

## 1. L'électricité



L'électricité est un phénomène physique dû aux différentes charges électriques de la matière, se manifestant par une énergie. Présente naturellement dans notre environnement, l'homme a depuis longtemps cherché à la maîtriser. C'est au cours du XIX<sup>e</sup> siècle que les propriétés de l'électricité ont commencé à être comprises.

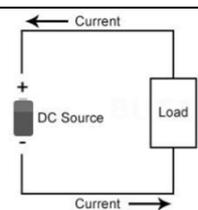
La foudre fut la première manifestation visible de l'électricité pour les humains.

## 2. Notions de base

Un courant électrique est produit par le déplacement d'électrons quasi-libres dans un milieu conducteur (exemple: métal) sous l'impulsion d'une tension électrique appliquée à ses bornes.

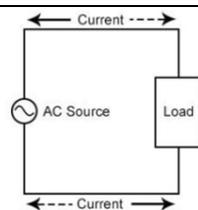
### Courant continu

Si cette tension est continue, le flux d'électrons (de charges négatives) s'écoule uniquement vers la borne positive (caractérisée par un déficit de charges négatives) à laquelle il communique de l'énergie. Bien que la vitesse de chaque électron soit très lente (quelques mètres par heure), le mouvement se répercute sur tous les autres électrons présents dans le conducteur à la vitesse de la lumière ( ).



### Courant alternatif

Si cette tension est alternative (sinusoïdale), les électrons oscillent alternativement dans un sens et dans l'autre autour de leurs positions moyennes sur une distance de quelques microns (millièmes de millimètres). Ils répercutent l'énergie vibrationnelle reçue vers l'extrémité positive du conducteur.



### Sources

Le courant continu est principalement produit par l'activité chimique des batteries et par l'effet photoélectrique des panneaux photovoltaïques. Le courant alternatif est produit par la rotation du rotor d'un alternateur dans les centrales électriques. La vitesse de cette rotation détermine la fréquence du courant.

## 3. Puissance électriques en régime continu

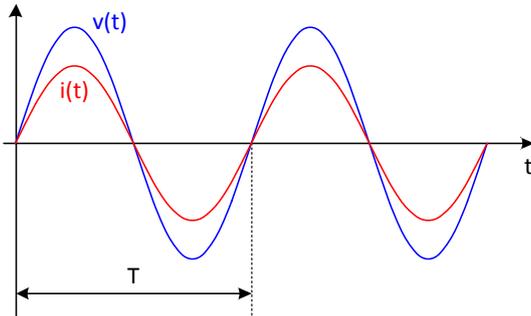
Exemple de montage :	Schéma électrique :	Allure de la tension et du courant :

La puissance électrique « P » est le produit du courant « i » et de la différence de potentiel  $\Delta U$ , notée « U » :

Cas particulier : Puissance aux bornes d'un élément ohmique (résistance)

La loi de base dans ce régime est la loi d'Ohm :

## 4. Puissance électriques en régime alternatif



Exemple d'allure de la tension et du courant :

La durée d'une variation est appelée période, notée  $T$ , exprimée en secondes, et dépend directement de la fréquence, notée  $f$  et exprimée en Hz.

Pour caractériser un signal sinusoïdal, nous avons recours à trois types de valeurs constantes :

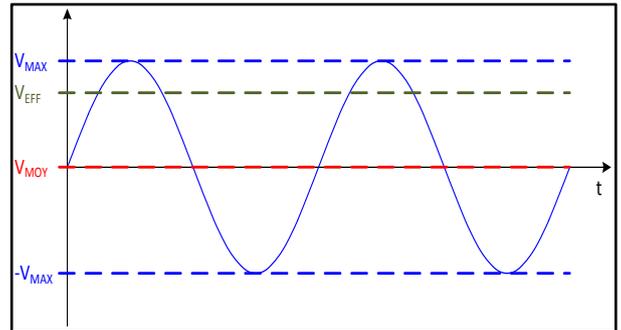
- **La valeur maximale** (notée  $V_{MAX}$  ou  $\hat{V}$  pour une tension simple),
- **La valeur moyenne** (notée  $V_{MOY}$  ou  $\bar{V}$  pour une tension simple),
- **La valeur efficace** (notée  $V_{EFF}$  ou  $V$  pour une tension simple).

La valeur efficace traduit la quantité réellement utilisée de la grandeur considérée.

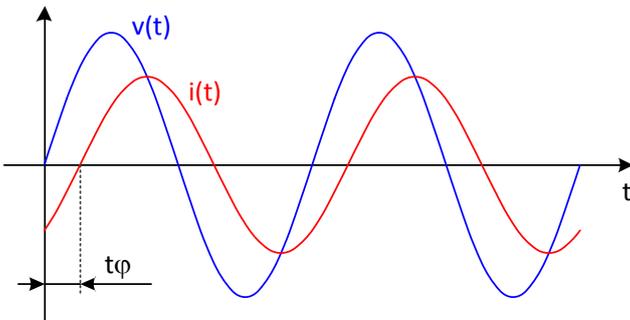
Les valeurs efficaces des tensions et des courants sont les valeurs continues qui délivreraient la même puissance que les grandeurs alternatives si elles étaient appliquées à un récepteur résistif pur.

La relation liant la valeur efficace de la tension à la valeur maximale est :

Cette relation n'est valable que pour un signal purement sinusoïdal (valeur moyenne nulle).



### Déphasage



Certains appareils génèrent un décalage temporel entre le courant et la tension. Ce décalage temporel est appelé déphasage.

Le déphasage se mesure en seconde mais il est plus généralement exprimé sous la forme d'un angle noté  $\phi$ .

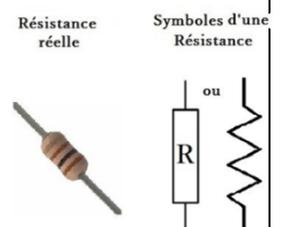
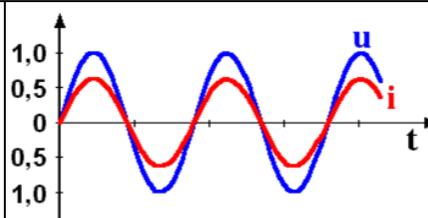
La conversion s'effectue en supposant qu'une période du signal correspond à  $360^\circ$  (ou  $2\pi$  rad).

**Exercice:** calculer le déphasage, en degrés puis en radians, de deux signaux décalés de 2ms, ayant pour fréquence 50Hz:

### Tension et courant dans une résistance

Une résistance soumise à une tension alternative est traversée par un courant dont l'amplitude peut être calculée à chaque instant à l'aide de la loi d'Ohm :  $I = U/R$

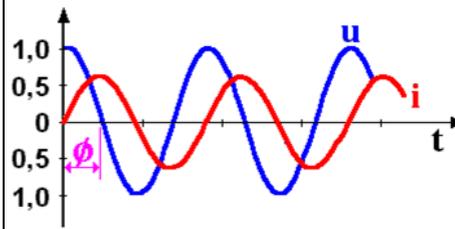
Un maximum de tension correspond à un maximum de courant, un minimum de tension correspond à un minimum de courant. Si le signal est sinusoïdal, les variations de tension  $u$  et de courant  $i$  sont *en phase* comme sur le graphe ci-contre.



### Tension et courant dans une bobine

Lorsqu'une tension est appliquée aux bornes d'une self, le courant qui la traverse met un certain temps avant de s'établir. De même, lorsque la tension est supprimée aux bornes de la self, le courant diminue pour s'annuler avec un certain retard.

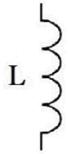
S'il s'agit d'une tension sinusoïdale, la sinusoïde représentant  $i$  sur le graphe est décalée vers la droite d'un quart de période par rapport à la courbe de  $u$ . En considérant la bobine comme une inductance pure (sans résistance  $R$ ),  $u$  est en *quadrature avance* sur  $i$ .



Bobine réelle

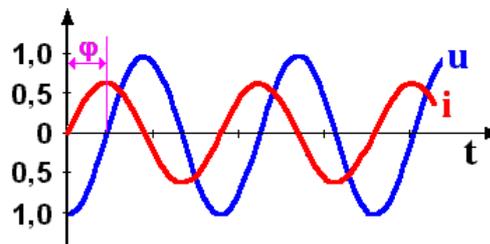


Symbole d'une Bobine

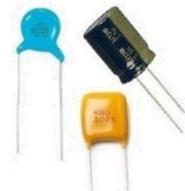


### Tension et courant dans un condensateur

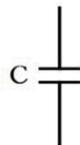
Au moment de sa mise sous-tension, un condensateur déchargé est parcouru par un courant très fort qui décroît ensuite en même temps que la tension monte à ses bornes. Soumis à une tension sinusoïdale, le courant  $i$  est en avance sur  $u$  avec un déphasage de 90 degrés (on considère le condensateur comme parfait). Autrement dit  $u$  est en *quadrature retard* sur  $i$ .



Condensateurs réels



Symbole d'un Condensateur



Toute machine électrique utilisant le courant alternatif (moteur, transformateur) met en jeu trois formes de puissance :

- **la puissance active  $P$  (W)** des récepteurs se transforme intégralement en puissance mécanique et en chaleur (pertes).

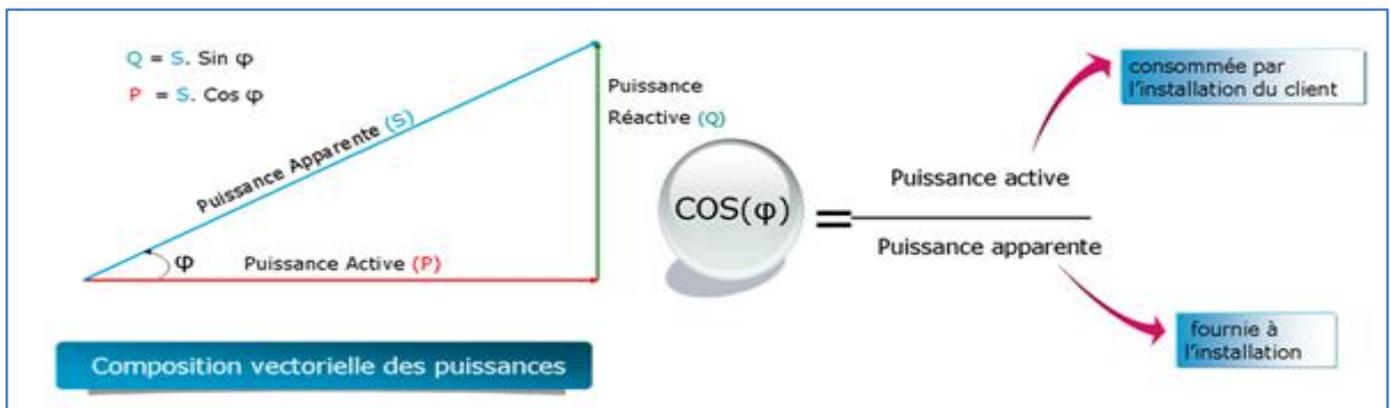
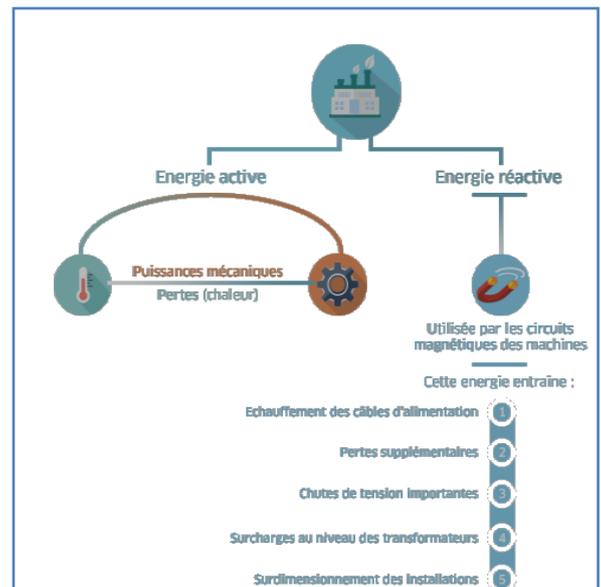
$$P = V \cdot I \cdot \cos \varphi \quad \text{Unité : } W = \text{Watt}$$

- **La puissance réactive  $Q$  (VAR)** sert essentiellement à l'alimentation des circuits magnétiques des machines électriques.

$$Q = V \cdot I \cdot \sin \varphi \quad \text{Unité : } \text{VAR} = \text{Volt-Ampère Réactif}$$

- **La puissance apparente (VA)** est la somme vectorielle des deux puissances précédentes.

$$S = V \cdot I \quad \text{Unité : } \text{VA} = \text{Volt-Ampère}$$



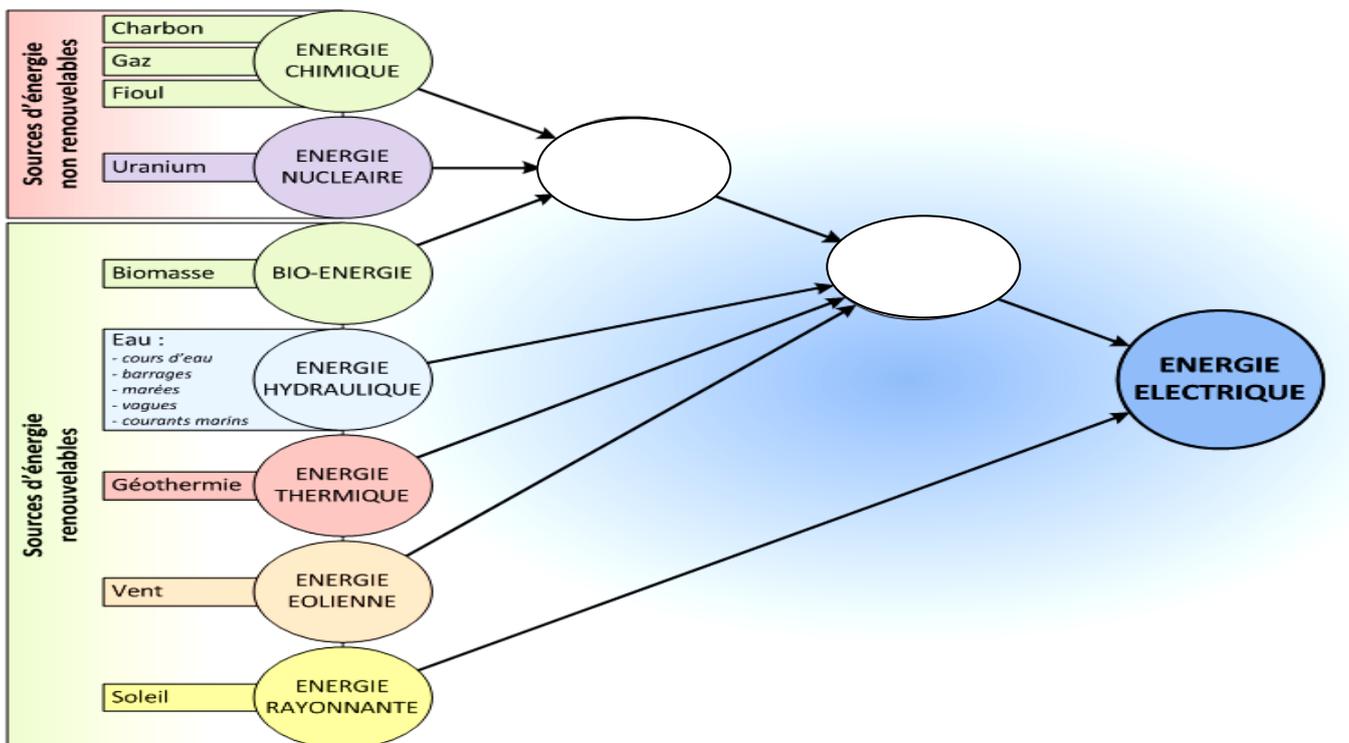
## 5. Production de l'énergie électrique

La production d'électricité permet de mettre à disposition de l'ensemble des consommateurs un approvisionnement adapté à leurs besoins en énergie électrique, à tout moment.

La production d'électricité se fait depuis la fin du 19<sup>ème</sup> siècle à partir de différentes sources d'énergies primaires. Les premières centrales électriques fonctionnaient au bois. Aujourd'hui, la production peut se faire à partir d'énergie fossile (charbon, gaz naturel ou pétrole), d'énergie nucléaire, d'énergie hydraulique, d'énergie solaire, d'énergie éolienne et de biomasse...



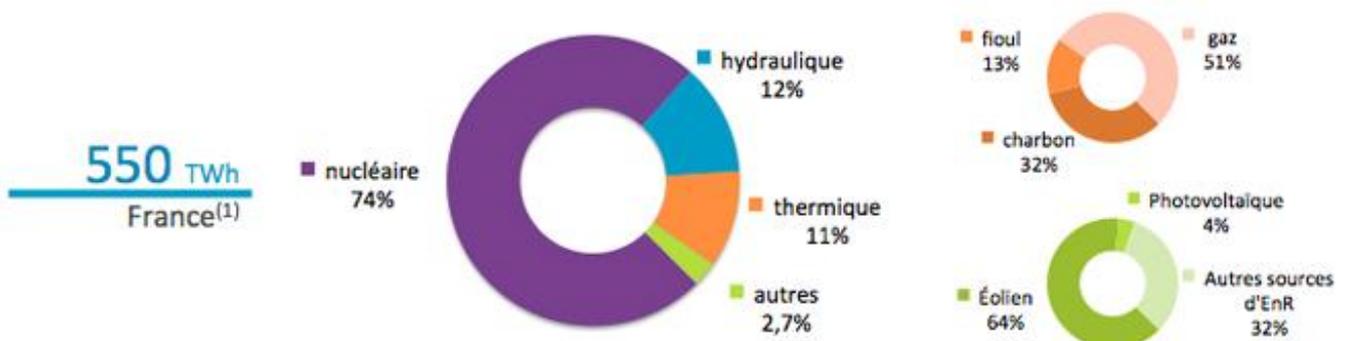
Principales transformations d'énergies primaires :



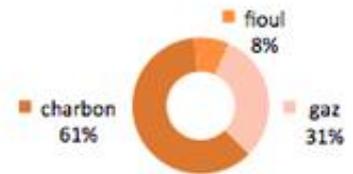
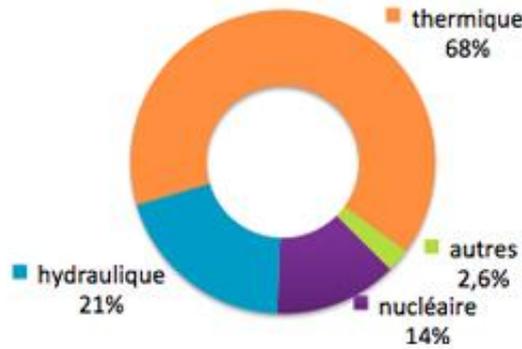
### Le Mix électrique

Le mix énergétique ou bouquet énergétique est la proportion de chaque source d'énergie dans la production totale d'électricité.

En France, le mix électrique est largement dominé par l'énergie nucléaire depuis 1970. Encore faible, la part des énergies renouvelables (hors hydraulique) devrait s'accroître dans les années à venir.

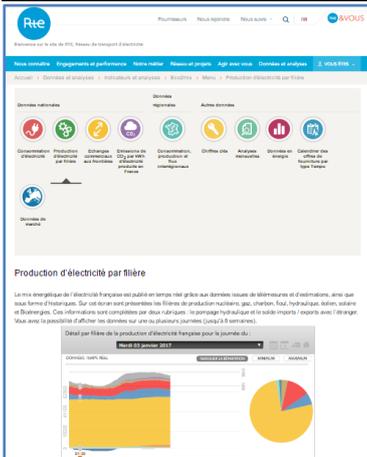


**19800 TWh**  
Monde<sup>(2)</sup>



(1) et (2) valeurs pour l'année 2015

**Mix énergétique Français en temps réel :**



<http://www.rte-france.com/fr/eco2mix/eco2mix-mix-energetique>

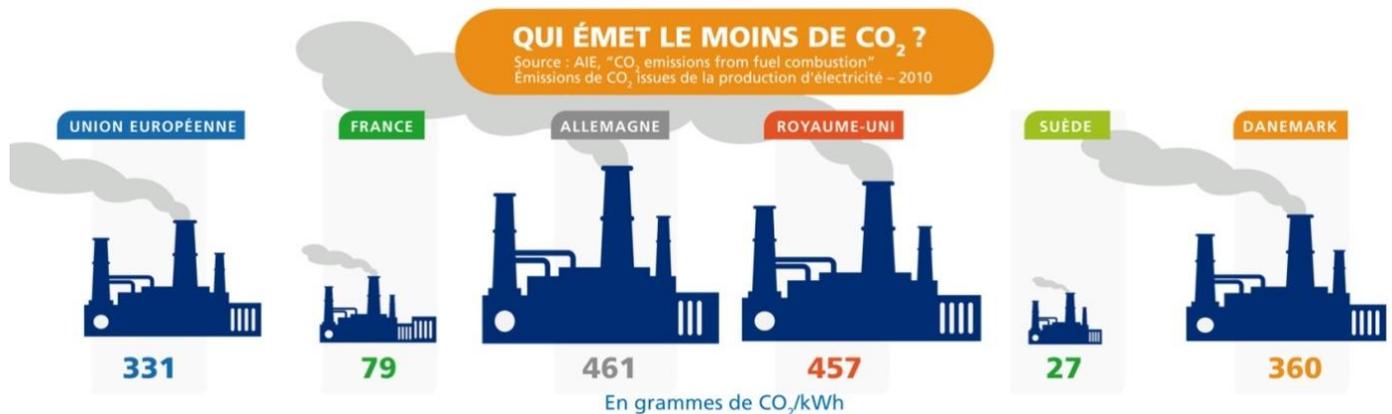
Le mix énergétique de l'électricité française est publié en temps réel grâce aux données issues de télémessures et d'estimations, ainsi que sous forme d'historiques.

Les filières de production nucléaire, gaz, charbon, fioul, hydraulique, éolien, solaire et Bioénergies sont représentées.

Ces informations sont complétées par deux rubriques : le pompage hydraulique et le solde imports / exports avec l'étranger. Les données peuvent être affichées sur une ou plusieurs journées.



Le mix électrique exprime la répartition de l'ensemble des modes de production d'électricité d'un pays. Il sert, par exemple, à calculer les impacts environnementaux dus à la consommation d'électricité dans un pays.



Le CO<sub>2</sub> est-il le seul critère à prendre en compte dans l'analyse des nuisances liées au Mix énergétique d'un pays ?

## 6. Transport de l'énergie électrique

Avantages et inconvénients de l'alternatif et du continu pour le transport de l'électricité :

### Le courant alternatif présente des avantages très importants pour transporter l'électricité :

- il s'agit du régime de production des alternateurs des centrales et de celui utilisé par de nombreux appareils de consommation comme les moteurs ;
- il permet très facilement d'élever les tensions, de réduire les intensités donc de limiter les pertes par effet Joule sur les réseaux ;
- le maillage des réseaux est facile : le passage d'un niveau de tension à un autre s'effectue grâce aux transformateurs dont les rendements sont très bons.

### Pourtant le courant continu s'impose parfois pour des raisons économiques et/ou techniques :

- le transport de courant alternatif sur une longue distance développe, par effet capacitif entre la ligne et le sol, des effets déstabilisants. Au plan technique, le choix du continu s'impose au-delà de 1 500 km ;
- le continu ne nécessite que 2 conducteurs au lieu de 3. Dès que la ligne est longue, cette économie compense la nécessité d'avoir des stations de conversion aux deux extrémités pour se raccorder aux réseaux alternatifs. Au plan économique, le continu peut ainsi devenir plus intéressant dès 600 km ;
- en cas de lignes souterraines ou sous-marines de plus de 50 km. L'alternatif développe, par effet capacitif, une puissance réactive qui s'oppose à la circulation du courant. L'intérêt du continu, qui en est exempt, croît avec la distance du transport ;
- le passage par du continu est le moyen le plus économique et efficace de raccorder des réseaux alternatifs asynchrones (dotés de fréquences ou de réglages de phase différents).

Comme ces situations ont été rares pendant très longtemps, le système électrique s'est développé autour d'une utilisation massive de l'alternatif.

Les choses évoluent sous l'effet des échanges d'électricité sur très longue distance, de la mise en relation de zones asynchrones, du franchissement des mers ou océans et du développement de parcs de renouvelables éloignés des réseaux.

En France, l'énergie électrique est transportée et distribuée en régime alternatif (signal sinusoïdal) à une fréquence de 50Hz.

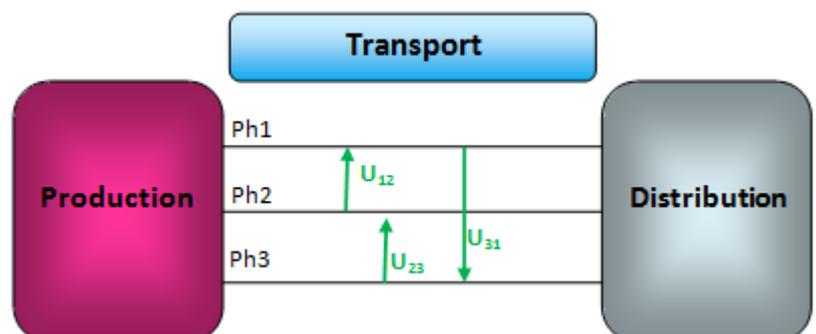


Plus la longueur des lignes est importante plus le courant perd de son énergie (pertes par effet Joules notamment). C'est la raison pour laquelle le transport sur de grandes distances se fait sous une tension élevée.

A la sortie des centrales de production (nucléaires, thermiques, hydrauliques, éoliennes et photovoltaïques) l'électricité est portée à très haute tension (400 000V) afin d'être acheminée via le réseau de transport.

Arrivée à proximité des zones d'utilisation, cette énergie électrique est abaissée au travers de postes sources grâce à des transformateurs : c'est le début du réseau de distribution qui amènera l'électricité (230V) jusqu'à chez vous

L'énergie circule sur 3 conducteurs appelés phases (ou conducteurs de ligne). Dans ce cas, la tension entre chacune des phases est appelée:



## 7. Pilotage des réseaux électriques

L'électricité est une énergie qui ne se stocke pas facilement en grande quantité, il faut donc à chaque instant que la production soit égale à la consommation.

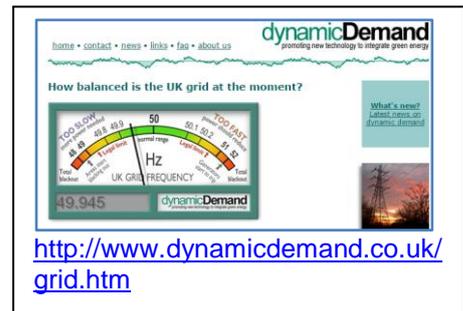
La **fréquence** est un indicateur essentiel pour piloter le réseau électrique. C'est elle qui indique que l'équilibre est maintenu entre l'offre et la demande d'électricité.

Si la fréquence chute, cela signifie que la demande est plus importante que l'offre. Au contraire, si la fréquence augmente, cela signifie que l'offre est supérieure à la demande. Dans les deux cas, cela met en péril l'équilibre du réseau électrique.

En Europe, l'électricité est transportée en courant alternatif. Comme l'offre et la demande ne sont pas constantes, la fréquence varie très souvent. Le seuil de tolérance est fixé à 0.050 Hz.

Des systèmes de régulation automatiques et des professionnels veillent en continu pour maintenir la fréquence électrique à 50 Hz sur le réseau électrique européen.

Les pays européens sont interconnectés ce qui permet de gérer plus facilement les incidents qui se produisent sur le réseau. Tous les pays réagissent et la situation est, en général, maîtrisée très rapidement. D'ailleurs, les conséquences de ces déséquilibres sont, la plupart du temps, complètement imperceptibles pour les usagers.



## 8. Distribution de l'énergie électrique

La distribution de l'énergie électrique se fait en régime alternatif triphasé ou monophasé :

- Les réseaux triphasés distribuent l'énergie sur 4 conducteurs :

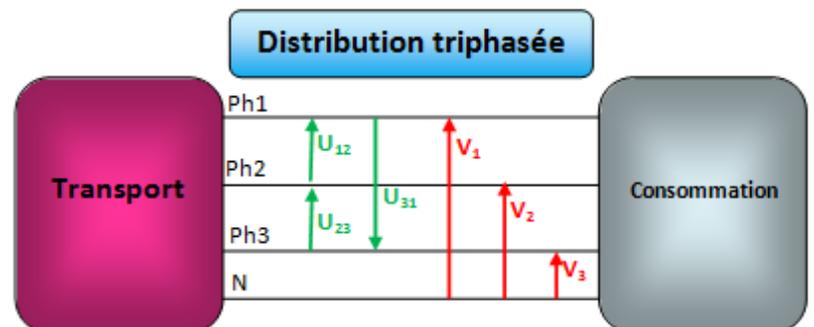
- ↪ 3 phases (ou conducteurs de lignes)

- ↪ 1 neutre

Dans ce cas, deux tensions sont disponibles :

- ↪ la tension entre chacune des phases appelée \_\_\_\_\_

- ↪ la tension entre une phase et le neutre appelée \_\_\_\_\_



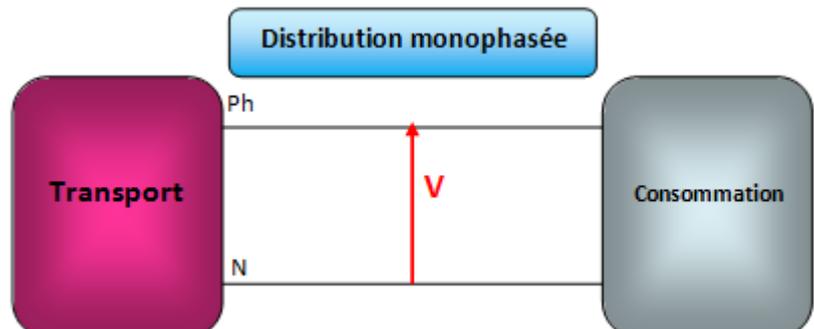
- Les réseaux monophasés distribuent l'énergie sur 2 conducteurs :

- ↪ 1 phase (ou conducteur de ligne)

- ↪ 1 neutre

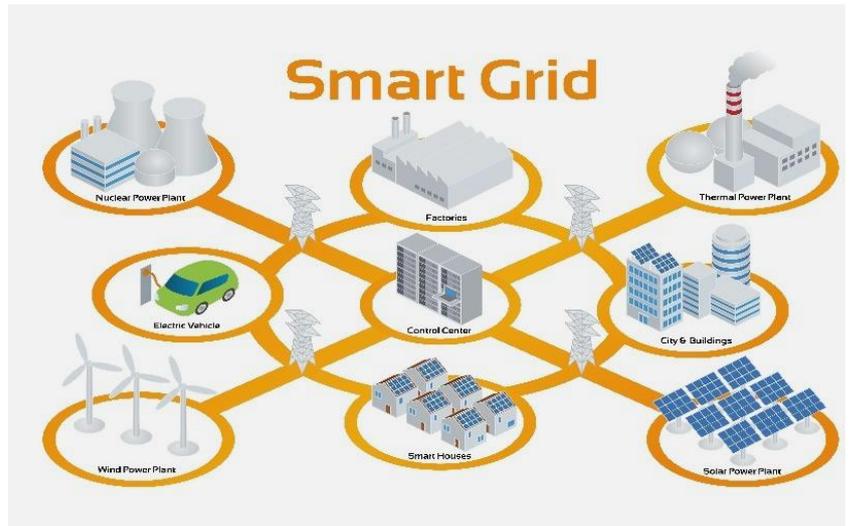
Dans ce cas, la tension entre la phase et le neutre est appelée \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

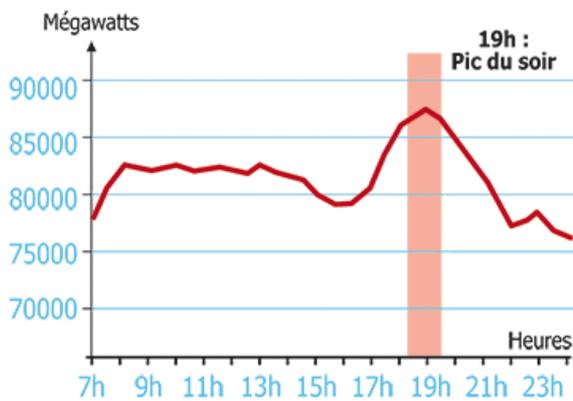


## 9. Smart grids

Le **smart grid** est l'une des dénominations d'un réseau de distribution d'électricité dit «intelligent», c'est-à-dire utilisant des technologies informatiques d'optimisation de la production, de la distribution, de la consommation, et éventuellement du stockage de l'énergie, pour rendre plus efficient l'ensemble des mailles du réseau électrique, du producteur au consommateur final afin d'améliorer l'efficacité énergétique de l'ensemble en optimisant les moyens de production par rapport à la consommation, en temps réel.



### Consommation d'électricité journalière type en France



Les technologies informatiques, associées à des dispositifs de stockage d'énergie et éventuellement d'économies d'énergie permettent notamment de lisser et tamponner les pointes de production et de consommation, en diminuant les capacités de production en pointe qui sont les plus coûteuses, avec pour effet d'aussi sécuriser le réseau et d'en réduire le coût.

Le "smart grid" est aussi présenté comme pouvant réduire les émissions de gaz à effet de serre et donc lutter contre le réchauffement climatique. C'est enfin l'une des composantes de la notion de ville intelligente (*smart city*).

L'électricité ne pouvant être stockée facilement, rapidement et économiquement en grandes quantités, les technologies du «réseau intelligent» cherchent à ajuster en temps réel la production et la distribution (offre et demande) de l'électricité en hiérarchisant les besoins de consommation (quantité et localisation) selon leur urgence afin de :

- optimiser le rendement des centrales et/ou petites unités de production;
- éviter d'avoir à construire régulièrement de nouvelles lignes;
- minimiser les pertes en ligne;
- optimiser l'insertion de la production décentralisée et diminuer ou éliminer les problèmes induits par l'intermittence de certaines sources (énergies solaires, éolien, marémotrice...)

