

Réseau électrique

Dans un réseau électrique, l'électricité est transportée sous différentes tensions afin de satisfaire tous les utilisateurs (usines, maisons individuelles...) et minimiser les pertes.

OBJECTIF

Identifier l'influence de la résistance, de l'intensité et de la tension électriques sur les pertes par effet Joule lors du transport de l'électricité.



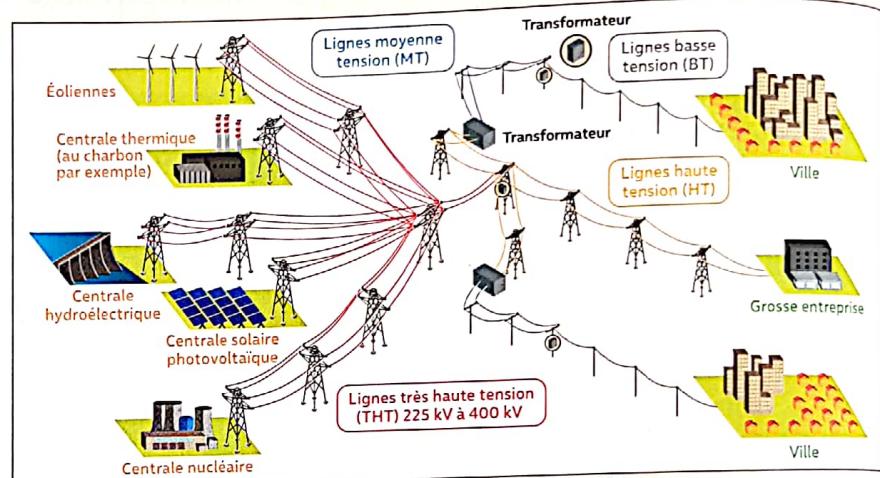
L'électricité est acheminée depuis les sites de production (centrales thermiques, hydroélectriques, éoliennes...) jusqu'aux sites de consommation (entreprises, particuliers...) grâce à un réseau électrique constitué de lignes aériennes, de câbles souterrains et de postes de transformation.

Trois niveaux peuvent être distingués dans le réseau électrique :

- le réseau de grand transport qui achemine, sous une tension de 400 kV (400×10^3 volts) ou 225 kV (225×10^3 volts), de grandes quantités d'énergie électrique sur de longues distances avec un faible niveau de perte;
- les réseaux régionaux de répartition qui répartissent localement l'énergie électrique et alimentent en 225 kV , 90 kV et 63 kV les réseaux de distribution publique et les gros clients industriels ;
- les réseaux de distribution de 230 V à 20 kV , qui desservent les consommateurs finaux, c'est-à-dire les particuliers ainsi que les petites et les moyennes entreprises.

En France, le réseau électrique, d'une longueur supérieure à 1,3 million de kilomètres, est parcouru par du courant électrique alternatif.

D'après www.cre.fr, 2018.



1 Réseau électrique

ACTIVITÉ EXPÉRIMENTALE

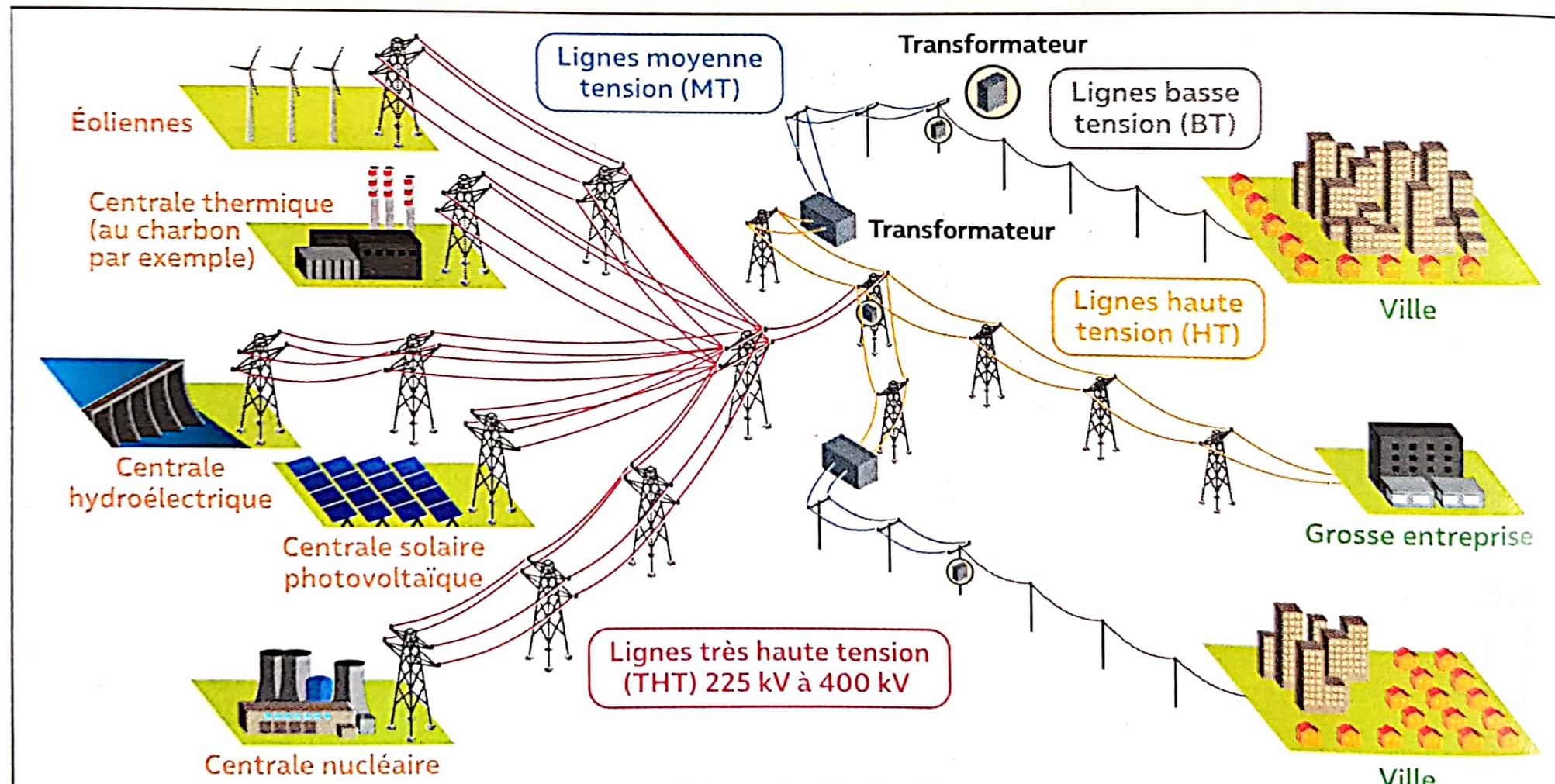
OBJECTIF Mettre en évidence l'effet Joule.

PROTOCOLE

1. Relier deux piles de $4,5\text{ V}$ à une mine de graphite à l'aide de pinces « crocodile ».
2. Observer la mine de graphite lorsque du courant électrique y circule.



l'efficacité, de l'intensité et de la tension perdues Joule lors du transport de l'électricité.



Lorsqu'un courant électrique circule dans un conducteur ohmique de résistance r , il y a dissipation d'énergie, c'est l'effet Joule. Dans le cas d'un **courant électrique continu**, l'intensité I , la puissance électrique dissipée par effet Joule dans le conducteur est égale à :

$$\mathcal{P}_J = r \times I^2$$

Unités SI

- \mathcal{P}_J en watt (W)
- r en ohm (Ω)
- I en ampère (A).

De plus, la puissance électrique utilisée, délivrée ou transportée par un dispositif électrique est égale à :

$$\mathcal{P} = U \times I$$

Unités SI

\mathcal{P} en watt (W)

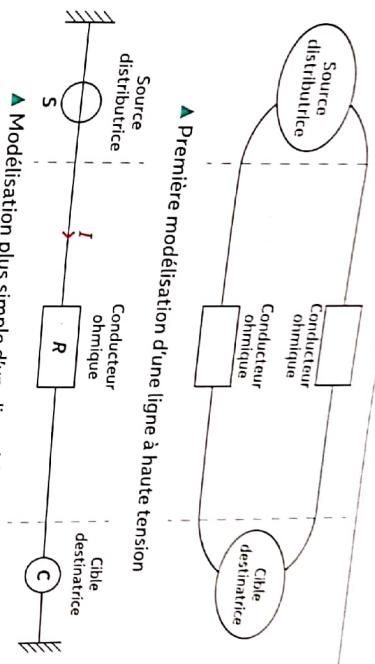
U la tension électrique aux bornes du dispositif, en volt (V)
l'intensité du courant électrique entrant, sortant ou traversant le dispositif, en ampère (A).

2 Puissances



3 Schémas de circuits électriques modélisant des lignes à haute tension

Afin de modéliser une ligne à haute tension, des schémas différents de circuits électriques peuvent être proposés, suivant la complexité du modèle.



$$R = \rho \times \frac{L}{A} \text{ avec :}$$

R la résistance de la ligne électrique, en ohm (Ω);
 ρ la résistivité de la ligne électrique, dépendant du matériau conducteur (le plus souvent du cuivre); en ohm-mètre (Ωm);
 L la longueur de la ligne électrique, en mètre (m);
 A l'aire de la section de la ligne électrique, en mètre carré (m^2).

▲ Résistance R du conducteur ohmique modélisant le plus simplement possible une ligne à haute tension.



PISTES D'EXPLOITATION

ff. 2018.

PISTES D'EXPLOITATION

1 Préciser l'expression du doc. 1 « faible niveau de perte » en explicitant le terme « perte ».

2 Réaliser et/ou observer l'activité expérimentale puis expliquer pourquoi elle permet de mettre en évidence l'effet Joule.

3 Indiquer à l'aide du doc. 2 l'évolution de la puissance dissipée par effet Joule lorsque la résistance augmente, et lorsque la résistance diminue.

4 Recopier le schéma du doc. 3 représentant un circuit électrique qui modélise de la manière la plus simple possible une ligne à haute tension reliant une centrale nucléaire à un transformateur.

5 Déduire des questions 3 et 4 en quoi, pour transporter une même puissance électrique, l'utilisation d'une tension plus élevée dans une ligne électrique permet de minimiser les pertes énergétiques.

Pour aller plus loin : utiliser une application (type Geogebra) pour modéliser la ligne électrique et à l'aide de l'algorithme (type Geogebra) pour minimiser les pertes par effet Joule dans une ligne électrique.

CHAPITRE 7 • Optimisation du transport de l'électricité

Réflexion sur la science

Science et société

La Chine a mis en service fin 2018 une ligne ultra-haute tension en courant continu (UHVD). Longue de plus de 3000 km, parcourue par un courant électrique continu de tension 1 100 kV, elle permet de distribuer une puissance électrique de 12 GW (12×10^9 W).

Quel est l'intérêt d'avoir encore davantage la tension électrique dans une ligne à haute tension dans un pays comme la Chine ?

Pour aller plus loin : utiliser une application (type Geogebra) pour modéliser la géométrie et à l'aide de l'algorithme (type Geogebra) pour minimiser les pertes par effet Joule dans une ligne électrique.

UNITÉ 2

Minimisation des pertes par effet Joule

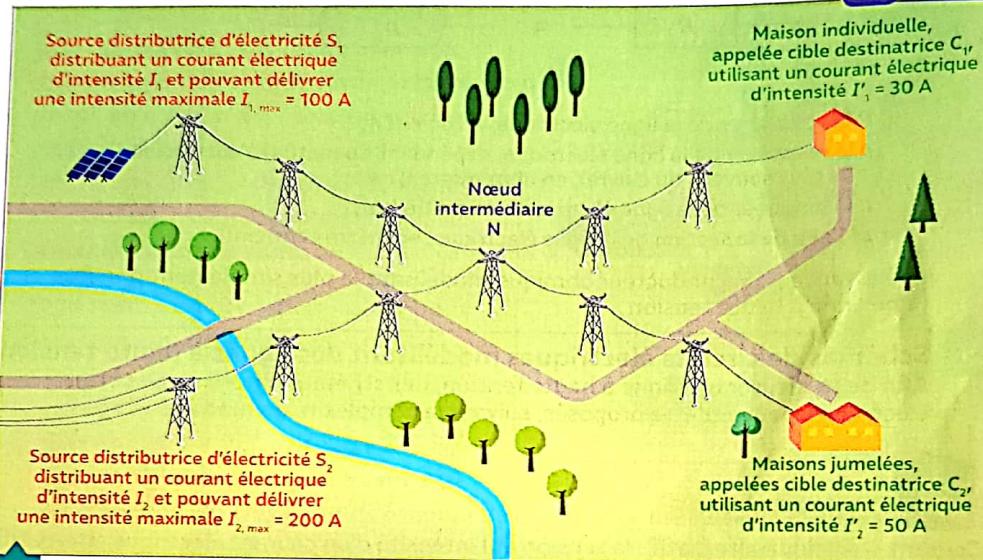
L'énergie électrique consommée et produite varie à chaque instant. Distribuer cette énergie partout en France en minimisant les pertes est un problème complexe que les mathématiques et la physique permettent de résoudre.

Activité utilisant une application ou un logiciel dédié à la géométrie et à l'algèbre (type GeoGebra).

OBJECTIF

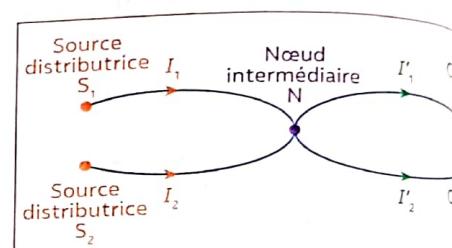
Exprimer mathématiquement les contraintes d'un réseau électrique et résoudre le problème de minimisation des pertes par effet Joule.

Vidéo



1 Exemple d'un réseau de distribution électrique

Monde réel	Modèle
Valeurs des tensions différentes dans les différentes lignes électriques.	Valeur U de la tension identique dans toutes les lignes électriques du réseau.
Courant électrique alternatif dans les lignes électriques (en France et en Europe notamment).	Courant électrique continu, d'intensité I , dans chaque ligne électrique transportant une puissance électrique $\mathcal{P} = U \times I$.
Lignes électriques caractérisées par des grandeurs physiques	Lignes électriques modélisées par des circuits électriques constitués uniquement de conducteurs



Un réseau électrique peut être modélisé mathématiquement par un graphe orienté dont :

- les sommets représentent les sources distributrices, les nœuds intermédiaires et les cibles destinatrices ;
- les arcs représentent les lignes électriques, avec une orientation dans le sens de circulation du courant électrique.

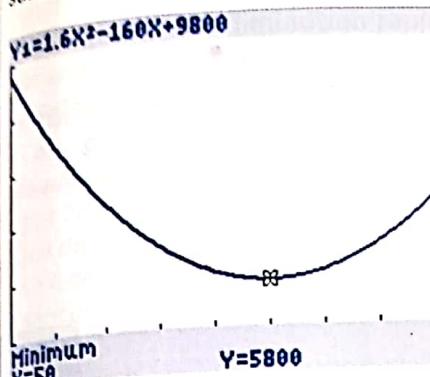
Les contraintes subies par ce réseau sont les suivantes :

- l'intensité totale I_1 ou I_2 du courant électrique sortant de la source distributrice S_1 ou S_2 est limitée par la puissance électrique maximale distribuée;
- l'intensité totale $I_1 + I_2$ des courants électriques entrant dans le nœud intermédiaire est

La puissance dissipée par effet Joule dans l'ensemble des quatre lignes du réseau électrique du doc. 1 est minimale lorsque la fonction f de la variable $x = I_1$ (en A) est minimale, avec f une fonction définie par :
 $f(x) = 1,6x^2 - 160x + 9800$ avec $0 \leq x \leq 80$.

Méthode 1 à partir de la courbe de la fonction

Avec la calculatrice, on conjecture que la fonction f admet sur l'intervalle $[0 ; 80]$ un minimum en $x = 50$.



X	Y
0	9800
10	8360
20	7240
30	6440
40	5960
50	5800
60	5960
70	6440
80	7240

Suivant l'enseignement de mathématiques suivi, différentes méthodes existent afin de déterminer la valeur de x de l'intervalle $[0 ; 80]$ pour laquelle la fonction f atteint son minimum.

Méthode 2 à partir de la dérivée de la fonction

f est un polynôme du second degré dérivable sur $[0 ; 80]$ et sa fonction dérivée est égale à :

$$f'(x) = 3,2x - 160.$$

Ainsi, sur l'intervalle $[0 ; 80]$:

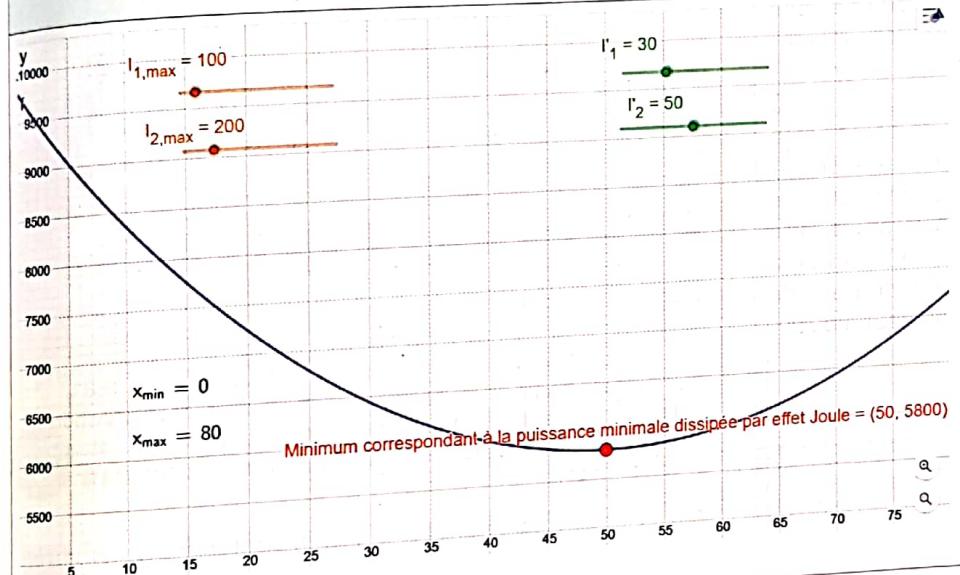
x	0	50	80
$f'(x)$	-	0	+
$f(x)$			

La fonction f admet sur l'intervalle $[0 ; 80]$ un minimum qui est atteint en $x = 50$.



Fichiers numériques

Méthode 3 avec une application ou un logiciel dédié à la géométrie et à l'algèbre



- $f(x) = 1,6x^2 - 160x + 9800$
- $P_{\min} = \text{Min}(f, x_{\min}, x_{\max})$
- $x_{\min} = \text{Max}(0, l'_1 + l'_2 - l_{2,\max})$
- $x_{\max} = \text{Min}(l_{1,\max}, l'_1 + l'_2)$

4 Minimisation d'une fonction

PARCOURS 1

- 1 Visionner la vidéo du doc. 1 pour comprendre comment fonctionne un réseau électrique.
- 2 Exprimer mathématiquement les contraintes subies par le réseau et décrites dans le doc. 3, puis exprimer I_2 en fonction de I_1 , I'_1 et I'_2 .
- 3 Exprimer, à l'aide du doc. 2, les pertes par effet Joule sur chacune des quatre lignes du réseau électrique.
- 4 Réaliser la méthode 1 et/ou la méthode 3 du doc. 4 pour vérifier la valeur de I_1 qui permet de minimiser les pertes par effet Joule dans le réseau. En déduire la valeur de I_2 minimisant les pertes par effet Joule.

PARCOURS 2

- 1 Exprimer mathématiquement les contraintes subies par le réseau électrique et décrites dans le doc. 3.
- 2 Exprimer, à l'aide du doc. 2, les pertes par effet Joule sur chacune des quatre lignes du réseau électrique.
- 3 Vérifier, à l'aide des doc. 1, 2 et 3, l'expression de la fonction f à minimiser donnée dans le doc. 4, afin que la puissance dissipée par effet Joule dans l'ensemble des quatre lignes du réseau soit minimale.
- 4 Réaliser la méthode 2 et/ou la méthode 3 du doc. 4 pour vérifier la valeur de I_1 qui permet de minimiser les pertes par effet Joule dans le réseau. En déduire la valeur de I_2 minimisant les pertes par effet Joule.

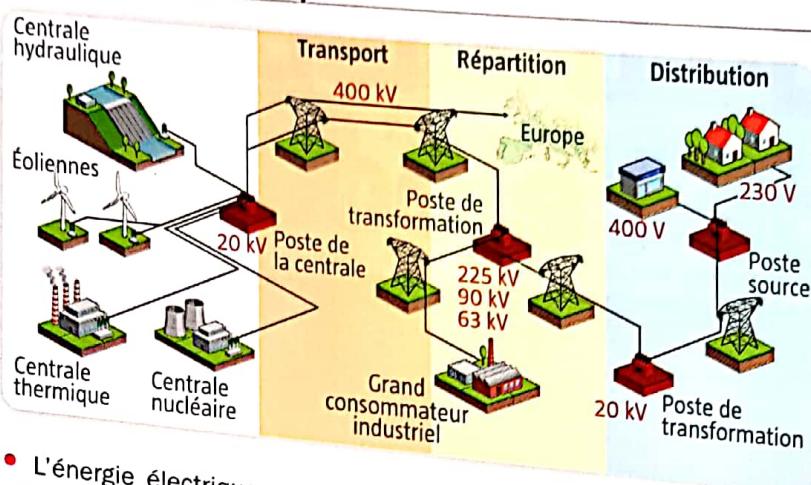
1

Le transport de l'électricité

La tension à la sortie d'une centrale électrique est de 20 000 volts. La tension est ensuite élevée puis abaissée avant la distribution de l'énergie.

► Pourquoi les lignes électriques transportent-elles l'électricité en très haute ou haute tension ?

Doc 1 Le réseau électrique



- L'énergie électrique ne se stocke pas et sa production doit être adaptée à la consommation des utilisateurs.
- Le réseau électrique assure le transport de l'électricité vers les utilisateurs par l'intermédiaire de lignes électriques :
 - de la sortie des centrales grâce à des lignes à très haute tension (225 000 V et 400 000 V) sur de longues distances ;
 - vers des **postes de transformation** qui transforment la très haute tension en haute tension (90 000 V et 63 000 V) et en moyenne tension (20 000 V) ;
 - vers des postes de transformation dits « postes sources » qui transforment la moyenne tension en basse tension (230 V et 400 V).

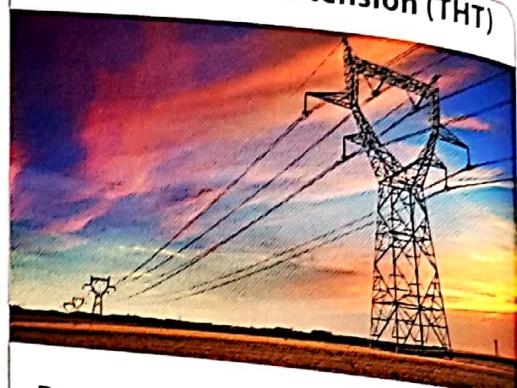
Doc 3 L'effet Joule

- L'effet Joule correspond au dégagement d'énergie thermique provoqué par le passage d'un courant dans un conducteur électrique.
- Le transport de l'électricité dans les lignes électriques se fait en courant alternatif.
- La puissance électrique P d'un dispositif électrique est donnée par la relation : $P = U \times I$.
- La puissance dissipée par effet Joule P_J dans un conducteur électrique est donnée par la relation : $P_J = R \times I^2$

Avec :

$$P$$
 la puissance électrique du dispositif électrique en watts (W) ;
 P_J la puissance dissipée par effet Joule en watts (W) ;
 R la résistance du conducteur électrique en ohms (Ω) ;
 I l'intensité du courant en ampères (A) ;
 U la tension aux bornes du dispositif électrique en volts (V).

Doc 2 Les lignes à très haute tension (THT)

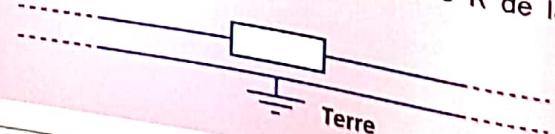


Des pylônes maintiennent les lignes électriques à une certaine distance du sol et sont reliés à la **terre**, de façon à assurer la sécurité des personnes et des installations voisines des lignes électriques. En France, on dénombre 100 000 kilomètres de lignes THT et HT parmi un million de kilomètres de lignes électriques.

Focus électricité

En courant alternatif, les grandeurs sont notées par des minuscules ; cependant, pour simplifier, on les notera dans ce chapitre par des majuscules, comme en courant continu. On admet que les relations vues en courant continu sont valables en courant alternatif.

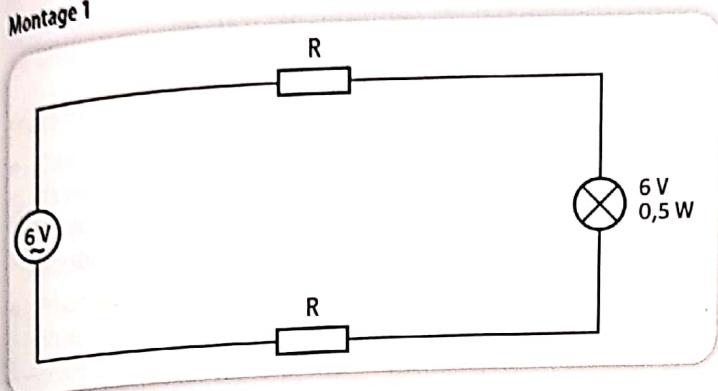
- Comme tout conducteur électrique, une ligne de transport de l'électricité possède une résistance d'autant plus grande que la ligne est longue. Le transport de l'électricité sur une longue distance génère donc une grande perte d'énergie par effet Joule.
- Une ligne électrique est modélisée par un conducteur ohmique de résistance R de la façon suivante :



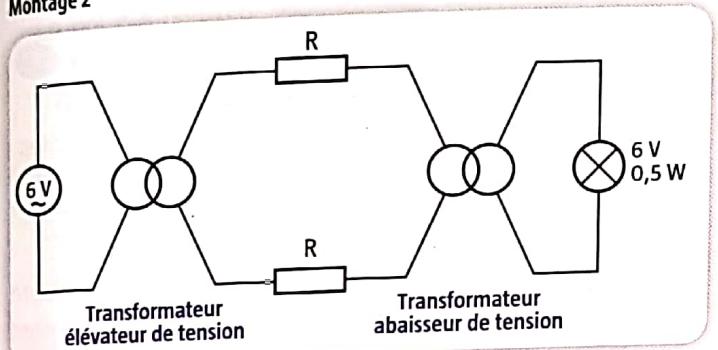
Le transport de l'électricité en très haute tension

Doc 4 L'expérience décrite ici permet de comprendre pourquoi le transport de l'électricité doit se faire en très haute tension.

Montage 1



Montage 2



EXPÉRIENCE

MATÉRIEL

- Un générateur délivrant une tension sinusoïdale (6 V)
- Une lampe (6 V - 0,5 W)
- 2 conducteurs ohmiques ($R = 22 \Omega$)
- 2 transformateurs (220 V/9 V et 9 V/220 V)
- 8 fils électriques

PROTOCOLE

1. Alimentation de la lampe d'un circuit

Réaliser le schéma du montage 1 où les fils reliant le générateur et la lampe sont matérialisés par des conducteurs ohmiques.
Observer l'éclairement de la lampe.

2. Ajout de deux transformateurs dans le circuit

Intercaler dans le circuit précédent, à l'entrée de la ligne, un transformateur élévateur de tension et, à la sortie de la ligne, un transformateur abaisseur de tension (montage 2).
Observer l'éclairement de la lampe.

VIDÉO D'EXPÉRIENCE

<lienmini.fr/es-tle-c07-03>



FICHE TP

<lienmini.fr/es-tle-c07-04>

Guide de travail

PARCOURS 1

On suppose que la centrale délivre une tension U et produit la puissance P . L'intensité du courant dans la ligne THT est notée I .

1 Proposer un schéma de circuit électrique modélisant une ligne à très haute tension située entre la centrale et un poste de transformation. Le circuit doit être fermé et relié à la terre (**docs 1, 2 et 3**).

2 Indiquer le circuit qui permet un fonctionnement normal de la lampe (**doc 4**). Justifier la réponse.

3 Exploiter les relations données dans le **doc 3** pour décrire comment évolue P , lorsque l'on fait varier chacune des grandeurs suivantes : résistance R , tension U et intensité I , en considérant les autres grandeurs constantes.

4 Calculer l'intensité I_1 du courant qui parcourt une ligne électrique si $U = 20 \text{ kV}$ et l'intensité I_2 du courant qui parcourt une ligne THT si $U = 400 \text{ kV}$ puis comparer les puissances correspondantes P_1 et P_2 dissipées par effet Joule. Conclure.

Données : $P = 1200 \text{ MW}$, $R = 1,0 \Omega$.

5 Synthèse Expliquer pourquoi le transport de l'électricité se fait dans des lignes à très haute tension.

PARCOURS 2

Variante en classe inversée

DOC

<lienmini.fr/es-tle-c07-05>

Focus maths

Le préfixe « méga » correspond à $1\,000\,000$, c'est-à-dire à 10^6 .

Donc $1 \text{ MW} = 1 \text{ million de watts} = 1 \times 10^6 \text{ watts.}$

Voir Fiche maths **2**

Vocabulaire

Poste de transformation ou transformateur : dispositif qui permet de modifier la valeur de la tension délivrée par un générateur soit en l'élevant, soit en l'abaissant.

Terre : en électricité, la terre est une référence. La terre est une réserve inépuisable d'électrons ; les centrales électriques y puisent les électrons qui, en circulant dans la terre, referment le circuit. Symbole de la terre :



2

Réseau électrique et effet Joule

Le transport de l'électricité sous haute ou très haute tension permet de réduire les pertes par effet Joule. Cependant une partie de la puissance fournie par les centrales est tout de même dissipée dans le réseau par effet Joule. Ces pertes, qui engendrent un coût, doivent être minimisées.

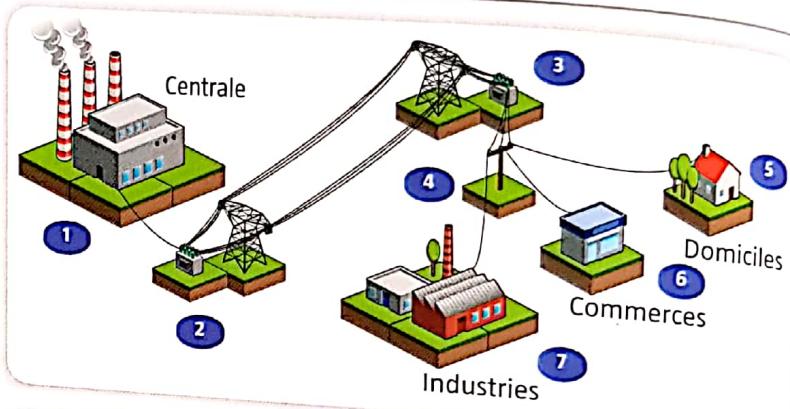
► Comment minimiser les pertes par effet Joule dans un réseau électrique ?

Doc 1 La modélisation du réseau électrique par un graphe orienté

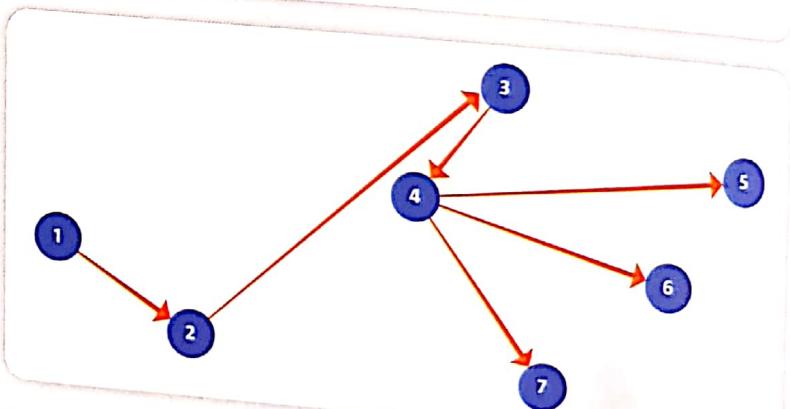
- Le réseau électrique schématisé est constitué du réseau de transport, du réseau de répartition et du réseau de distribution. Il peut être modélisé par un graphe orienté.

Focus maths

Un graphe orienté est un modèle mathématique, formé de sommets reliés par des arcs. Chaque arc, associé à un couple de sommets, possède un sens de parcours.

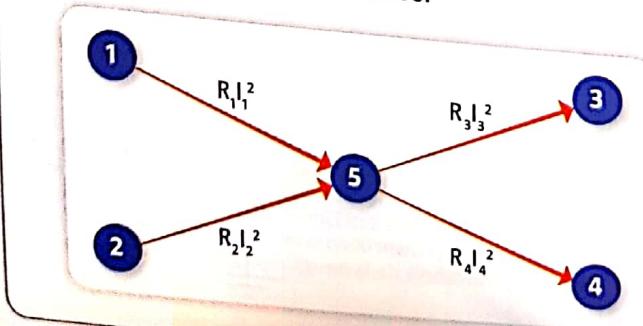


- Sur le graphe orienté ci-contre modélisant le réseau électrique :
 - les sommets représentent les sources distributrices, les transformateurs (nœuds intermédiaires) et les cibles destinatrices ;
 - les arcs représentent les lignes électriques.



Doc 2 La modélisation d'un réseau de distribution électrique par un graphe orienté

- Un réseau de distribution électrique est modélisé par le graphe orienté ci-dessous. On choisit d'indiquer sur les arcs les puissances perdues par effet Joule sur les lignes correspondantes.



- Les cibles délivrent des puissances qui imposent les intensités des courants qui y arrivent, les valeurs des tensions à leurs bornes étant fixées.
- Les sources peuvent fournir au maximum les puissances P_{\max} .
- Les lignes possèdent une certaine résistance, il y a donc des pertes par effet Joule dans ces lignes.

Doc 3 Déterminer le minimum d'une fonction

Il existe plusieurs méthodes permettant de déterminer le minimum d'une fonction. Considérons par exemple la fonction f définie sur l'intervalle $[0 ; 60]$ par :

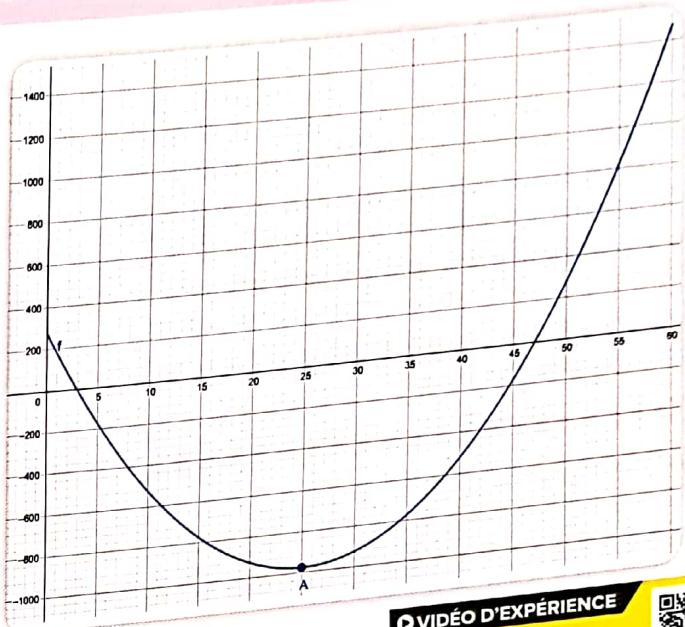
$$f(x) = 2x^2 - 100x + 275$$

On souhaite déterminer la valeur x_{\min} pour laquelle f atteint un minimum et la valeur $f(x_{\min})$.

Méthode 1 : utilisation du logiciel GeoGebra

- Dans la barre de saisie, saisir :
 $f(x)=Fonction(2x^2-100*x+275,0,60)$
 La courbe représentative de f est tracée automatiquement.
- Pour ajuster la fenêtre du tracé, déplacer le graphique avec la souris, zoomer et utiliser le clic droit de la souris pour accéder aux propriétés et ajuster la longueur des axes.
- Dans la barre de saisie, saisir : $\min(f(x),0,60)$. Le point A correspond au minimum de f sur l'intervalle $[0 ; 60]$.

$f(x) = \text{Si}(0 \leq x \leq 60, 2x^2 - 100x + 275)$
$\rightarrow 2x^2 - 100x + 275, ((0) \leq x \leq (60))$
$A = \text{Min}(f, 0, 60)$
$\rightarrow (25, -975)$



VIDÉO D'EXPÉRIENCE

<lienmini.fr/es-tle-c07-06>



Méthode 2 : utilisation du tableau de variations de f sur $[0 ; 60]$ (Voir Fiche maths 11)

Méthode 3 : utilisation de la calculatrice (Voir Fiche maths 11)

Solution : sur l'intervalle $[0 ; 60]$, la fonction f a pour minimum -975 , il est atteint pour $x = 25$.

Guide de travail

PARCOURS 1

1 Indiquer la (ou les) source(s) distributrice(s), le (ou les) nœud(s) intermédiaire(s) et la (ou les) cible(s) destinatrice(s) du graphe orienté du doc 2.

2 En utilisant les indices appropriés et le doc 2, établir les relations entre :

- la puissance imposée P par chaque cible destinatrice et l'intensité I du courant arrivant à cette cible ;
- les intensités des courants entrant dans le nœud intermédiaire et celles des courants en sortant ;
- la puissance maximale P_{\max} délivrée et l'intensité I_{\max} du courant sortant de chaque source distributrice.

3 Calculer les valeurs des intensités $I_{1\max}$, $I_{2\max}$, I_3 et I_4 (à 0,1 A près).

Données

$$\begin{aligned} P_{1\max} &= 15\,000 \text{ W}, U_1 = 280 \text{ V}, \\ P_{2\max} &= 6\,000 \text{ W}, U_2 = 270 \text{ V}, \\ P_3 &= 6 \text{ kW}, U_3 = 230 \text{ V}, \\ P_4 &= 9 \text{ kW} \text{ et } U_4 = 230 \text{ V}. \end{aligned}$$

4 Expliquer pourquoi seules les pertes par effet Joule des lignes sortant des sources distributrices peuvent être minimisées (doc 2).

5 On souhaite vérifier que la fonction à minimiser s'écrit : $f(I_1) = 0,6 I_1^2 - 52,2 I_1 + 1\,700,4$

a. Écrire la somme des pertes par effet Joule P_j pouvant être minimisées.

b. À l'aide des questions 2 et 3, établir la relation $I_2 = 65,2 - I_1$. En déduire f .

Données : $R_1 = 0,2 \Omega$ et $R_2 = 0,4 \Omega$.

6 Déterminer la valeur de l'intensité I_1 du courant pour laquelle $f(I_1)$ passe par un minimum sur l'intervalle $[0, I_{1\max}]$, à l'aide du logiciel GeoGebra ou d'une autre méthode et en déduire la valeur de la puissance minimale P_{\min} perdue par effet Joule (doc 3).

7 Commenter les résultats obtenus si $P_{1\max} = 10\,000 \text{ W}$ et $P_{2\max} = 8\,000 \text{ W}$.

8 Synthèse Résumer, dans le cas du modèle du doc 2, les étapes du raisonnement pour que les cibles soient alimentées par un courant d'intensité suffisante, tout en minimisant les pertes par effet Joule.

PARCOURS 2

Variante en classe inversée

DOC
<lienmini.fr/es-tle-c07-07>

Activité 1

Le transport de l'électricité

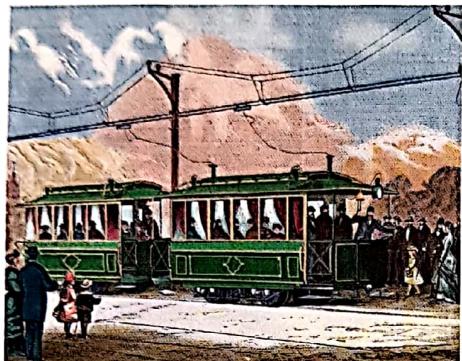
Les sites de production d'énergie électrique ne sont pas forcément localisés à proximité immédiate des utilisateurs. Transporter et distribuer l'énergie électrique depuis ces sites entraîne des pertes de puissance électrique.

Comment réduire les pertes de puissance lors du transport et de la distribution de l'énergie électrique ?

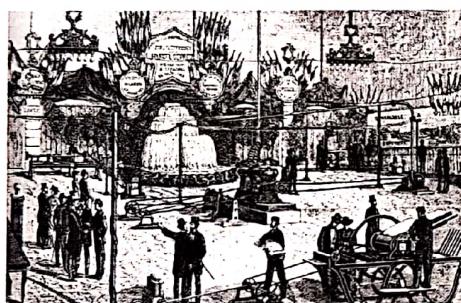
SAVOIR-FAIRE

- Faire un schéma d'un circuit électrique modélisant une ligne à haute tension.
- Utiliser les formules littérales reliant la puissance à la résistance, l'intensité et la tension pour identifier l'influence de ces grandeurs sur l'effet Joule.

1 Quelques repères historiques sur le transport et la distribution de l'énergie électrique



Tramway électrique au XIX^e siècle (gravure)



Expérience de Marcel Deprez en 1883 (gravure)

Vers 1880, quelques lignes de tramways fonctionnent à l'électricité et des villes s'équipent d'un éclairage électrique. Les sites de production de l'électricité sont alors proches des lieux de son utilisation, distants de quelques kilomètres au plus. Les besoins en énergie électrique se développent, le problème du transport de l'énergie électrique se pose sur de plus grandes distances.

Les premiers essais sont catastrophiques : la puissance électrique réelle disponible à la sortie du réseau de transport est trop faible pour faire fonctionner les machines branchées à cause de l'échauffement des câbles : il y a dissipation d'énergie au cours du transport.

Pourquoi les câbles chauffent-ils ?

Tout conducteur ohmique parcouru par un courant électrique reçoit de l'énergie qu'il dissipe en s'échauffant. Ce phénomène est appelé effet Joule. Les câbles des lignes électriques peuvent être modélisés par des conducteurs ohmiques qui opposent une résistance au passage du courant. Plus la distance à parcourir est grande, plus la résistance des câbles est importante. La dissipation d'une puissance électrique est donc d'autant plus importante que le trajet entre les sites de production et de consommation est long.

En 1883, Marcel Deprez fait fonctionner un ensemble de machines-outils, situés à 14 km de l'alternateur qui a produit l'électricité, grâce à une chute d'eau à Vizille. Il montre qu'il est possible de minimiser la dissipation de puissance par effet Joule grâce à la haute tension. Pour une puissance délivrée constante, $P_f = U \times I$. Dans ce circuit le courant délivré est continu et la tension est alors de 2 500 V environ.

MÉMO

PHYSIQUE

Effet Joule

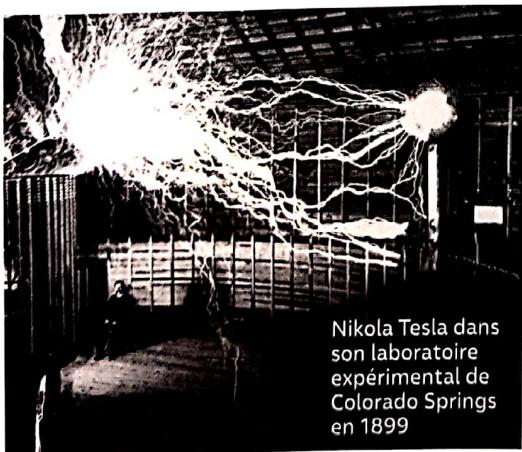
Phénomène de pertes d'énergie qui se produit par l'échauffement d'un conducteur parcouru par un courant électrique. L'énergie thermique (en joule J), dégagée par un conducteur de résistance R (en ohm Ω), parcouru par une intensité I (en ampère A) pendant une durée Δt (en secondes) vaut alors : $E = R \times I^2 \times \Delta t$.

La puissance dissipée par effet Joule, exprimée en watt (W), a l'expression : $P_f = R \times I^2$

Les lois de l'électricité qui régissent les tensions et courants alternatifs sont identiques à celles des courants continus si l'on considère les mêmes valeurs efficaces. La tension continue qui aurait, en moyenne, les mêmes effets sur le fonctionnement des récepteurs et les échauffements que l'alternatif, correspond à une tension continue qui aurait, en moyenne, les mêmes effets sur le fonctionnement des récepteurs et les échauffements que l'alternatif.

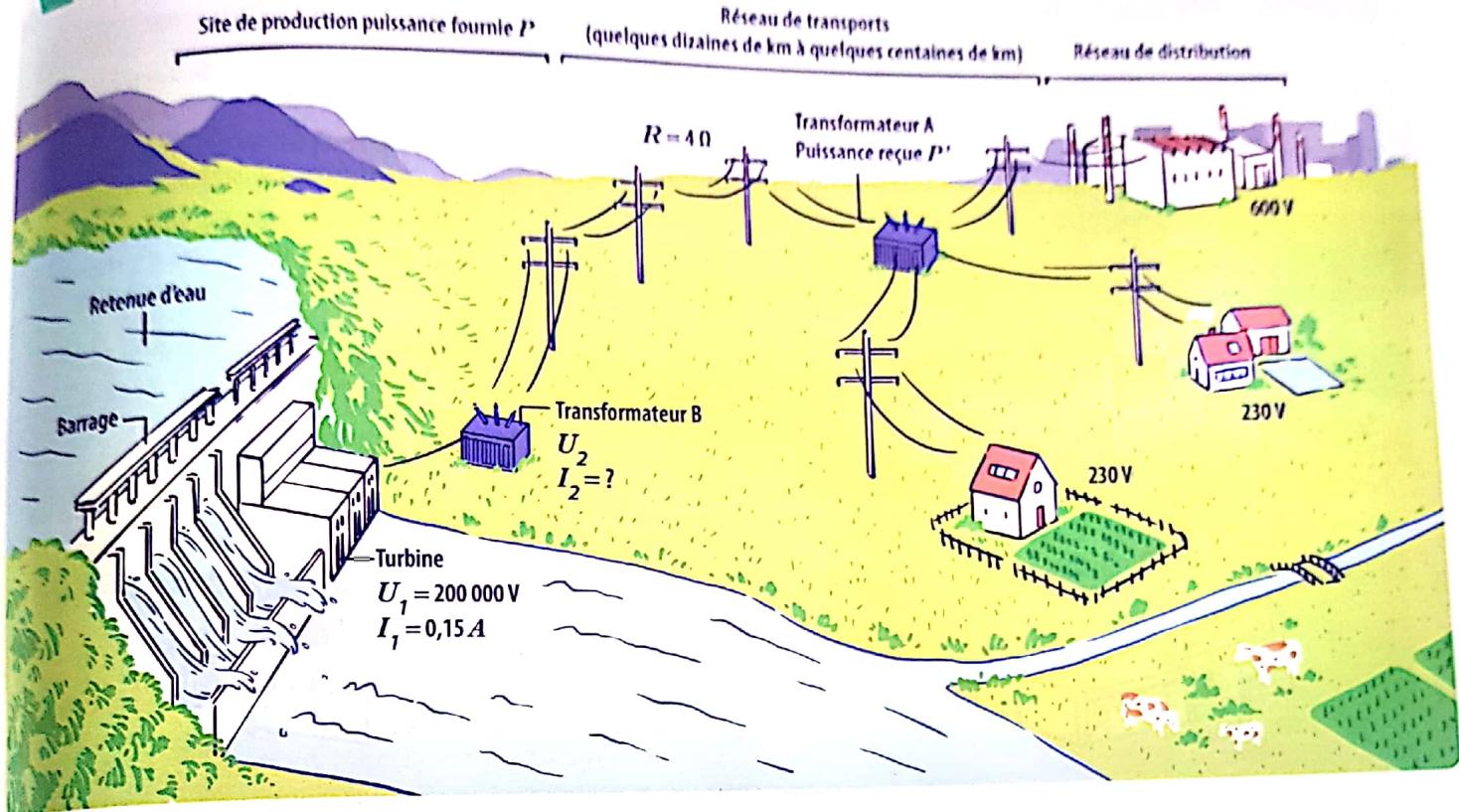
2 Le choix du courant alternatif et l'invention du transformateur

En 1880, l'énergie électrique était distribuée sous forme de tension et de courant continus. Thomas Edison détenait les brevets et les savoir-faire techniques. Dès le milieu des années 1880-1890, une controverse technique et industrielle, sous-tendue par une revanche personnelle, oppose Thomas Edison à Nikola Tesla et Georges Westinghouse, partisans du courant électrique variable et alternatif (qui change de sens au cours du temps). À partir de 1896, la technologie alternative s'impose grâce à l'utilisation du transformateur qui limite les pertes en ligne et permet ainsi un transport de l'énergie depuis des sites de production éloignés.

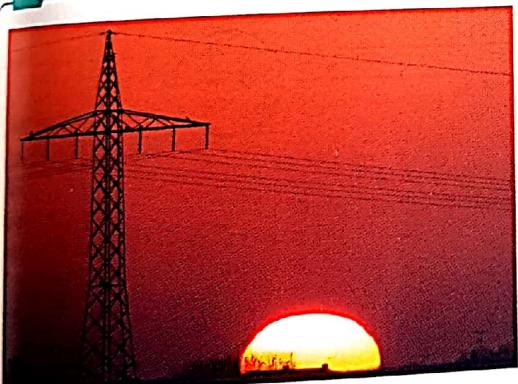


Nikola Tesla dans son laboratoire expérimental de Colorado Springs en 1899

3 Un réseau de transport et de distribution électrique



4 Pylône et conducteurs pour la haute tension



Pylône électrique

Une ligne de courant est constituée de deux conducteurs : dans l'un d'entre eux, le courant I circule du centre de production vers l'utilisateur, dans l'autre, le même courant I circule de l'utilisateur vers le centre de production.

Un conducteur de lignes à haute tension aériennes est constitué, au centre, d'acier qui assure la tenue mécanique du conducteur et, sur la périphérie, d'aluminium qui assure les propriétés de conduction électrique du câble en minimisant la résistance électrique. Les conducteurs ne sont pas protégés par une gaine isolante, c'est l'air environnant qui joue alors le rôle d'isolant.

NEMO SCIENCES

Entre le milieu des années 1970 et les années 1990, le développement des technologies des thyristors et des convertisseurs en source de tension a permis la construction de lignes à haute tension en courant continu, qui a le grand avantage de permettre le transport de l'électricité sur de très grandes distances, d'utiliser les câbles souterrains ou sous-marins.

Consignes

1. Indiquer les choix technologiques qui permettent de limiter les pertes d'énergie lors du transport de l'énergie électrique dans les lignes électriques (docs 1, 2 et 4).

2. Un barrage hydraulique délivre une puissance électrique en courant haute tension vers une usine. Schématiser le circuit électrique qui modélise cette situation (doc 3 et formulaire de physique sur les rabats).

3. Calculer les pertes de puissance dues à l'effet Joule entre les transformateurs A et B dans les cas suivants : $U_1 = 100\ 000\text{ V}$ ou $U_1 = 260\text{ V}$ (doc 3).

À l'oral

4. Justifier le choix d'un transport électrique en haute tension pour minimiser les pertes par effet Joule (docs 1, 2 et 3).

5. Retrouver l'expression de la puissance électrique P dissipée par un conducteur ohmique en fonction de R , sa résistance, et I , l'intensité qui le traverse, à partir de la loi d'Ohm et de l'expression de la puissance électrique (doc 1).

Coup de pouce

Transporter et distribuer l'énergie électrique sur de longues distances engendre des pertes par effet Joule. Minimiser ces pertes d'énergie est un enjeu majeur, tant économique qu'écologique. On représente le réseau de transport grâce à des modèles mathématiques qui prennent en compte les contraintes physiques du système.

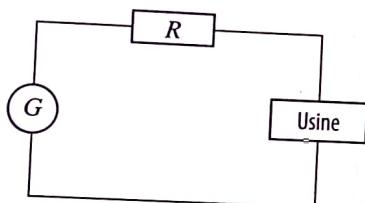
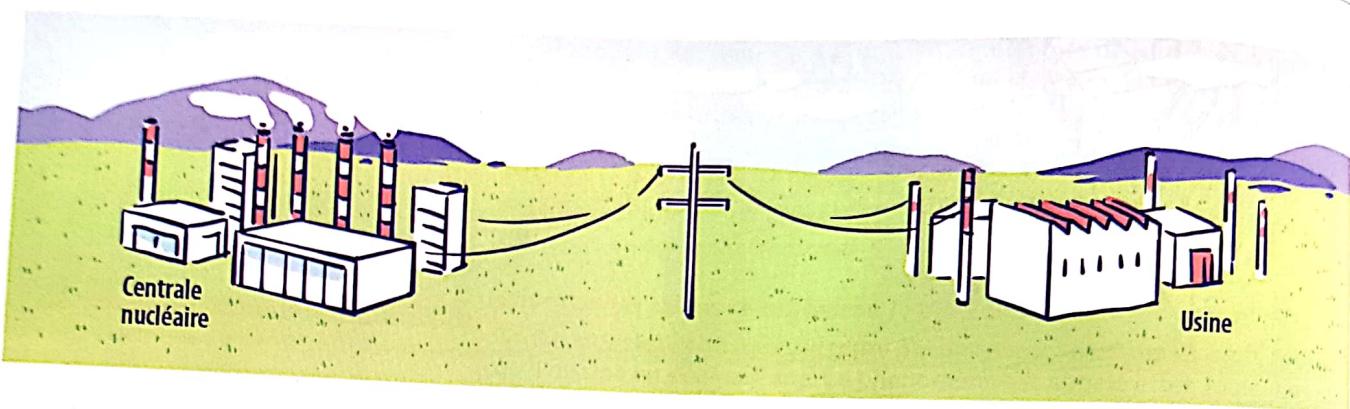
SAVOIR-FAIRE

- Modéliser un réseau de distribution électrique simple par un graphe orienté.
- Exprimer mathématiquement les contraintes et la fonction à minimiser.
- Formuler le problème de minimisation des pertes par effet Joule et le résoudre pour différentes valeurs numériques.

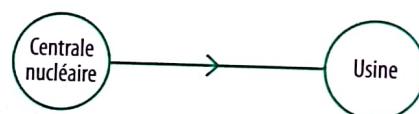
Comment minimiser les pertes dues à l'effet Joule sur un réseau de distribution électrique ?

1 Deux modèles pour présenter une ligne électrique

Cas n°1

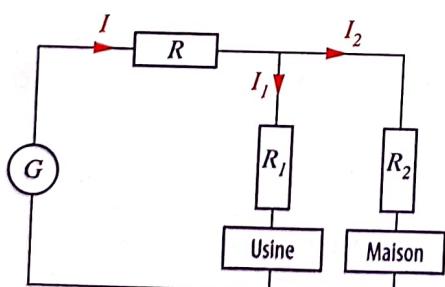
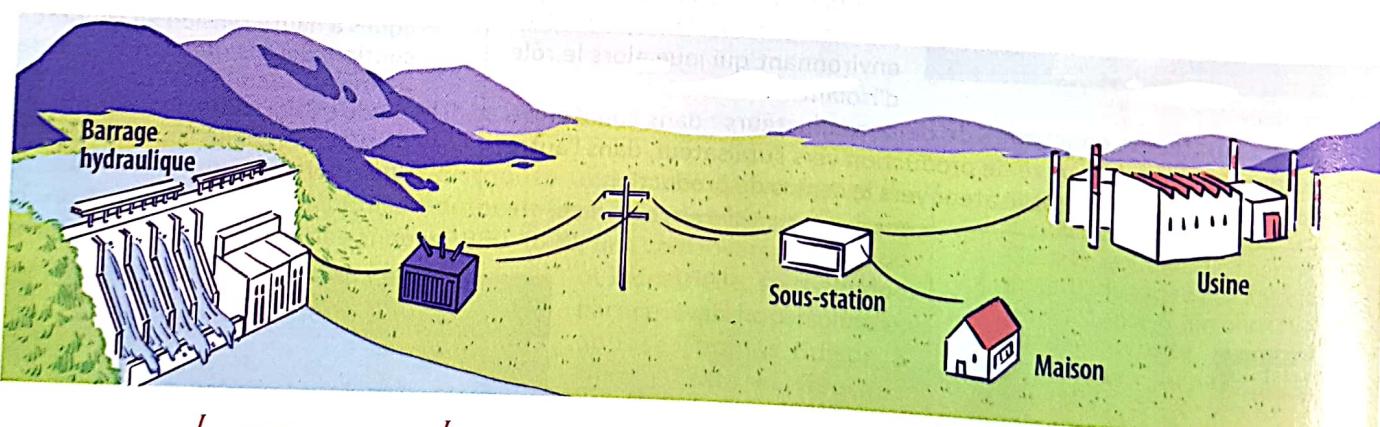


Modèle du circuit électrique

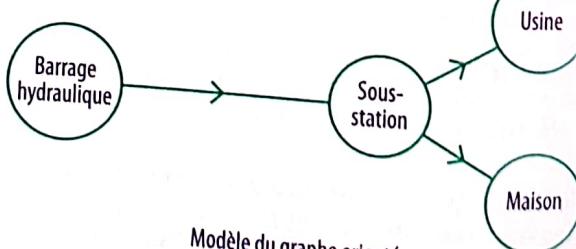


Modèle du graphe orienté

Cas n°2

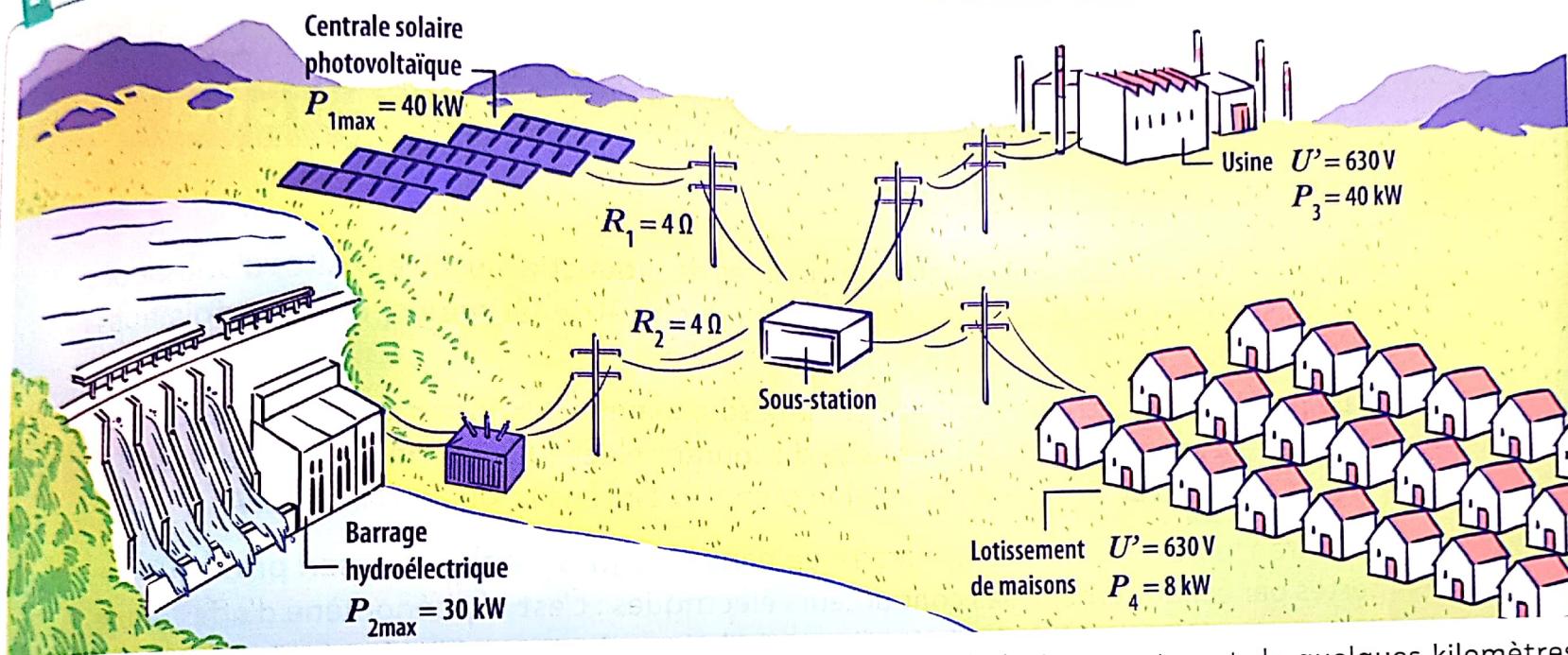


Modèle du circuit électrique



Modèle du graphe orienté

2 Un réseau de distribution électrique en courant alternatif



On modélise un réseau électrique par une centrale solaire photovoltaïque de puissance maximale $P_{1\text{max}} = 40 \text{ kW}$ et une centrale hydroélectrique de puissance maximale $P_{2\text{max}} = 30 \text{ kW}$. Ces centrales sont raccordées à une même sous-station qui permet d'alimenter une usine de puissance de fonctionnement $P_3 = 40 \text{ kW}$ et un lotissement de maisons de puissance de fonctionnement $P_4 = 8 \text{ kW}$. L'usine et le lotissement fonctionnent chacun avec une tension de 630 V.

Les valeurs des résistances des conducteurs entre la centrale solaire et la sous-station ainsi qu'entre la centrale hydroélectrique et la sous-station, peuvent être estimées chacune à 4Ω . Les distances entre la sous-station et l'usine,

ou même le lotissement sont de quelques kilomètres seulement, nous pouvons négliger la valeur de la résistance des lignes correspondantes.

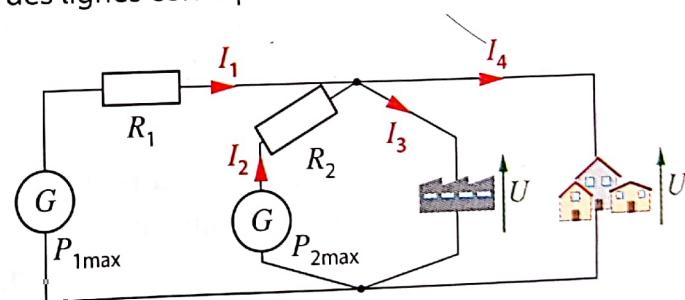


Schéma du circuit électrique