

S8 – CONSTRUCTION ELECTRIQUE

Production et distribution d'énergie électrique

S4 : Rappels sur les pré requis de physique

S83 : Les composants électroniques

S84 : Les normes

S85 : Production, contrôle et distribution de l'énergie électrique

1 Table des matières

2	PRODUCTION DE L'ENERGIE ELECTRIQUE :	3
2.1	Energie nucléaire	3
2.2	Energie hydraulique	3
2.3	Energie thermique	4
2.4	Energie éolienne	5
2.5	Energie solaire	6
2.6	Energie générée par biogaz (méthanisation)	7
2.7	Energie des courants marins	8
2.8	Energie électrique géothermique	9
2.9	Energie provenant de l'hydrogène	11
2.9.1	Production de l'hydrogène	11
2.9.2	Applications énergétique de l'hydrogène	13
2.10	Fusion nucléaire	16
3	DISTRIBUTION DE L'ENERGIE ELECTRIQUE :	19
3.1	Le réseau électrique	19
3.2	Transport et transformation de l'électricité	21
3.3	Livraison de la tension électrique	22
3.3.1	Livraison Haute Tension (HT)	22
3.3.2	Livraison Basse Tension	23

2 Production de l'énergie électrique :

2.1 Energie nucléaire

Le "combustible" utilisé dans les centrales nucléaires est l'uranium, un métal relativement abondant dans l'écorce terrestre. Le noyau de l'uranium 235, lorsqu'il est percuté par un neutron, se brise en deux noyaux plus petits. On dit que l'U 235 est fissile.

Cette fission dégage de l'énergie, notamment sous forme de chaleur. En se brisant, l'atome libère deux ou trois neutrons qui iront à leur tour briser d'autres noyaux, et ainsi de suite... C'est ce que l'on appelle la réaction en chaîne.

La chaleur, en contact d'eau, fournit de la vapeur sous pression qui fait tourner la turbine à laquelle est couplé l'alternateur qui génère l'électricité.

Au sortir de la turbine, la vapeur est refroidie, retransformée en eau et renvoyée dans le générateur de vapeur.

La production d'un gros réacteur nucléaire actuel est d'environ 1400MW.

La production des futurs réacteurs EPR (European Pressurised Reactor) de 3^{ème} génération sera de 1600 MW.

Production en MWh en une année d'un gros réacteur nucléaire actuel avec un rendement d'utilisation de 82% =



2.2 Energie hydraulique

Les installations à accumulation (barrages) sont celles qui fournissent le plus d'énergie. Le barrage s'oppose à l'écoulement naturel de l'eau, il est capable d'en stocker d'énormes quantités (retenues).

Il suffit d'ouvrir des vannes pour amorcer le cycle de production d'électricité. L'eau s'engouffre alors dans une conduite forcée ou dans une galerie creusée dans la roche suivant l'installation.

A la sortie de la conduite, la pression et le débit entraînent la rotation de la turbine qui entraîne celle du rotor de l'alternateur.

La production produite par un barrage avoisine les 90MW.

Production en MWh en une année d'un barrage hydroélectrique avec un rendement d'utilisation de 70% =

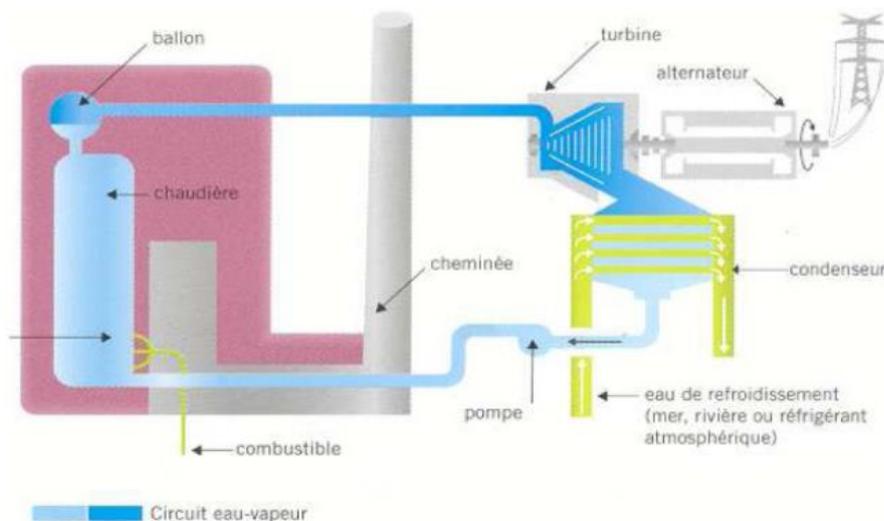
2.3 Energie thermique

Un combustible (pétrole, gaz, charbon ...) est brûlé et fournit de la chaleur dans un générateur de vapeur où de l'eau est vaporisée sous pression.

La vapeur est alors "détendue" dans une turbine, ce qui signifie qu'elle passe d'une haute pression initiale (165 bars) à une basse pression (50 millibars).

La détente de la vapeur provoquée par cette baisse de pression permet d'entraîner la turbine et l'alternateur qui produit l'électricité.

La vapeur est ensuite liquéfiée dans un condenseur puis recyclée.



La production d'une centrale thermique peut aller jusqu'à 600MW.

Production en MWh en une année d'une centrale avec un rendement d'utilisation de 80% =

2.4 Energie éolienne

L'énergie du vent provient de celle du soleil qui chauffe inégalement les masses d'air, provoquant des différences de pression atmosphérique et donc des mouvements de circulation de l'air.

L'énergie éolienne est une énergie renouvelable, disponible partout (quoiqu'en quantités différentes) et bien sûr sans rejet polluant dans l'atmosphère.

L'éolienne transforme la puissance de translation du vent en puissance de rotation.

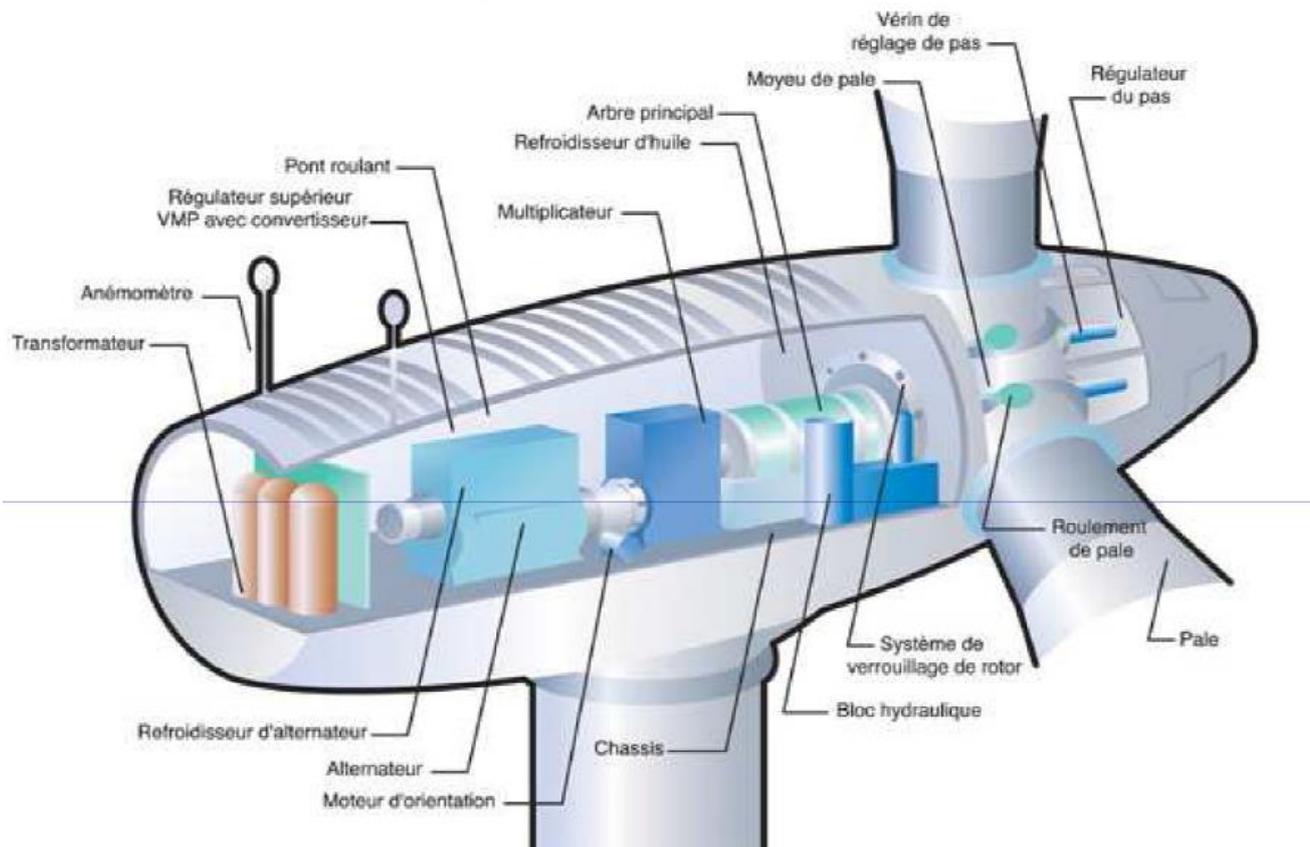
Un alternateur est mécaniquement couplé à l'axe des pales (rotor) pour produire les tensions triphasées.

Un dispositif de régulation permet d'obtenir une vitesse de rotation constante compatible avec la fréquence du réseau (50Hz).

Une éolienne moderne (parc de Rivesaltes) peut produire une puissance de 1MW.



Schéma type d'une architecture de nacelle



Vitesse de rotation :

Multiplicateur :

Convertisseur électronique :

Tension de l'électricité produite par l'alternateur :

Production en MWh en une année d'un parc de 10 éoliennes avec un rendement d'utilisation de 20% =

Combien faudrait-il d'éoliennes pour produire l'équivalent d'un gros réacteur nucléaire actuel et quelle surface elles occuperaient (en km²) sachant qu'une éolienne occupe 0,64ha :

2.5 Energie solaire

L'énergie reçue par le rayonnement solaire est convertie en énergie électrique. Ce procédé utilise des cellules photovoltaïques (panneaux solaires) qui transforment directement la lumière en électricité.

Une cellule photovoltaïque est un composant électronique qui, exposé à la lumière (photons), génère une tension électrique (0,5 V/ cellule).

Les cellules PV : semi-conducteurs à base de silicium (Si), de sulfure de cadmium (CdS) ou de tellure de cadmium (CdTe).

Aujourd'hui, un panneau solaire en silicium cristallin "moyen" du marché dispose d'un rendement de 17%.

Le productible moyen lié à l'ensoleillement en France est de 1000kWh par kWc (kilowatt « crête ») installé (à Lyon ou Nantes).

Donc un panneau de 1m² aura une puissance moyenne de 170Wc et produira en moyenne (à Lyon ou Nantes) 0,170 kWc × 1000 kWh = 170 kWh/an.

Cette production s'entend dans les conditions optimales d'orientation et d'inclinaison (Orientation sud et inclinaison 35°).

Production en MWh en une année d'un champ de 1 ha de surface de panneaux solaires (en tenant compte du rendement exprimé ci-dessus) =

Quelle superficie devrait occuper un champ de panneaux solaires pour produire l'équivalent d'un gros réacteur nucléaire actuel :

2.6 Energie générée par biogaz (méthanisation)

La méthanisation est un processus naturel biologique de dégradation de la matière organique en absence d'oxygène.

La matière organique dégradée se retrouve principalement sous la forme de méthane. Ce processus peut être mis en œuvre intentionnellement, au sein d'un digesteur à partir de déchets organiques, et conduit à une production de gaz (biogaz) et d'un coproduit, le « digestat ».

Le gaz, qui se dégage lors de la réaction de méthanisation, n'est pas du méthane pur mais un mélange de différents gaz dans des proportions variables selon le substrat.

Composition du biogaz

Méthane (CH ₄)	50-75 %
Dioxyde de carbone (CO ₂)	25-45 %
Vapeur d'eau (H ₂ O)	2-7 %
Autres : (N ₂), (H ₂), (O ₂) et (H ₂ S)	0-5 %

Source : www.biogaz-energie-renouvelable.info

Potentiel méthanogène de différents substrats

Nature du substrat	Potentiel méthanogène (en m ³ de CH ₄ par tonne de matière brute)
Lisier de porc	12
Fientes de volaille	60
Pelouse (déchets de tonte)	123
Graisse d'abattoir	186
Graisses usagées	250
Résidus de céréales	300
Tourteau de colza	350

Source : AILE, Solagro, Ademe, Trame, *La méthanisation à la ferme*, août 2006

■ déchets agricoles ■ déchets d'IAA ■ déchets de collectivités

La production d'électricité en cogénération (électricité et chaleur) consiste à coupler une turbine à vapeur à une chaudière au biogaz. Le biogaz utilisé doit au préalable subir une opération de déshumidification et de désulfuration.

L'électricité, ainsi produite, peut être injectée dans le réseau de distribution ou utilisée en interne. Dans les deux cas, les techniques sont bien connues et maîtrisées. En revanche, la chaleur est difficilement transportable et doit être valorisée à proximité du lieu de production.

De nombreux exemples de réalisation existent (EARL des Brimbelles, en Lorraine : 160 MWh/an d'énergie électrique et 300 MWh/an d'énergie thermique ; GAEC du Bois Joly, en Vendée, 130 000 m³/an de biogaz, 200 MWh/an d'énergie électrique et 400 MWh/an d'énergie thermique ; GAEC du Château, dans les Ardennes, 330 000 m³/an de biogaz, 600 MWh/an d'énergie électrique et 1000 MWh/an d'énergie thermique...).

2.7 Energie des courants marins

Le principe de fonctionnement d'une hydrolienne est simple: on place des hélices ou des turbines dans l'axe des courants des marées pour capter l'énergie que ces dernières peuvent fournir.

Le courant va faire tourner l'hélice de l'hydrolienne qui va transformer l'énergie mécanique en énergie électrique grâce à un alternateur. Cette électricité est ensuite acheminée par des câbles reliés au rivage jusqu'à différents points de distribution.

Exemple d'une hydrolienne immergée



La puissance cinétique d'un fluide traversant un disque est proportionnelle à sa surface, donc au carré de son diamètre, à la masse volumique du fluide et au cube de sa vitesse.

En pratique, la veine du fluide s'élargit au voisinage des pales de l'hydrolienne, ce qui fait chuter sa vitesse. Ainsi la puissance récoltée est limitée à 60% de la puissance théorique. Il faut en outre déduire les pertes de la machine liées aux frottements et à la conversion de l'énergie mécanique en énergie électrique, ce qui conduit à un rendement global de 40 à 50%.

Mise en immersion de l'hydrolienne de Paimpol- Bréhat (côte d'Armor) de 16m de diamètre



Pour une hydrolienne placée dans un courant de 2,5 m/s (soit 5 nœuds), si l'on souhaite obtenir une puissance de 1 MW, il faut une surface d'interception de l'ordre de 300 m², ce qui correspond à un diamètre de 20 mètres. Les démonstrateurs en développement sont équipés de turbines dont le diamètre est compris entre 10 et 20 mètres, ce dernier chiffre correspondant à une limite haute compte tenu des contraintes techniques de réalisation (masse de l'ensemble tournant et couples parasites dus aux turbulences de l'écoulement).

Contrairement aux vents, les courants marins sont prévisibles à long terme car le courant de marée se retourne régulièrement de façon sinusoïdale, avec des amplitudes connues, variables avec la lune. Au moment du retournement de ce courant, les hydroliennes ne produisent plus d'énergie jusqu'à ce que la force du courant atteigne de nouveau environ 2,5 nœuds (soit près de 4,6 km/h). Elles passent à pleine puissance au-delà de 4 nœuds (près de 7,4 km/h). Le bilan global annuel exprimé en heures de fonctionnement à pleine puissance est de l'ordre de 4 000 à 5 000 heures, soit de 11 à 14 heures par jour. Le facteur de charge des hydroliennes atteint donc 46 à 57%, à comparer aux 20 à 30% moyens de l'éolien.

Comparez sur un an l'énergie électrique fournie par 10 hydroliennes avec celle délivrée par 10 éoliennes :

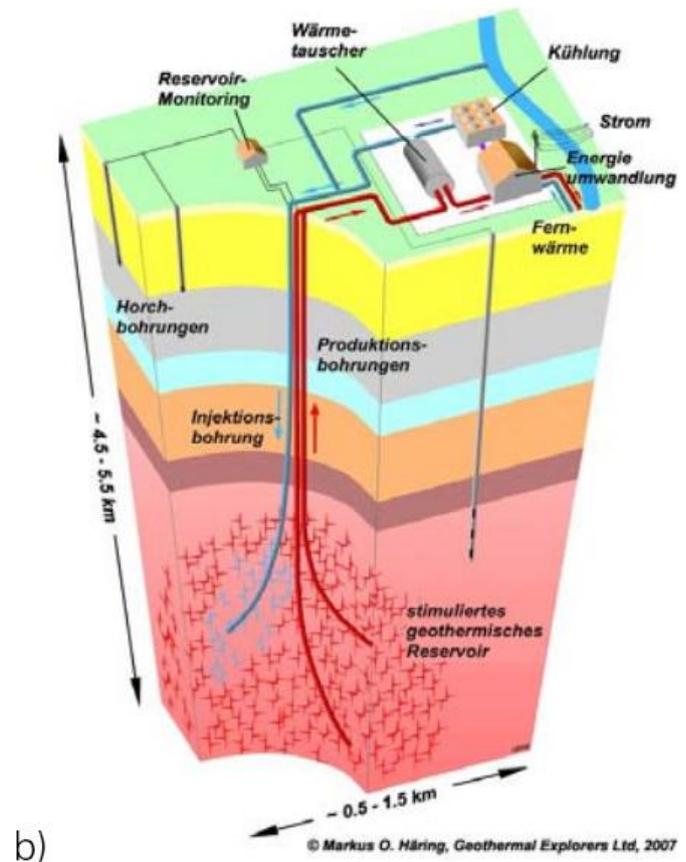
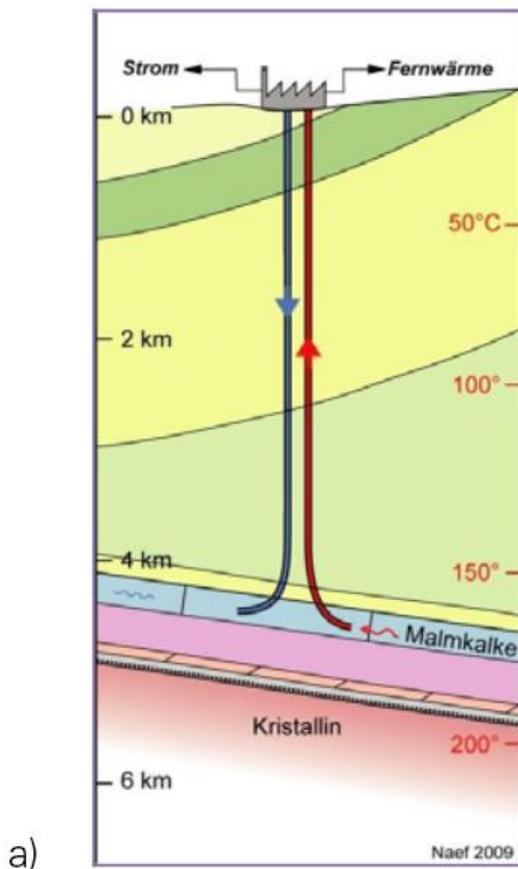
2.8 Energie électrique géothermique

Près de 99% de la masse du globe terrestre présente une température supérieure à 1000 °C. La quantité d'énergie thermique stockée dans la terre est colossale, et se renouvelle sans cesse en raison de l'activité souterraine naturelle. La chaleur de la terre - la géothermie - semble justement prédisposée à être utilisée pour la production de chaleur et d'électricité.

La géothermie profonde est une technologie respectueuse du climat, quasiment inépuisable et insensible aux influences extérieures.

Les connaissances sur le potentiel de la géothermie à faible profondeur (<400 m) pour la production de chaleur et de froid sont déjà largement répandues. En revanche, le potentiel bien plus important de la géothermie profonde n'est encore que peu connu. La géothermie profonde peut par exemple chauffer des quartiers entiers ou des serres de grandes dimensions, servir au bien-être du public dans des établissements thermaux, et surtout produire de l'électricité 24h/24.

Tout l'enjeu de la géothermie profonde consiste à capter la chaleur à une grande profondeur le plus efficacement possible, et à la réacheminer à la surface de la terre. Pour transporter la chaleur, on utilise de l'eau circulant en général dans un circuit. Les installations géothermiques de production électrique comprennent donc au moins deux forages profonds : l'un sert à capter l'eau chaude, l'autre à réinjecter l'eau refroidie dans le sous-sol.



Avec le modèle actuel reposant sur deux à trois puits, une seule installation géothermique peut atteindre environ 3-6 MW électriques.

Une puissance électrique avoisinant les 4 MW suffit à couvrir les besoins en électricité d'une petite ville de quelque 10 000 habitants.

2.9 Energie provenant de l'hydrogène

L'accompagnement sur les dernières années de projets d'innovation et de démonstrateurs dans les territoires, la réalisation récente d'études prospectives et l'évolution du contexte énergétique dans certains domaines conduisent l'ADEME (l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie) à mettre à jour son avis sur la place du vecteur hydrogène dans la transition énergétique et écologique.

Les enjeux pour les années à venir s'articulent autour de quatre grands axes :

- Apporter de la flexibilité aux réseaux énergétiques
- Favoriser localement l'autoconsommation des énergies renouvelables
- Apporter des solutions de mobilité propres et flexibles
- Réduire les impacts liés à l'emploi industriel d'hydrogène fossile

2.9.1 Production de l'hydrogène

2.9.1.1 Le vaporeformage :

Un procédé de production dominant (96%) : le vaporeformage des hydrocarbures (*Steam Methane Reforming* en anglais)

Aujourd'hui, l'hydrogène pour l'industrie est produit quasi intégralement en l'extrayant du gaz naturel sous l'action de la vapeur d'eau surchauffée. Ce vaporeformage du méthane, après désulfurisation du gaz naturel, se fait en deux étapes à haute température (entre 700°C et 1 000°C) où sont rompues les liaisons de l'hydrogène (dans l'eau avec l'oxygène, dans le méthane avec le carbone) :



À la sortie du vaporeacteur, l'hydrogène pur est séparé du CO₂ qui peut être capturé, et d'un mélange en excès de CO, de méthane et de vapeur d'eau (syngas) qui est utilisé pour fournir la chaleur nécessaire au vaporeformage.

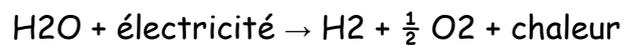
Des catalyseurs métalliques sont utilisés (nickel, fer, chrome, cuivre) pour faciliter les réactions. Le vaporeformage est associé à une très lourde émission de CO₂ : pour une tonne de H₂ produite, 10 à 11 tonnes de CO₂ sont produites et en général émises dans l'atmosphère.

Le vaporeformage est le procédé le plus économique actuel pour produire l'hydrogène industriel. Évalué à 1,5 €/kg, son coût au kg reste cependant le triple de celui du gaz naturel hors taxe carbone (**donc en ne tenant pas compte de sa lourde empreinte environnementale**).

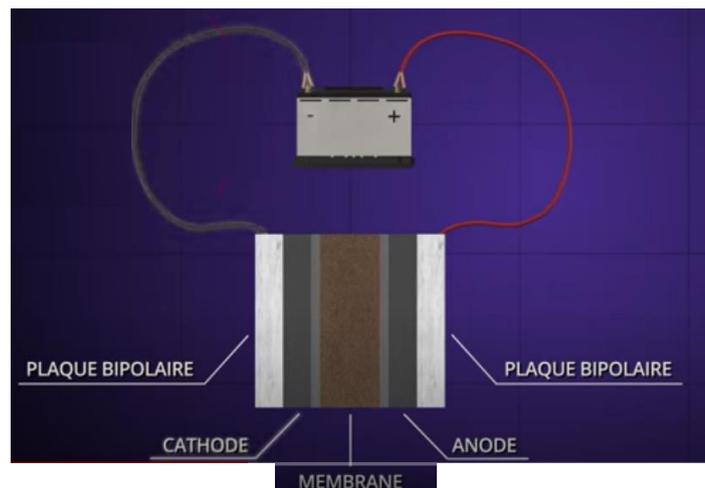
2.9.1.2 Autre procédé : l'électrolyse alcaline de l'eau :

On utilise un électrolyseur, c'est un procédé qui nécessite de l'électricité (rentable si la production d'électricité présente elle-même un coût peu élevé).

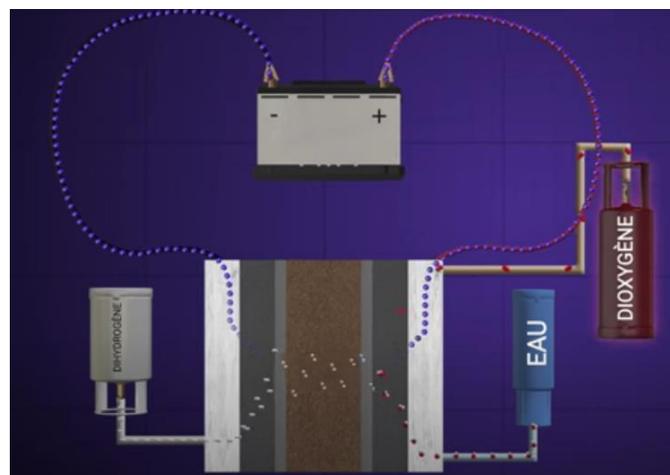
Le courant électrique décompose la molécule d'eau en hydrogène et en dioxygène (O₂) :



Le courant électrique passe à travers un électrolyseur composé de 2 plaques bipolaires, une cathode, une anode et une membrane (composée de platine):



Le flux d'eau passant à travers l'électrolyseur chargé, va décomposer par électrolyse sa molécule en dihydrogène et dioxygène :



Ce procédé correspond à la réaction inverse de celle se produisant dans une pile à combustible. Il permet de produire un hydrogène très « propre » (si l'électricité est produite en utilisant des sources renouvelables) mais n'est pas encore viable économiquement (2 à 3 fois plus coûteux que le procédé de vaporeformage). Le rendement de cette technique est de 40% sur toute la chaîne mais peut atteindre 80% en récupérant la chaleur.

2.9.2 Applications énergétique de l'hydrogène

L'hydrogène jouera un rôle de passerelle entre les réseaux électriques et les réseaux de gaz, qui permettra de stocker de grandes quantités d'énergie renouvelable sur de longues durées.

Le gaz stocké est mobilisé ultérieurement pour reproduire de l'électricité selon la demande : c'est ce qu'on appelle, pour les réseaux électriques, le « stockage inter saisonnier » ou « power-to-gas-to-power » entre périodes excédentaires (plutôt estivales) et déficitaires (plutôt hivernales).

Les infrastructures électriques disposeront de plus en plus de capacité de stockage d'électricité, dits de court ou moyen terme (par batteries, air comprimé ou stations hydrauliques⁴) ayant des cycles de charge / décharge de quelques heures ou quelques jours.

L'électricité totale stockable par ces moyens sera de l'ordre du TWh/an. A des taux de pénétration EnR supérieur à 80%, le stockage inter saisonnier, recourant à l'hydrogène, sera complémentaire et permettra de stocker dans les réseaux de gaz plusieurs dizaines de TWh/an.

Deux voies de stockage sont plus précisément envisageables :

- L'injection directe d'hydrogène dans les réseaux de gaz : la technologie d'électrolyse produit, à partir d'électricité et d'eau, de l'hydrogène qui peut être injecté dans les canalisations de gaz, à hauteur minimum de 6% en volume, et jusqu'à 20% dans certaines conditions.
- La combinaison de cet hydrogène avec du CO₂ pour former du méthane de synthèse, par la réaction de méthanisation. Le produit formé étant proche du contenu du gaz naturel, il est adapté à une injection en grandes quantités dans les infrastructures gazières (stockage souterrain⁶, réseaux de transport et de distribution).

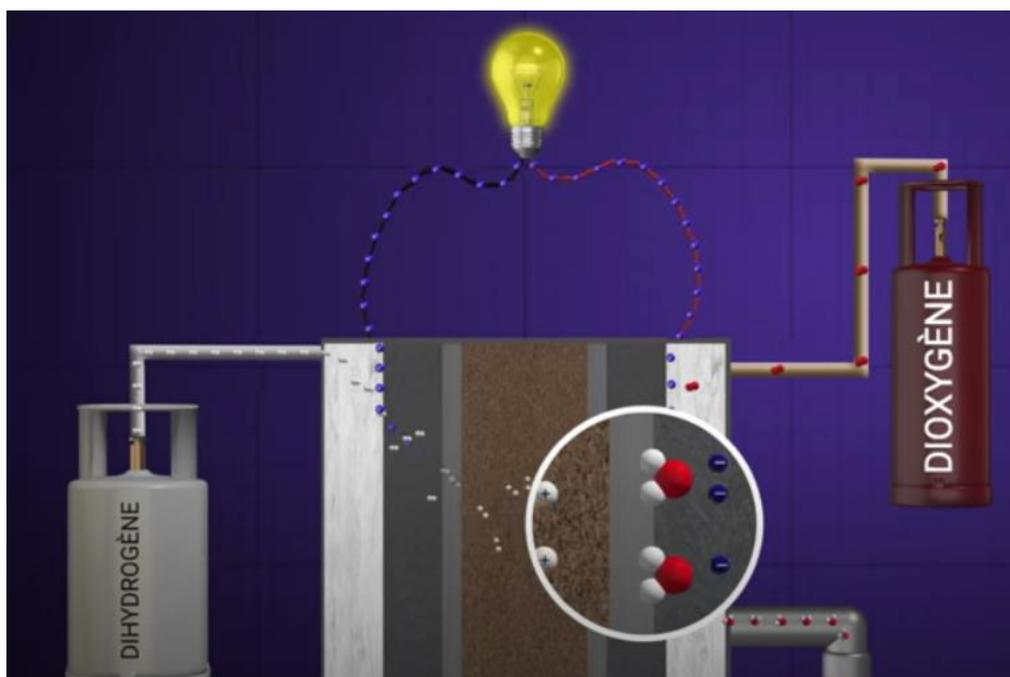
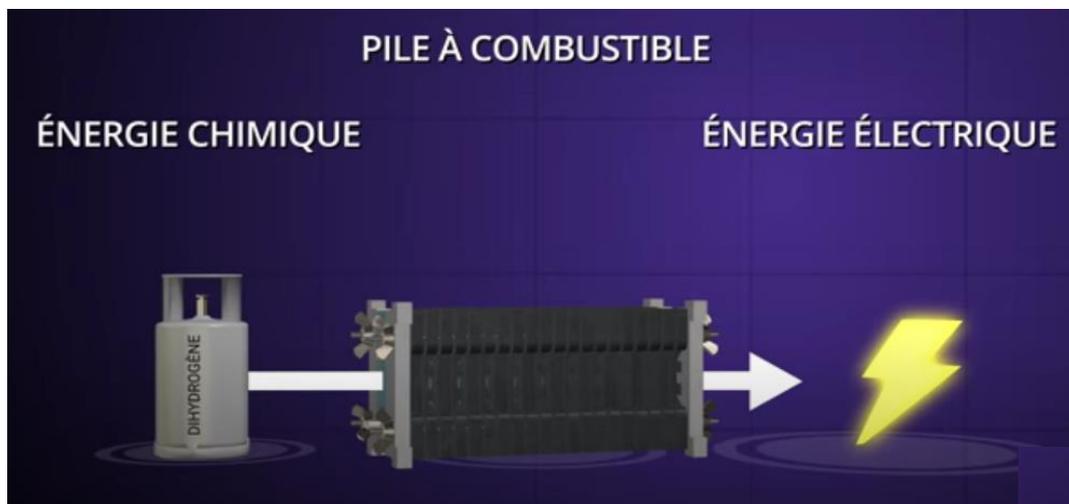
L'hydrogène, stocké et embarqué dans un réservoir sous forme comprimé, constitue une réserve d'énergie pour un véhicule à traction ou à propulsion électrique.

L'hydrogène y est converti en électricité et en chaleur via une pile, qui alimente le moteur électrique, ainsi que l'habitacle pour le chauffage.

La chaîne de traction des véhicules électriques qui mettent en œuvre une pile à hydrogène associe généralement une batterie, avec un degré d'hybridation variable selon les profils souhaités de puissance et d'énergie.

Les technologies batteries et pile à combustible apparaissent aujourd'hui comme complémentaires dans le domaine de l'électromobilité.

Fonctionnement de la pile à combustible :



Formation d'eau

Problématique actuelle de l'hydrogène :

Il faut une énergie électrique de 5 kWh pour produire 1 m³ d'hydrogène.

L'H₂ étant un gaz très peu dense (71 kg/m³), sa densité d'énergie par volume est très faible aussi (3 kWh / m³). Pour diminuer ce grand volume encombrant et contenant peu d'énergie, on comprime ce gaz jusqu'à 700 bars, voire davantage. On peut aussi le liquéfier à -253°C.

Ces deux opérations "coûtent" de l'énergie, et consomment respectivement 15% et 35% de l'énergie contenue au départ.

Le rendement d'une pile à combustible à partir de l'hydrogène comprimé, est de l'ordre de 50%.

Calculer l'énergie électrique produite par 1 m³ d'hydrogène comprimé à 700 bars et en déduire le rendement global à partir de l'énergie initial pour produire ces 1 m³ d'hydrogène :

Les principaux enseignements que l'ADEME retire de ces travaux sont les suivants :

- Le bilan environnemental est largement tributaire de la source primaire utilisée pour fabriquer l'hydrogène : mix électrique du réseau, gaz naturel (technologie vaporeformage). Sur les impacts changement climatique et épuisements des ressources naturelles, la mobilité hydrogène n'a d'intérêt que si l'hydrogène est produit à partir de sources d'énergies renouvelables.
- La logistique de transport de l'hydrogène, entre le point de fabrication et la station-service, est un facteur de premier ordre dans le bilan. Il est donc fortement recommandé de limiter les distances d'acheminement (<100 km) et de préférer une production locale d'hydrogène pour des usages locaux.

2.10 Fusion nucléaire

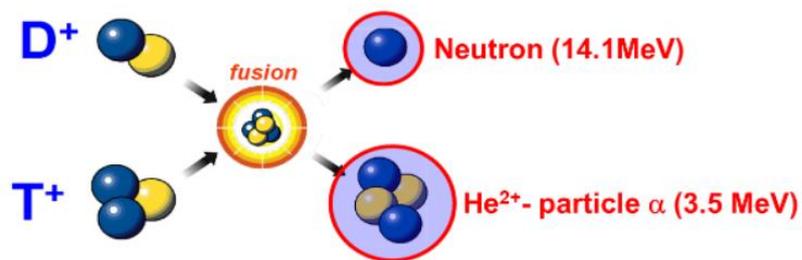
La fusion est le procédé qui se produit au cœur des étoiles et par lequel deux atomes s'assemblent pour former un atome plus lourd, l'opposé du procédé de fission.

Fusionner des atomes est très difficile et nécessite des températures très élevées, la température au centre du soleil est d'environ 15 millions de degrés.

La matière à de telles températures est à l'état de plasma.

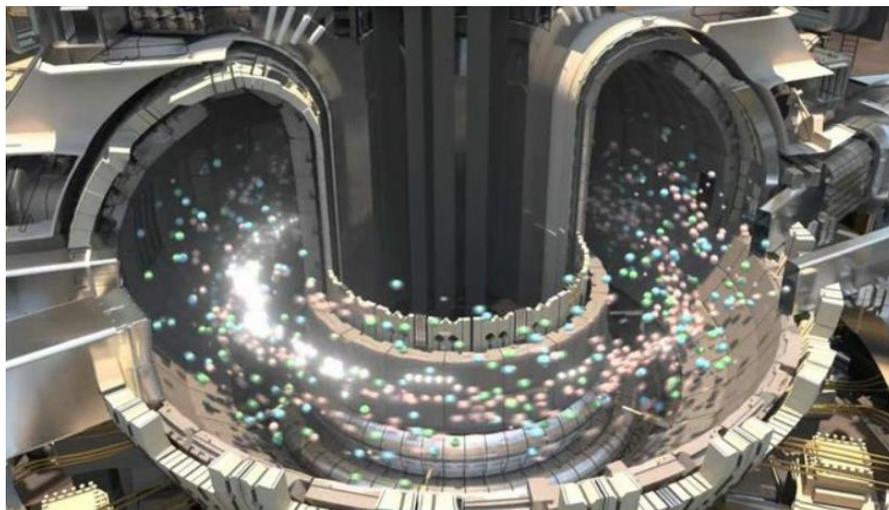
C'est pourquoi les recherches en fusion se concentrent majoritairement sur la réaction entre deux isotopes de l'hydrogène : le deutérium et le tritium, étant la plus « facile » à réaliser bien qu'elle nécessite tout de même d'atteindre une température d'environ 150 millions de degrés.

Les produits de la réaction sont alors un neutron énergétique et un atome d'hélium :



Apparaît alors l'un des gros défis de la fusion : contenir dans une enceinte solide un plasma à une telle température.

Pour le confiner, on utilise des champs magnétiques très puissants pour l'empêcher de toucher les parois de l'enceinte. La configuration magnétique la plus efficace est appelée tokamak, concept inventé dans les années 1960 en Russie. Le plasma est alors confiné sous la forme d'un tore :

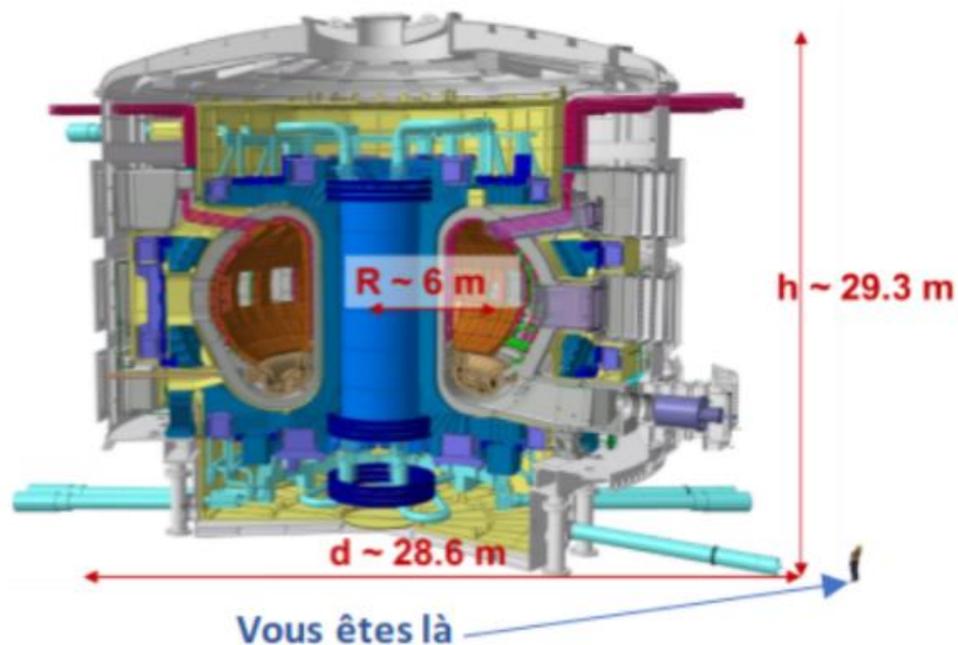


Plusieurs arguments font de la fusion une source d'énergie extrêmement attractive pour la production centralisée d'électricité, certains parlant même d'énergie illimitée ou ultime.

- Résiliente. La réaction de fusion ne peut pas s'emballer. Il suffit de couper le chauffage du plasma ou l'alimentation en particules pour que le plasma s'éteigne très rapidement. Les quantités de matière mises en jeu dans le plasma sont extrêmement faibles, sa masse étant de l'ordre de quelques grammes.
- Sûre. Même en cas d'accident provoquant un relâchement de tritium, qui est radioactif avec une durée de demi-vie de 12.3 ans, une évacuation des populations environnantes n'est pas nécessaire.
- Pauvre en déchets. La fusion ne produit pas de déchets à haute activité et vie longue. Le produit de la réaction de fusion est l'hélium, un gaz inerte. L'activation des matériaux de structure crée certes des déchets mais dont la durée de demi-vie ne dépasse pas quelques dizaines d'années, limitant le besoin de stockage longue durée- les matériaux pouvant être recyclés après une centaine d'année.
- Concentrée. La fusion est la source d'énergie la plus concentrée : 1g de combustible contient la même quantité d'énergie que 10g d'uranium et surtout que 16t de pétrole !
- Abondante. Le tritium nécessaire pour la réaction n'existant pas à l'état naturel - il est produit principalement par les réacteurs de type CANDU - il devra être produit dans le réacteur. Il sera produit par capture des neutrons émis par la réaction dans la couverture dite tritigène, contenant du lithium, qui entourera le plasma. Un réacteur de fusion devra donc produire plus de tritium qu'il n'en consomme. Le deutérium et le lithium sont disponibles en grandes quantités et surtout bien distribués géographiquement, faisant de la fusion une énergie en principe très abondante. Sans compter que la récupération du deutérium et du lithium dans l'eau de mer permettrait encore d'accroître ces ressources de façon significative.

Le démarrage des opérations est maintenant prévu pour 2025 et, après une montée en puissance progressive, les opérations deutérium-tritium doivent démarrer vers 2035.

ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor - en construction à Cadarache au nord d'Aix-en-Provence, sur lequel collaborent 35 pays et qui vise à démontrer la faisabilité scientifique et technologique de l'énergie de fusion) est une machine d'une taille d'environ 30m x 30m, utilisant des aimants supraconducteurs géants (le plus grand ayant un diamètre de 25m) et dont les composants sont extrêmement complexes, massifs mais fabriqués et assemblés avec des tolérances extrêmement faibles.



Après ITER, la feuille de route européenne pour le développement de la fusion prévoit la mise en service d'un réacteur de démonstration (appelé simplement... DEMO) produisant de l'électricité (de l'ordre de 500MW), dans les années 2050.

Le gouvernement britannique a récemment lancé la première phase du projet STEP (Spherical Tokamak for Electricity Production) dont l'objectif est de concevoir un réacteur de fusion compact qui pourrait être construit dans les années 2040.

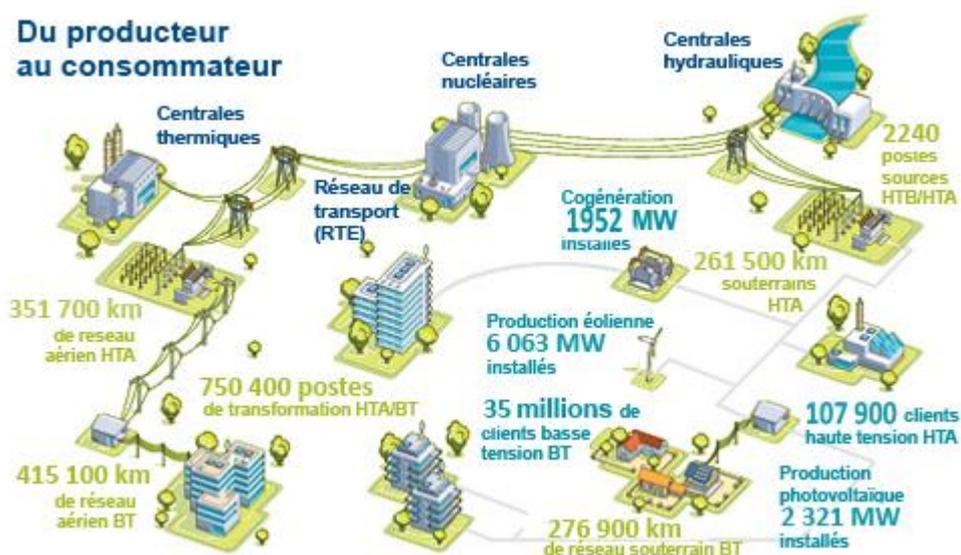
Enfin la Chine a lancé il y a plusieurs années le projet CFETR (Chinese Fusion Engineering Testing Reactor) qui doit démontrer la production d'énergie thermique en continue (initialement environ 200MW et environ 1GW comme objectif ultime) et la production de tritium.

3 Distribution de l'énergie électrique :

3.1 Le réseau électrique

Le fonctionnement du réseau électrique en France, ressemble à celui du réseau routier : autoroutes, nationales, départementales, chemins vicinaux...

Grâce à ce maillage interconnecté, tout le territoire peut être desservi. Le réseau électrique est géré par 2 opérateurs : RTE pour le transport d'électricité sur les longues distances, ERDF pour sa distribution jusqu'aux consommateurs.



L'électricité produite par les centrales est d'abord acheminée sur de longues distances dans des lignes à haute tension (HTB) gérées par RTE (Réseau de Transport d'Électricité).

Elle est ensuite transformée en électricité à la tension HTA (généralement 20 000 volts) pour pouvoir être acheminée par le réseau de distribution géré par ERDF. Cette transformation intervient dans les postes sources.

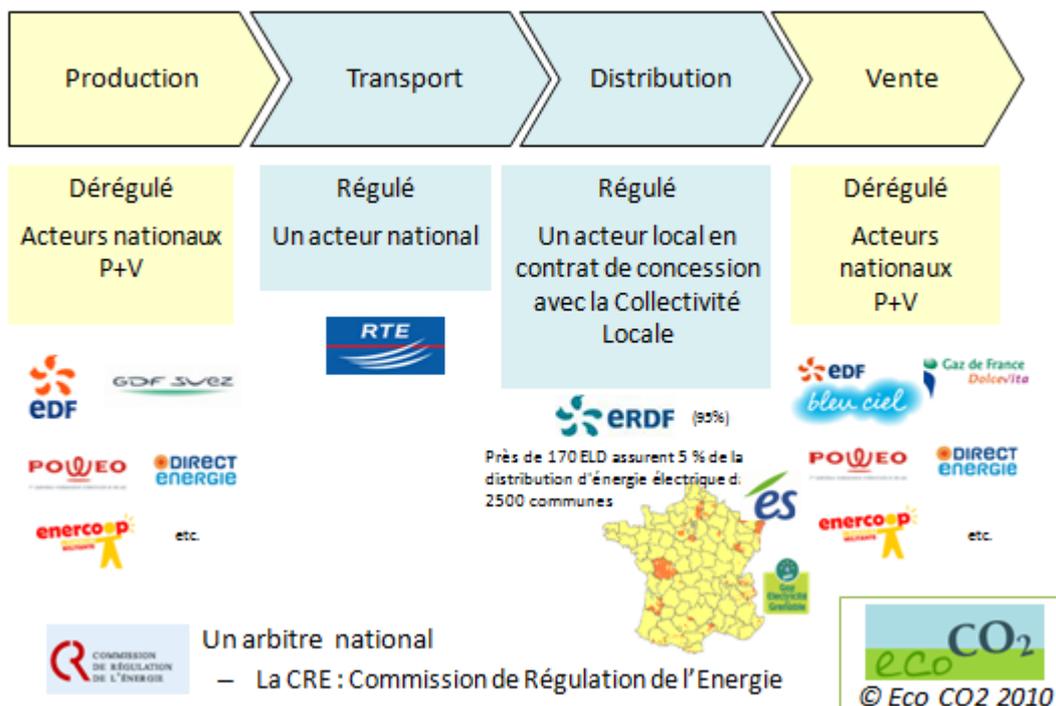
Une fois sur le réseau de distribution, l'électricité haute tension HTA alimente directement les clients industriels. Pour les autres clients (particuliers, commerçants, artisans...), elle est convertie en basse tension (BT) par des postes de transformation avant d'être livrée.

Au final, la qualité de l'alimentation en électricité des utilisateurs du réseau est donc le résultat de la qualité de tout ce parcours.

Selon la valeur de la tension (valeur efficace dans le cas du courant alternatif), les installations électriques sont classées comme suit :

Domaines de tension		Valeur de la tension nominale	
		En courant alternatif	En courant continu lisse
TBT		$Un \leq 50v$	$Un \leq 120v$
BT	Plus de distinction BTB/BTB	$50V < Un < 1000V$	$120V < Un < 1,5kV$
HT	HTA	$1kV < Un \leq 50kV$	$1,5kV < Un \leq 75kV$
	HTB	$50kV < Un$	$75kV < Un$

La chaîne de valeur de l'électricité



La CRE (Commission de Régulation de l'Énergie) vient de publier son étude trimestrielle sur les marchés de l'électricité et du gaz. Les Français restent massivement fidèles aux tarifs régulés en électricité, moins pour le gaz. Depuis le 1er juillet 2007 pourtant, chaque usager a le choix de son fournisseur d'énergie, et le choix de souscrire à des

offres de marché ou de conserver les tarifs réglementés (exclusivement chez l'opérateur historique).

3.2 Transport et transformation de l'électricité

La tension en sortie d'un alternateur de centrale est de l'ordre de 20kV (HTA).

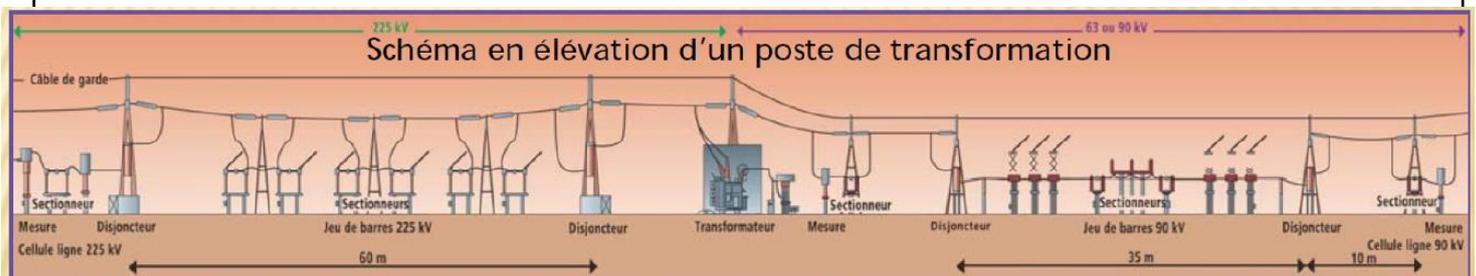
Un transformateur éleveur de tension branché directement en sortie de l'alternateur produira une tension de 400kV (THT).

L'électricité peut maintenant être transportée sur de grandes distances (lignes aériennes THT 400kV).

Les lignes THT alimentent des postes de répartition où la tension est abaissée à 225 kV (HTB) pour alimenter le réseau régional de distribution.

La transformation de l'énergie permet l'évacuation de l'énergie des sources de production vers le réseau (postes éleveur de centrale ou abaisseur de distribution). La sûreté du réseau assure la surveillance et la protection du réseau contre les anomalies de fonctionnement.

Chaque poste est télécommandé à partir d'un "pupitre centralisé" (éloigné au plus d'une cinquantaine de kilomètres), ce qui permet une intervention rapide en cas d'incident sur le réseau.



Le transformateur est un appareil destiné à modifier la tension électrique du courant. Il peut permettre d'élever la tension, par exemple en sortie de centrale de production, de 20 000 à 400 000 volts, afin de rendre l'électricité transportable sur de longues distances, en limitant les pertes électriques (effet joule).

Il peut également abaisser la tension, par échelons successifs, en fonction de l'utilisateur final et de ses besoins en électricité.

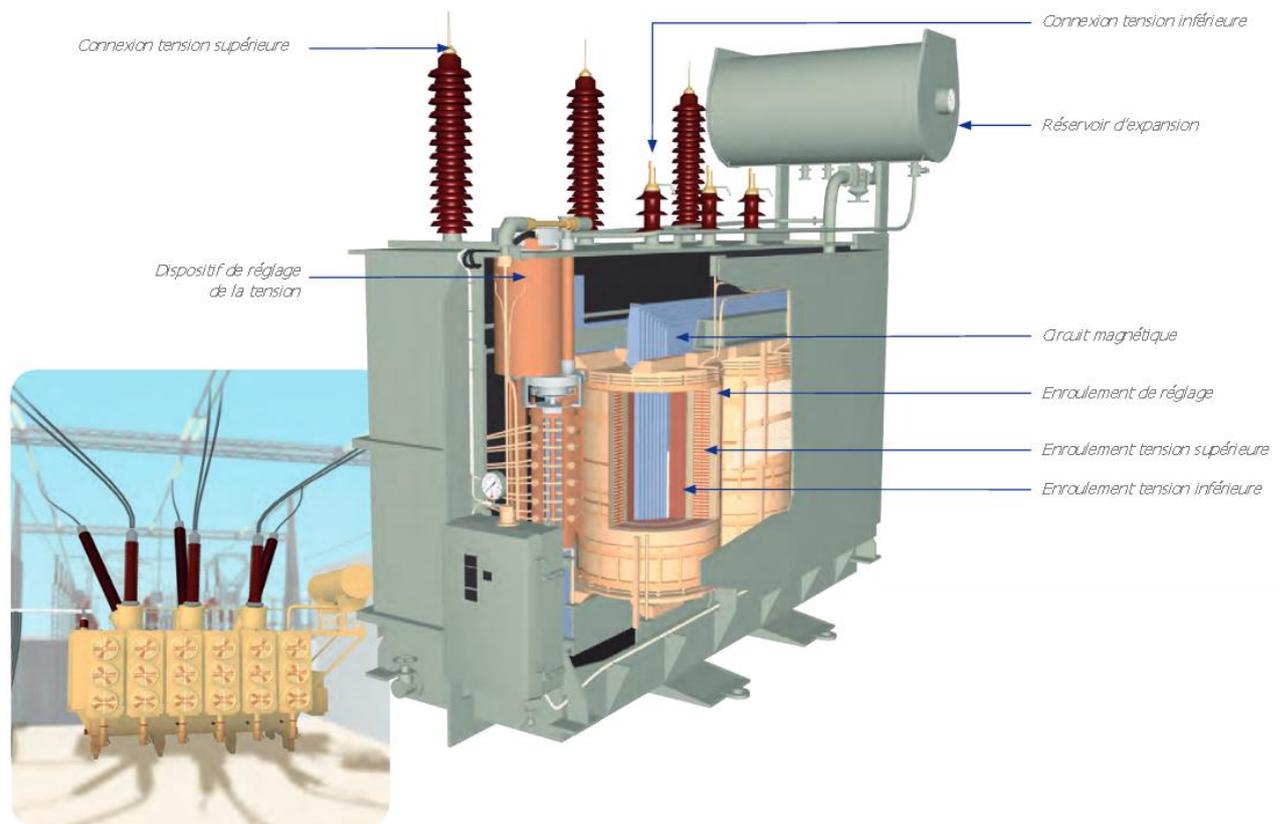
La transformation du courant s'effectue par l'intermédiaire de deux enroulements disposés de façon concentrique, destinés à échanger l'énergie grâce au circuit magnétique.

Le principe de fonctionnement repose sur le transfert d'énergie par induction électromagnétique : le premier enroulement reçoit l'énergie électrique et la transforme en énergie magnétique par induction.

Le deuxième enroulement, traversé par le champ magnétique produit, fournit un courant alternatif de même fréquence mais de tension différente.

Ce dispositif est placé dans un liquide isolant (le plus souvent de l'huile) qui assure également le refroidissement.

Le circuit de refroidissement fonctionne sur le même principe que celui d'une voiture.



3.3 Livraison de la tension électrique

3.3.1 Livraison Haute Tension (HT)

En France, pour les puissances supérieures à 250 kVA, le distributeur d'énergie fournit une alimentation dite de 2^e catégorie comprise entre 5 kV et 33 kV (généralement 20 kV).

Dans certains cas (indépendance vis-à-vis du réseau BT), ce type d'alimentation peut être fourni pour une puissance moins importante.

Les gros consommateurs sont alimentés à des tensions supérieures (90 kV ou plus).

La livraison HT offre :

- le libre choix du régime de neutre BT (schéma de liaison à la terre)
- une tarification adaptable
- une possibilité d'évolution de la puissance.

En revanche, le client est propriétaire du poste HT/BT, le coût d'investissement et l'entretien sont à sa charge.

- Le type de poste et sa localisation sont choisis conjointement par le distributeur et le client (dossier de branchement).
- Le client n'a accès qu'à la partie BT et à l'interrupteur HT.
- Le type de tarification proposé fait l'objet d'un contrat.
- Le distributeur propose un certain nombre d'options permettant à l'utilisateur d'adapter la tarification à son utilisation.

3.3.2 Livraison Basse Tension

En France, le réseau de distribution publique BT (EDF ou régies) est en général du type triphasé 50 Hz avec neutre distribué.

Ce type d'alimentation sera prévu lorsque la puissance n'excède pas 250 kVA et lorsque l'installation ne risque pas de perturber le réseau de distribution publique.

La livraison BT offre :

- un large choix de tarification en fonction de l'utilisation
- des coûts d'investissement et d'entretien réduits.

En revanche elle implique :

- l'obligation du régime du neutre à la terre : schéma TT (sauf applications particulières)
- une évolution de puissance limitée.

Le branchement est constitué par les canalisations qui amènent le courant du réseau à l'intérieur des propriétés desservies.

Deux types de tarifs sont proposés :

- Tarif bleu : puissance inférieure ou égale à 36 kVA (branchement monophasé jusqu'à 18 kVA et Branchement triphasé jusqu'à 36 kVA)

- Tarif jaune : puissance comprise entre 36 kVA et 250 kVA (branchement triphasé).

Pour chaque tarif, le distributeur propose un certain nombre d'options permettant à l'utilisateur d'adapter la tarification à son utilisation.

En France, Les postes de livraison HTA/BT sont régis par la norme NF C 13-100, ils ne comportent qu'un seul transformateur dont le courant secondaire est inférieur ou égal à 2000 A, soit une puissance inférieure ou égale à 1250 kVA pour une tension composée (ph/ph) de 400 V.

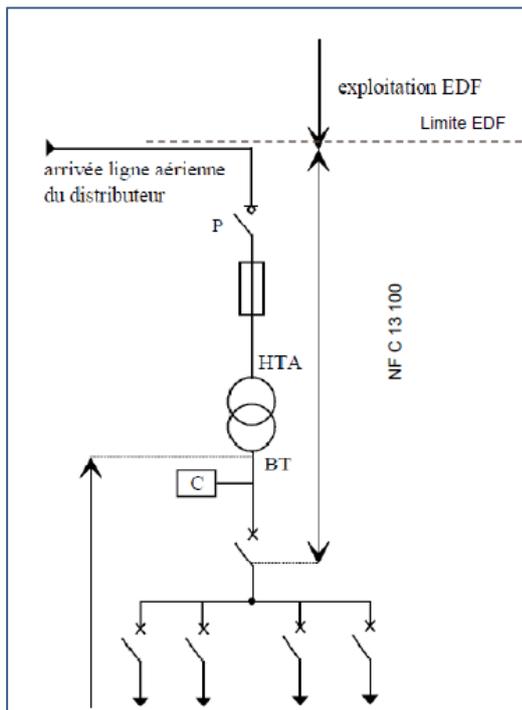


Schéma en simple dérivation (une alimentation) :

Il est principalement utilisé dans les zones rurales, en réseau aérien. En cas de défaut sur un tronçon de câble ou dans un poste, les utilisateurs sont privés d'alimentation le temps de la réparation.

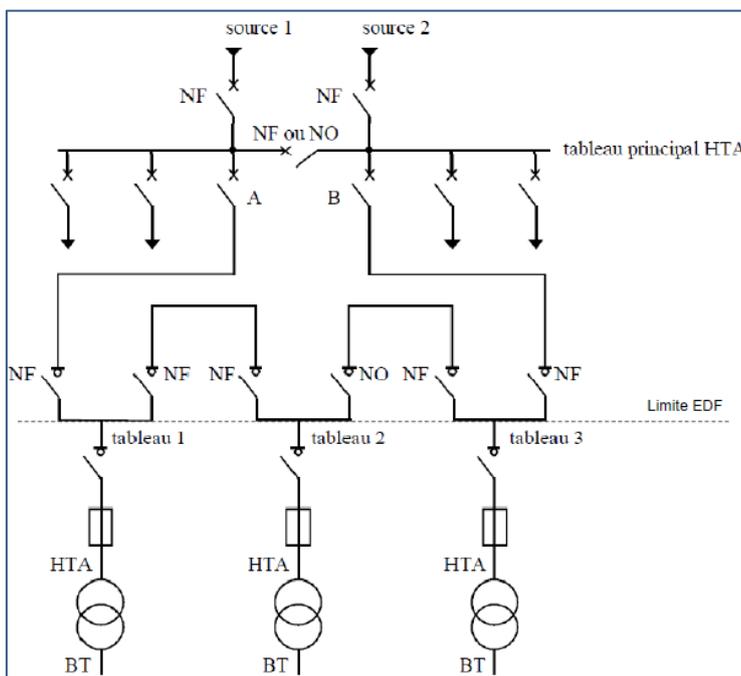


Schéma de distribution en boucle

Il est utilisé en zone urbaine ou en site industriel étendu et à l'avantage de limiter le temps de non alimentation des utilisateurs situés sur la boucle. En cas de défaut sur un tronçon de câble ou dans un poste, on isole le tronçon en défaut par l'ouverture des 2 appareils qui l'encadrent et on réalimente la boucle en refermant le disjoncteur. Le défaut se localise visuellement par un indicateur lumineux installé à l'extérieur du poste de transformation.

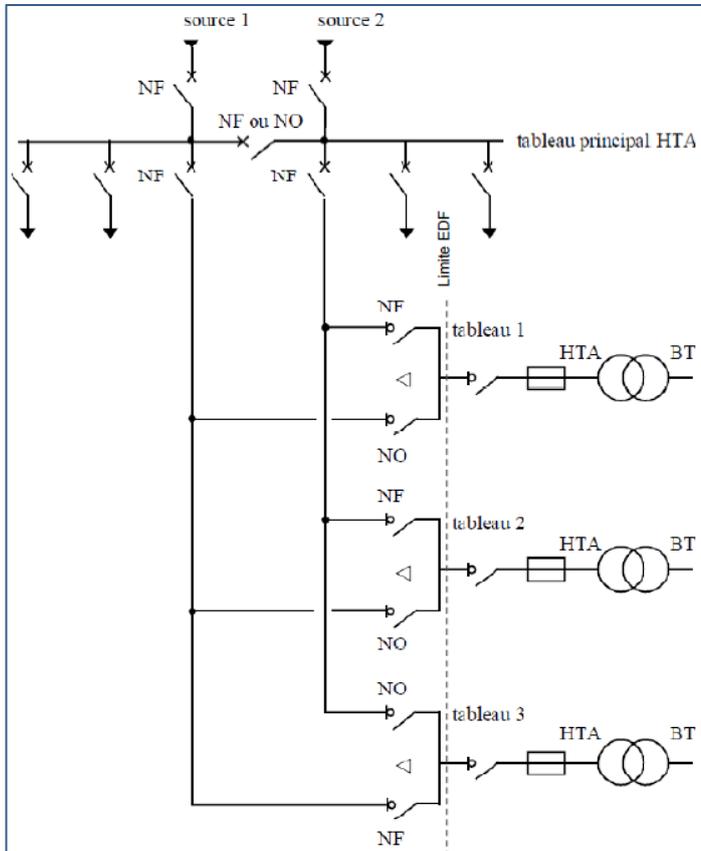


Schéma en double dérivation
(Deux alimentations)

Il est utilisé pour assurer une continuité de service optimale. En cas de défaut sur l'une des lignes, l'alimentation de l'abonné est permutée sur la seconde.

Sur le schéma ci-contre, les tableaux 1, 2 et 3 peuvent être dépannés et être alimentés par l'une ou l'autre des sources indépendamment.

Cette structure est bien adaptée aux réseaux étendus avec des extensions futures limitées et nécessitant une très bonne disponibilité.