

LE FUTUR DES ENERGIES

Optimisation du transport de l'électricité

I Réseau électrique et pertes par effet Joule

1 De la production électrique à sa consommation

Le transport de l'électricité des sites de production aux sites de consommation passe par un réseau électrique constitué de lignes aériennes, de câbles souterrains et de postes de transformation.

La transport à travers le réseau électrique est en revanche une activité régulée, assurée par Réseau Transport Electricité (RTE), filiale d'Enedis.

Deux niveaux de transport peuvent être distingués :

- Le réseau de grand transport sous très haute tension (THT) de 400 kV de grandes quantités d'énergie sur de longues distances avec un faible niveau de perte. Il permet de relier les pays et les régions entre eux, ainsi que d'alimenter les villes.

- Le réseau de répartition régionale et locale grâce à un ensemble de lignes à haute tension (HT) qui acheminent l'électricité aux industries lourdes et aux grands consommateurs électriques. Leur tension est de 225 kV, 90 kV ou 63 kV.

Le réseau de répartition régionale fait le lien avec le réseau de distribution. Le relais de distribution est assuré par deux types de lignes : le réseau moyenne tension (MT), qui alimente les petites industries, les petites et moyennes entreprises (PME et commerces avec une tension de réseau comprise entre 15 kV et 30 kV, et le réseau basse tension (BT) qui alimente les particuliers et les artisans avec une tension de réseau de 230 V. Enedis est chargée de la gestion de l'aménagement de la quasi-totalité du réseau de distribution d'électricité en France dans une activité régulée.

2 Pertes par effet Joule

Le réseau de distribution transporte l'énergie électrique dans des câbles où une partie de la puissance transportée est dissipée par effet Joule. Ces pertes dépendent de la résistance R du câble et de l'intensité du courant I qui y circule.

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

Pour calculer l'énergie électrique transportée pendant une durée Δt , on utilise la relation

$$E = P \times \Delta t$$

Pour minimiser ces pertes, l'énergie électrique est transportée à haute tension. L'élévation de la tension d'alimentation du câble entraîne une diminution de l'intensité du courant électrique, réduisant ainsi la puissance dissipée par effet Joule.

Les transformations élèvent la tension électrique pour le transport puis l'abaissent pour la rendre utilisable par tout usager.

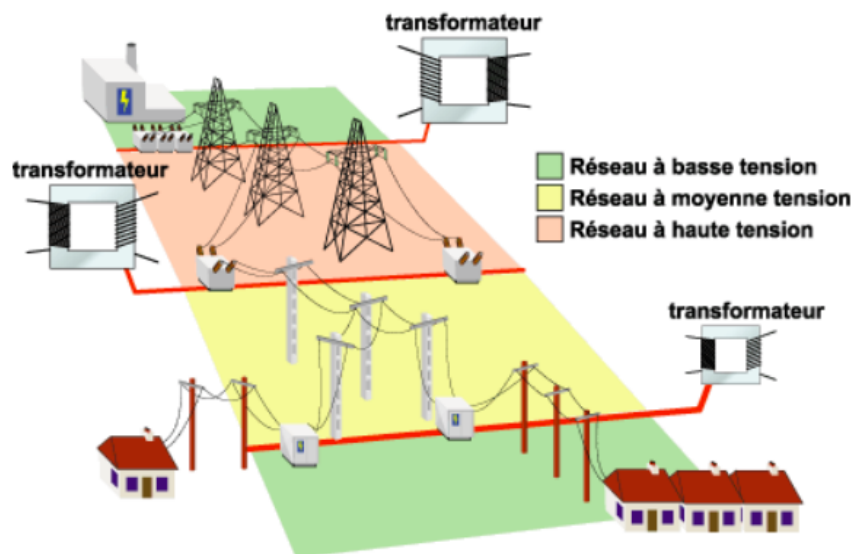
II Modèle du réseau de transport électrique

1 Modéliser une ligne à haute tension

Une ligne à haute tension peut être modélisée expérimentalement par un circuit électrique avec les correspondances suivantes.

Le transformateur élévateur permet d'obtenir une tension supérieure à celle du générateur (modélisation de la haute tension). Comme l'intensité du courant qui parcourt les résistances est alors plus faible, la puissance dissipée par effet Joule est moindre.

La transformateur abaisseur permet ensuite à l'utilisateur de disposer d'une tension adéquate.



2 Modéliser et optimiser un réseau

Un réseau de distribution électrique peut être modélisé par un graphe orienté sur lequel chaque arc est associé à une ligne électrique.

Optimiser l'acheminement de l'énergie électrique signifie minimiser les pertes par effet Joule sur l'ensemble du réseau, en respectant des contraintes naturelles (production des sources, besoin des cibles, conservation de l'intensité au nœud intermédiaire).

Dans ce modèle, l'objectif est de minimiser les pertes par effet Joule sur l'ensemble du réseau sous les contraintes suivantes :

- l'intensité totale sortant d'une source est limitée par la puissance maximale distribuée

$$P_S = UI_S \leq P_{S,max}$$

- l'intensité totale entrant dans chaque nœud intermédiaire est égale à l'intensité totale qui en sort.

$$I_{S1} + I_{S2} + \dots = I_{C1} + I_{C2} + \dots$$

- l'intensité totale arrivant à chaque cible est imposée par la puissance qui y est utilisée :

$$I_C = \frac{P_C}{U}$$

L'étude du graphe orienté permet d'exprimer la fonction objectif, puis de déterminer les valeurs des intensités distribuées par les sources pour lesquelles les pertes sont minimales.

3 Limitations des pertes et fonction à minimiser

Les pertes par effets Joule sont à minimiser le long des lignes THT et HT de transport électrique. Pour cela, il suffit d'exprimer mathématiquement les contraintes à partir de la représentation en graphe orienté et de définir la fonction à minimiser.

La fonction $f(x)$ à minimiser a pour variable x . Cette dernière correspond en général à la puissance produite par une des sources.

Dans le cas d'un graphe orienté avec deux sources, deux cibles et une seul nœud intermédiaire, on peut montrer (voir exercice en cours) que la fonction à minimiser est de la forme $f(x) = ax^2$ avec x la puissance produite par l'une des deux sources et $a > 0$ un coefficient dépendant de la résistance de l'arc orienté issu de cette source et la puissance maximale qu'elle produit.

III A retenir

Situations	Réflexes
Quel est le nom de l'effet à prendre à compte dans la distribution de l'électricité le long du réseau ?	L'effet Joule qui correspond à une perte d'énergie sous forme de chaleur.
Quelle est l'avantage de la ligne à haute tension lors du transport de l'électricité ?	Elle limite les pertes par effet Joule.
Comment calculer la puissance électrique transportée dans une ligne à haute tension ?	$P = U \times I = R \times I^2$
Que vaut l'énergie électrique fournie ou consommée par unité de temps ?	$E = P \times \Delta t$
Pourquoi est-il nécessaire de maximiser la tension électrique transportée dans les lignes à haute tension ?	Pour minimiser les pertes par effet Joule, il faut que l'intensité du courant transporté soit la plus faible possible et donc qu'à puissance constante, la tension électrique du courant transporté soit la plus élevée possible.
Quels sont les trois contraintes à prendre en compte dans la modélisation du réseau électrique ?	<ul style="list-style-type: none"> — L'intensité totale du courant produit est limitée par la puissance maximale distribuée ; $I_{\text{produite}} \leq \sqrt{\frac{P_{\text{max distribuée}}}{R}}$ <ul style="list-style-type: none"> — L'intensité totale entrant dans chaque nœud intermédiaire est égale à l'intensité totale qui en sort ; $I_{\text{entrant}} = \sum I_{\text{sortant}}$ <ul style="list-style-type: none"> — L'intensité totale arrivant à chaque destinataire est imposée par la puissance qui y est utilisée. $I_{\text{consommateur}} = \frac{P_{\text{utilisation}}}{U_{\text{utilisation}}}$