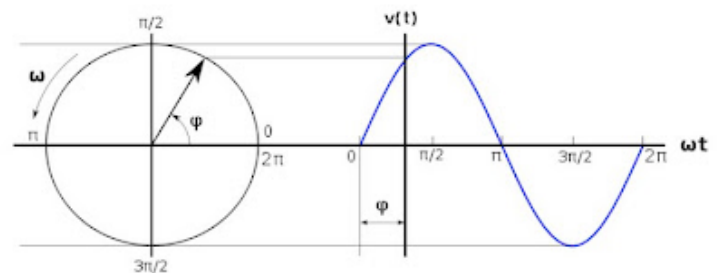
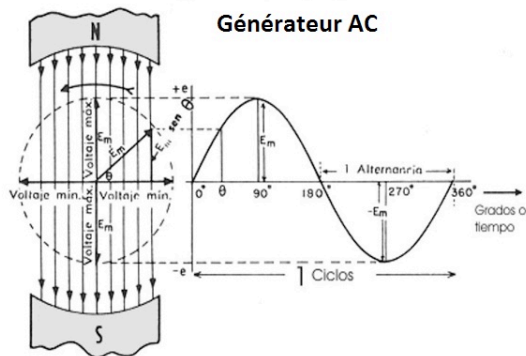


Éléments théoriques à propos du courant alternatif

Forme sinusoïdale (Texte rédigé avec des emprunts à: http://www.actutem.com/pages/eff_vrai.html)

Dans les réseaux de distribution de l'énergie électrique, les tensions et les courants varient de manière sinusoïdale. Cette forme en sinus du signal électrique provient du fait que les générateurs sont des machines tournantes. Dans ces machines, les courants sont induits par des variations de champ magnétique dans les enroulements de fils conducteurs. Par le fait de la rotation, ces variations suivent une forme sinusoïdale.



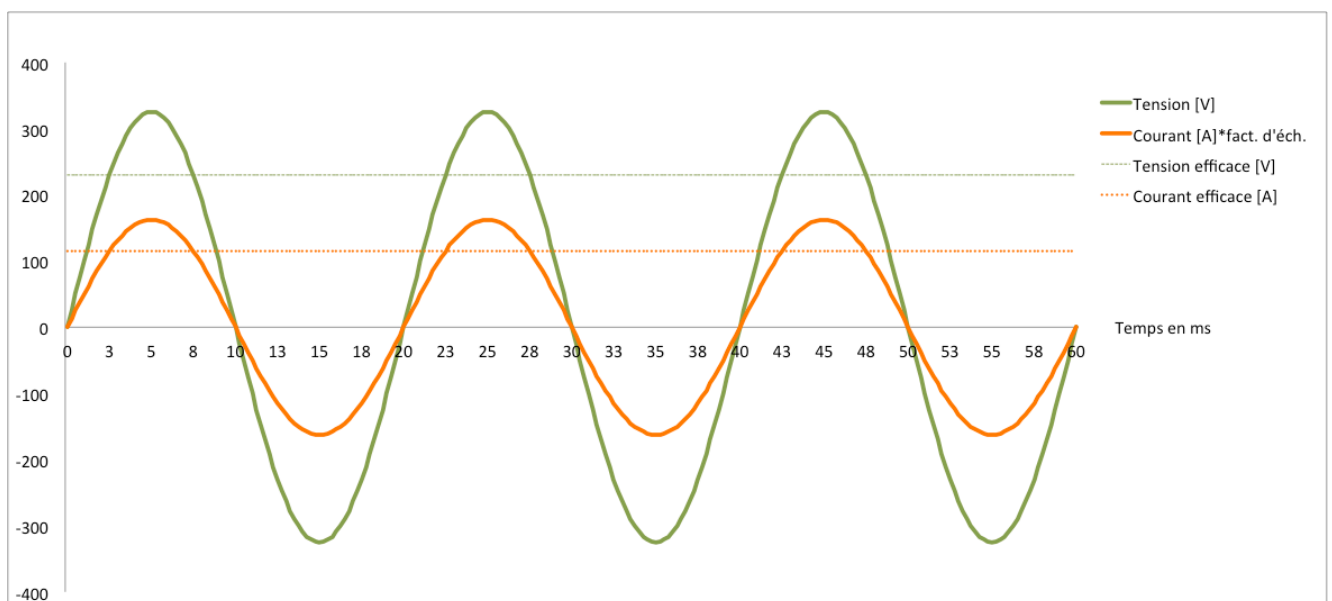
<http://1.bp.blogspot.com/-clrk02YzNY/T2nzSY-7nkl/AAAAAAAAAZ0/k5jYCMANjM/s1600/Generateur.jpg>

http://4.bp.blogspot.com/-8Hzpap_lsC8/T1R4z02dzll/AAAAAAAAASU/dgZVHVSqycE/s400/modelo+vectorial.jpg

La fréquence f est le nombre d'aller et retour du courant par seconde. La période T , est la durée d'un cycle aller et retour.

Dans la théorie sur les courants alternatifs, on représente souvent la valeur instantanée d'une tension ou d'un courant comme la projection sur un axe donné d'un vecteur tournant. La vitesse angulaire ω de ce vecteur est liée à la fréquence f et à la période T par la relation

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = 2 \cdot \pi / T$$



Ce graphique montre la tension du réseau (ligne verte) mesurée au cours du temps sur une prise 230 V, ainsi que le courant engendré dans une résistance de 20 Ω (ligne orange) avec un facteur d'échelle de 10. La fréquence est de 50 Hz, ce qui veut dire que la période est de 1/50 s, c'est à dire 20 ms.

Valeurs efficaces de la tension et du courant

Quand on donne des valeurs numériques pour des tensions ou des courants alternatifs, il s'agit toujours, si on ne précise pas autre chose, des valeurs efficaces, c'est à dire des valeurs avec lesquelles on peut calculer correctement la puissance.

En effet, si en courant continu on a

$$P = U \cdot I \quad \text{où } U \text{ est la tension continue et } I \text{ le courant continu,}$$

on a en courant alternatif sinusoïdal,

$$P = U_{\text{ef}} \cdot I_{\text{ef}} \quad \text{où } U_{\text{ef}} \text{ est la tension efficace et } I_{\text{ef}} \text{ le courant efficace.}$$

Remarquons que l'on a aussi

$$P = U^2 / R \quad \text{où } R \text{ est la résistance traversée par le courant continu,}$$

$$P = U_{\text{ef}}^2 / R \quad \text{où } R \text{ est la résistance traversée par le courant alternatif}$$

Les valeurs efficaces de la tension et du courant alternatifs sont donc la tension et le courant qui, s'ils étaient continus, produiraient une puissance identique (même effet Joule).

Valeur efficace et valeur de crête

La valeur de crête d'une tension ou d'un courant alternatif est la valeur maximum prise au cours d'un cycle. Il y a un rapport constant $\sqrt{2}$ entre la valeur de crête et la valeur efficace. Ainsi

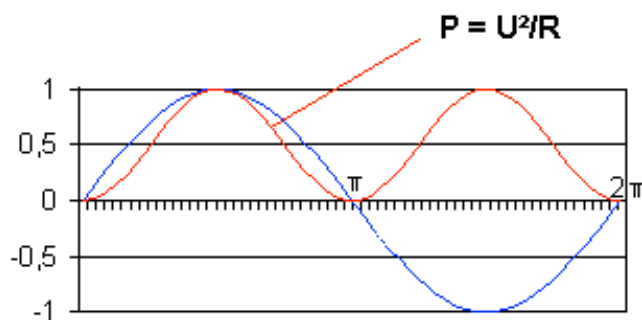
$$U_c = \sqrt{2} \cdot U_{\text{ef}} \quad \text{où } U_c \text{ est la tension de crête}$$

$$I_c = \sqrt{2} \cdot I_{\text{ef}} \quad \text{où } I_c \text{ est le courant de crête}$$

La justification tient à la définition de la valeur efficace :

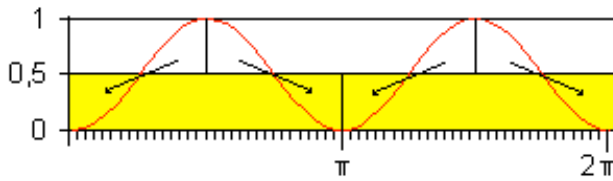
Pour le comprendre, considérons une résistance de 1Ω alimentée sous une tension alternative dont la valeur de crête est 1 V .

La puissance à chaque instant t est donnée par $P(t) = U(t)^2/R$



La courbe bleue représente la tension alternative sinusoïdale oscillant entre -1 V et $+1 \text{ V}$, tandis que la courbe rouge représente la puissance thermique produite dans la résistance de 1Ω , oscillant entre 0 et 1 W . Les valeurs choisies ici font que la courbe bleue n'est rien d'autre que la représentation de la fonction sinus, tandis que la courbe rouge est la représentation de la fonction \sin^2 . C'est pourquoi, sur ce graphique, on a gradué l'abscisse selon un angle allant de 0 à 2π radians. Avec une graduation en temps, on aurait une échelle allant de 0 à la T (durée d'une période).

En repliant les surfaces se trouvant au dessus de la ligne de 0,5 V, on peut combler les surfaces vides et former un rectangle de $0,5 \cdot 2\pi = \pi$ ou de $0,5 \cdot T$.



Cela montre que la puissance moyenne P_m , équivalente à une puissance continue, est de 0,5 W

Comme on a $P_m = U_{ef}^2 / R$, on peut écrire que $U_{ef} = \sqrt{P_m \cdot R}$.

Avec nos valeurs unitaires, cela donne

$$U_{ef} = \sqrt{0,5 \cdot 1} = \sqrt{1/2} = 1/\sqrt{2} = 0,707 \text{ V}$$

Comme on est dans l'hypothèse où $U_c = 1 \text{ V}$, $\sqrt{2}$ est bien le rapport entre U_c et U_{ef}

$$U_{ef} = 1/\sqrt{2} \cdot U_c \text{ ou } U_c = \sqrt{2} \cdot U_{ef}$$

Le courant suivant exactement la tension (avec un déphasage éventuel), on a aussi

$$I_c = \sqrt{2} \cdot I_{ef}$$

Intérêt du courant alternatif – transformateur

Le très grand avantage du courant alternatif est qu'on peut élever ou abaisser facilement la tension au moyen d'un transformateur. En effet un transformateur est un assemblage de deux bobines autour d'un circuit magnétique. L'enroulement de la première bobine (dit enroulement primaire du transfo) est parcouru par un courant (courant du primaire) qui engendre un champ magnétique dans le circuit magnétique. Ce champ magnétique varie avec la fréquence du courant. Il induit à son tour un courant alternatif à la même fréquence (courant du secondaire) dans la bobine du second enroulement (enroulement secondaire du transfo).

Le rapport entre le nombre de spires N_1 de la bobine du primaire et le nombre de spires N_2 de la bobine du secondaire donne le rapport entre la tensions U_1 du primaire et la tension U_2 du secondaire :

$$U_1 / U_2 = N_1 / N_2$$

Comme la puissance dans un circuit électrique est donnée par $P = U_{ef} \cdot I_{ef}$, il y a intérêt à élever la tension pour diminuer d'autant le courant.

Si une ligne de transport doit assurer une puissance de 10 MW sous une tension de 10 kV, le courant circulant dans la ligne sera de $10 \cdot 10^6 / 10 \cdot 10^3 = 1'000 \text{ A}$.

Sous une tension de 100 kV, ce courant sera ramené à 100 A.

L'avantage de pouvoir élever la tension est double:

1. Un courant plus faible nécessite des câbles plus fins, moins lourds, moins chers et donc aussi des pylônes plus légers et moins coûteux.
2. Un courant plus faible engendre des pertes en ligne par effet Joule qui sont moindres. Rappelons que ces pertes augmentent avec le carré de la tension (ou le carré du courant) puisque

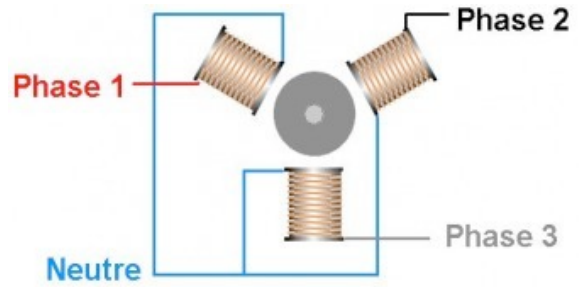
$$P_{pertes} = U_{ef}^2 / R_{ligne} \quad \text{ou} \quad P_{pertes} = R_{ligne} \cdot I_{ef}^2$$

Courant triphasé

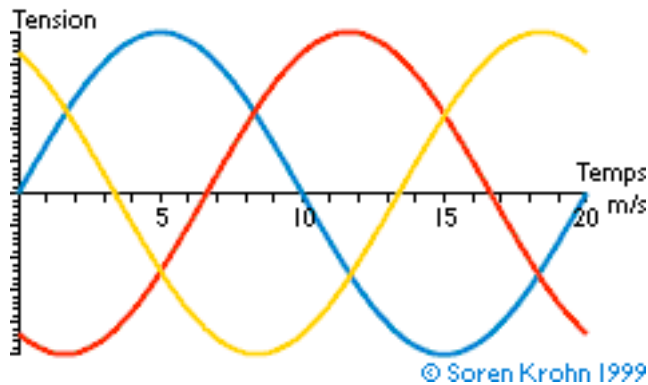
À l'échelle industrielle, l'énergie électrique est produite par des machines triphasées puis distribuée sur le réseau par des lignes triphasées.



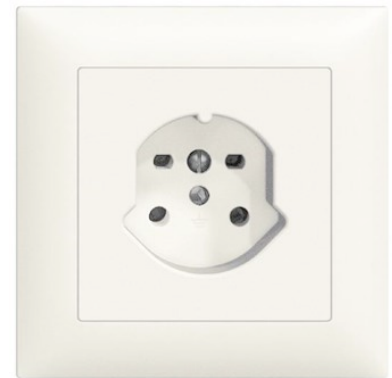
<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sink-320x240-3x-rot.gif>



<http://www.astuces-pratiques.fr/images/articles/24/le-moteur-asynchrone-principe-de-fonctionnement-0.jpg>



http://www.motiva.fi/myllarin_tuulivoima/windpower%20web/fr/r/ac3.gif

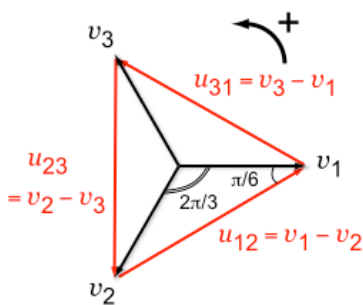


Prise triphasée (Type 15)

Pour des valeurs efficaces données de la tension et du courant de chaque phase, la puissance transportée en triphasé est 3 fois plus grande que celle qui est transportée en monophasé

$$P = 3 \cdot U_{ef} \cdot I_{ef} \text{ avec les valeurs efficaces d'une phase}$$

La représentation par les vecteurs tournants des trois tensions permet de comprendre ce que l'on mesure entre deux phases (deux phases d'une prise triphasée par exemple) :



Le module de chaque tension composée u_{12} , u_{31} , u_{23} que nous désignons par U_{2ph} est la somme des projections de deux des vecteurs v_1 , v_2 , v_3 qui le composent, modules que nous désignons par U_{1ph} .

$$\begin{aligned} \text{On a : } U_{2ph} &= 2 \cdot U_{1ph} \cdot \cos(\pi/6) = 2 \cdot \cos(\pi/6) \cdot U_{1ph} \\ &= 2 \cdot [\sqrt{3}/2] \cdot U_{1ph} = \sqrt{3} \cdot U_{1ph} \end{aligned}$$

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a6/Fresnel_v_u.png

Le vecteur de la tension composée entre deux phases a un module qui vaut $\sqrt{3} \cdot$ le module des vecteurs des tensions de chaque phase. Autrement dit :

$$U_{2ph} = \sqrt{3} \cdot U_{1ph}$$

Les tensions peuvent être les valeurs efficaces ou les valeurs de crête.

Il s'en suit qu'entre les deux phases d'une prise 3 x 230 V telle que représentée ci-dessus, on mesure $\sqrt{3} \cdot 230 = 398.4$ V (on arrondit à 400 V)

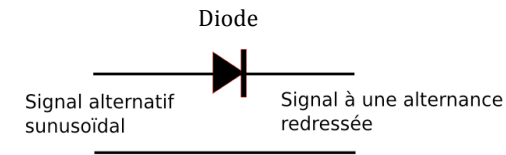
On peut faire les mêmes raisonnements avec les courants.

Courant redressé

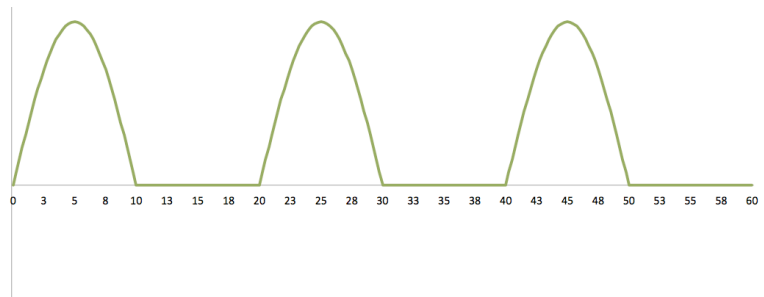
Pour les applications qui nécessitent du courant continu, il est utile d'avoir des dispositifs qui redressent le courant, c'est à dire qui font que le courant circule dans un seul sens.

La pièce maîtresse d'un redresseur est la diode semi-conductrice.

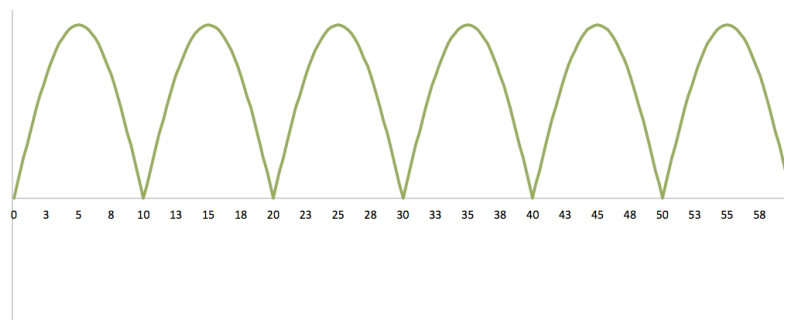
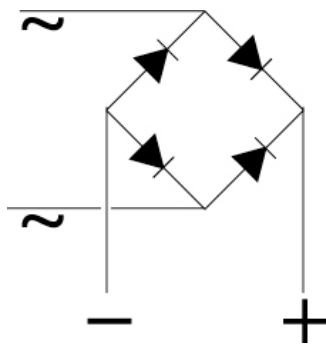
Redressement d'une alternance avec une diode



On obtient un signal pulsé dont la valeur efficace est divisée par deux.



Redressement de deux alternances – Pont à 4 diodes, dit pont de Graetz



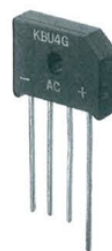
http://forum.e-train.fr/album_mod/upload/cba909a4f196ffac74daf5d25da63c18.jpg

Le courant alternatif circule entre les deux bornes ~

Le courant redressé circule entre les bornes + et -

La valeur efficace est maintenue.

Aspect de quelques redresseurs à deux alternances avec pour chacun deux bornes pour l'alimentation en courant alternatif et deux bornes de sortie du courant continu.



Linéarisation du courant

En branchant un condensateur sur les bornes de sortie, le courant pulsé peut être rendu beaucoup plus régulier et s'approcher d'un véritable courant continu.

Les principales centrales électriques de Suisse

1. Centrale nucléaire de Leibstadt



http://static.a-z.ch/_ip/HreGx1xgkXHrOh4BSwDLj_9Fz7M/dce770b1fe89107059023b46aa638dd7fe9fa63a/assetRelationTeaser-detail/aargau/kanton-aargau/akw-leibstadt-kaempft-mit-chemie-gegen-bakterien-im-kuehlwasser-124173655

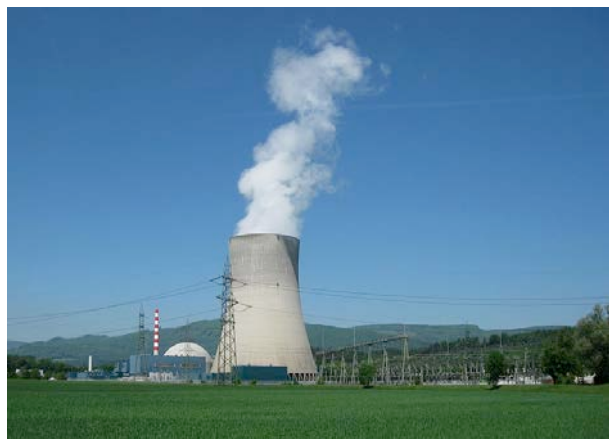
La centrale nucléaire de Leibstadt est la plus récente de Suisse, elle a été mise en service le 15 décembre 1984. Elle dispose d'un réacteur à eau bouillante. La puissance électrique de ce dernier a évolué depuis sa mise en service : de 990 MW en 1994, elle a passé à 1165 MW en 2002.

En 2006, la centrale de Leibstadt a produit 9 367 GWh, soit 35% de la production d'électricité nucléaire de la Suisse. Elle fournit aussi de la vapeur à l'industrie.

Elle est équipée d'une tour de refroidissement comme la centrale de Gösgen

Adapté de :
http://fr.wikipedia.org/wiki/Centrale_nucléaire_de_Leibstadt

2. Centrale nucléaire de Gösgen



http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/2f/Akw_goesgenmai2010.JPG/800px-Akw_goesgenmai2010.JPG

Les études concernant la centrale de Gösgen commencent en 1969. En 1971, le système de refroidissement fut modifié suite à une exigence du Conseil fédéral : initialement prévu grâce aux eaux de l'Aar (comme à Beznau), le refroidissement doit désormais se faire avec une tour de refroidissement afin que la température de l'Aar ne soit pas augmentée. La fusion partielle du cœur du réacteur à eau pressurisée américain de Three Mile Island retarde la mise en service jusqu'en novembre 1979. La puissance de réacteur est alors de 970 MW. Elle a été augmentée depuis pour en faire la première centrale suisse à avoir dépassé la barre symbolique des 1 000 MW (1 GW) de puissance brute.

En 2009, elle a produit une énergie de 8'072 GWh soit le 31% de la production d'électricité nucléaire de la Suisse

Adapté de : Adapté de :
http://fr.wikipedia.org/wiki/Centrale_nucléaire_de_Goesgen

3. Centrale nucléaire de Mühleberg



<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/87/KernkraftwerkMühleberg.jpg>

La centrale nucléaire de Mühleberg a été mise en service le 6 novembre 1972, elle est la seconde centrale nucléaire à être exploitée dans le pays et l'une des plus ancienne au monde.

Le réacteur à eau bouillante de la centrale de Mühleberg, d'une puissance électrique de 335 MW, en fait la plus petite centrale en termes de puissance. Depuis le début de son activité, la puissance a été augmentée à plusieurs reprises : elle était de 320 MWe à sa mise en service et de 335 MWe depuis le 11 novembre 1993.

En 2006, la centrale de Mühleberg a produit 2 867 GWh, soit 11% de la production d'électricité nucléaire de la Suisse.

Adapté de :

http://fr.wikipedia.org/wiki/Centrale_nucléaire_de_Gösgen

4. Centrale nucléaire de Beznau 1 & 2



http://static.ensi.ch/1332536141/sga_3053.jpg

La centrale nucléaire à eau pressurisée de Beznau est la plus ancienne centrale nucléaire en activité au monde. Elle a été mise en service en 1969. Elle ne possède pas de cheminée de refroidissement à l'air, car le refroidissement se fait avec l'eau de l'Aar. Elle est la seule centrale nucléaire du pays à disposer de deux réacteurs :

Beznau 1 (1969) : 365 MW,

Beznau 2 (1971) : 365 MW

Leur puissance électrique, de 350 MW au début de leur exploitation a été portée depuis à 730 MW, ce qui en fait la troisième centrale nucléaire de suisse en termes de puissance. En 2006, les réacteurs de Beznau 1 et 2 ont produit respectivement 2 920 et 3'058 GWh, soit 23 % de la production d'électricité nucléaire de la Suisse. La centrale est utilisée en base, elle produit une puissance constante et ne réalise pas de suivi de charge. En plus de l'électricité, la centrale alimente environ 18 000 habitants de la région en chaleur

Adapté de :

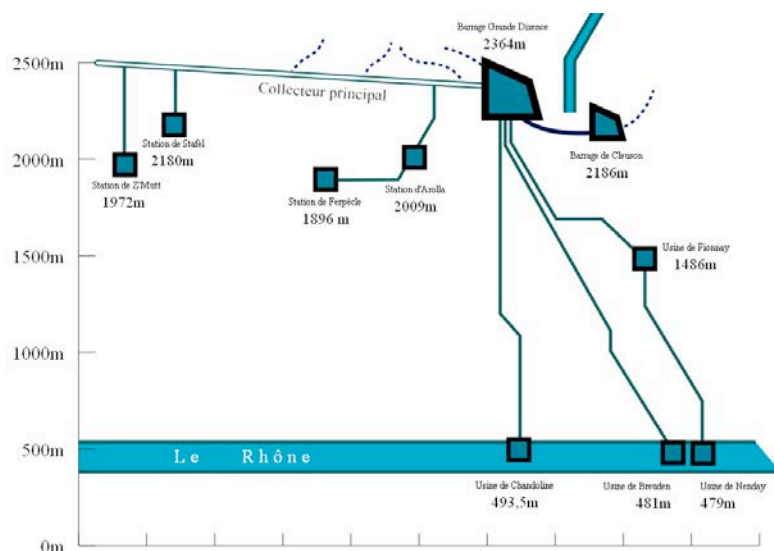
http://fr.wikipedia.org/wiki/Centrale_nucléaire_de_Beznau

5. Complexe de la Grande Dixence



Le barrage de la grande-Dixence est le plus haut barrage-poids du monde. Les travaux ont commencé en 1950 et se sont terminés en 1961. La hauteur de son mur est de 285 mètres. Son poids est environ de 15 millions de tonnes. Il retient 400 millions de m³ d'eau. A la base du barrage, le mur a une largeur de 200 mètres. Il s'affine pour atteindre 15 mètres au sommet et on mesure 700 mètres d'une rive à l'autre.

http://www.ecg-ju.net/ecg1/eleve/or_media/archives2013/or_web1/web_audrey/vallais/grande_dixence.jpg



L'eau accumulée grâce au barrage de la Grande Dixence est acheminée, selon les besoins en énergie, vers les trois usines de production situées en contrebas, à savoir les usines souterraines de Fionnay-Dixence, puissance 290 MW, de Nendaz, puissance 390 MW, et de Bieudron, la plus puissante avec ses 1'270 MW.

Ensemble, ces centrales représentent une puissance totale de près de 2'000 MW et produisent plus de 2'000 GWh par an (production essentiellement aux heures de forte consommation). Une fois turbinées, les eaux sont restituées au Rhône.

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/e/e3/Installations_hydroélectriques_de_la_Grande_Dixence.svg/800px-Installations_hydroélectriques_de_la_Grande_Dixence.svg.png



Centrale de Fionnay



Centrale de Bieudron

Pour des raisons d'efficacité énergétique et d'optimisation de la production, l'exploitation de la centrale de Chandoline a été suspendue en juillet 2013 pour une durée indéterminée.

Adapté de : <http://www.grande-dixence.ch/energie/hydraulique/valais/usines-production-1.html>

Ci-contre :
<http://www.hydro-exploitation.ch/data/images/ouvragesExploites/UsineFionnay.jpg>
http://www.alpiq.com/fr/images/bieudron_power_station_700x500px_tcm97-66284.jpg

6. Complexe de Mauvoisin



<http://www.hydrelect.info/img/Valais/Mauvoisin2.jpg>

Le lac de Mauvoisin est retenu par un barrage voûte dont la construction a été achevée en 1958. La surélévation de 1991 a fait passer la hauteur totale du mur de 237 m à 250 m.

La largeur de l'ouvrage à sa base est de 53 m, et de 12 m au couronnement, pour un volume total de 2 030 000 m³. Le couronnement s'étire sur 520 m, et subit une déformation de 70 mm sous la pression des eaux de retenue.

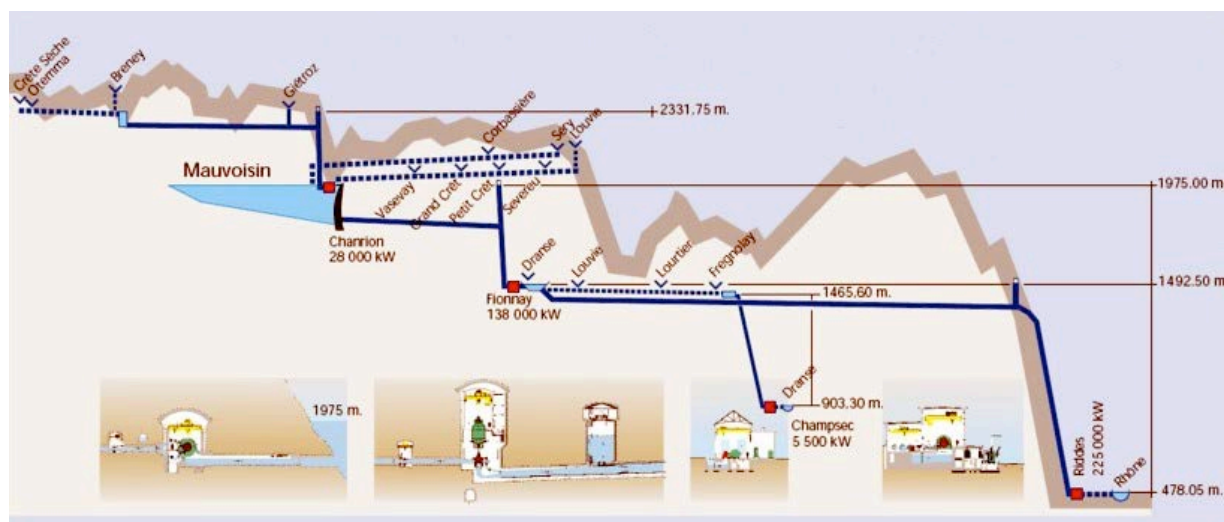
Le barrage bloque les eaux d'un bassin versant de 113,5 km², portant le lac, à son niveau optimal, à un volume de 211,5 millions de m³.

La longueur du lac est de 4,9 km pour une surface de 208 ha et une profondeur de plus de 200 m (toujours en cas de retenue maximale).

Le niveau normal de retenue se situe à 1'975 m d'altitude.

La production d'électricité est assurée par la société Forces Motrices de Mauvoisin SA à Sion (FMM SA), qui dispose de centrales électriques à Fionnay-Mauvoisin, Riddes, Chanrion et Champsec.

Adapté de : http://fr.wikipedia.org/wiki/Lac_de_Mauvoisin



L'usine de Riddes est la plus puissante des usines alimentées par l'eau du lac de Mauvoisin. Sa puissance maximale est de 225 MW et sa production annuelle d'énergie électrique de 662 GWh.

Avec une puissance maximale de 5,5 MW, l'usine de Champsec est une "petite" centrale.

L'usine de Fionnay-Mauvoisin, plus importante, a une puissance maximale est de 138 MW.

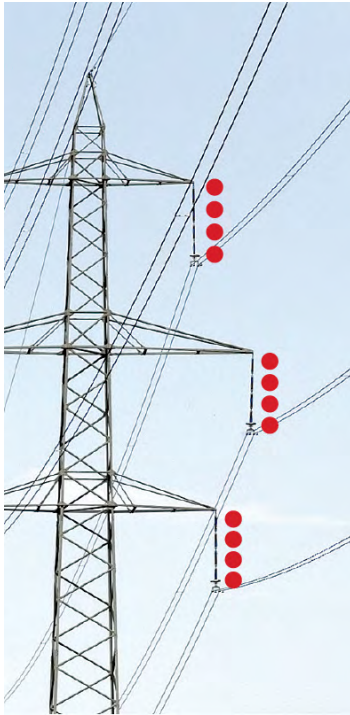
L'usine de Chanrion a une puissance maximale est de 28 MW.

Ces trois usines produisent annuellement une énergie de 440 GWh, ce qui fait que l'ensemble des usines électriques alimentées par le lac de Mauvoisin, avec Riddes, produit environ 1'000 GWh par an.

Différents types de lignes de transport de l'énergie électrique

Photos tirés de http://www.swissgrid.ch/dam/swissgrid/company/publications/fr/mastbilder_freileitungen_fr.pdf

1



Ligne à 380 kV
Très haute tension

Les points rouges indiquent que les chaînes d'isolateurs comprennent 4 éléments. La longueur de la chaîne d'isolateurs est d'environ 5 m.

Chacun des trois étages du pylône supporte deux conducteurs se rapportant à l'une des trois phases du réseau. Un jeu de trois phases est ce que les électriciens appellent une terna. Les lignes comportent généralement deux ternes (6 isolateurs).

2



Ligne à 220 kV
Très haute tension

Les points verts indiquent que les chaînes d'isolateurs comprennent 3 éléments. La longueur de la chaîne d'isolateurs est d'environ 4 m.

On voit ici l'une des deux ternes de la ligne triphasée.

Le câble situé tout en haut est fixé au pylône sans isolateur. Il est électriquement relié à la terre.

3



Ligne à 110-150 kV
Haute tension

Les points jaunes indiquent que les chaînes d'isolateurs comprennent 3 éléments. La longueur de la chaîne d'isolateurs est d'environ 2 m.

On voit ici l'une des deux ternes de la ligne triphasée ainsi que le câble de mise à terre au sommet du pylône.

4



Ligne à 10-35 kV
Moyenne tension

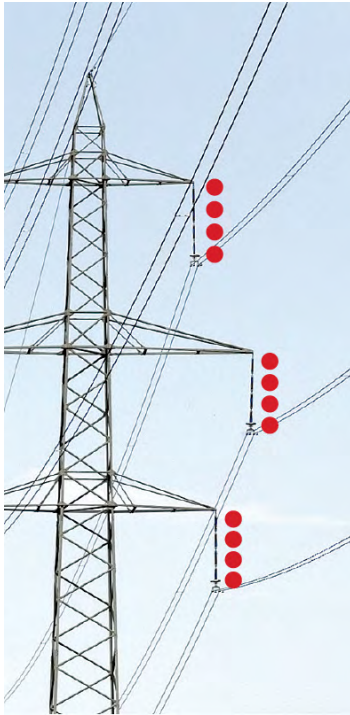
Ligne du réseau de distribution. Ce sont généralement des pylônes en ciment armé.

On voit ici les deux ternes de la ligne triphasée ainsi que le câble de mise à terre au sommet du pylône.

Différents types de lignes de transport de l'énergie électrique

Photos tirés de http://www.swissgrid.ch/dam/swissgrid/company/publications/fr/mastbilder_freileitungen_fr.pdf

1



Ligne à 380 kV
Très haute tension

Les points rouges indiquent que les chaînes d'isolateurs comprennent 4 éléments. La longueur de la chaîne d'isolateurs est d'environ 5 m.

Chacun des trois étages du pylône supporte deux conducteurs se rapportant à l'une des trois phases du réseau. Un jeu de trois phases est ce que les électriciens appellent une terna. Les lignes comportent généralement deux ternes (6 isolateurs).

2



Ligne à 220 kV
Très haute tension

Les points verts indiquent que les chaînes d'isolateurs comprennent 3 éléments. La longueur de la chaîne d'isolateurs est d'environ 4 m.

On voit ici l'une des deux ternes de la ligne triphasée.

Le câble situé tout en haut est fixé au pylône sans isolateur. Il est électriquement relié à la terre.

3

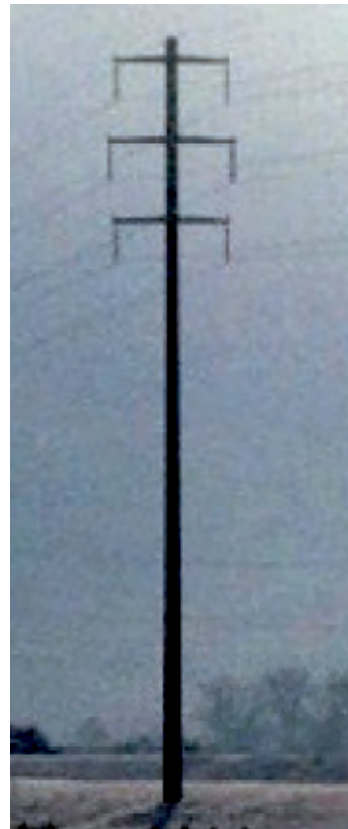


Ligne à 110-150 kV
Haute tension

Les points jaunes indiquent que les chaînes d'isolateurs comprennent 3 éléments. La longueur de la chaîne d'isolateurs est d'environ 2 m.

On voit ici l'une des deux ternes de la ligne triphasée ainsi que le câble de mise à terre au sommet du pylône.

4



Ligne à 10-35 kV
Moyenne tension

Ligne du réseau de distribution. Ce sont généralement des pylônes en ciment armé.

On voit ici les deux ternes de la ligne triphasée ainsi que le câble de mise à terre au sommet du pylône.