

Thème 2 : Le futur des énergies.

Chapitre 7 : Optimisation du Transport de l'Électricité.

T^{le} Enseignement Scientifique

Au cours du transport de l'électricité, une partie de l'énergie électrique, dissipée dans l'environnement par effet Joule, ne parvient pas à l'utilisateur.

Minimiser les pertes énergétiques constitue un enjeu majeur : les mathématiques et la physique permettent de répondre à cet enjeu grâce à la modélisation du réseau de distribution électrique.

1°/ Transporter l'électricité :

a) pertes par effet Joule :

Il n'existe pas de conducteur électrique parfait. Si l'on soumet un conducteur à une tension, ses électrons « libres » vont se mettre en mouvement, mais ce mouvement va être freiné par la constitution même du conducteur : on dit que le conducteur possède une résistance (au courant). Cette résistance explique l'échauffement du conducteur lorsqu'il est traversé par un courant : de l'énergie électrique est ainsi perdue sous forme de chaleur.

Tout conducteur de l'électricité a tendance à s'échauffer au passage d'un courant électrique. Ce phénomène est appelé effet Joule.

Le caractère résistif d'un conducteur se traduit par un coefficient de proportionnalité R entre la tension U appliquée à ses bornes et l'intensité I du courant qui en résulte : $I = \frac{U}{R}$ (d'après la loi d'Ohm : $U = R \cdot I$). Plus le conducteur a une résistance importante, plus l'intensité du courant qui le traverse sera faible.

Pour un conducteur de résistance R et traversé par un courant I , la puissance dissipée par effet Joule P_J s'exprime par :

$$P_J = R \cdot I^2$$

P_J : puissance en watt (W),

R : résistance en ohm (Ω),

I : intensité en ampère (A).

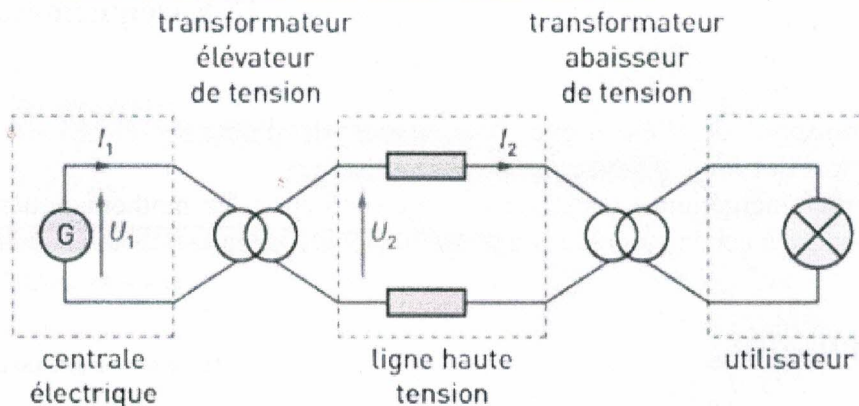
b) méthodes de transport :

L'énergie électrique est transportée depuis les centrales jusqu'aux utilisateurs grâce à des câbles électriques. Or la résistance électrique d'un conducteur est proportionnelle à sa longueur et dépend de sa section et de sa nature. Ces câbles dissipent donc, par effet Joule, à un instant donné, une puissance proportionnelle notamment à leur longueur. Cela conduit à des pertes inévitables durant le transport de l'énergie électrique.

Pour le transport de l'électricité, on utilise des lignes très haute tension (THT) afin de réduire l'effet Joule.

Remarque : Dans le transport, ces pertes sont estimées à 2 % et à 6 % pour la distribution.

D'après la relation $P = U \cdot I$, pour une même puissance transportée, le courant électrique circulant dans les câbles est **plus faible lorsqu'on augmente la tension**.
Comme $P_j = R \cdot I^2$, la puissance dissipée par **effet Joule diminue également**. On peut utiliser le modèle de circuit électrique pour représenter un réseau électrique. Les **transformateurs** permettent d'**augmenter ou d'abaisser la tension sans changer de puissance** :

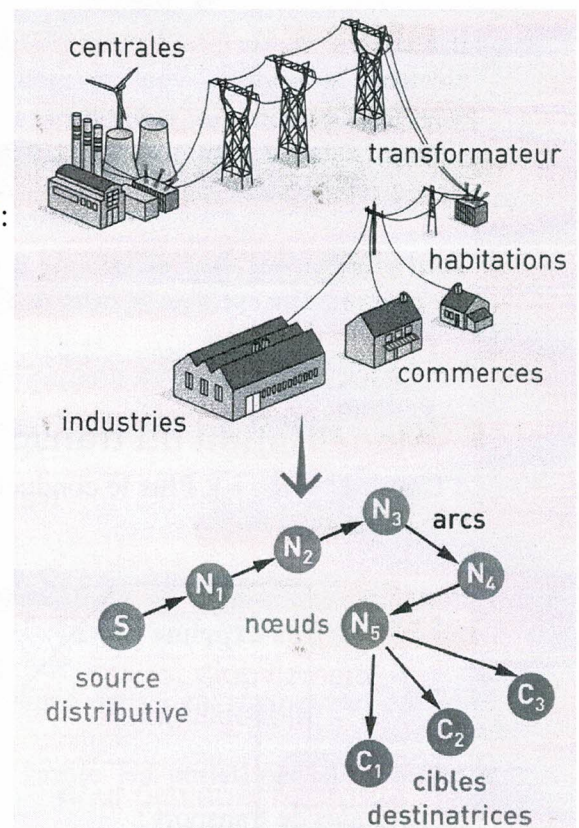


2°/ Modélisation d'un réseau électrique :

a) graphe orienté :

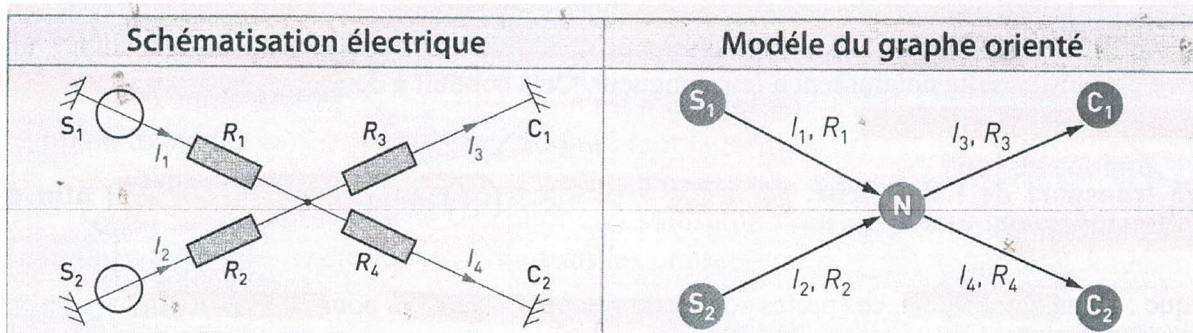
On peut modéliser un réseau électrique par **un graphe orienté** :

- **les sources distributives (S)** modélisent les lieux de production électrique (centrales nucléaires, parcs éoliens, centrales solaires...),
- **les nœuds intermédiaires (N)** modélisent les transformateurs et les répartiteurs,
- **les arcs** modélisent les lignes électriques,
- et enfin **les cibles destinataires (C)** modélisent les consommateurs d'électricité (industries, habitations...).



b) prise en compte des contraintes :

Considérons un réseau comportant deux sources, un nœud et deux cibles.



Au niveau d'un nœud, la somme des intensités électriques qui arrivent est égale à celle des intensités qui en repartent : $I_1 + I_2 = I_3 + I_4 = I_{\text{tot}}$.

L'intensité du courant électrique maximale que peut fournir une source distributive est liée à sa puissance électrique maximale P_{max} .

$$I_1 \leq \frac{P_{1\text{max}}}{U} \quad \text{et} \quad I_2 \leq \frac{P_{2\text{max}}}{U}$$

U : tension au niveau de la source

c) minimisation des pertes :

Pour minimiser les pertes par effet Joule dans un réseau électrique, il faut chercher à réduire la valeur de la puissance dissipée par effet Joule dans les lignes électriques.

Reprenons le réseau précédent (du b) :

La demande des cibles est considérée comme constante, donc on ne peut pas minimiser les pertes entre le nœud et les cibles destinataires.

Exprimons les pertes P_J entre les sources et le nœud :

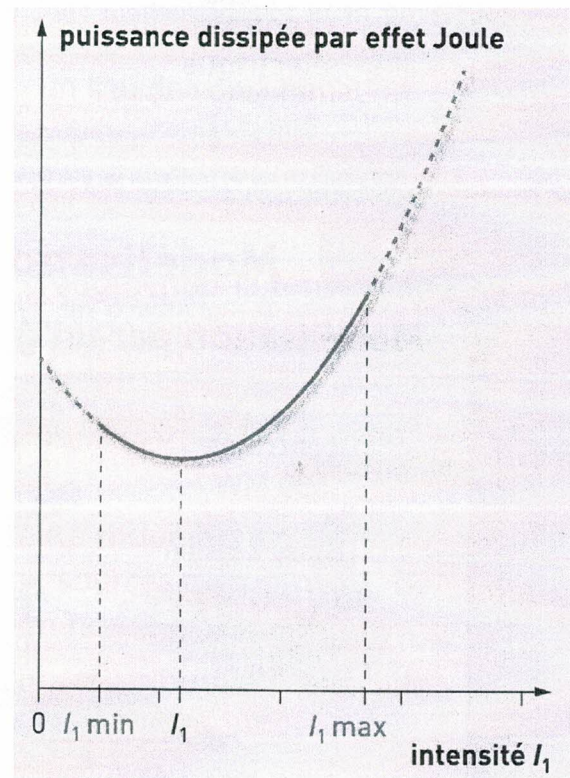
$$P_J = R_1 \cdot I_1^2 + R_2 \cdot I_2^2 = R_1 \cdot I_1^2 + R_2 \cdot (I_{\text{tot}} - I_1)^2$$

La fonction à minimiser peut s'écrire comme un polynôme du second degré.

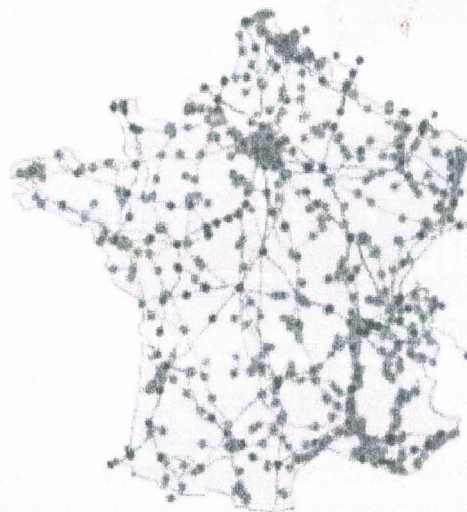
On recherche donc son minimum qui correspond à la minimisation des pertes par effet Joule.

Pistes pour trouver le minimum de la fonction :

- tracer sur sa calculatrice la fonction,
- dériver la fonction puis annuler la dérivée,
- dresser le tableau de variations de la fonction.



Dans la réalité, le réseau électrique se présente sous forme de maillage et non sous forme de graphes. Cela signifie que les nœuds sont reliés par plusieurs arcs. On dit que le réseau est redondant. L'avantage du maillage est de permettre d'avoir un réseau résilient : la redondance du réseau permet de continuer à fournir de l'électricité aux cibles même en cas de problème sur une ligne électrique.



- 400 kV (très haute tension)
- 225 kV (Haute tension)

En France, il y a 105 000 km de lignes très haute tension (THT) et 586 000 km de lignes haute tension (HT).

Basse Tension	Moyenne Tension	Haute Tension
$50 \text{ V} < U \leq 1 \text{ kV}$	$1 \text{ kV} < U \leq 50 \text{ kV}$	$U > 50 \text{ kV}$
Habitations, petits commerces	Industries, hôpitaux, réseaux de transport ferroviaire	Transport de l'énergie électrique

SAVOIRS OFFICIELS:

Au cours du transport, une partie de l'énergie électrique, dissipée dans l'environnement par effet Joule, ne parvient pas à l'utilisateur.

L'utilisation de la haute tension dans les lignes électriques limite les pertes par effet Joule, à puissance transportée fixée.

Le réseau de transport de l'électricité est maillé au niveau européen. En cas de déséquilibre entre l'offre et la demande, il est nécessaire de mobiliser des réserves d'énergie, de diminuer la consommation ou la production ou de stocker de l'énergie.