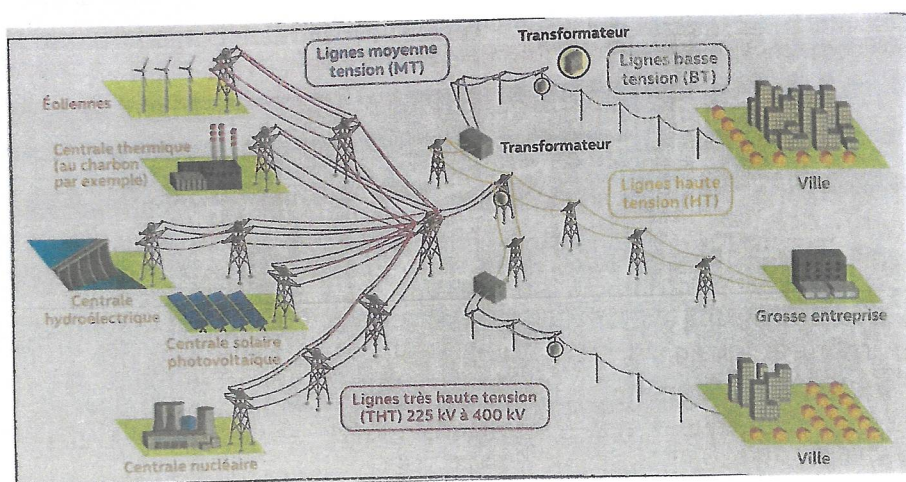


# Optimisation du transport de l'électricité

Loi du 10 février 2000: pouvoir disposer de l'énergie électrique est un droit en France  
"droit à l'électricité pour tous.."

## UN RESEAU COMPLEXE



Les chemins de l'électricité: <https://youtu.be/0oCdc70QYiE>

## UN RESEAU COMPLEXE

- **Transport:** sur tout le territoire (100km) très haute tension 400000V ou 225000V  
Grandes quantités d'énergie électriques sur de longues distances
- **Distribution:** à l'échelle locale via des postes de transformations qui transforment la très haute tension en:
  1. haute tension : 225kV, 90kV, 63kV, : réseaux de distribution publique et gros clients industriels
  2. moyenne tension 20kV
  3. basse tension de 220-400V V: postes de transformations dits "postes sources" qui transforme la moyenne tension en basse tension et qui desservent les particuliers

<https://vimeo.com/153249379>

## UN RESEAU COMPLEXE

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

► Tableau des classifications des tensions du réseau électrique.



## Réseau intelligent

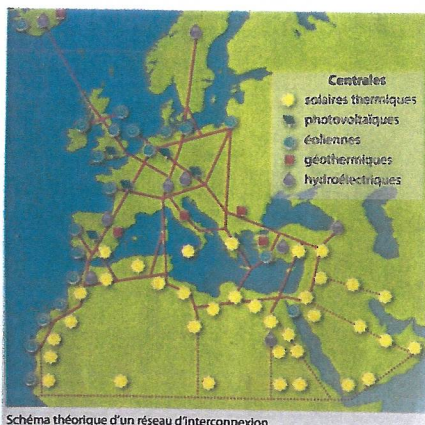


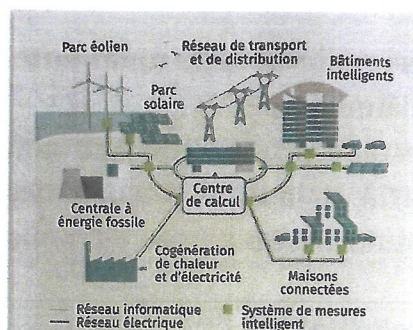
Schéma théorique d'un réseau d'interconnexion.

Smart grid: <https://youtu.be/dUXbA6fvOfk>

- Les différents sites de productions sont équipés de **capteurs et d'automates**. Ce réseau peut être piloté à distance et permet d'**ajuster la production à la consommation en temps réel**.
- De plus en plus d'électricité est produite par sources renouvelables. Leur intermittence perturbe le réseau de distribution, d'où la nécessité d'intégrer des dispositifs de stockage qui compensent ces fluctuations.
- Les **réseaux d'interconnexion sont d'une grande flexibilité "smart grids" et permettent d'économiser de l'énergie**
- Leur rôle est de s'adapter à la production, la distribution et la demande instantanée en électricité en fonction des aléas climatiques, pannes...etc

**SMART GRID permet une gestion plus efficace de la production et de la consommation**

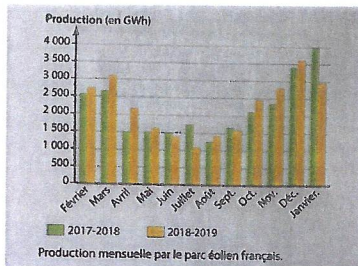
## Réseau intelligent



Source : KfW.

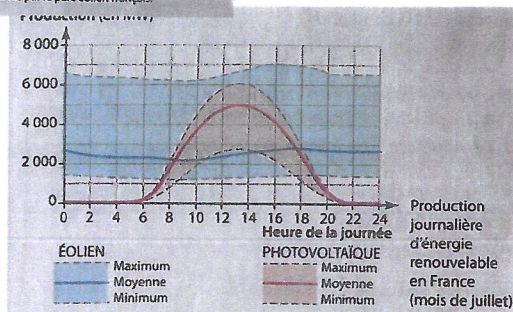
Un *smart grid* est un réseau de distribution de l'électricité muni d'un ensemble de dispositifs de mesures situés aux nœuds, aux sources et aux points de consommation. Ces dispositifs communiquent entre eux et permettent d'adapter la distribution aux fluctuations de consommation et de production d'énergie électrique.

# Energie renouvelables



L'ensoleillement et la vitesse du vent sont variables ce qui rend la production d'énergie électrique par les panneaux photovoltaïques et les éoliennes fluctuante. Il faut donc gérer cette production intermittente.

En cas de surproduction, l'énergie excédentaire peut être convertie en d'autres formes stockables (potentielle, chimique)



Les utilisateurs peuvent aussi être encouragés à s'adapter à l'intermittence naturelle: profiter des pics de production pour utiliser massivement l'énergie électrique, pour cela l'information doit leur parvenir en temps réel

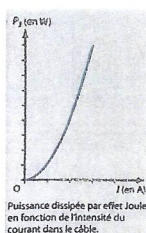
## Pourquoi utiliser de la haute tension?

- Le réseau de distribution transporte l'énergie électrique dans des câbles qui possèdent comme tout conducteur une résistance électrique. Par conséquent, une partie de la puissance transportée est **dissipée par effet Joule**

### Loi d'ohm

Aux bornes d'un conducteur ohmique, de résistance  $R$ , la tension  $U_R$  est proportionnelle à l'intensité  $I$  qui le traverse.

$$U_R = R \times I \quad \begin{array}{l} \text{en volts (V)} \quad \text{en ampères (A)} \\ \quad \quad \quad \text{en ohms } (\Omega) \end{array}$$



Le bilan de puissance d'un câble s'écrit :

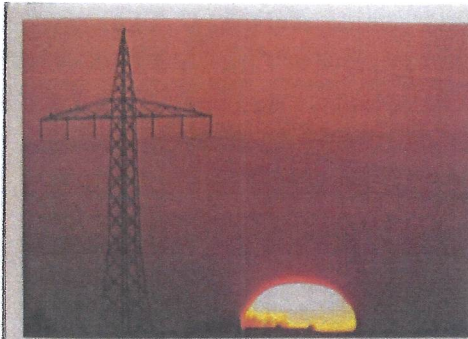
$$P_{\text{transportée}} = P_J + P_{\text{utile}}$$

avec  $P_J = R_{\text{câble}} \times I^2$

**Pour minimiser ces pertes, l'énergie électrique est transportée à HAUTE TENSION**



## Réduire les pertes par effet Joule



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.

## Influence de la taille du câble

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

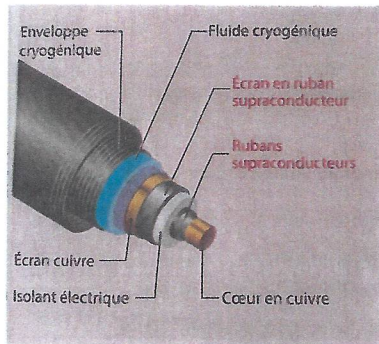
$R$  la résistance de la ligne électrique, en ohm ( $\Omega$ );

$\rho$  la résistivité de la ligne électrique, dépendant du matériau conducteur (le plus souvent du cuivre), en ohm-mètre ( $\Omega \cdot m$ );

$L$  la longueur de la ligne électrique, en mètre (m);

$A$  l'aire de la section de la ligne électrique, en mètre carré ( $m^2$ ).

## CABLES SUPRACONDUCTEURS



Des recherches sont menées sur des câbles "supraconducteurs" qui peuvent transporter l'énergie électrique SANS PERTE  
Le bémol: ces câbles doivent être maintenus à température très basse  $-200^{\circ}\text{C}$ , opération complexe et ...coûteuse en énergie

La recherche tente aujourd'hui de développer des matériaux qui présenteraient les mêmes propriétés supraconductrices mais à Température ambiante

## MODELISATION

Une ligne électrique à haute tension peut être modélisée par un circuit électrique composé d'un conducteur Ohmique de résistance  $R$

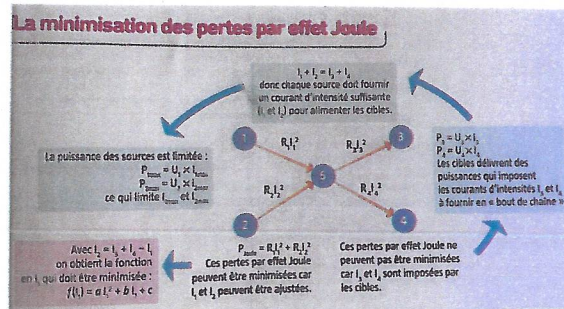
Un réseau de distribution électrique peut être modélisé par un graphe orienté

- les sommets représentent les sources distributrices
- noeuds intermédiaires représentent les transformateurs
- les arcs représentent les lignes électriques



# Minimiser les pertes

- Un réseau de distribution simple avec deux sources, un noeud et deux cibles peut être modélisé par un graphe orienté.
- Chaque source doit fournir un courant d'intensité suffisante pour alimenter les cibles
- Les pertes ar effet Joule **dans les lignes électriques partant des sources** peuvent être minimiser de déterminant le minimum d'une fonction du type  $f(x)=ax^2 + bx + c$  ou  $a$  est positif et  $x$  est l'intensité du courant sortant d'une source



# Minimiser les pertes

