

1. La transition énergétique

La transition énergétique est un enjeu majeur du XXIème siècle.

Le concept de transition énergétique, désigne la phase de transformation qui doit permettre de passer progressivement d'un système énergétique basé essentiellement sur les énergies fossiles (charbon, pétrole, gaz naturel, matières radioactives), qui sont par nature limitées, à des sources énergétiques moins centralisées, diversifiées et renouvelables (éolien, solaire, hydraulique, géothermique, marémotrice, biomasse, etc.).

La transition énergétique est rendue indispensable en raison de :

- L'épuisement inéluctable des ressources fossiles,
- La lutte contre le réchauffement climatique provoqué par les gaz à effet de serre provenant majoritairement de la combustion du charbon, du pétrole et du gaz naturel,
- La pollution et ses conséquences sur l'environnement et la santé humaine qui est générée par l'exploitation et l'utilisation des énergies fossiles.

La transition énergétique ou écologique doit permettre de trouver et de mettre en œuvre des solutions nouvelles en faveur du climat et limiter les conséquences sur les populations.

La transition énergétique repose sur trois principaux piliers :

• La sobriété énergétique : réduire notre consommation globale d'énergie en changeant nos modes de vie et nos comportements. Par exemple, favoriser les économies d'énergie, adopter des gestes écocitoyens, limiter les gaspillages, privilégier des équipements adaptés au besoin, mutualiser certains transports...	1.Sobriété
• L'efficacité énergétique : optimiser et réduire la consommation d'énergie liée aux activités humaines en améliorant la performance des bâtiments, celle des processus de production industriels et agricoles ou encore des transports motorisés.	2.Efficacité
• La diversification du mix énergétique, notamment avec le développement des énergies renouvelables et de la génération distribuée, c'est-à-dire décentraliser le système et consommer l'énergie là où elle est produite.	3.Durabilité

2. Energie, puissance et rendement

L'énergie

L'**énergie** est une mesure de la capacité d'un système à modifier un état, à produire un travail entraînant un mouvement, un rayonnement électromagnétique ou de la chaleur.

L'énergie peut s'exprimer dans différentes unités. En sciences de l'ingénieur, nous utiliserons principalement le Joule (J) et le Watt.heure (W.h)

$$1 \text{ W.h} = 3\,600 \text{ J}$$

La puissance

La **puissance** correspond à un débit d'énergie : deux systèmes de puissances différentes pourront fournir le même travail (la même énergie), mais le système le plus puissant sera le plus rapide.

La puissance s'exprime en Watt (W), sachant que $1 \text{ W} = 1 \text{ J.s}^{-1}$

$P_{(W)} = \frac{E(J)}{t_{(s)}} = \frac{E_{(W.h)}}{t_{(h)}}$	avec : • P, puissance du système, en watt • E, énergie du système, en Joules ou en Watt.heure • t, durée durant laquelle fonctionne le système, exprimée en secondes ou en heures.
--	---

Calcul de la puissance

La puissance échangée entre deux composants est le produit de deux types de grandeurs (ou variables) :

- une grandeur d'effort, notée e, qui "tend" à déplacer une quantité de matière donnée ;
- une grandeur de flux, notée f, qui traduit le déplacement d'une quantité de matière avec un certain débit.

Domaine physique	Variable d'effort e	Variable de flux f	Puissance $P = e \times f$
Mécanique (translation)	Force F en N	Vitesse V en m.s ⁻¹	$P = F \times V$
Mécanique (rotation)	Couple C en N · m	Fréquence de rotation ω en rad.s ⁻¹	$P = C \times \omega$
Hydraulique	Pression p en Pa	Débit volumique Q en m ³ .s ⁻¹ Q=section (m ²) x vitesse(m.s ⁻¹)	$P = Q \times p$
Électrique en courant continu	Tension U en V	Intensité I en A	$P = U \times I$
Thermique	Température T en K (Kelvin)	Flux thermique S en W.K ⁻¹	$P = T \times S$

Rendement des chaînes d'énergie

Pour fonctionner, un système a besoin d'énergie.

L'un des enjeux de l'écoconception est d'optimiser l'utilisation de l'énergie par les systèmes.

Le rendement énergétique d'un mécanisme permet d'exprimer l'énergie présente en sortie en fonction de l'énergie absorbée en entrée.

$$\eta = \frac{P_{\text{sortie}}}{P_{\text{entrée}}} \quad \text{ou} \quad \eta = \frac{E_{\text{sortie}}}{E_{\text{entrée}}}$$

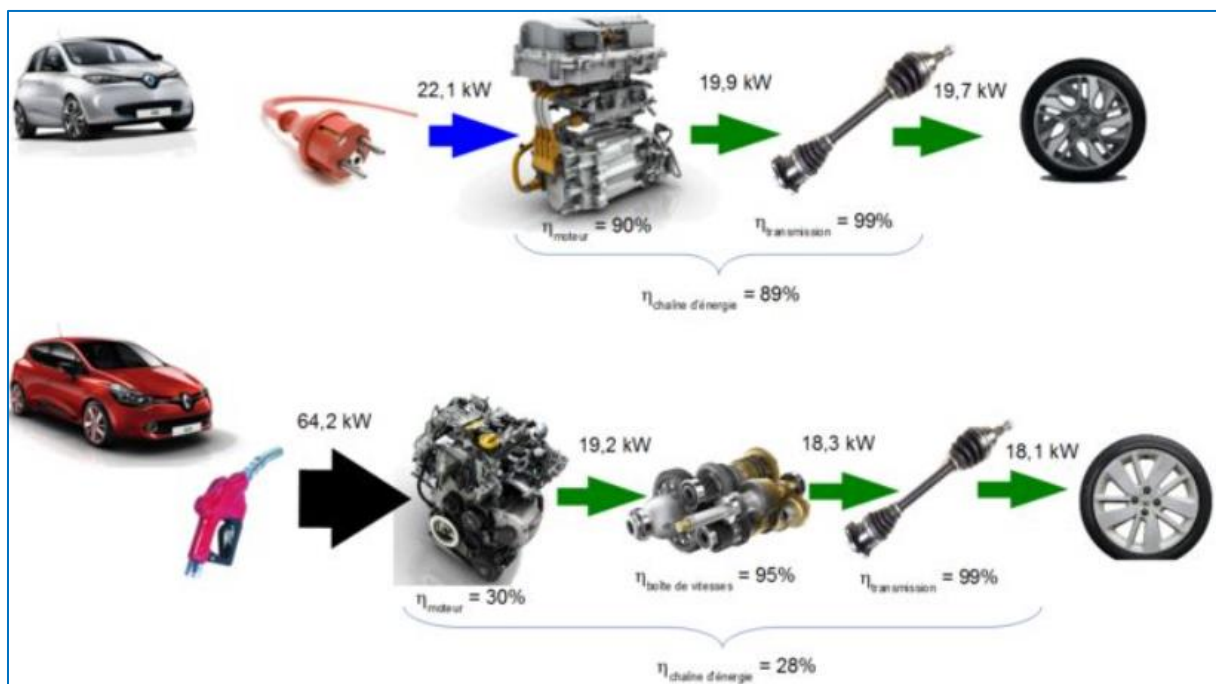
η : rendement (sans unité)
 P : puissance en watt (W)
 E : énergie (même unité au numérateur et au dénominateur: J ou W.h)

La valeur du rendement est comprise entre 0 et 1, avec 1 qui est la meilleure valeur possible (inatteignable en pratique), et 0 la pire valeur possible.

Le rendement global η_{global} est le produit des rendements intermédiaires (η_1, η_2 , etc.).

$$\eta_{\text{global}} = \eta_1 \times \eta_2 \times \dots \times \eta_n$$

Exemple :



Sur le schéma ci-dessus, on peut observer que la puissance électrique absorbée par la voiture électrique est de 22,1 kW alors que la puissance mécanique restituée au niveau de la roue est de 19,7 kW. Une partie de la puissance s'est dissipée (principalement sous forme de chaleur). Lorsque l'on connaît le rendement de chaque constituant, on peut calculer le rendement global de la chaîne : le rendement du moteur électrique est de 90 % et le rendement de la transmission est de 99 %.

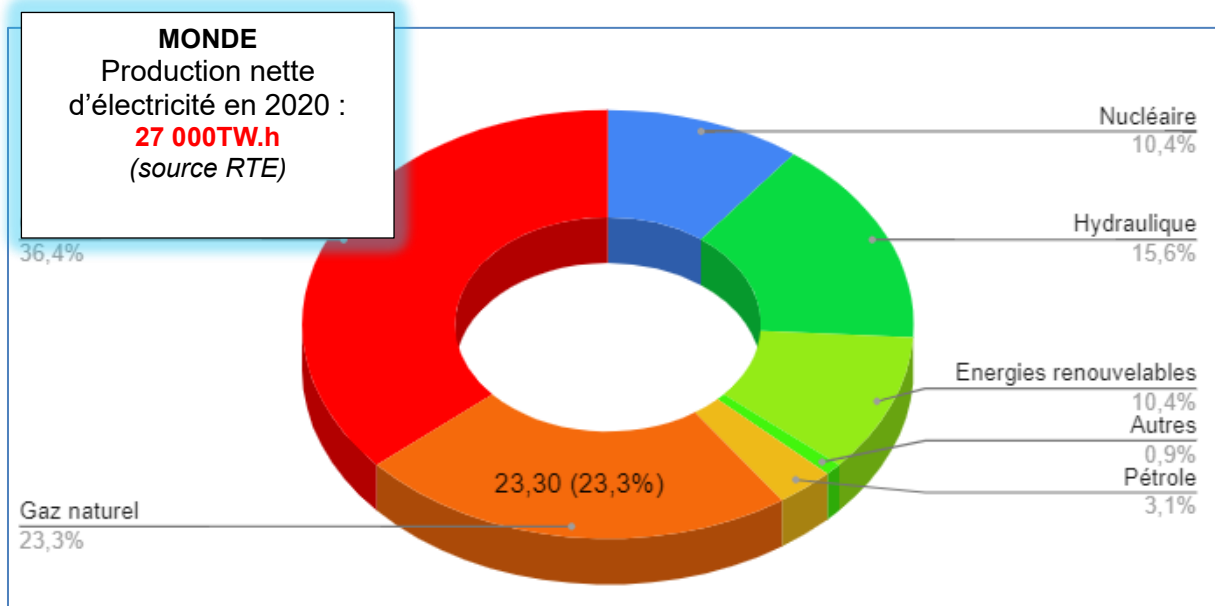
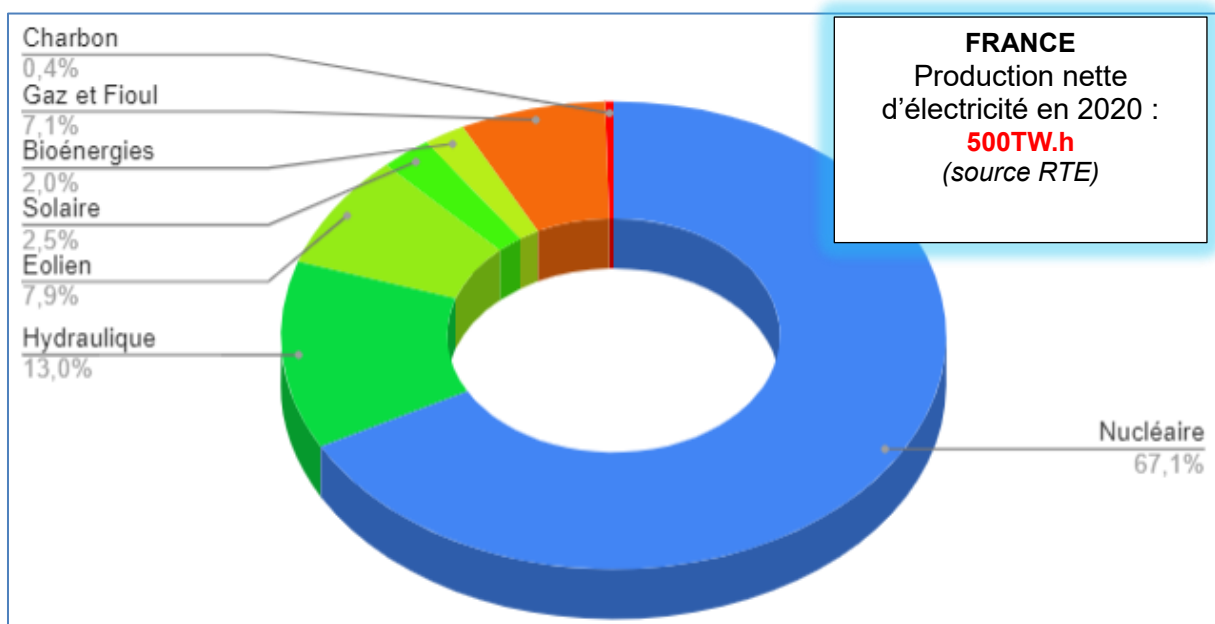
Le rendement global entre l'alimentation électrique et la roue est donc de 89 % car :

$$\eta_{\text{global}} = \eta_{\text{moteur}} \times \eta_{\text{transmission}} = 0,9 \times 0,99 = 0,89.$$

3. Le mix énergétique

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

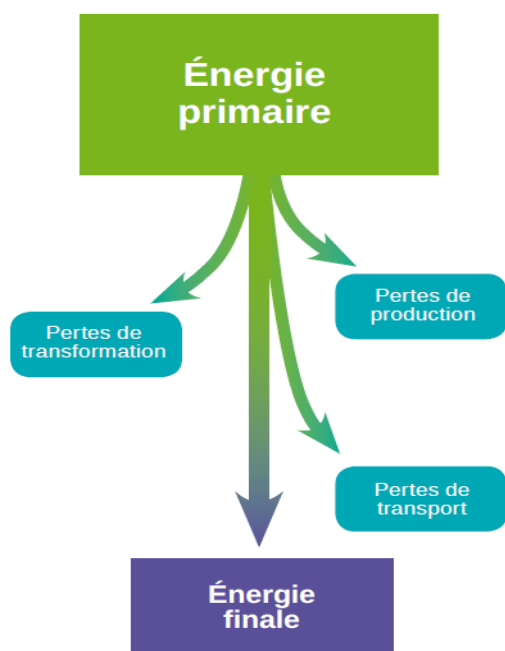
En France, le mix électrique est largement dominé par l'énergie nucléaire depuis 1970. Ces dernières années, la part des énergies fossiles (charbon, gaz, fioul) a diminuée au profit des énergies renouvelables.



4. Production centralisée

Actuellement, la majorité de l'énergie électrique que nous consommons est produite de façon centralisée à l'aide de centrales nucléaires, thermiques (à gaz, fioul ou pétrole) ou hydrauliques. Cette énergie électrique est distribuée à l'aide de lignes haute, moyenne et basse tension.

A. Energie primaire, énergie finale



L'énergie primaire est la forme d'énergie que l'on peut trouver dans la nature. Ex : énergie solaire, hydraulique, charbon, pétrole, biomasse, géothermie ...

L'énergie finale est l'énergie utilisée par le consommateur. Elle est le résultat d'une chaîne de transformations à partir de l'énergie primaire. En France, l'énergie électrique distribuée sur le réseau peut provenir d'une réaction nucléaire, de la combustion de pétrole, de gaz, d'un barrage hydraulique, ... Il existe une valeur conventionnelle qui lie les énergies primaires et l'énergie finale.

$$1 \text{ kWh}_{\text{EF}} \longleftrightarrow 2,58 \text{ kWh}_{\text{EP}} \text{ pour l'électricité}$$

$$1 \text{ kWh}_{\text{EF}} \longleftrightarrow 1 \text{ kWh}_{\text{EP}} \text{ pour les autres énergies (gaz, réseaux de chaleur, bois, etc.)}$$

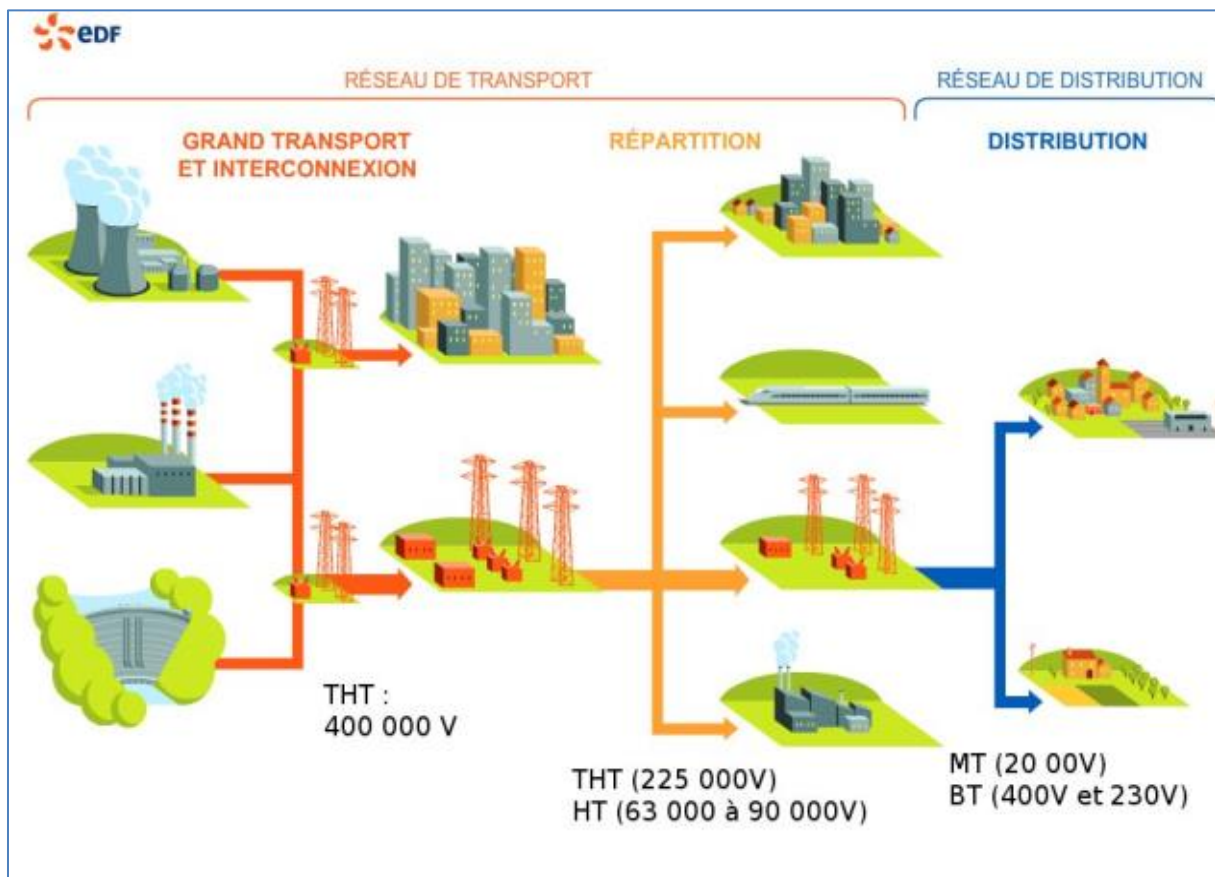
La **tonne d'équivalent pétrole (symbole tep)** est une unité d'énergie qui permet de comparer entre elles des formes d'énergie différentes. On les rapporte à l'énergie produite par la combustion d'une tonne de pétrole, ce qui représente environ 11600 kWh.

$$1 \text{ tep} = 11\,600\,000 \text{ Wh}$$

B. Réseau de transport et de distribution d'électricité

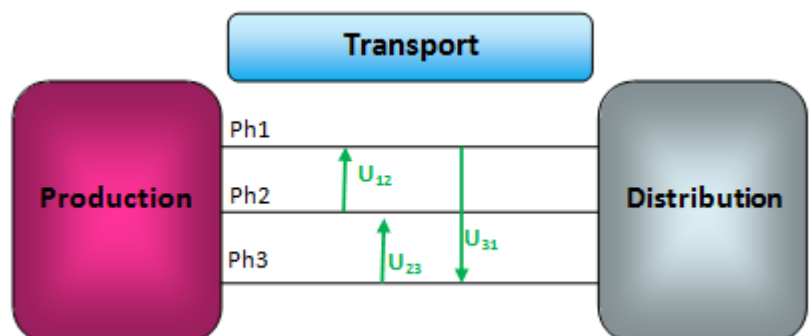
En France, l'énergie électrique est transportée et distribuée en régime alternatif (signal sinusoïdal) à une fréquence de 50Hz.

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.



C. Transport de l'énergie électrique en France

L'énergie circule sur 3 conducteurs appelés phases (ou conducteurs de ligne). La tension entre chacune des phases est appelée tension composée, notée U .



D. Distribution de l'énergie électrique en France

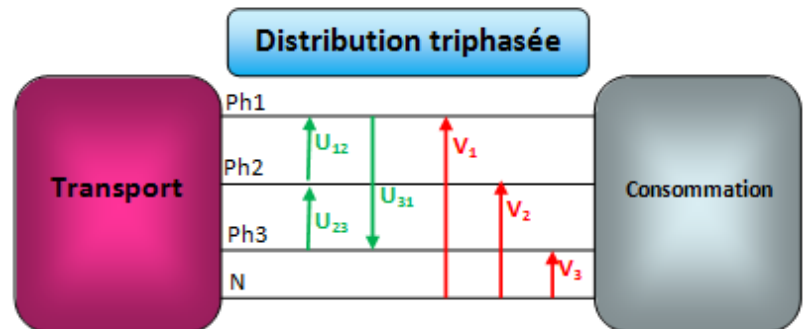
La distribution de l'énergie électrique se fait en régime alternatif triphasé ou monophasé :

Les réseaux triphasés distribuent l'énergie sur 4 conducteurs :

- 3 phases (ou conducteurs de lignes)
- 1 neutre

Dans ce cas, deux tensions sont disponibles :

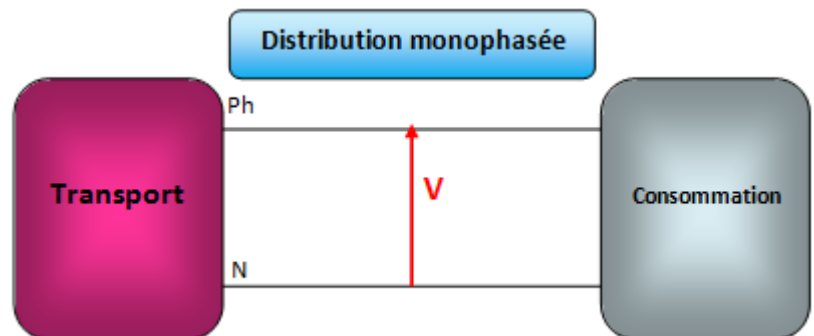
- ↳ la tension entre chacune des phases appelée tension composée, notée U
- ↳ la tension entre une phase et le neutre appelée tension simple, notée V



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 tension simple et est notée V .



5. Production décentralisée

Contrairement à la production centralisée, où une grande centrale alimente en énergie tout un territoire, la **production décentralisée** consiste en de très nombreuses petites unités de petite capacité, raccordées au réseau électrique à des niveaux de tension peu élevée.

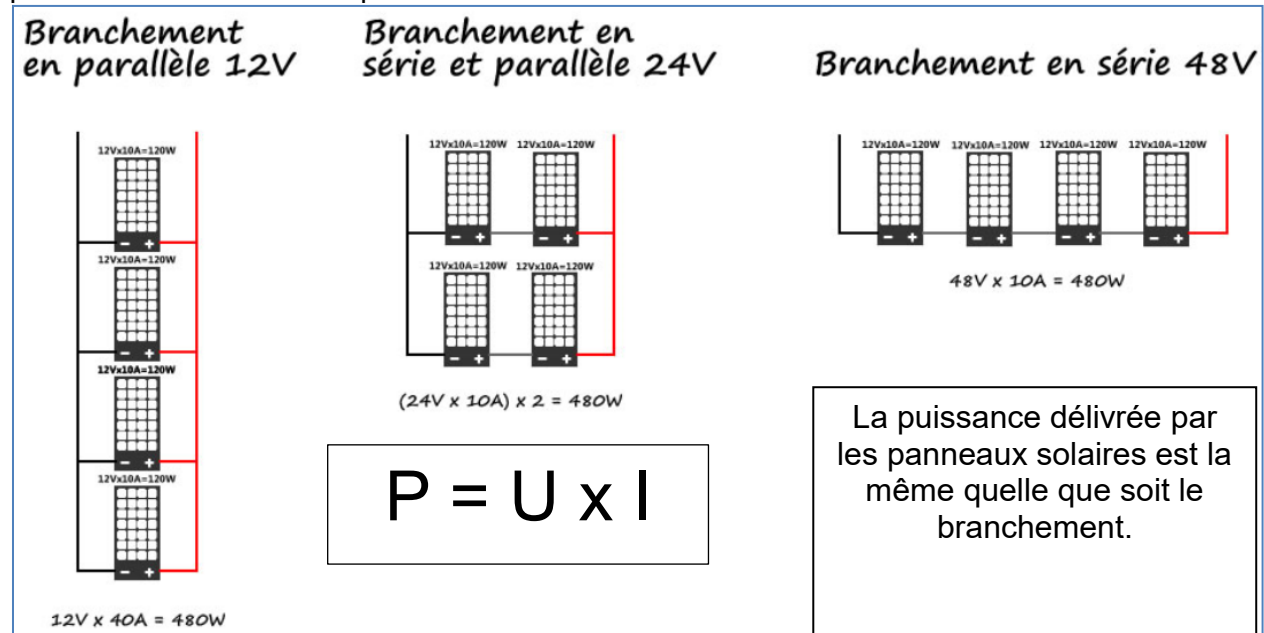
Un tel mode de production est plus respectueux de l'environnement et des besoins locaux en énergie, car basé sur les énergies renouvelables.

Avec la décentralisation, la consommation est locale, en circuit court. L'énergie la plus proche est d'abord mobilisée, on parle d'autoconsommation, puis, si elle est insuffisante, on passe à l'horizon du quartier, de la ville, de la région, du pays et des pays frontaliers.

A. Étude des panneaux solaires photovoltaïques

Un panneau solaire photovoltaïque est un dispositif convertissant une partie du rayonnement solaire en énergie électrique.

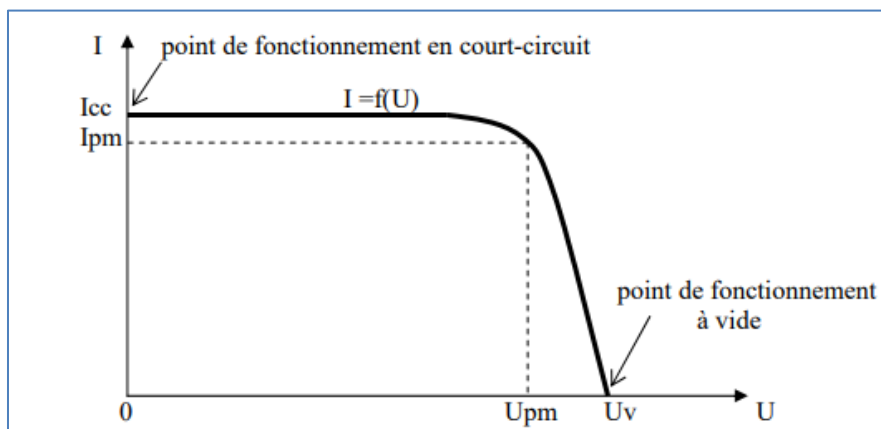
Pour s'adapter aux différents types d'installations à alimenter en énergie, on branche en parallèle et/ou en série les panneaux solaires.



La **puissance crête** d'une installation photovoltaïque est la puissance maximale délivrée par un module dans les conditions optimales (orientation, inclinaison, ensoleillement, ...). Elle s'exprime en Watt crête (Wc).

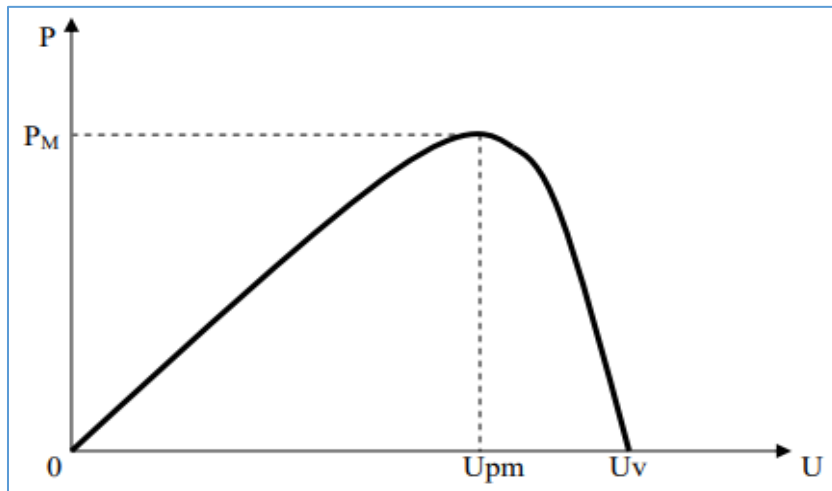
Caractéristiques électriques d'une cellule

À température et éclairement fixés, la caractéristique courant / tension d'une cellule a l'allure suivante :



Sur la courbe, on identifie :

- le point de fonctionnement à vide : U_v pour $I=0A$;
- le point de fonctionnement en court-circuit : I_{cc} pour $U=0V$.



Pour chaque point de la courbe précédente, on peut calculer la puissance P ($P=U \cdot I$) et tracer la courbe $P=f(U)$.

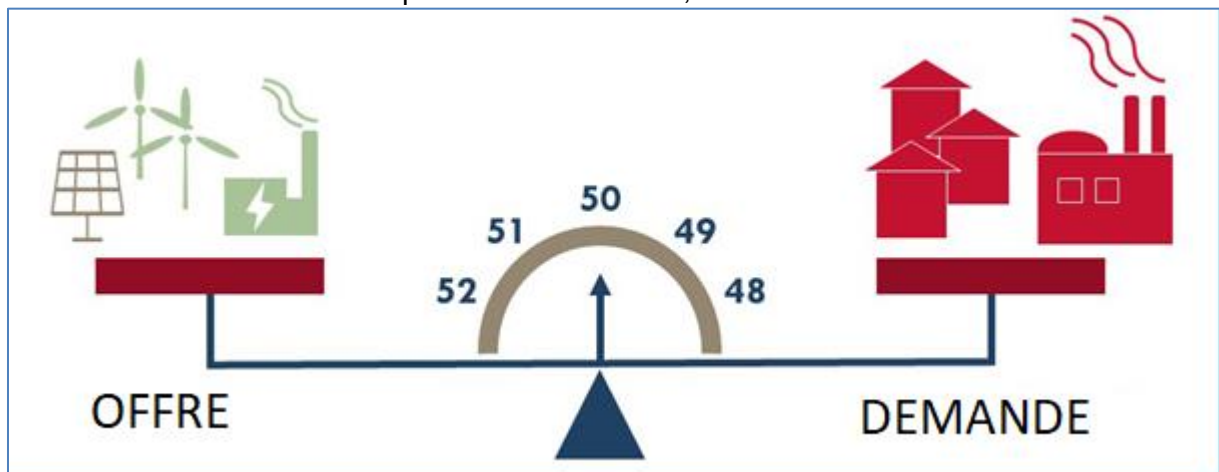
Cette courbe passe par un maximum (P_M). On peut identifier la tension U_{pm} et le courant I_{pm} permettant d'obtenir cette puissance maximale.

6. 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.

En Europe, l'électricité est (à l'exception des lignes sous-marines) transportée en courant alternatif.

Ce courant alternatif a une fréquence de 50 Hz +/- 0,1%



La **fréquence** correspond au nombre de fois où le signal se répète au cours d'une seconde. La **période** T est l'inverse de la fréquence ($T = 1/f$). La période du signal électrique est donc de 0.02 seconde ($1/50$).

- si la demande est plus importante que l'offre, la fréquence diminue
- si l'offre est supérieure à la demande, la fréquence augmente

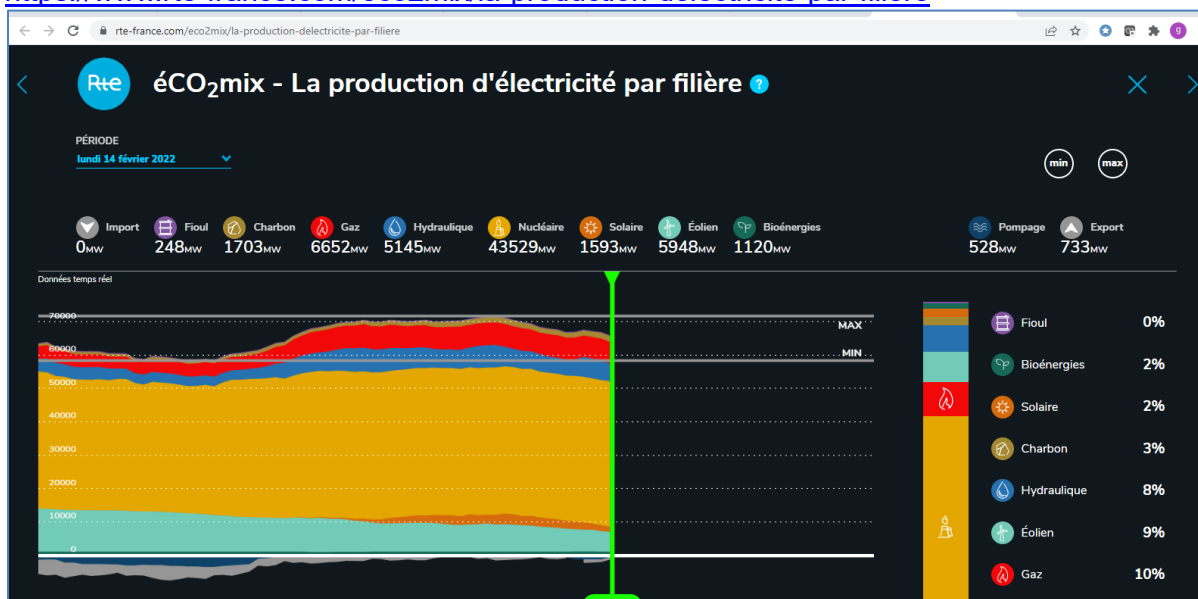
Dans les deux cas, cela met en péril l'équilibre du réseau électrique.

Des systèmes de régulation automatiques et des professionnels veillent en continu pour maintenir la fréquence électrique à 50 Hz +/- 1% 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.

Sur le site de RTE (le gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité français), vous pouvez visualiser, en temps réel, la production et la consommation d'énergie :

<https://www.rte-france.com/eco2mix/la-production-delectricite-par-filiere>



7. Smart Grid

Les réseaux intelligents ou « **smart grids** » sont des réseaux d'électricité qui, grâce à des technologies informatiques, ajustent les flux d'électricité entre fournisseurs et consommateurs.

Les réseaux intelligents peuvent être définis selon quatre caractéristiques en matière de :

- **Flexibilité** : ils permettent de gérer plus finement l'équilibre entre production et consommation ;
- **Fiabilité** : ils améliorent l'efficacité et la sécurité des réseaux ;
- **Accessibilité** : ils favorisent l'intégration des sources d'énergies renouvelables sur l'ensemble du réseau ;
- **Économie** : ils apportent, grâce à une meilleure gestion du système, des économies d'énergie et une diminution des coûts (à la production comme à la consommation).

Au sens large, un réseau intelligent associe l'infrastructure électrique aux technologies numériques qui analysent et transmettent l'information reçue. Ces technologies sont utilisées à tous les niveaux du réseau : production, transport, distribution et consommation.

