

Optimisation du transport de l'énergie

Cours

Sommaire

I Les réseaux électriques

- A L'organisation des réseaux électriques
- B La modélisation d'un réseau électrique par un graphe orienté

II La réduction des pertes d'énergie par effet Joule

- A L'effet Joule
- B L'utilisation de lignes à haute tension
- C Les contraintes afférentes au réseau

RÉSUMÉ

Les réseaux électriques permettent d'acheminer l'électricité des centres de production vers les consommateurs. Ils sont constitués de lignes électriques exploitées à différents niveaux de tension. L'utilisation de hautes tensions permet la réduction des pertes d'énergie par effet Joule.

I Les réseaux électriques

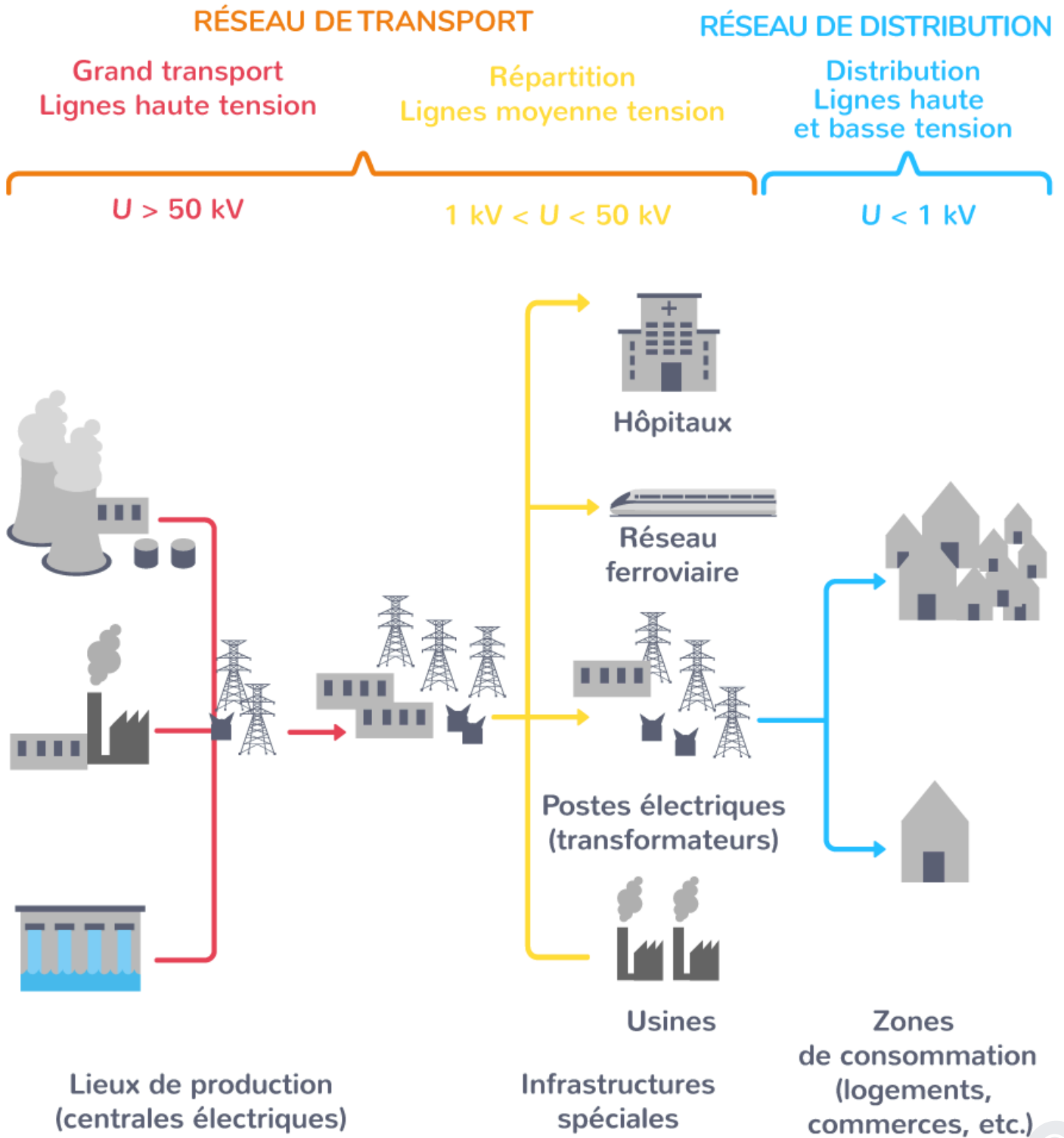
L'organisation des réseaux électriques repose sur des infrastructures de transport et de distribution. Ces réseaux sont constitués de lignes électriques exploitées à différents niveaux de tension, connectées entre elles dans des postes électriques. Un réseau électrique peut être modélisé par un graphe orienté.

A L'organisation des réseaux électriques

Les réseaux électriques sont organisés en deux niveaux : le transport et la distribution. Les réseaux de transport acheminent l'énergie électrique des lieux de production vers les zones de consommation. Les réseaux de distribution transportent ensuite l'électricité à l'échelle locale jusqu'au consommateur. Les postes électriques répartissent l'électricité et abaissent successivement la tension grâce aux transformateurs.

Entre les lieux de production et les zones de consommation, les réseaux de transport et de distribution sont composés de lignes électriques de différentes tensions. Les postes électriques connectent les réseaux entre eux et transforment les tensions.

Organisation d'un réseau électrique



B La modélisation d'un réseau électrique par un graphe orienté

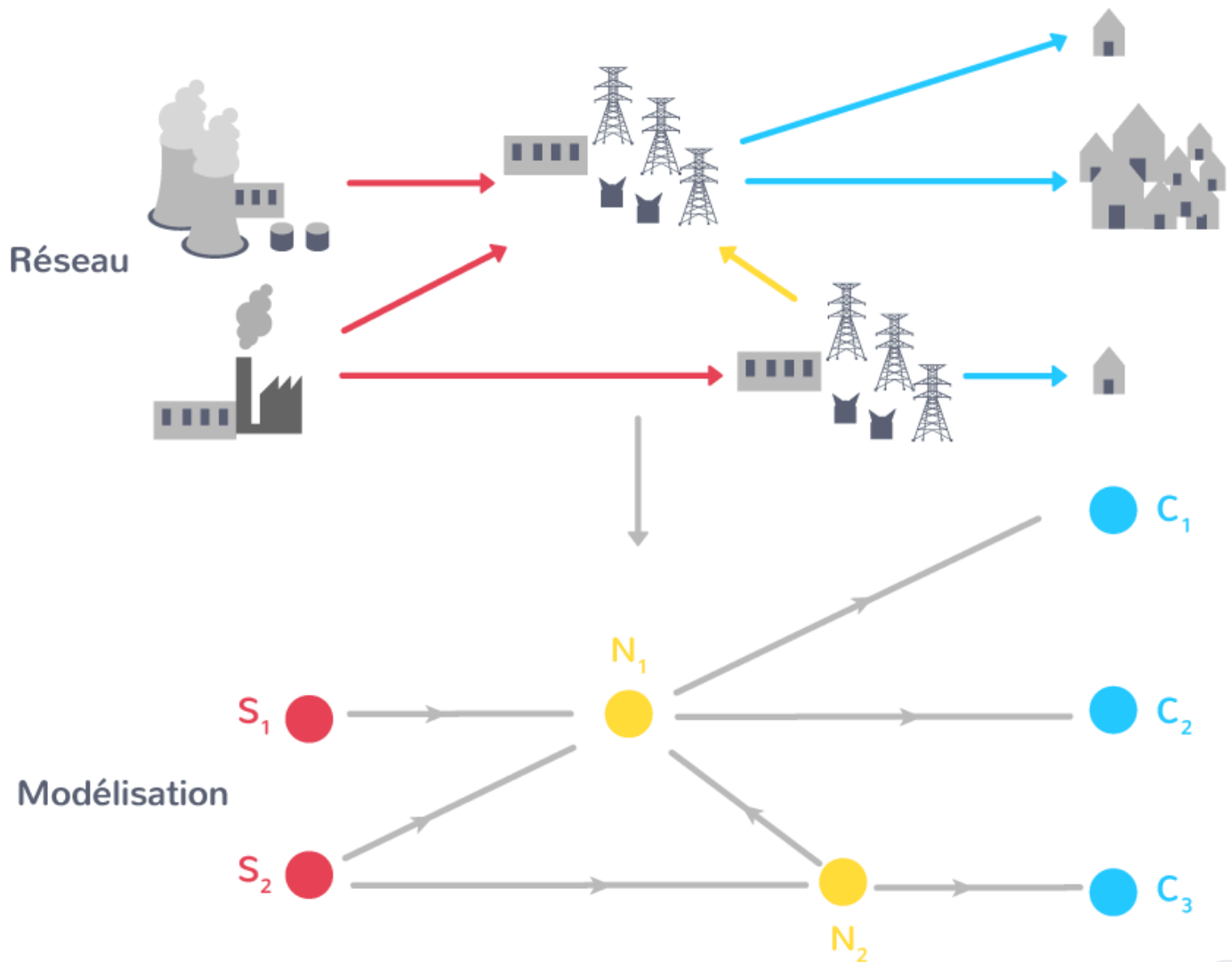
La modélisation d'un réseau électrique par un graphe orienté consiste à représenter les lignes électriques par des arcs, liant les lieux de production à ceux de distribution. Les postes de répartition sont alors des nœuds au niveau desquels plusieurs arcs se croisent.

Dans un graphe orienté, sont représentés :

- des sommets, qui peuvent être des sources distributrices S_i (les centrales électriques), les nœuds intermédiaires N_i (les postes électriques de transformation) et les cibles destinataires C_i (les lieux de consommation) ;
- des arcs orientés qui lient les sommets entre eux, ce sont les lignes électriques.

EXEMPLE

Modélisation d'un réseau électrique par un graphe orienté



II La réduction des pertes d'énergie par effet Joule

L'effet Joule est responsable d'une dissipation d'énergie lors du passage du courant dans les lignes électriques. La réduction des pertes par effet Joule est possible grâce à l'utilisation de lignes à haute tension. Le contrôleur du réseau doit aussi veiller en temps réel au respect des contraintes inhérentes au réseau.

A L'effet Joule

Tout conducteur électrique dissipe une partie de l'énergie électrique qu'il reçoit sous forme de chaleur : c'est l'effet Joule. L'énergie dissipée est proportionnelle à la résistance du conducteur électrique.

DÉFINITION

Effet Joule

L'**effet Joule** désigne le phénomène par lequel les conducteurs électriques qui ont une résistance convertissent une partie de l'énergie électrique qu'ils reçoivent sous forme d'énergie thermique (ou chaleur).

EXEMPLE

Les fils électriques composant un circuit électrique ont une résistance. Lorsqu'ils sont parcourus par une intensité électrique, ils dissipent une partie de l'énergie électrique sous forme de chaleur.

FORMULE

Puissance dissipée par effet Joule

$$P_{(W)} = R_{(\Omega)} \times I_{(A)}^2$$

EXEMPLE

Un conducteur ohmique dont la résistance est $250 \, \Omega$ et parcouru par un courant électrique d'intensité $100 \, \text{mA}$ dissipe par effet Joule une puissance :

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

$$P = 250 \times (100 \times 10^{-3})^2$$

$$P = 2,50 \, \text{W}$$



REMARQUE

Les intensités circulant dans les lignes électriques et les tensions qu'elles subissent sont des grandeurs alternatives mais les formules et lois vues en régime continu s'appliquent aussi.

B L'utilisation de lignes à haute tension

Les lignes électriques ont une résistance non nulle, elles dissipent donc de l'énergie par effet Joule. L'utilisation de lignes à haute tension permet de transporter l'électricité sur de grandes distances en limitant la quantité d'énergie dissipée.

Le conducteur électrique qui compose les lignes électriques est en cuivre ou en aluminium. Bien que ces métaux soient de très bons conducteurs, leur résistance électrique n'est pas nulle. Ainsi, l'effet Joule fait que les lignes électriques dissipent une partie de l'énergie électrique qu'elles transportent sous forme de chaleur.

EXEMPLE

Sur les lignes électriques très longues, 8 à 15 % de l'énergie électrique transportée peut être dissipée par effet Joule.

On utilise des hautes tensions sur les lignes électriques pour minimiser la quantité d'énergie dissipée pour une puissance électrique transportée égale.

DÉMONSTRATION

L'expression de la puissance dissipée par effet Joule étant :

$$P_{(W)} = R_{(\Omega)} \times I_{(A)}^2$$

La quantité d'énergie dissipée par une ligne électrique de résistance électrique R est donc d'autant plus basse que l'intensité du courant électrique qui parcourt la ligne électrique est faible.

Or, la relation liant la puissance électrique P à la tension électrique U et à l'intensité I est :

$$P_{(W)} = U_{(V)} \times I_{(A)}$$

L'intensité du courant électrique qui parcourt la ligne électrique a donc pour expression :

$$I_{(A)} = \frac{P_{(W)}}{U_{(V)}}$$

Ainsi, pour une même puissance P transportée, l'intensité I est d'autant plus faible que la tension U est élevée.

EXEMPLE

Un élément d'une ligne électrique a une résistance de 10Ω et transporte une puissance de $1,0 \text{ MW}$. La puissance dissipée par effet Joule dépend de la tension aux bornes de la ligne :

Type de ligne électrique et tension électrique	Ligne de transport moyenne tension $U = 20 \text{ kV}$	Ligne de transport très haute tension $U = 400 \text{ kV}$
Intensité électrique $I = \frac{P}{U}$	$I = \frac{1,0 \cdot 10^6}{20 \cdot 10^3}$ $I = 50 \text{ A}$	$I = \frac{1,0 \cdot 10^6}{400 \cdot 10^3}$ $I = 2,5 \text{ A}$
Puissance dissipée par effet Joule $P_J = R \times I^2$	$P_J = 10 \times 50^2$ $P_J = 2,5 \cdot 10^4 \text{ W}$	$P_J = 10 \times 2,5^2$ $P_J = 63 \text{ W}$

Les contraintes afférentes au réseau

L'objectif du contrôleur de réseau est de respecter les contraintes et de minimiser les pertes par effet Joule sur l'ensemble du réseau en temps réel.

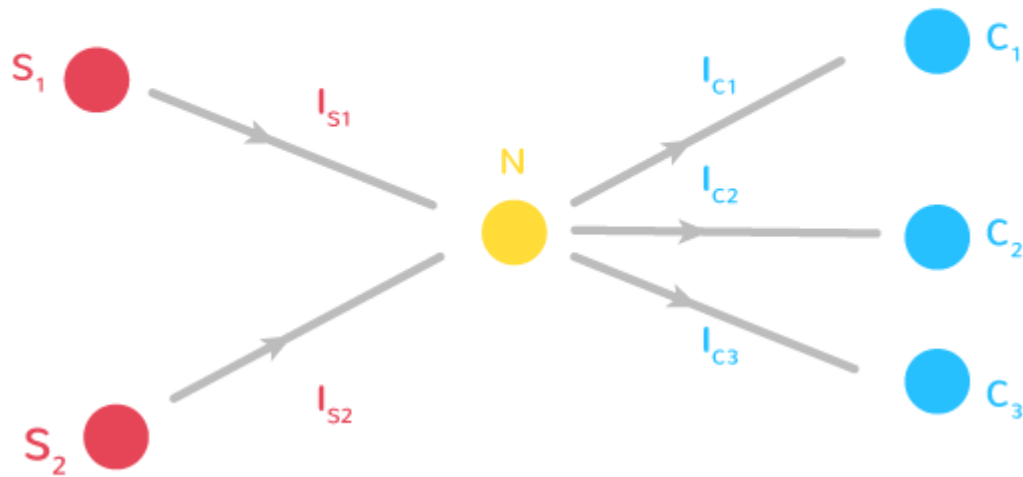
Dans un réseau électrique, les contraintes sont les suivantes :

- l'intensité totale sortant d'une source est limitée par la puissance maximale distribuée ;
- la somme des intensités entrant dans chaque nœud intermédiaire est égale à la somme des intensités qui en sortent ;

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

EXEMPLE

Intensités circulant dans un réseau



Dans ce réseau modélisé, les contraintes sont :

- des intensités I_{S_1} et I_{S_2} inférieures aux intensités maximales pouvant être délivrées par les sources S_1 et S_2 :

$$I_{S_1} < I_{S_1\max} \text{ et } I_{S_2} < I_{S_2\max}$$

- au niveau du nœud N , une somme des intensités entrant égale à la somme des intensités qui sortent :

$$I_{S_1} + I_{S_2} = I_{C_1} + I_{C_2} + I_{C_3}$$

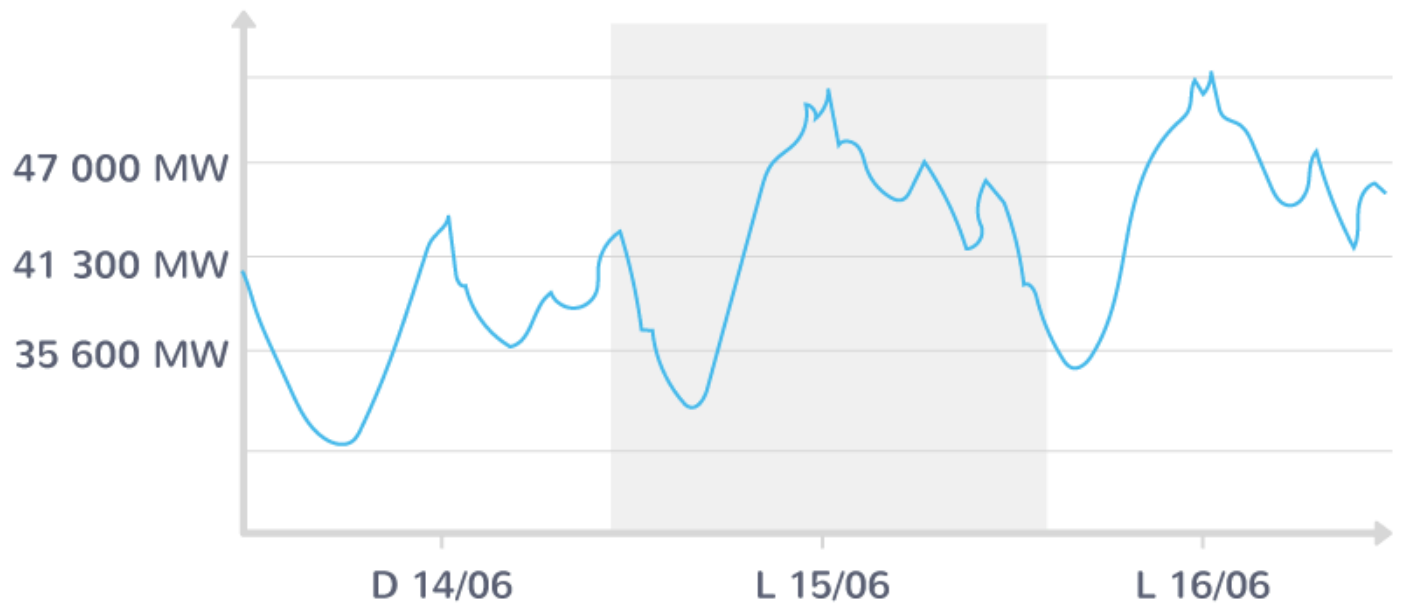
La gestion du réseau électrique doit s'adapter aux variations horaires de la production et de la consommation et aux conditions météorologiques.

- La consommation d'électricité varie selon trois cycles : annuel, hebdomadaire et journalier.
- La production d'électricité des centrales thermiques, nucléaires et hydrauliques est contrôlable. Ce n'est pas le cas pour les énergies intermittentes produites grâce au vent ou au soleil.

EXEMPLE

La puissance électrique consommée varie d'un jour à l'autre et tout au long de la journée. On observe généralement un pic de consommation vers 13 heures.

Consommation française d'électricité du 14 au 16 juin 2020



© RTE Réseau de transport d'électricité



Afin de minimiser les pertes par effet Joule sur l'ensemble du réseau, on établit une fonction mathématique qui découle des différentes contraintes du réseau. Un traitement informatique permet de déterminer la valeur de chaque intensité minimisant cette fonction.

EXEMPLE

Le traitement informatique permet de tracer le graphique représentant la puissance dissipée par effet Joule en fonction de l'une des intensités parcourant le réseau électrique. Il est alors possible de déterminer la valeur de cette intensité pour laquelle cette puissance dissipée est minimale.

Minimisation des pertes par effet Joule

