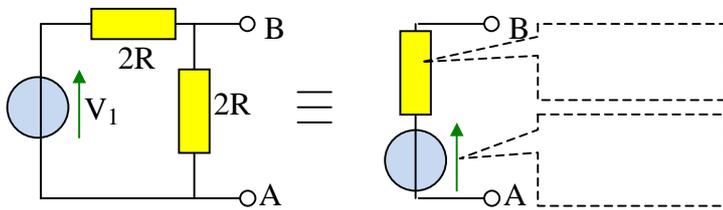
Etude d'un **convertisseur numérique/analogique**.

Test sur la capacité à utiliser les théorèmes de Thévenin et de Norton et la dualité Thévenin/Norton.

Test sur la capacité à simplifier un schéma

Par convention, deux résistances de même nom ont même valeur.

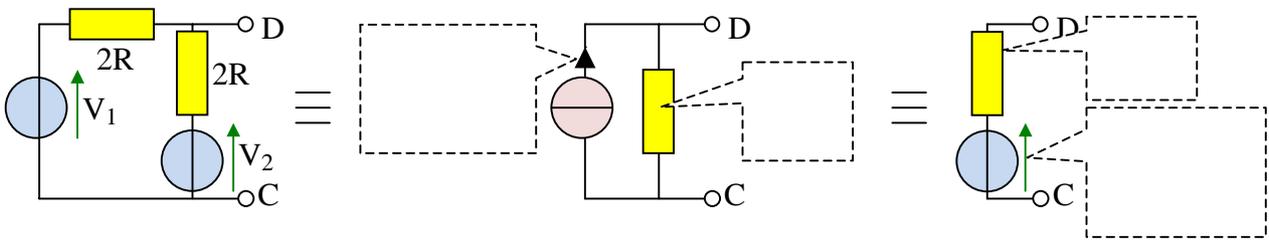
Dans l'exercice suivant, les résistances «  $2R$  » sont de valeur double des résistances «  $R$  »



a) Dans les deux cases en pointillé ci-contre, compléter les valeurs du modèle équivalent de Thévenin du dipôle A-B en fonction de  $V_1$  et  $R$ .

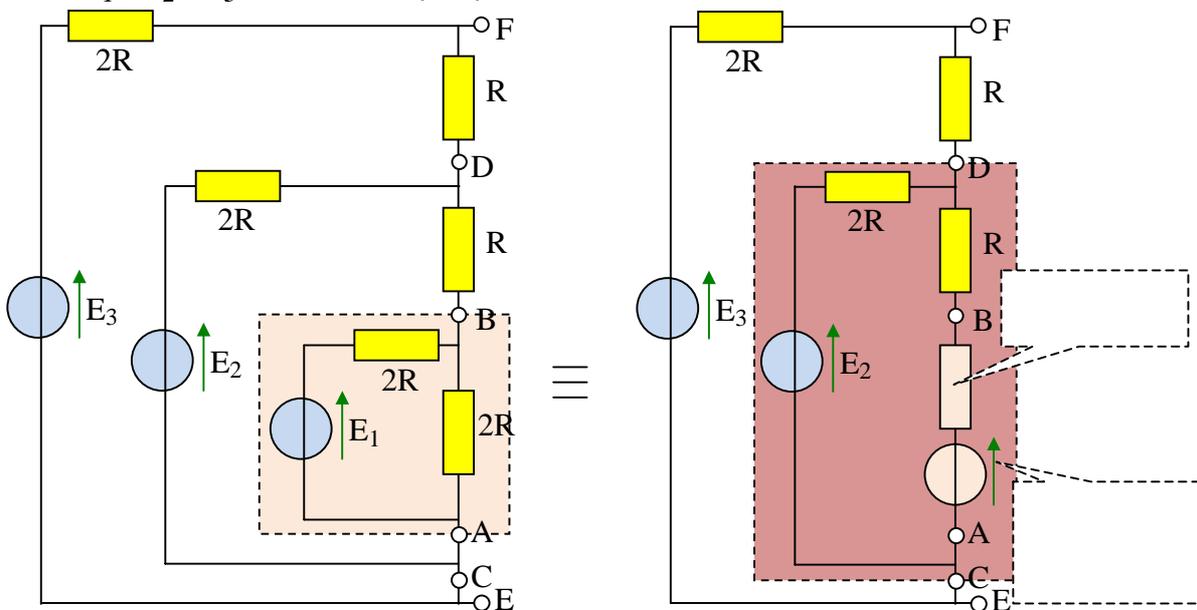
(Pas de justification demandée)

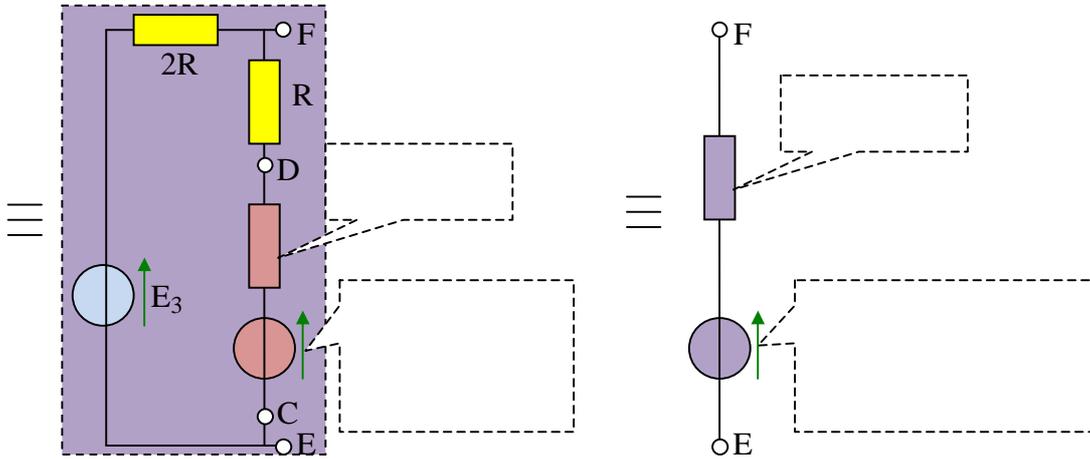
b) Dans les 4 cases en pointillé ci-dessous, compléter les valeurs des modèles équivalents de Norton et de Thévenin du dipôle C-D en fonction de  $V_1$ ,  $V_2$  et de  $R$ . (Pas de justification demandée)



c) On veut simplifier de proche en proche le dipôle E-F ci-dessous de façon à obtenir son modèle équivalent de Thévenin. On remplace d'abord le dipôle A-B par son équivalent de Thévenin, puis le dipôle C-D et enfin le dipôle E-F.

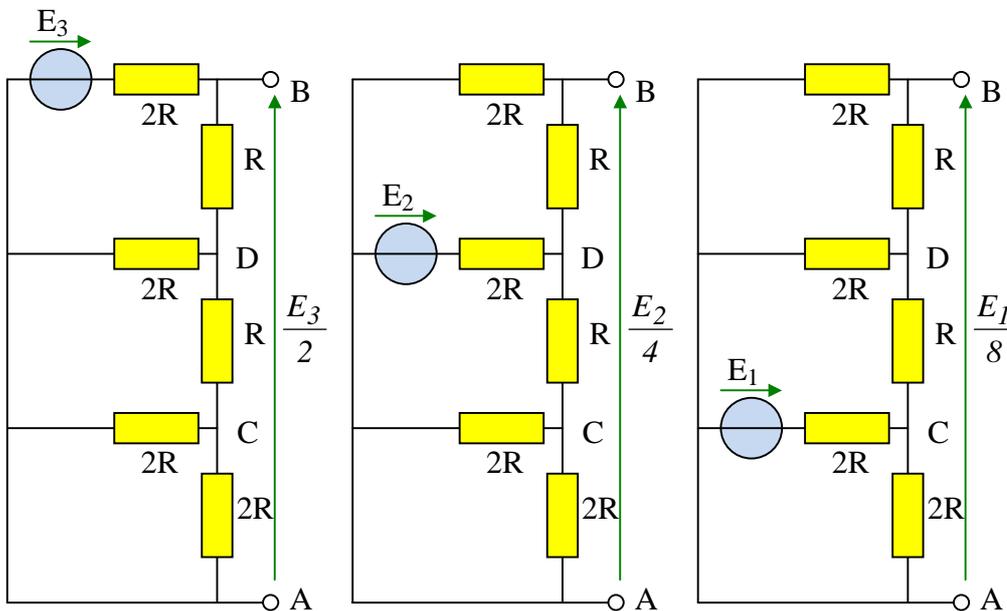
Utiliser les résultats établis au a) et au b) ci-dessus pour compléter les valeurs des 6 cases en pointillé ci-après en fonction de  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$  et  $R$ . (Pas de justification demandée)





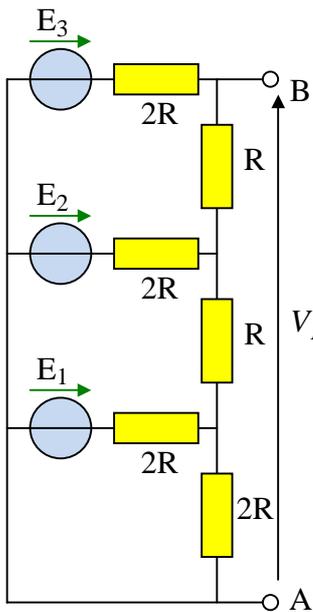
corrigé : voir ci-dessous « version 2 »

**26. Convertisseur numérique analogique version 2 (1,5 pts)**



Les résistances « 2R » ont une valeur double des résistances « R »

On a déterminé les tensions à vide aux bornes des différents dipôles ci-contre (On ne demande pas de les redémontrer):

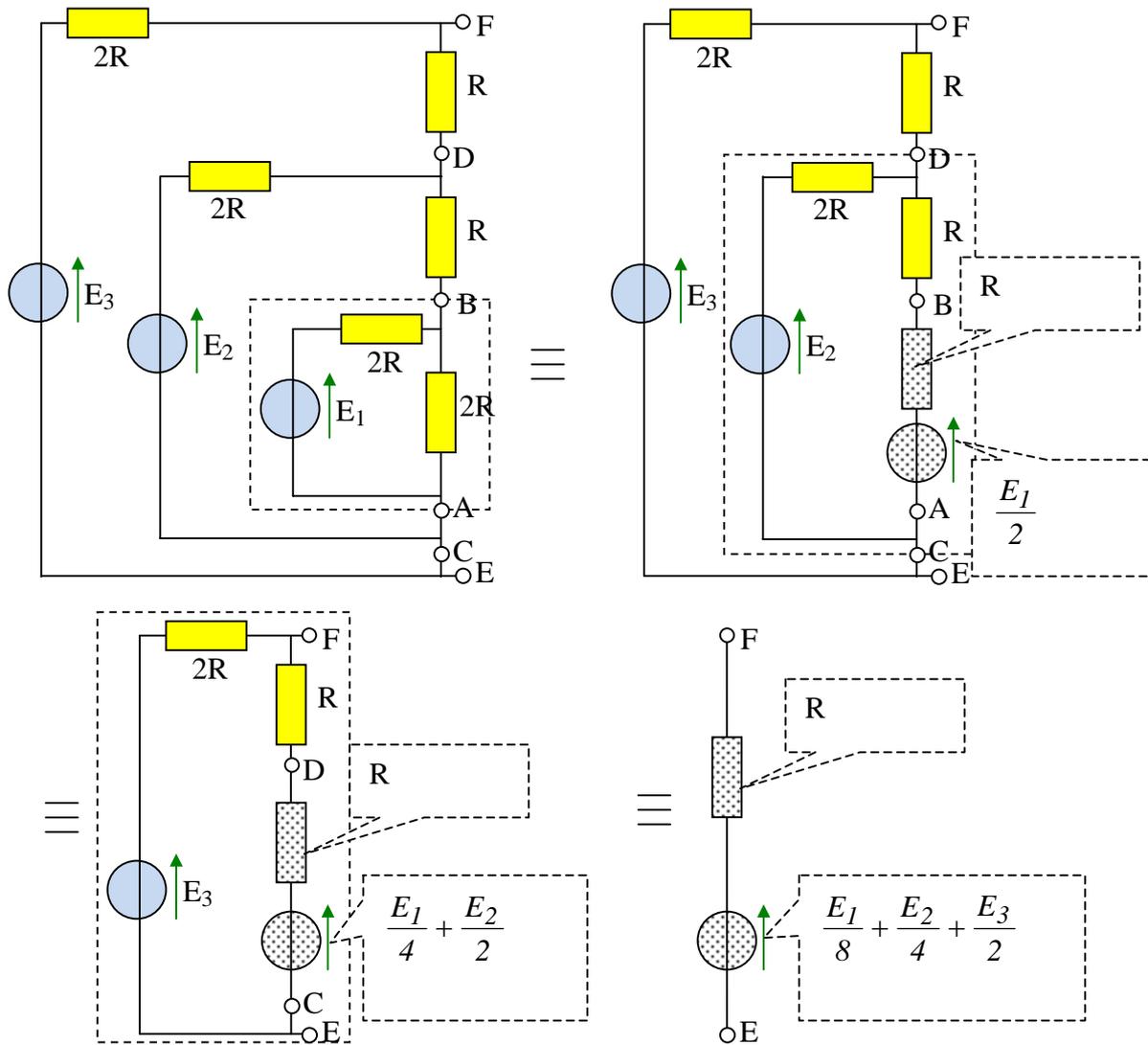


**Déterminer** la tension  $V_{BA}$  du dipôle AB ci-contre. (Ne pas rédiger de calcul. **Rappeler seulement** la méthode mise en œuvre pour obtenir le résultat)

$E_1$ ,  $E_2$  et  $E_3$  sont des tensions issues des sorties d'un circuit numérique. Elles peuvent prendre seulement deux valeurs : 0 ou  $V_{cc}$ . On écrit :  $E_1 = a_1 \cdot V_{cc}$ ,  $E_2 = a_2 \cdot V_{cc}$  et  $E_3 = a_3 \cdot V_{cc}$  avec les variables numériques  $a_1$ ,  $a_2$  et  $a_3$  qui peuvent prendre les valeurs 0 ou 1. Compléter l'expression de la tension  $V_{BA}$  aux bornes du dipôle AB à vide en fonction de  $a_1$ ,  $a_2$  et  $a_3$  sous la forme

$$V_{BA} = \frac{V_{cc}}{8} \cdot \left( \dots\dots\dots \right)$$

Corrigé :



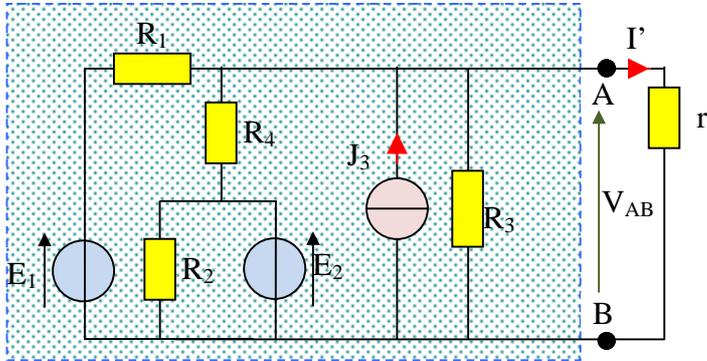
\* **Version 2 :** En appliquant le **théorème de superposition**, la tension aux bornes du dipôle AB à vides est  $V_{BA} = \frac{E_1}{8} + \frac{E_2}{4} + \frac{E_3}{2}$ . C'est la tension équivalente de Thévenin de l'exercice précédent

$V_{BA} = \frac{V_{cc}}{8} \cdot (a_1 + 2.a_2 + 4.a_3)$  Nous obtenons un convertisseur numérique/analogique de trois bits. On peut généraliser la méthode sur n bits. On appelle ce type de convertisseur un CNA R/2R

### 27. Démonstration du théorème de Thévenin à partir du théorème de superposition. (7,5 pts)

Exercice difficile !

L'objectif de cet exercice étant de démontrer le théorème de Thévenin à partir d'un exemple. Dans cet exercice, on n'utilisera donc ni le théorème de Thévenin ni le théorème de Norton.



La démonstration sera faite à partir de l'exemple ci-contre. Les valeurs de  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$ ,  $E_1$ ,  $E_2$ , et  $J_3$ , sont des constantes dans tout le problème.

a) Soient les quatre schémas suivants :

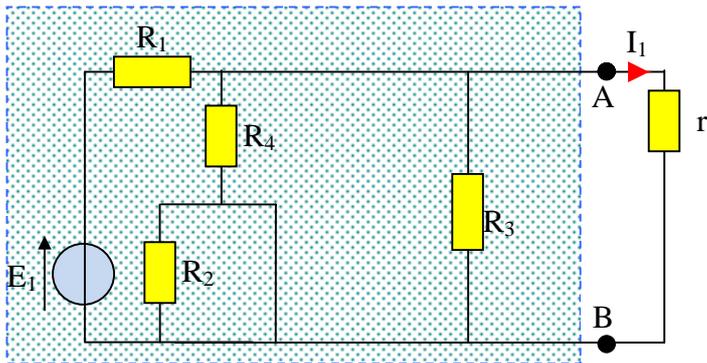


Figure 1

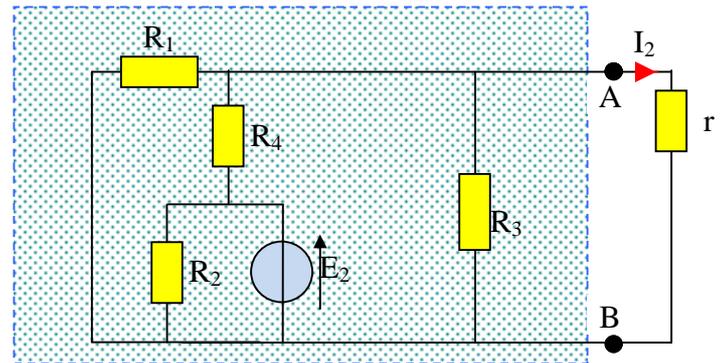


Figure 2

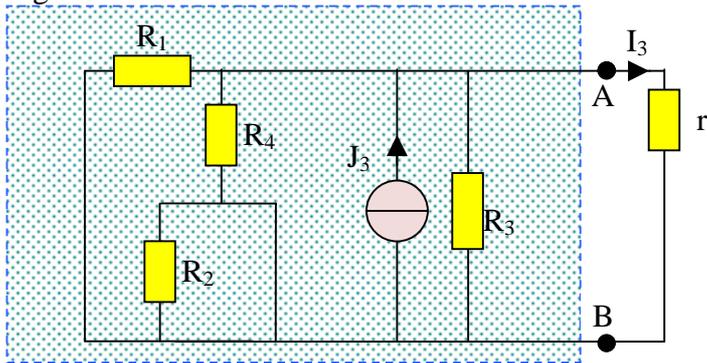


Figure 3

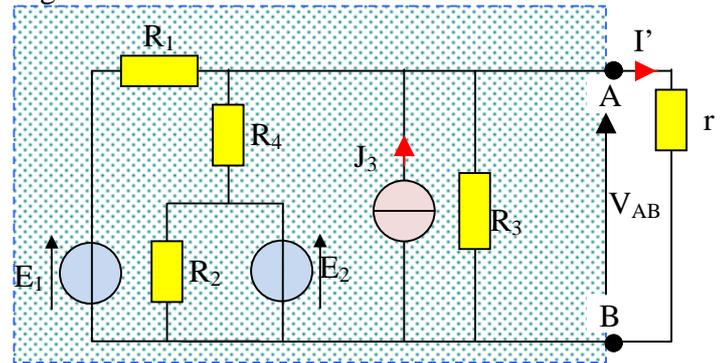


Figure 4

Exprimer  $I'$  en fonction de  $I_1$ ,  $I_2$  et  $I_3$ . (Justifier par une loi de l'électricité).

**b) Relation tension/courant du dipôle AB.**

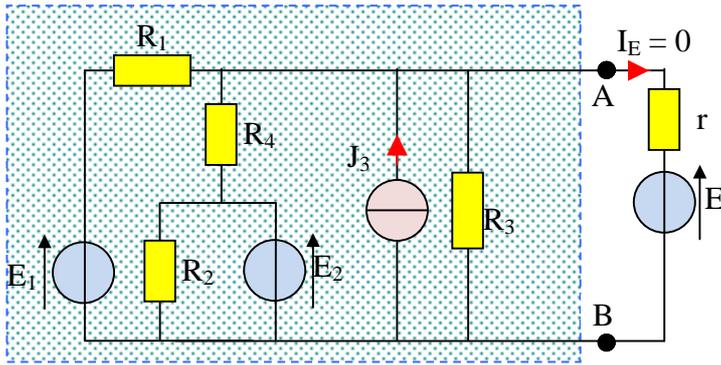


Figure 5

**Expérience N°1 :**

Au réseau linéaire précédent, on ajoute une source de tension « E » dont la valeur est choisie de façon que  $I_E = 0$ . (Cette valeur de « E » ne sera pas calculée dans cet exercice).

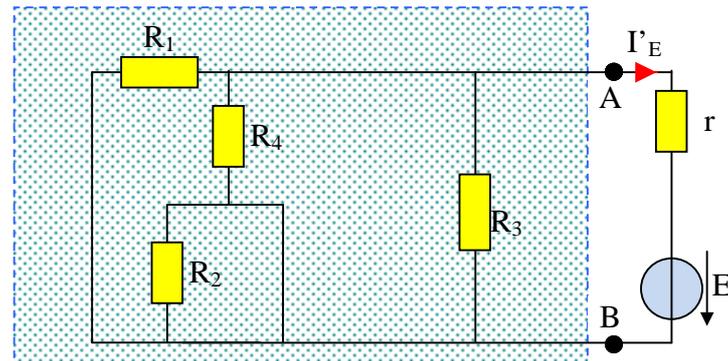


Figure 6

**Expérience N°2 :**

On inverse la source de tension « E » de l'expérience N°1. Les autres sources sont remplacées par leur résistance interne.

- Exprimer la valeur de la résistance interne  $R_{eq}$  du dipôle AB (Figure 6) en fonction des résistances présentes.
- Exprimer  $I'_E$  en fonction de  $R_{eq}$ ,  $r$  et  $E$ .

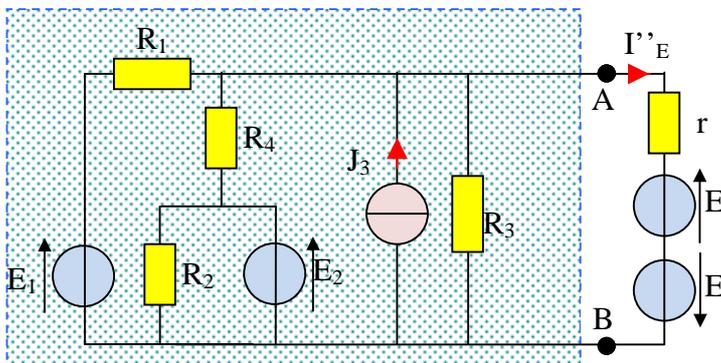


Figure 7

**Expérience N°3 :**

- On modifie le montage comme ci-contre (Figure 7). Exprimer  $I''_E$  en fonction de  $I'$  (Figure 4) puis en fonction de  $I'_E$  (Figure 6). (*Justifier en quelques mots*).
- En déduire  $I'$  (Figure 4) en fonction de  $E$ ,  $R_{eq}$  et  $r$ .
- En déduire  $r$  en fonction de  $I'$  (Figure 4),  $E$  et  $R_{eq}$ .
- En déduire  $V_{AB}$  (Figure 4) en fonction de  $I'$ ,  $E$  et  $R_{eq}$ . (*Attention, la variable « r » ne doit pas apparaître dans cette expression*).

**c) Etablissement du modèle équivalent.**

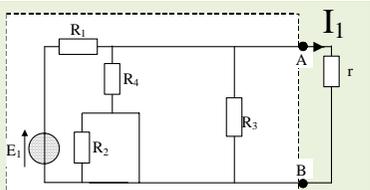
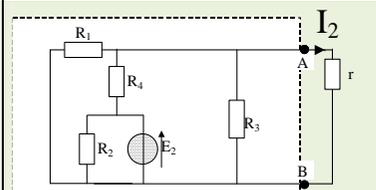
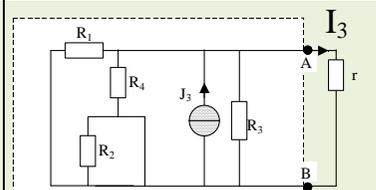
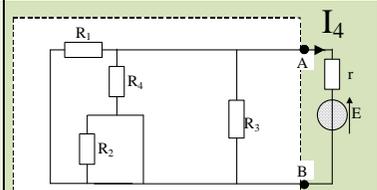
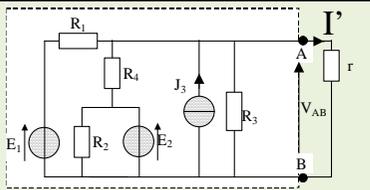
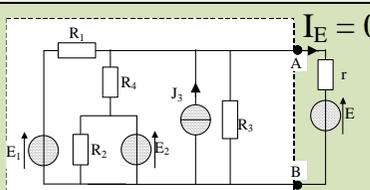
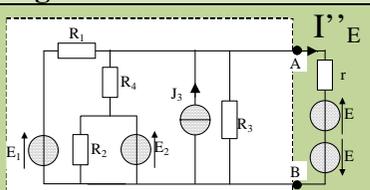
On fait varier la valeur de « r » de façon à faire varier la valeur de  $I'$  (Figure 4).

Représenter le graphe  $V_{AB}(I')$ . Faire figurer sur celui-ci la valeur « E ». Préciser la valeur de la tension à vide et du courant de court-circuit du dipôle AB en fonction de « E » et de  $R_{eq}$ .

Proposer le schéma d'un modèle équivalent au dipôle AB cohérent avec l'expression  $V_{AB}(I')$ .

Corrigé

Dans le tableau ci-dessous, on applique le théorème de superposition

|   |  |  |  |
|---|--|--|--|
|  <p><b>Figure 8</b></p>   |  <p><b>Figure 9</b></p>   |  <p><b>Figure 10</b></p> |  <p><b>Figure 11</b> <math>I'_E = \frac{E}{R_{eq} + r}</math></p> |
|  <p><b>Figure 12</b></p>  | <p><math>I' = I_1 + I_2 + I_3</math> Théorème de superposition</p>   |  |  |
|  <p><b>Figure 13</b></p>  | <p><math>I_E = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = 0</math></p>  |  |  |
|  <p><b>Figure 14</b></p> | <p><b>Figure 7 = Figure 6 + Figure 4</b> <math>\Rightarrow I''E = I_E + I'E = 0 + I'E</math></p> <p><b>Figure 7 = Figure 5</b> <math>\Rightarrow I''E = I'</math></p> <p><math>\Rightarrow I''E = \frac{E}{R_{eq} + r} = I'</math></p> |  |  |

$\Rightarrow r = \frac{E - R_{eq} \cdot I'}{I'} ; V_{AB} = r \cdot I' = \frac{E - R_{eq} \cdot I'}{I'} \cdot I' = E - R_{eq} \cdot I'$

A retenir: Dans l'application du théorème de superposition, on peut faire des regroupements

