

# Le transport de l'électricité – Exercices – Devoirs

## Exercice 1 corrigé disponible

Lors du transport de l'énergie électrique, la préoccupation première est de maximiser la quantité d'énergie transportée en minimisant les pertes.

L'exercice comporte deux parties indépendantes qui s'intéressent à l'optimisation du transport de l'énergie électrique.

### Document 1 Électricité : à combien s'élèvent les pertes en ligne en France ?

L'énergie électrique ne peut être acheminée jusqu'au consommateur final sans pertes. L'essentiel de ces pertes est lié à la circulation du courant électrique dans les matériaux conducteurs qui lui opposent une résistance : cela provoque une perte d'énergie qui se traduit par un dégagement de chaleur.

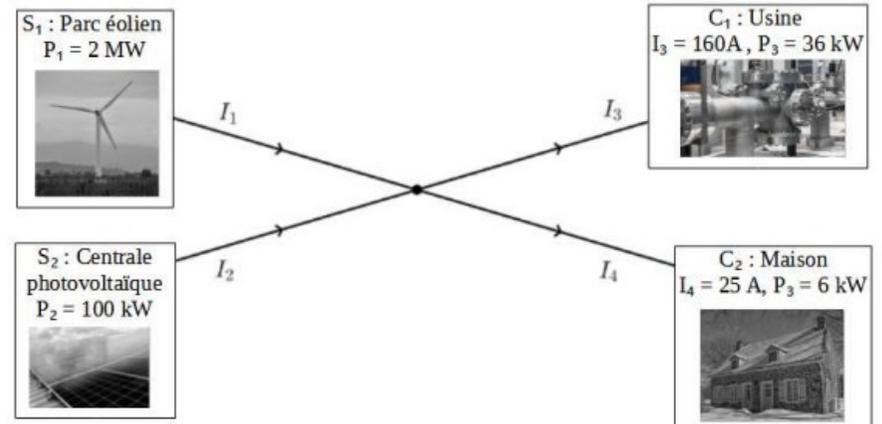
A puissance délivrée égale, plus la tension est élevée et l'intensité réduite, plus les pertes en lignes sont faibles. Le courant circule donc sur les lignes électriques à haute et très haute tension sur le réseau de transport d'électricité français (63 000 à 400 000 volts). Sur les réseaux de distribution, la tension est réduite et les pertes sont donc plus importantes. Sur ces différents réseaux, le courant alternatif est utilisé en partie pour cette raison : il permet d'élever les tensions, de réduire les intensités donc de limiter les pertes.

Sur le réseau de transport d'électricité, le gestionnaire RTE déclare un taux de pertes compris entre 2% et 2,2% depuis 2007. Sur les réseaux de distribution, le gestionnaire ERDF annonce que les pertes s'élèvent au total à près de 6 % de l'énergie acheminée (20 TWh/an).

En incluant l'autoconsommation des postes de transformation et les pertes dites « non techniques » (fraudes, erreurs humaines, etc.), les pertes d'électricité en France entre le lieu de production et de consommation avoisinent 10% en moyenne.

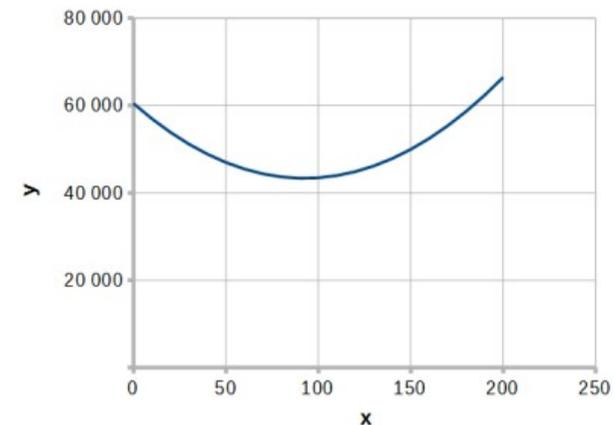
D'après <https://www.connaissancedesenergies.org/>

### Document 2 Modélisation simple d'un réseau de distribution électrique par un graphe orienté



### Document 3

Représentation graphique de la courbe d'équation  $y = 2x^2 - 370x + 60\,450$



## PARTIE A : Transport de l'énergie électrique

La puissance  $P$  perdue par ce phénomène dans un conducteur ohmique de résistance  $R$  parcouru par un courant d'intensité  $I$  est donnée par la relation :

$$P = R \times I^2.$$

La résistance  $R$  d'un fil conducteur est donnée par la formule :

$$R = \rho \times \frac{L}{S}.$$

avec  $\rho$  la résistivité du conducteur en  $\Omega \cdot m$ ,  $L$  la longueur du fil en m et  $S$  sa section en  $m^2$ .

1. Plus la longueur du câble est grande, plus sa résistance est importante. En vous appuyant sur l'expression de la résistance, proposer deux façons de diminuer la résistance des lignes qui transportent l'énergie électrique.

Diminuer la résistance n'est pas la seule réponse à apporter pour diminuer les pertes. On peut également agir sur l'intensité.

2. Indiquer par combien sont divisées les pertes si on divise l'intensité par deux.

3. Expliquer l'intérêt des lignes à haute tension.

4. Expliquer pourquoi les deux réseaux transportant de l'énergie électrique en France mentionnés dans le document 1 n'annoncent pas les mêmes pourcentages d'énergie perdue.

## PARTIE B : Modélisation d'un réseau

Considérons un réseau simple représenté de façon symbolique dans le document 2.

Deux sources  $S_1$  et  $S_2$  produisent du courant, que l'on supposera continu, d'intensités respectives  $I_1$  et  $I_2$ . Le courant doit être acheminé vers deux cibles  $C_1$  et  $C_2$  qui attendent des intensités fixées valant respectivement  $I_3$  et  $I_4$ . On note  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  et  $R_4$  les résistances respectives des câbles de transport des lignes 1 à 4.

Le réseau présente un unique nœud.

5. Donner l'expression de la puissance  $P_{JT}$  totale dissipée par effet Joule en fonction des intensités et résistances.

6. En utilisant la loi des nœuds, supposée valable, montrer que, si les intensités sont exprimées en ampères, on a  $I_2 = 185 - I_1$ .

7. On admet que les valeurs des résistances des câbles de transport sont toutes identiques et égales à  $R$ . Montrer que l'expression de la puissance  $P_{JT}$  ( en W) en fonction de  $I_1$  ( en A) est :

$$P_{JT} = R(2I_1^2 - 370I_1 + 60450).$$

8. Par lecture graphique, estimer la valeur de l'intensité  $I_1$  qui permet de minimiser l'énergie dissipée lors de l'acheminement de l'énergie.

## Exercice 2 corrigé disponible

Dans le sud de la France, un immeuble et une maison sont alimentés la journée par des éoliennes et des panneaux solaires distribuant respectivement des courants d'intensité  $I_1$  et  $I_2$ . On veut minimiser les pertes par effet Joule dans ce réseau de distribution électrique.

### Partie 1 : Dissipation de l'énergie

#### Document 1 : transport de l'énergie électrique

L'électricité lors de son transport entre les lieux de production et les lieux de consommation subit des pertes en ligne dont le volume dépend de la distance de transport des caractéristiques du réseau. 80 % de ses pertes le sont par effet Joule dans les câbles électriques, soit pour la France, l'équivalent de deux unités de production nucléaires électriques.



#### Pertes sur le réseau de transport de l'électricité en France en 2019 :

Energie électrique transportée en France en 2019 :  $495 \times 10^9$  kWh

2,22 % : taux de perte d'énergie en France en 2019 pendant le transport de l'électricité

Source: <https://www.actu-environnement.com>

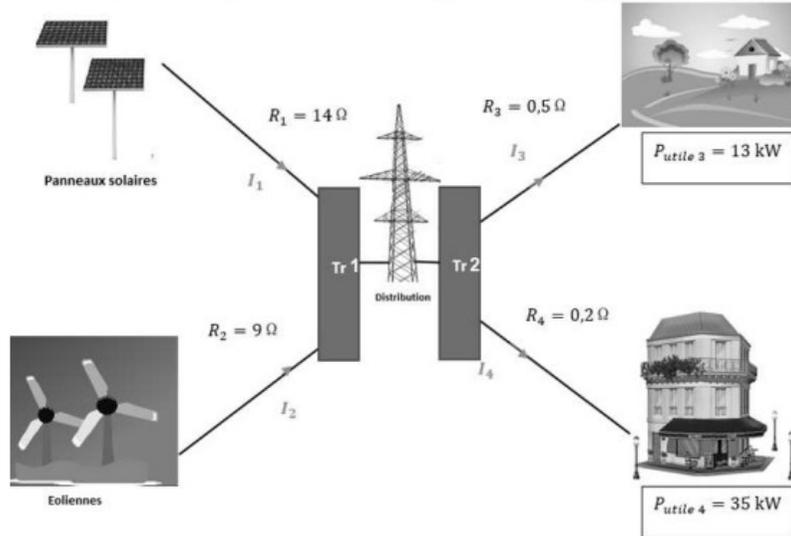
1- Calculer les pertes d'énergie en kWh en France en 2019 dues au transport de l'énergie électrique.

2- Calculer en 2019 en France, l'énergie électrique en kWh à disposition des consommateurs.

## Partie 2 : modélisation du réseau électrique

### Document 2 : schéma du réseau électrique

Les puissances par effet Joule sont égales à 5% des puissances utiles.



Tr 1 : Transformateur 1  
Tr 2 : Transformateur 2

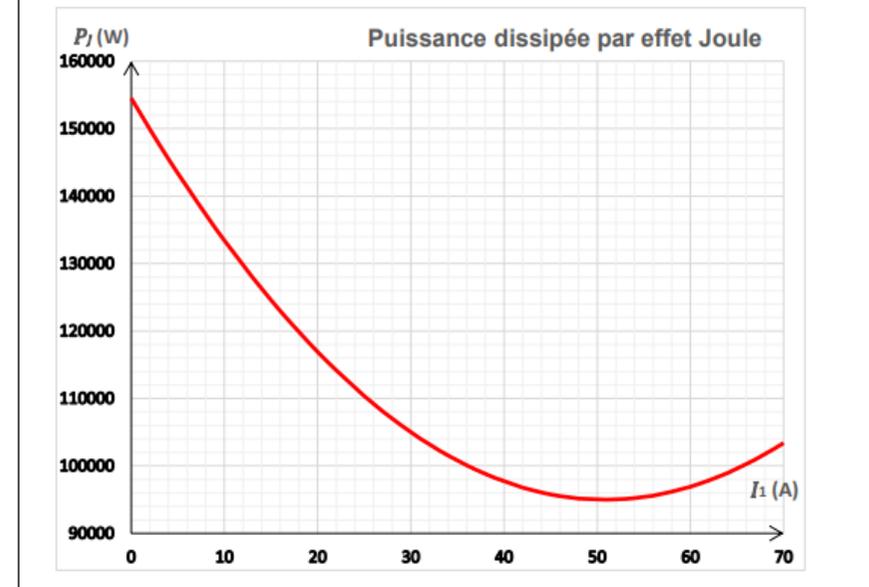
Les puissances utiles dépendent  
de l'abonnement souscrit par l'utilisateur.

Dans la modélisation simplifiée utilisée, on considère que les tensions et les courants sont continus.

- 3- Identifier les cibles destinataires et les sources distributrices du réseau du document 2.
  - 4- La tension du réseau de distribution étant fixée, expliquer pourquoi les intensités  $I_3$  et  $I_4$  sont fixées.
  - 5- Modéliser le réseau électrique du document 2 par un graphe orienté.
  - 6- Justifier que  $I_3$  est environ égale à 36 A et  $I_4$  à 94 A en sachant que les puissances par effet Joule correspondent à 5 % des puissances utiles.
- On admet que les intensités vérifient la relation  $I_1 + I_2 = I_3 + I_4$
- 7- Donner l'expression de la puissance dissipée par effet Joule  $P_J$  à minimiser en fonction de  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  et  $I_4$ . Exprimer la valeur de  $I_2$  en ampères en fonction de  $I_1$ .

Les intensités  $I_3$  et  $I_4$  étant connues et  $I_2$  pouvant s'exprimer en fonction de  $I_1$ , la puissance  $P_J$  peut s'exprimer en fonction de  $I_1$  seulement. La représentation graphique de la fonction  $P_J(I_1)$  est donnée dans le document 3.

### Document 3 : représentation graphique de $P_J$ en fonction de $I_1$



- 8- La contrainte sur les intensités délivrées par les sources impose que  $I_1$  peut prendre une valeur comprise dans l'intervalle  $[0 ; 70]$ . Déterminer les valeurs de  $I_1$  et de  $I_2$  pour lesquelles les pertes par effet Joule sont minimales.

## Exercice 3 corrigé disponible

Cet exercice a pour but de mettre en évidence l'intérêt de l'utilisation de la haute tension pour le transport de l'énergie électrique.

Une centrale électrique est située à 1 km d'un poste transformateur, assimilée à un simple dipôle. La centrale et le transformateur sont reliés par deux câbles. La tension produite par la centrale vaut  $U = 400$  kV.

La résistance linéique (résistance par unité de longueur) des câbles vaut  $8,5 \cdot 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}^{-1}$ .

1. Calculer la résistance des câbles.
2. Représenter le schéma électrique modélisant la centrale assimilée à un générateur, les deux câbles assimilés à des résistances et le transformateur.

- Calculer l'intensité du courant traversant les câbles sachant que la centrale fournit une puissance de 20 MW. Rappel : 1 méga =  $10^6$ .
- En déduire la puissance totale dissipée par les câbles lors du transport de l'énergie électrique entre la centrale et le transformateur.
- Calculer la puissance dissipée si la tension produite par la centrale était de 40 kV. Conclure.

#### Exercice 4 corrigé disponible

Imaginons une ville, alimentée en énergie par deux centrales électriques  $S_1$  et  $S_2$ . Un transformateur central 400kV/230V reçoit l'énergie des 2 sources sans perte magnétique et la transmet à la ville.

- Représenter cette situation par un graphe orienté en indiquant les différentes intensités :  $I_1$  ,  $I_2$  provenant des centrales et  $I_{ville}$

La ville consomme une puissance de 20 MW (pertes de distribution comprises) qui est fournie par les 2 centrales. La centrale  $S_1$  est reliée au transformateur par des câbles d'une résistance totale  $R_1=0,1 \Omega$

La centrale  $S_2$  est reliée au transformateur par des câbles d'une résistance totale  $R_2=0,15 \Omega$  . Chaque centrale peut fournir au maximum 15MW

- Calculer  $I_1$  et  $I_2$  pour que les pertes soient minimales lors de la distribution électrique
- Combien valent  $P_1$  et  $P_2$  dans les conditions de la question 2.

#### Exercice 5 corrigé disponible

Avec un taux d'accès de la population à l'électricité inférieur à 20 % et une demande qui connaît une croissance annuelle d'environ 10 %, le Burkina Faso (19,2 millions d'habitants pour 274 400 km<sup>2</sup>) est confronté à un important défi énergétique :

- produire davantage d'énergie malgré de faibles ressources locales (faible potentiel hydroélectrique, pas de gisement de pétrole ou de gaz) ;
- étendre le réseau électrique afin de couvrir 80 % du territoire en 2020 ;
- promouvoir les énergies renouvelables, notamment les énergies solaire et hydraulique.

Donnée : 1 TW·h =  $10^{12}$  W·h

#### Doc.1 Emplacement de quelques centrales électriques au Burkina Faso en 2015

Fin 2015, la puissance totale du parc de production était de 325 MW. L'énergie produite en 2015 était de 1,44 TW·h selon la répartition du tableau ci-dessous :

	Part d'énergie (%)
Centrales thermiques à combustion	62,8 %
Barrages hydrauliques	6,5 %
Importation depuis les pays limitrophes	30,7 %

L'importation d'électricité provenant des pays voisins est rendue possible par une ligne d'interconnexion haute tension de 225 kV avec la Côte d'Ivoire et des interconnexions moyenne tension de 35 kV existent également avec le Ghana et le Togo.

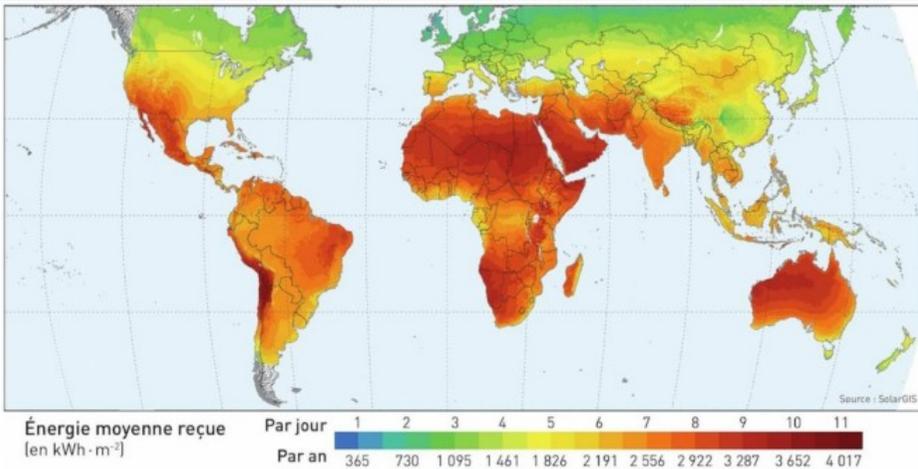


#### Doc. 2 Centrale solaire photovoltaïque à Essakane

Parmi les projets à venir, une centrale solaire photovoltaïque de 13 MW avec un système de stockage par batteries (de capacité 11,5 MWh) devrait voir le jour d'ici la fin de l'année 2020 au niveau de la mine d'or d'Essakane dans le Nord du pays. Lorsque l'installation photovoltaïque sera en service, la consommation des groupes électrogènes pourra être réduite de 6,4 millions de litres de mazout par an. Une réduction de 13 kt par an des émissions de dioxyde de carbone est ainsi attendue.

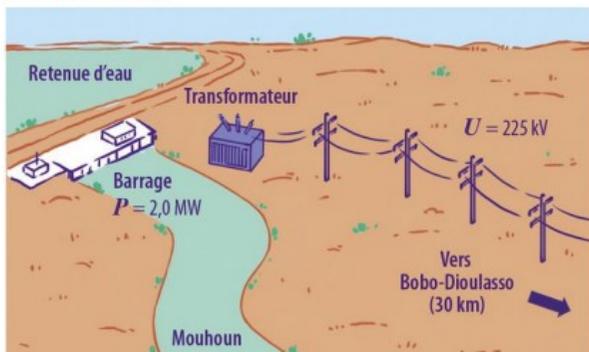


Doc. 3 Moyenne de l'énergie solaire par unité de surface, reçue à la surface de la Terre



Doc.4 La centrale hydroélectrique de Samendéni

Fin 2019, une nouvelle centrale hydroélectrique a été inaugurée à Samendéni au nord-est de Bobo-Dioulasso. Le barrage, outre la production d'énergie électrique, constituera un stock d'eau disponible même en saison sèche pour irriguer les sols et fournir de l'eau potable aux populations de la région tout au long de l'année.



Avant mise en eau



Après mise en eau

### Questions

1. En vous aidant du document 1, proposer un graphe orienté qui modélise le réseau de transport possible de l'énergie électrique sur les trois sites de consommation identifiés sur la carte du Burkina Faso

En 2020, la consommation estimée en énergie électrique au Burkina Faso est estimée à 2,32 TW·h. Le Burkina Faso souhaite devenir indépendant énergétiquement grâce aux nouvelles centrales solaires.

2. Calculer l'énergie électrique que devront fournir ces centrales solaires pour accéder à cette autonomie.

3. Sachant que le rendement des panneaux photovoltaïques est de 10 % lors de la conversion énergétique, calculer la surface des panneaux solaires qu'il faudra installer au Burkina Faso pour qu'il devienne indépendant énergétiquement grâce à l'énergie solaire. Commenter.

4. Schématiser la chaîne énergétique des batteries installées dans la centrale solaire à Essakane lorsqu'elles fonctionnent en charge puis lorsqu'elles fonctionnent en décharge. Expliciter l'intérêt de l'utilisation de ces batteries.

5. Présenter les apports de la construction d'une centrale hydroélectrique à Samandéni pour ces habitants.

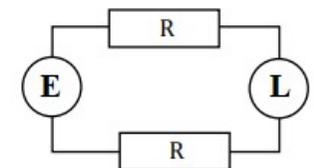
6. Calculer les pertes par effet Joule lors du transport de l'énergie électrique entre Samandéni et Bobo-Dioulasso sachant que la résistance des fils électriques est de  $0,5 \Omega$  au total.

7. Rappeler l'intérêt d'un transport de l'électricité en moyenne tension ou en haute tension.

### Exercice 6 corrigé disponible

On souhaite brancher un système d'éclairage LED à une batterie distante de 15 m. Le but de cet exercice est de comparer l'efficacité du transport de l'énergie électrique de la batterie au système d'éclairage en 12 V et en 220 V.

Le schéma électrique du montage est représenté ci-contre.

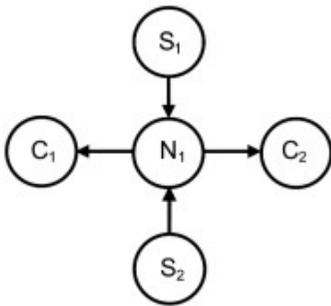


- E est la batterie
- L le système d'éclairage de puissance 20W
- les câbles en cuivre de section  $S=1\text{ mm}^2$  et de longueur  $L=15\text{ m}$  reliant la batterie au système d'éclairage sont modélisés par deux résistances  $R$

1. Quelle est la valeur de  $R$  ?
  2. Calculer l'intensité minimale pour faire fonctionner le système d'éclairage dans chaque cas (alimentation en  $12\text{ V}$  et en  $220\text{ V}$  )
  - 3.a. Calculer la puissance dissipée par effet Joule dans les câbles pour les 2 systèmes d'alimentation
  - 3.b. Sous quelle forme cette énergie est-elle dissipée ?
  4. Calculer la perte de tension pour les 2 systèmes d'alimentation en  $12\text{ V}$  et en  $220\text{ V}$  ; combien vaut alors la tension reçue par la lampe ?
- donnée :  $\rho_{\text{cuivre}} = 1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$

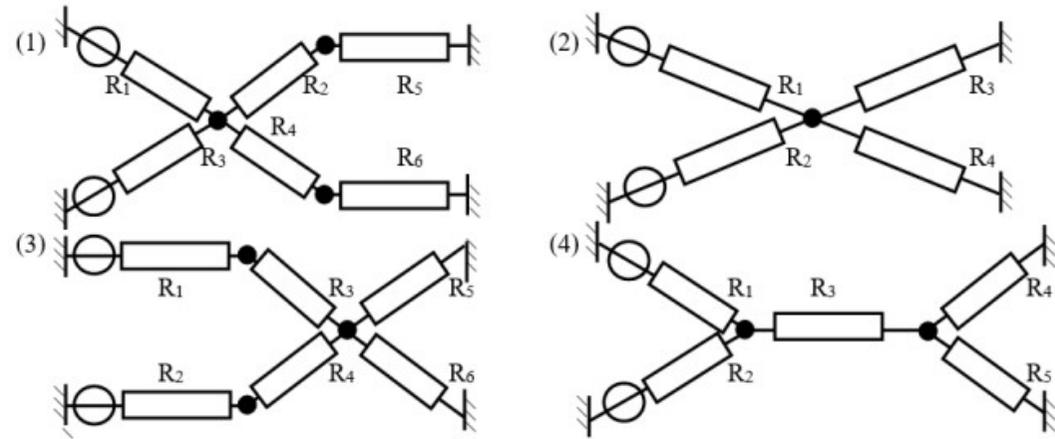
## Exercice 7

On étudie un réseau de distribution d'électricité représenté par le graphique ci-contre :



### 1. Étudions d'abord le graphe représenté.

- Rappeler le nom de ce type de graphe. Que représentent les flèches ?
- Que signifient les lettres « S », « N » et « C » ?
- Choisir parmi les schémas électriques ci-dessous, celui qui correspond au réseau étudié.



### 2. Une ligne électrique

Une ligne électrique est dite « basse tension » si la tension y est inférieure à  $1000\text{ V}$ , « haute tension » si la tension est entre  $33000\text{ V}$  et  $230000\text{ V}$ , « très haute tension » si la tension est entre  $230000\text{ V}$  et  $800000\text{ V}$ .

- Quel type de ligne utilise-t-on généralement au plus près des cibles destinataires ? Et pour transporter l'électricité sur de longues distances ?
- Quel type de perte d'énergie peut-on réduire en transportant l'électricité sous une plus haute tension ?
- Exprimer ces pertes, pour le réseau représenté sur le schéma électrique n°2 en fonction des différentes résistances et intensités. (NB : le courant traversant  $R_1$  est noté  $I_1$ , le courant traversant  $R_2$  est noté  $I_2$ , etc.)
- En supposant que :
  - $R_2 = R_1 = 0,1 \Omega$
  - $I_1 + I_2 = I_{\text{tot}} = 10\text{ A}$  (valeur constante imposée par les limitations des sources).
  - la quantité  $R_3 \times I_3^2 + R_4 \times I_4^2 = C = 80\text{ W}$  (valeur constante imposée par la consommation des cibles), montrer que les pertes exprimées précédemment peuvent s'écrire :  $0,2 \times I_1^2 - 2 \times I_1 + 90\text{ W}$ .
- Par la méthode de votre choix, déterminer la valeur de  $I_1$  pour laquelle les pertes sont minimales.