

THÈME 2 – SOUS-THÈME 2.2 & 2.3 LA PRODUCTION ET LA DISTRIBUTION D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

L'objectif de cette ressource est de donner quelques pistes sur les problématiques actuelles liées à la production et à la distribution de l'énergie électrique et à leurs enjeux.

Mots-clés

Electricité, production, conversion, stockage, réseau, optimisation

Références au programme

L'énergie électrique présente de nombreux avantages : une distribution aisée, sûre et à faible impact écologique ; l'existence de réseaux de distribution très étendus ; la disponibilité de convertisseurs de bon rendement permettant de transformer l'énergie électrique en d'autres formes d'énergie ou, symétriquement, d'obtenir de l'énergie électrique. L'existence de procédés d'obtention d'énergie électrique sans combustion justifie le rôle central que cette forme d'énergie est amenée à jouer à l'avenir.

Savoirs

Trois méthodes permettent d'obtenir de l'énergie électrique sans nécessiter de combustion [...]. Pour faire face à l'intermittence liée à certains modes de production ou à la consommation, l'énergie électrique doit être convertie sous une forme stockable.

Au cours du transport, une partie de l'énergie électrique, dissipée dans l'environnement par effet Joule, ne parvient pas à l'utilisateur.

L'utilisation de la haute tension dans les lignes électriques limite les pertes par effet Joule, à puissance transportée fixée.

Savoir-faire

Décrire des exemples de chaînes de transformations énergétiques permettant d'obtenir de l'énergie électrique à partir de différentes ressources primaires d'énergie.

Calculer le rendement global d'un système de conversion d'énergie.

Comparer différents dispositifs de stockage d'énergie selon différents critères [...].

Faire un schéma d'un circuit électrique modélisant une ligne à haute tension.

Introduction

La première utilisation commerciale de l'électricité a été destinée au transport de l'information (1838 – Télégraphe de Wheatstone entre Londres et Birmingham). L'électricité en tant que vecteur d'information est toujours d'actualité (ligne téléphonique et ADSL, câble HDMI...). L'essor de l'électromagnétisme et de ses machines au XIX^{ème} siècle puis de l'électronique de puissance au XX^{ème} siècle en a fait le vecteur énergétique le plus utilisé de nos jours. Ses atouts sont liés à la facilité de production, aux faibles coûts du transport (énergétique, d'installation) et à sa facilité de conversion en d'autres formes d'énergie.

Production d'énergie électrique

Production par alternateur

Hormis la production photovoltaïque et électrochimique, toute chaîne de conversion menant à la production d'énergie électrique a en dernier étage un convertisseur électromécanique, la plupart du temps un alternateur¹. Ce type de dispositif produit une tension alternative en exploitant le phénomène d'induction électromagnétique.

Le rendement global d'une centrale thermique (qu'elle soit nucléaire ou à flamme), c'est-à-dire le rapport de l'énergie électrique fournie à l'énergie consommée pour la produire, se situe aux alentours de 30 à 40 %.

L'origine de l'énergie mécanique nécessaire au fonctionnement de l'alternateur est diverse.

Énergie nucléaire

L'énergie thermique dégagée par des réactions nucléaires est utilisée pour produire de la vapeur d'eau qui est canalisée pour mettre en mouvement un alternateur. Ce type de centrale permet une production quasi-constante. Il est alors difficile de faire face à une sur- ou à une sous-utilisation de l'énergie.

Énergie chimique

Le principe est le même que celui des centrales nucléaires, mis à part le fait que l'énergie thermique nécessaire à la production de vapeur est produite par combustion de combustibles carbonés, ce qui dégage du dioxyde de carbone, un des gaz à effet de serre. La production d'énergie est facilement contrôlable et s'adapte facilement aux besoins.

Énergie cinétique hydraulique²

C'est l'énergie cinétique du mouvement de l'eau dans une conduite ou un cours d'eau qui maintient l'alternateur en mouvement. Largement utilisée depuis les origines de l'électricité, il constitue de la première énergie renouvelable. La production est prévisible mais ne s'adapte pas aux besoins.

Les hydroliennes³ exploitent l'énergie cinétique des courants marins. La production est prévisible mais ne s'adapte pas aux besoins.

Énergie cinétique d'origine éolienne

C'est l'énergie cinétique du vent qui est utilisée par l'alternateur. La production est intermittente et difficilement prévisible.

1. Voir l'«essentiel» consacré à la conversion d'énergie électromécanique.

2. Qui exploite l'énergie des cours d'eau.

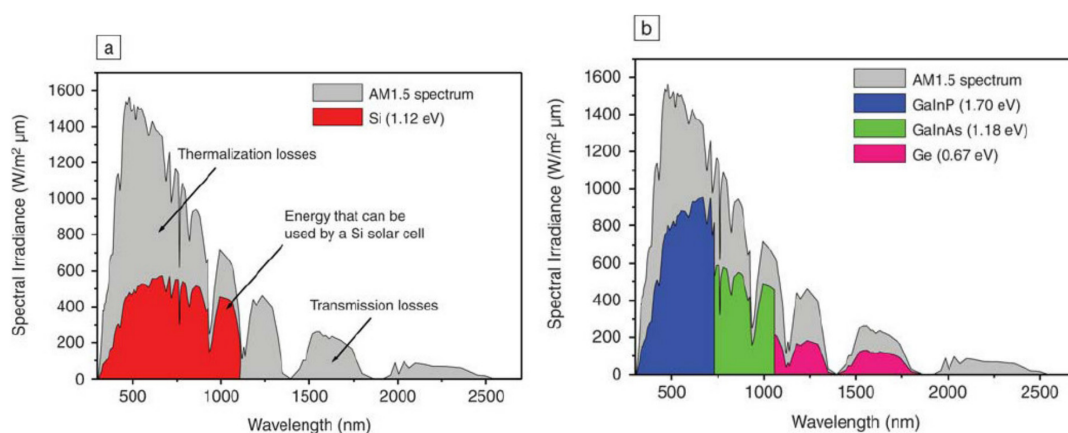
3. Qui exploite l'énergie des courants marins.

Production photovoltaïque

L'utilisation de panneaux photovoltaïques est très avantageuse pour les installations autonomes et isolées car elle ne nécessite pas d'approvisionnement extérieur. En revanche, la rentabilité d'une installation connectée au réseau de distribution n'est assurée aujourd'hui que grâce à des subventions de politiques publiques. La limite actuelle est liée au faible rendement des panneaux solaires, au coût de production des panneaux et au taux d'occupation au sol bien plus grand que d'autres formes de production. Par comparaison, la centrale solaire de Noor Abu Dhabi, aux Emirats Arabes Unis, mise en service en juillet 2019, produit 1 177 MWc (MégaWatt Crête donc au maximum de production/d'ensoleillement) sur 8 km² alors que la centrale nucléaire de Saint-Laurent des Eaux produit de façon continue 1 800 MW sur une surface de 0,7 km² (bâtiments techniques et administratifs compris).

Aujourd'hui, les panneaux solaires commerciaux mettant en œuvre l'effet photovoltaïque atteignent dans les meilleurs des cas environ 14 % de rendement. Ce faible résultat est en partie dû à l'absorption spectrale des matériaux mis en œuvre. Pour une jonction monocristalline au silicium, une part seulement du rayonnement compris entre 400 et 900 nm est convertie.

Les recherches portent sur la constitution de panneaux multi-jonctions de couple de matériaux différents pour exploiter une plus large bande spectrale du rayonnement solaire, y compris dans le non visible. Les essais en laboratoire permettent d'atteindre plus de 40 % de rendement.



Part du rayonnement solaire convertie par différentes jonctions de semi-conducteurs

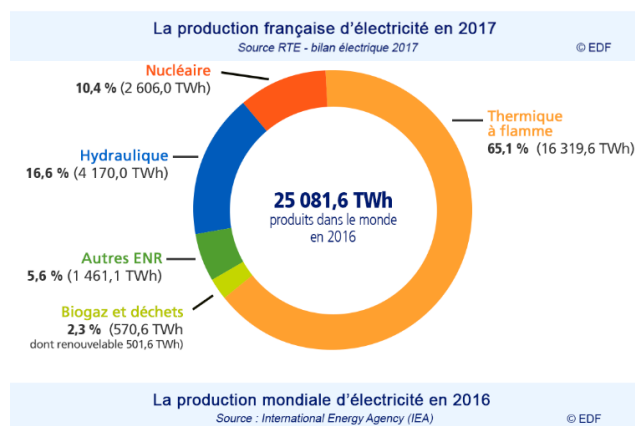
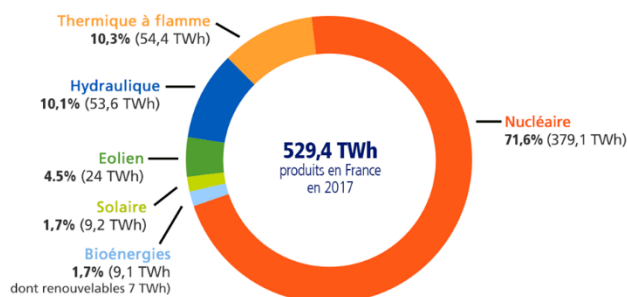
(Source : J. M. Román, State-of-the-art of III-V solar cell fabrication technologies, device designs and applications, Advanced Photovoltaic Cell Design, 2004)

Retrouvez éducol sur



Mix énergétique

Au vu des avantages/inconvénients de chaque type de production d'énergie électrique, il est impossible pour un pays d'avoir une politique d'indépendance énergétique reposant sur une seule source de production. La politique énergétique de chaque pays se caractérise par la répartition de la production d'énergie électrique selon les différentes sources d'énergie : c'est le « mix énergétique ». Voici une comparaison des mix énergétiques français et mondiaux :

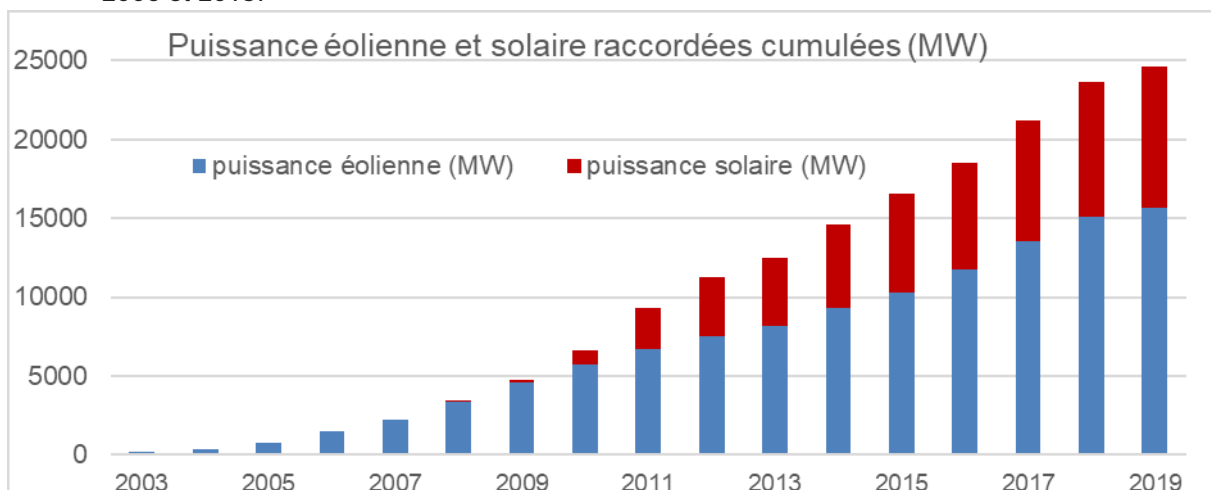


(Source : « Panorama de l'électricité renouvelable 2019 », RTE)

On remarque notamment le choix historique français de miser essentiellement sur le nucléaire, qui se distingue du mix énergétique mondial majoritairement fondé sur le thermique à flamme.

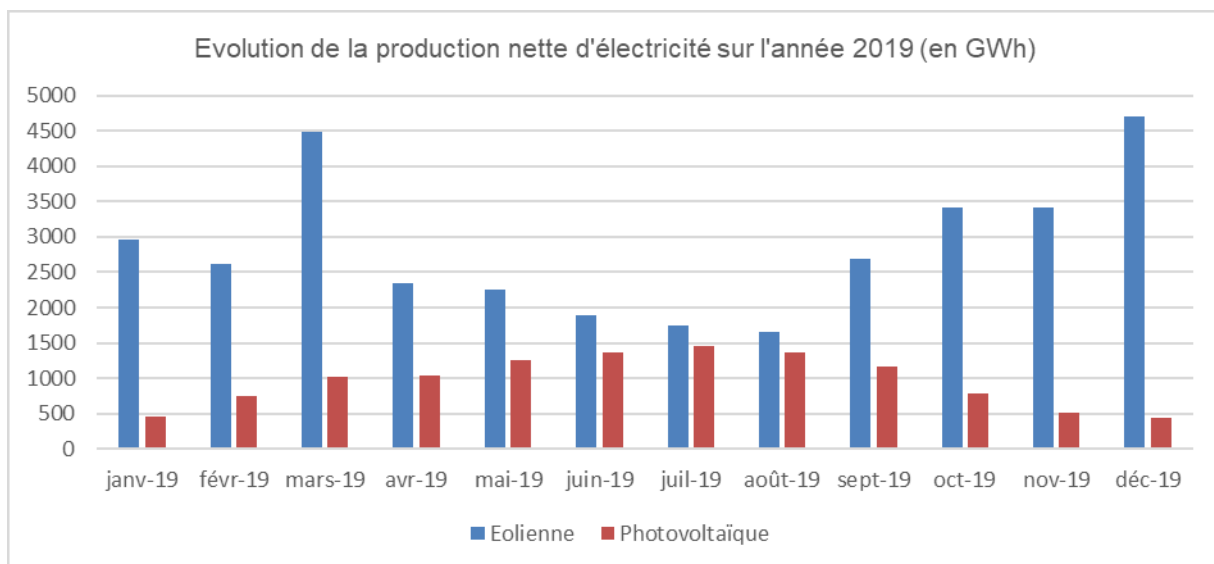
Energies d'origine renouvelable

La production hydraulique annuelle en France est relativement constante ces dernières années, oscillant entre 53 TWh et 68 TWh (60 TWh en 2019). Cependant, la part donnée aux autres énergies renouvelables est en plein développement, comme le montre le graphique ci-dessous représentant l'évolution des énergies électriques d'origine éolienne et solaire raccordées entre 2003 et 2019.



(Source : « Panorama de l'électricité renouvelable 2019 », RTE)

Toutefois, ces deux productions sont soumises à l'intermittence des saisons comme le montre le graphique ci-dessous donnant l'évolution de ces productions sur l'année 2019.



Source : ministère du développement durable

Retrouvez éducol sur



Stockage de l'énergie

Pour pallier l'écart temporel entre la production d'électricité et son utilisation, il convient de prévoir des dispositifs de stockage. L'énergie électrique ne pouvant être stockée, il convient de la convertir auparavant. Trois conversions (en énergie chimique, potentielle ou électromagnétique) sont actuellement envisagées, dans des proportions très différentes.

Stockage d'énergie potentielle de pesanteur

Une solution de stockage très rentable développée depuis longtemps est la station de transfert d'énergie par pompage (STEP). Aux heures creuses, l'eau d'un bassin aval est pompée et relevée vers un bassin en amont. Aux heures de pointe de consommation, l'eau est turbinée, transformant ainsi de l'énergie potentielle de pesanteur en énergie électrique.

Stockage chimique

Celui-ci induit un certain nombre d'enjeux. Le secteur R&D travaille sur de nouvelles technologies. On peut notamment évoquer les recherches concernant la batterie Li-Air qui permettrait un stockage de l'ordre de $2\,000\text{ Wh.kg}^{-1}$ contre environ 200 Wh.kg^{-1} pour les batteries Li-Ion très utilisées à l'heure actuelle (téléphone, véhicule électrique...). Cependant, d'autres facteurs restent problématiques dans l'utilisation de celles-ci (matières premières, recyclage... Voir « Pour aller plus loin »). L'hydrogène produit par électrolyse puis utilisé dans la pile à combustible constitue une autre voie de stockage chimique.

Stockage d'énergie magnétique

Le SMES (Superconducting Magnetic Energy Storage) permet de stocker l'énergie sous forme d'un champ magnétique créé par un courant continu circulant dans un supraconducteur. À l'heure actuelle, ce dispositif efficace mais très coûteux n'est utilisé que dans la haute technologie.

Distribution de l'énergie électrique

Mise en place d'un réseau

Pour minimiser les pertes en ligne, il est nécessaire de transporter l'électricité à intensité minimale donc à tension maximale. Cela pose des problèmes de sécurité évidents mais aussi des problèmes liés au risque d'arc électrique⁴.

Un réseau électrique est constitué de zones ayant des niveaux de tensions différents (400 kV, 225 kV, 20 kV puis 400V).

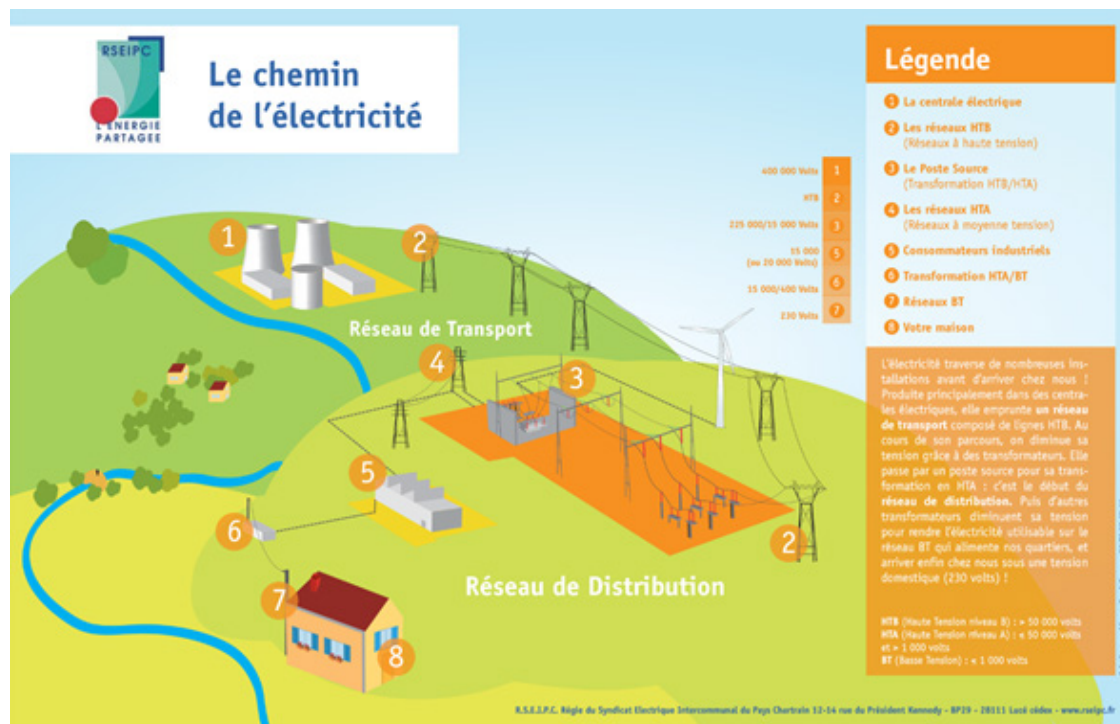
Source « Le chemin de l'électricité », Régie du Syndicat Electrique Intercommunal du Pays Chartrain

Le passage d'un niveau de tension à l'autre se fait par des transformateurs. Un transformateur ne peut fonctionner qu'en régime alternatif. Les transformateurs utilisés dans la distribution possèdent des rendements supérieurs à 98 %.

4. À titre d'exemple, la tension disruptive de l'air sec étant de l'ordre de 36 kV.cm^{-1} , et une ligne électrique de distribution à haute tension étant à 400 kV, un arc électrique peut se former avec un conducteur approché à une dizaine de centimètres de la ligne.

Pertes dans le réseau de distribution

Le programme propose de simplifier l'étude des pertes du réseau en ne considérant que l'effet Joule en régime continu. Les notions vues au collège et en seconde suffisent alors à mettre en équation le phénomène par l'étude des graphes (voir ressource dédiée). Nous avons vu que le fonctionnement des machines électriques (alternateurs et transformateurs) utilisées dans les réseaux nécessitent d'être en régime alternatif. Quelques éléments donnés ci-dessous permettront d'en appréhender la complexité. Néanmoins, nous rappelons que l'étude des pertes dans les réseaux en alternatif n'est pas au programme.



La loi de Faraday énonce que les tensions induites sont liées à la dérivée du flux magnétique. Ainsi, plus la fréquence du flux est importante, plus les tensions sont élevées. Une fréquence trop élevée provoquant de gros inconvénients (augmentation des pertes dans les circuits magnétiques des machines, bruits, parasites...), les fréquences choisies dans les réseaux sont donc faibles (50 Hz dans une grande partie des pays du monde, 60 Hz en Amérique du Nord et Centrale).

De plus, des phénomènes inductifs et capacitifs plus ou moins importants peuvent apparaître (essentiellement inductif pour les lignes aériennes, capacitif pour les lignes souterraines). Ils engendrent une chute de tension sur la ligne, créant des pertes supplémentaires.

Au-delà des chutes de tension sur les lignes qui sont maîtrisées par le distributeur, la distribution en alternatif pose le problème du facteur de puissance des installations raccordées (rapport entre la puissance active et la puissance apparente). En régime triphasé sinusoïdal, la puissance apparente ($S = \sqrt{3}UI$) représente la puissance maximale qu'il serait possible de distribuer pour une valeur de courant donné I . La puissance active réellement transportée est plus faible à cause du déphasage φ induit par les récepteurs entre le courant et la tension ($P = \sqrt{3}UI \cos\varphi$). À puissance active consommée égale, plus le facteur de puissance est faible, plus le courant appelé sera important, augmentant alors considérablement les pertes Joule dans les lignes. Les fournisseurs d'énergie électrique imposent donc un facteur de puissance élevé à ses gros clients (en général supérieur à 0,96) sous peine de pénalités financières.

Retrouvez éducol sur



Pour aller plus loin

- Fonctionnement d'une hydrolienne : <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/hydroliennes>
- Aspects économiques de la production du lithium : <https://planet-terre.ens-lyon.fr/article/lithium-or-blanc.xml>
- Recyclage des batteries : <https://www.leparisien.fr/economie/vehicules-electriques-700-000-tonnes-de-batteries-a-recycler-en-2035-12-08-2019-8132193.php>
- Mise en place des graphes liés à l'étude des réseaux électriques : https://cache.media.eduscol.education.fr/file/les_mathematiques_de_L_ES/82/6/RA20_Lycees_G_T_ES_sous-theme-2-3-Transport-electricite_1241826.pdf
- Panorama de l'électricité renouvelable au 30 juin 2019 : <https://www.rte-france.com/sites/default/files/panorama2019-t2-v9.pdf>
- Principales données mensuelles relatives à la production et à la consommation des principales formes d'énergie (électricité, gaz, produits pétroliers, chauffage urbain et bois disponibles sur le site du ministère du développement durable : <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/donnees-mensuelles-de-lenergie>.

Retrouvez éduscol sur

