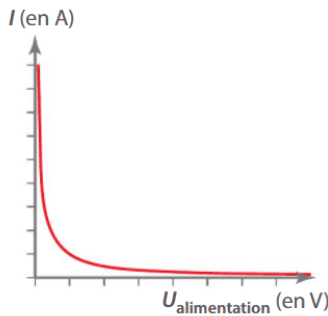


## 15 Pertes par effet Joule BAC

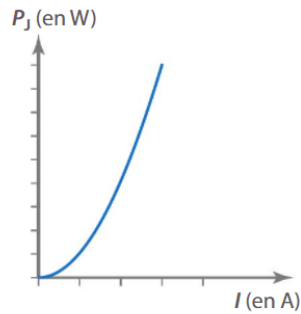
Sur le site internet d'EDF, on peut lire : « À puissance transportée équivalente, plus la tension d'alimentation des câbles électriques est élevée, plus l'intensité est faible : les pertes par effet Joule sont donc minimisées ».

1. Justifier cette affirmation à partir de l'étude des représentations graphiques ci-dessous.

Intensité circulant dans un câble électrique en fonction de la tension d'alimentation



Puissance dissipée par effet Joule en fonction de l'intensité du courant circulant dans un câble



2. En vous appuyant sur un raisonnement mathématique utilisant les formules  $P = U \times I$  et  $P_j = R \times I^2$  et après avoir défini explicitement chaque terme, justifier également l'affirmation issue du site d'EDF.

15 1. D'après le graphique  $I$  en fonction de  $U_{\text{alimentation}}$ ,  $I$  diminue quand  $U_{\text{alimentation}}$  augmente pour une puissance transportée fixée (c'est une fonction inverse).

D'après le graphique  $P_j$  en fonction de  $I$ ,  $P_j$  diminue quand  $I$  diminue pour une puissance transportée fixée (c'est une fonction carré). C'est donc bien en accord avec la phrase du site EDF.

2.  $P$  est la puissance transportée  $P_{\text{transportée}}$  en W ;  $U$  est la tension d'alimentation du câble  $U_{\text{alimentation}}$  en V ;  $I$  est l'intensité du courant circulant dans le câble en A ;  $R$  est la résistance du câble de transport ;  $P_j$  est la puissance dissipée par effet Joule en W.

Avec la formule  $P = U \times I$ , si on isole  $I$  on obtient :

$I = \frac{P_{\text{transportée}}}{U_{\text{alimentation}}}$  et on retrouve que  $I$  diminue si on augmente  $U_{\text{alimentation}}$ .

Avec la formule  $P_j = R \times I^2$ , on constate qu'en diminuant  $I$ ,  $P_j$  diminue aussi (avec  $R$  constant qui ne dépend que du câble). C'est donc bien en accord avec la phrase du site EDF.

## 17 Lignes à haute tension

Les lignes à haute tension (HT) du réseau de distribution régional sont alimentées par une tension voisine de 225 kV. Elles transportent une puissance fixée de 104 MW sur une distance aller de 120 km. La résistance moyenne pour 1 km de câble métallique est de 0,06  $\Omega$ .

1. Calculer l'intensité du courant  $I$  circulant dans cette ligne HT.

2. Déterminer la résistance totale  $R_{\text{totale}}$  du câble constituant ces lignes HT.

3. Calculer la puissance totale dissipée par effet Joule  $P_{j \text{ totale}}$ .

4. Sur le réseau régional, les pertes par effet Joule doivent être inférieures à 2 % de la puissance transportée. Cette condition est-elle vérifiée ici ?

5. Généralement, on double le nombre des câbles assurant le transport. Quel intérêt cela présente-t-il ?

17 1.  $P_{\text{transportée}} = U_{\text{alimentation}} \times I$  donc  $I = \frac{P_{\text{transportée}}}{U_{\text{alimentation}}}$ .

$$I = \frac{104 \times 10^6}{225\,000} = 462 \text{ A.}$$

$$2. R = 2 \times 120 \times 0,06 = 14,4 \Omega$$

$$3. P_j = R \times I^2 = 14,4 \times 462^2 = 3,07 \times 10^6 \text{ W} \\ = 3,07 \text{ MW}$$

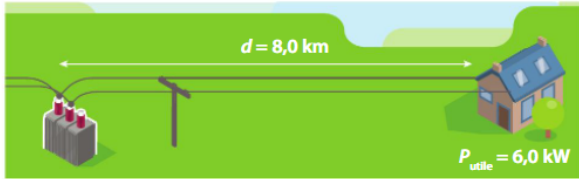
$$4. \frac{P_j}{P_{\text{transportée}}} \times 100 = \frac{3,07}{104} \times 100 = 3,0 \%$$

La condition n'est donc pas vérifiée car le pourcentage calculé est supérieur à 2 %.

5. En doublant le nombre de câbles, on divise par 2 les pertes par effet Joule dans un seul câble tout en transportant la même puissance répartie sur deux câbles.

## 19 Réduire les pertes en ligne

Un particulier a souscrit un abonnement de 6,0 kVA, ce qui lui garantit de disposer d'une puissance utile maximale de 6,0 kW. L'habitation de cet usager est située à 8,0 km d'un transformateur abaisseur de tension délivrant une puissance de 6 kW. La tension d'alimentation des câbles est de 230 V et leur résistance linéique de  $1,5 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{m}^{-1}$ .



1. a. Calculer l'intensité maximale du courant reçue par l'installation.
  - b. Déterminer la résistance totale des câbles et en déduire la valeur de la puissance maximale dissipée par effet Joule.
  - c. En assimilant chaque câble à une résistance, déterminer la tension maximale entre les bornes du câble, appelée « chute de tension ».
  - d. Calculer la valeur de la tension réellement disponible chez le particulier en utilisant la loi des mailles.
2. La puissance électrique peut aussi être transportée dans des câbles haute tension, la tension d'alimentation de ces derniers étant alors 20 000 V au lieu de 230 V.
- a. Reprendre les questions précédentes pour une tension d'alimentation de 20 000 V.
  - b. Conclure sur l'intérêt de transporter l'énergie électrique sur de grandes distances en élevant la tension.

## 16 Diamètre des câbles

Une puissance électrique fixée de 500 kW doit être transportée sur une distance de 10 km. EDF impose que la puissance dissipée par effet Joule lors de cet acheminement ne dépasse pas 6 % de la puissance transportée.

1. Calculer la valeur maximale de la puissance pouvant être dissipée par effet Joule.
2. Afin de déterminer avec quelle tension d'alimentation transporter cette puissance de 500 kW, des calculs estimatifs sont faits par les techniciens EDF. Certains résultats sont donnés dans le tableau ci-dessous.

	Cas A	Cas B
Tension d'alimentation du câble	230 V	20 000 V
Intensité du courant dans le câble	2 174 A	25 A
Résistance du câble	$6,3 \times 10^{-3} \Omega$	48 $\Omega$
Diamètre du câble	26 cm	3 mm

- a. Retrouver par le calcul les valeurs des intensités et des résistances indiquées dans le tableau.
- b. Indiquer la tension d'alimentation à choisir en analysant les diamètres des câbles nécessaires. Justifier.
3. Après avoir visionné la vidéo, identifier comment est résolue la problématique du choix des tensions d'alimentation.

19 1. a.  $P_{\text{transportée}} = U_{\text{alimentation}} \times I$

donc  $I_{\text{max}} = \frac{P_{\text{transportée}}}{U_{\text{alimentation}}}$

$$I_{\text{max}} = \frac{6,0 \times 10^3}{230} = 26 \text{ A.}$$

b.  $R = 2 \times 8,0 \times 10^3 \times 1,5 \times 10^{-4} = 2,4 \Omega$

$$P_{J \text{ max}} = R \times I_{\text{max}}^2 = 2,4 \times 26^2 = 1\,622 \text{ W}$$

c.  $P_{J \text{ max}} = U_R \times I_{\text{max}}$  donc  $U_R = \frac{P_{J \text{ max}}}{I_{\text{max}}} = \frac{1\,622}{26} = 62 \text{ V.}$

d. D'après la loi des mailles :

$$U_{\text{alimentation}} = U_R + U_{\text{utile}}$$

$$\text{Donc } U_{\text{utile}} = U_{\text{alimentation}} - U_R = 230 - 62 = 168 \text{ V.}$$

2. a.  $I_{\text{max}} = \frac{6,0 \times 10^3}{20\,000} = 0,30 \text{ A.}$

$$R = 2 \times 8,0 \times 10^3 \times 1,5 \times 10^{-4} = 2,4 \Omega$$

$$P_{J \text{ max}} = R \times I_{\text{max}}^2 = 2,4 \times 0,30^2 = 0,216 \text{ W}$$

$$U_R = \frac{P_{J \text{ max}}}{I_{\text{max}}} = \frac{0,216}{0,30} = 0,72 \text{ V.}$$

$$U_{\text{utile}} = U_{\text{alimentation}} - U_R = 20\,000 - 0,72 = 19\,999 \text{ V} \approx 20\,000 \text{ V}$$

b. Augmenter la tension d'alimentation d'un câble pour transporter l'énergie électrique sur de grandes distance permet de :

- diminuer l'intensité du courant électrique le parcourant,
- diminuer la puissance dissipée par effet Joule, donc les pertes par effet Joule,
- diminuer la chute de tension aux bornes du câble.

16 1.  $P_{J \text{ max}} = \frac{6}{100} \times P_{\text{transportée}}$

$$P_{J \text{ max}} = \frac{6}{100} \times 500 = 30 \text{ kW.}$$

2. a. Avec les formules suivantes :

$$P_{\text{transportée}} = U_{\text{alimentation}} \times I \quad \text{donc } I = \frac{P_{\text{transportée}}}{U_{\text{alimentation}}} \quad \text{et}$$

$$P_J = R \times I^2 \quad \text{donc } R = \frac{P_J}{I^2}$$

**Cas A :**

$$I = \frac{500\,000}{230} = 2\,174 \text{ A et } R = \frac{30\,000}{2\,174^2} = 6,3 \times 10^{-3} \Omega$$

**Cas B :**

$$I = \frac{500\,000}{20\,000} = 25 \text{ A et } R = \frac{30\,000}{25^2} = 48 \Omega$$

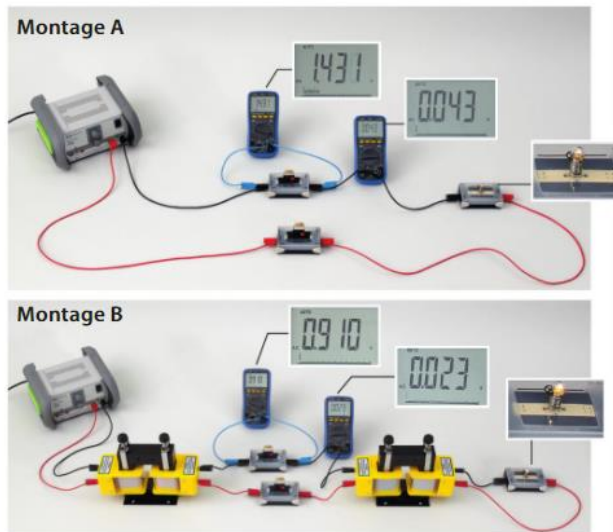
b. En comparant le diamètre des câbles correspondant aux cas A et B, un seul est envisageable : le cas B. Plus le diamètre d'un câble

est grand, plus sa masse augmente et rend son utilisation difficile.

3. En augmentant la tension d'alimentation, cela diminue l'intensité du courant et permet d'avoir un câble de résistance plus élevée donc d'un diamètre plus petit. Le câble est alors moins lourd. Le transformateur est un élément indispensable car il permet d'augmenter la tension d'alimentation des câbles, puis de l'abaisser pour l'adapter à l'utilisateur.

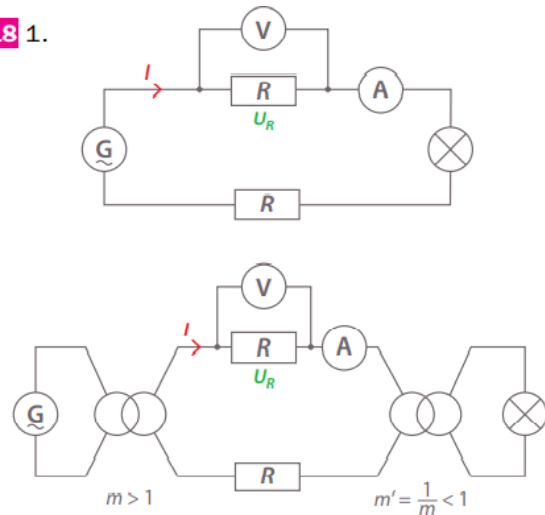
## 18 Modélisation expérimentale BAC

Les deux montages expérimentaux photographiés ci-dessous permettent de modéliser une ligne à haute tension.



1. Schématiser les deux montages photographiés.
2. Que modélisent les deux résistances ?
3. Calculer la puissance dissipée par effet Joule dans les montages A et B.
4. Expliquer la différence d'éclat de la lampe entre les deux montages.
5. Quel est le rôle des transformateurs ?
6. Indiquer en quoi ces deux expériences modélisent le transport de l'énergie électrique à haute tension et l'avantage que cela représente.

18 1.



2. Les deux résistances modélisent la résistance totale des câbles réels pour transporter l'énergie électrique.

**3. Montage A :**

$$P_{JA} = 2 \times U_R \times I = 2 \times 1,431 \times 0,043$$

$$P_{JA} = 1,2 \times 10^{-1} \text{ W}$$

**Montage B :**

$$P_{JB} = 2 \times U_R \times I = 2 \times 0,910 \times 0,023$$

$$P_{JB} = 4,2 \times 10^{-2} \text{ W}$$

4. L'éclat de la lampe est supérieur avec le montage B car les pertes par effet Joule sont diminuées :  $P_{JB}$  est inférieure à  $P_{JA}$ .

5. Le transformateur relié au générateur est un transformateur élévateur de tension pour alimenter les câbles. Le transformateur relié à la lampe est un transformateur abaisseur de tension afin de l'adapter à la lampe.

6. Le montage A montre les pertes par effet Joule dues à la résistance totale des câbles à basse tension (celle du générateur). Le montage B montre qu'en augmentant la tension d'alimentation avec un transformateur élévateur, les pertes par effet Joule diminuent dans les câbles. Cela permet aussi d'adapter la tension aux bornes du récepteur (lampe) avec un transformateur abaisseur, d'où l'intérêt du transport de l'énergie électrique à haute tension.

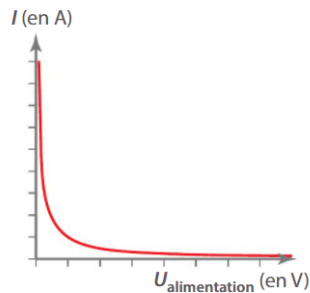
## Exercices

### 15 Pertes par effet Joule BAC

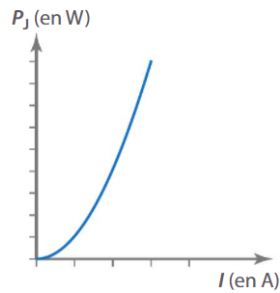
Sur le site internet d'EDF, on peut lire : « À puissance transportée équivalente, plus la tension d'alimentation des câbles électriques est élevée, plus l'intensité est faible : les pertes par effet Joule sont donc minimisées ».

1. Justifier cette affirmation à partir de l'étude des représentations graphiques ci-dessous.

Intensité circulant dans un câble électrique en fonction de la tension d'alimentation



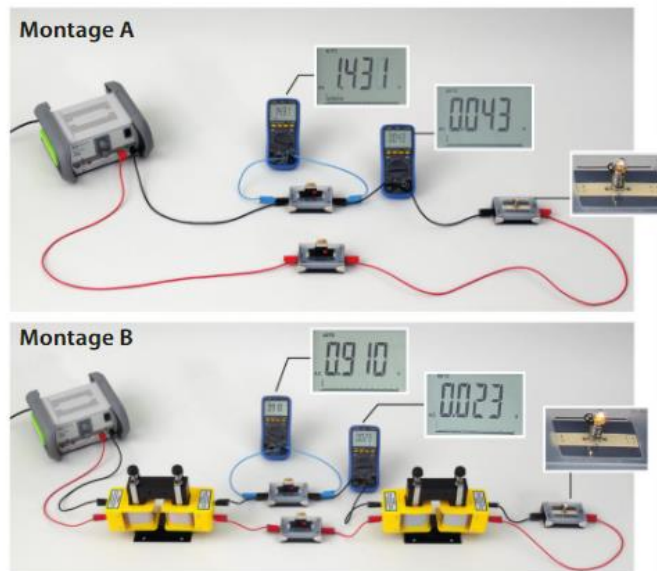
Puissance dissipée par effet Joule en fonction de l'intensité du courant circulant dans un câble



2. En vous appuyant sur un raisonnement mathématique utilisant les formules  $P = U \times I$  et  $P_J = R \times I^2$  et après avoir défini explicitement chaque terme, justifier également l'affirmation issue du site d'EDF.

### 18 Modélisation expérimentale BAC

Les deux montages expérimentaux photographiés ci-dessous permettent de modéliser une ligne à haute tension.



- Schématiser les deux montages photographiés.
- Que modélisent les deux résistances ?
- Calculer la puissance dissipée par effet Joule dans les montages A et B.
- Expliquer la différence d'éclat de la lampe entre les deux montages.
- Quel est le rôle des transformateurs ?
- Indiquer en quoi ces deux expériences modélisent le transport de l'énergie électrique à haute tension et l'avantage que cela représente.

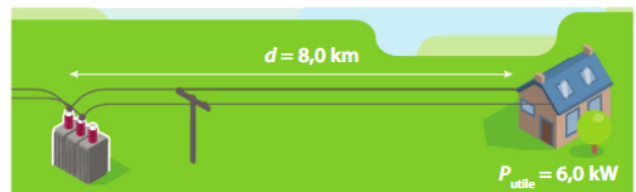
### 17 Lignes à haute tension

Les lignes à haute tension (HT) du réseau de distribution régional sont alimentées par une tension voisine de 225 kV. Elles transportent une puissance fixée de 104 MW sur une distance aller de 120 km. La résistance moyenne pour 1 km de câble métallique est de  $0,06 \Omega$ .

- Calculer l'intensité du courant  $I$  circulant dans cette ligne HT.
- Déterminer la résistance totale  $R_{\text{totale}}$  du câble constituant ces lignes HT.
- Calculer la puissance totale dissipée par effet Joule  $P_{J \text{ totale}}$ .
- Sur le réseau régional, les pertes par effet Joule doivent être inférieures à 2 % de la puissance transportée. Cette condition est-elle vérifiée ici ?
- Généralement, on double le nombre des câbles assurant le transport. Quel intérêt cela présente-t-il ?

### 19 Réduire les pertes en ligne

Un particulier a souscrit un abonnement de 6,0 kVA, ce qui lui garantit de disposer d'une puissance utile maximale de 6,0 kW. L'habitation de cet usager est située à 8,0 km d'un transformateur abaisseur de tension délivrant une puissance de 6 kW. La tension d'alimentation des câbles est de 230 V et leur résistance linéique de  $1,5 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{m}^{-1}$ .



- Calculer l'intensité maximale du courant reçue par l'installation.
  - Déterminer la résistance totale des câbles et en déduire la valeur de la puissance maximale dissipée par effet Joule.
  - En assimilant chaque câble à une résistance, déterminer la tension maximale entre les bornes du câble, appelée « chute de tension ».
  - Calculer la valeur de la tension réellement disponible chez le particulier en utilisant la loi des mailles.
- La puissance électrique peut aussi être transportée dans des câbles haute tension, la tension d'alimentation de ces derniers étant alors 20 000 V au lieu de 230 V.
  - Reprendre les questions précédentes pour une tension d'alimentation de 20 000 V.
  - Conclure sur l'intérêt de transporter l'énergie électrique sur de grandes distances en élevant la tension.