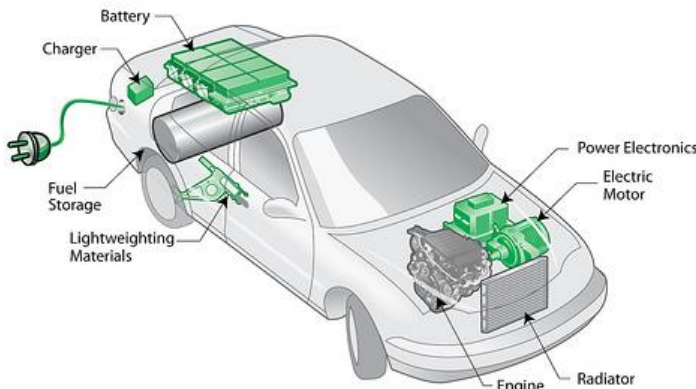


Les sources d'énergie

I Source de tension sinusoïdale	2
1. Réseau monophasé	2
a) Caractéristique d'une tension sinusoïdale	2
b) Représentation d'une grandeur sinusoïdale	2
c) Puissances	7
d) Qualité de la tension d'une source sinusoïdale	9
2. Réseau de tensions triphasés	10
3. Adaptation de tension	11
a) Principe	12
b) Relation entrée sortie	12
c) Symbolisation	12
II Sources continues	13
1) Accumulateur (ou piles)	13
a) Principe	13
b) Caractéristiques principales	14
c) Les principaux couples électrochimiques	14
2) Cellules photovoltaïques	15



LES SOURCES D'ENERGIE

Tout système, industriel ou grand public, a besoin d'une source d'énergie. Une source d'énergie est un phénomène physique permettant d'exploiter l'énergie primaire. Un système peut disposer de source d'énergie de différentes natures : électrique, chimique, hydraulique, pneumatique . . .

Chaque source d'énergie a ses caractéristiques propres et est intimement lié aux convertisseurs d'énergie qu'il sera nécessaire d'inclure dans le système. Lors de la conception d'un produit, un ingénieur doit donc sélectionner l'ensemble de la chaîne d'énergie (source + module électronique + convertisseur d'énergie) la plus adéquate en fonction des objectifs et des autres composants du système à concevoir.

Dans ce cours, nous allons aborder les principales sources d'énergie électrique.

I SOURCE DE TENSION SINUSOÏDALE

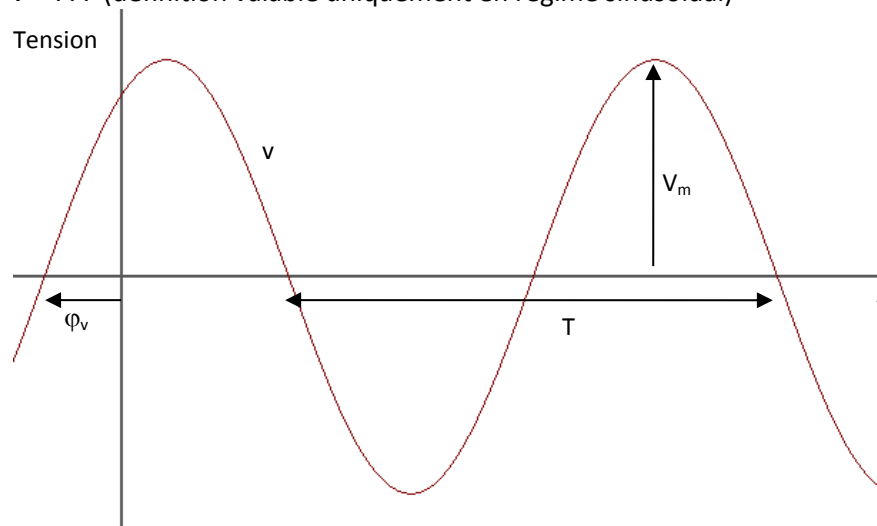
L'énergie électrique se présente dans la grande majorité des cas sous la forme de tensions sinusoïdales, produites à partir d'alternateur. Dans le cas d'installations domestiques ou de faible puissance, on a à faire à un réseau de tension sinusoïdale monophasé. Par contre, en forte puissance, pour des raisons économiques, on préfère utiliser un système de tensions triphasées.

1. Réseau monophasé

a) Caractéristique d'une tension sinusoïdale

Une tension sinusoïdale v est caractérisée par son amplitude V_m , sa pulsation ω et sa phase à l'origine φ_v et s'écrit sous la forme : $v(t) = V_m \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_v)$

On définit également : la fréquence $f = \dots$ (soit $\omega = \dots$), la période $T = \dots$, sa valeur efficace $V = \dots$ (définition valable uniquement en régime sinusoïdal)



Rq : - Généralement, la valeur moyenne d'une tension sinusoïdale du secteur est nulle. $\langle v \rangle = 0$

- La valeur efficace se calcule en régime quelconque par la formule suivante : $V_{\text{eff}} = \sqrt{\langle v^2 \rangle}$

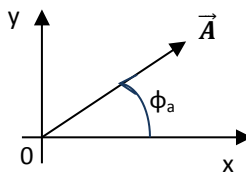
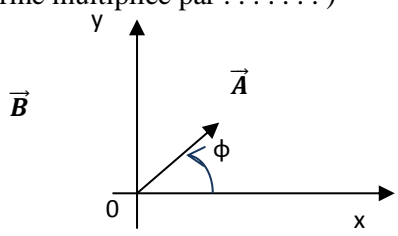
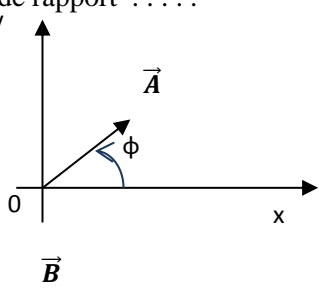
b) Représentation d'une grandeur sinusoïdale

La représentation d'une tension sinusoïdale par son expression en temporelle n'est pas des plus aisée. En effet, dans une loi des mailles par exemple, on a besoin d'additionner des tensions. Or cela est compliqué analytiquement avec des fonctions sinusoïdales.

i) Diagramme de Fresnel

Une première représentation possible est une représentation vectorielle. On fait correspondre à un signal sinusoïdal un vecteur dont la norme est l'amplitude du signal électrique et l'angle du vecteur est la phase à l'origine du signal.

On a alors les propriétés suivantes :

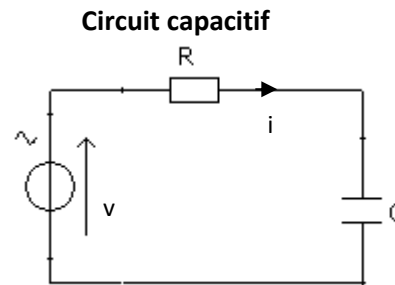
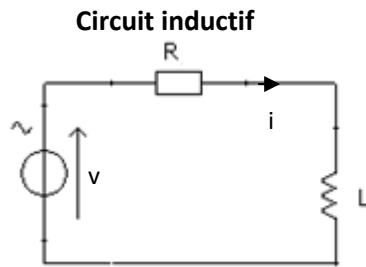
Temporel	Fresnel
$a(t)=A_m \cdot \sin(\omega \cdot t + \phi_a)$	<p>Vecteur \vec{A} de norme A_m (ou valeur efficace), d'angle $(\vec{x}, \vec{A}) = \phi_a$</p> 
Somme : $a(t)=a_1(t)+a_2(t)$	Vecteur $\vec{A} = \vec{A}_1 + \vec{A}_2$
Multiplication par un réel λ : $b(t)=\lambda \cdot a(t)$	Homothétie du vecteur par λ : $\vec{B} = \lambda \cdot \vec{A}$
Dérivation : $b(t) = \frac{d a(t)}{dt}$	<p>Vecteur obtenu par rotation de , puis homothétie de rapport (norme multipliée par)</p> 
Intégration : $b(t) = \int a(t) dt$	<p>Vecteur obtenu par rotation de , puis homothétie de rapport</p> 

Rq : Dans la représentation de Fresnel, la pulsation n'intervient pas car dans un circuit électrique, toutes les grandeurs ont la même pulsation, la pulsation n'est donc pas un critère distinctif.

Un diagramme de Fresnel consiste souvent en la représentation d'une loi des mailles sous forme vectorielle. Dans ce type de diagramme, on représente les tensions mais également au moins un courant. Le déphasage φ entre le courant passant dans un dipôle et la tension à ces bornes est compté positivement de \vec{I} vers \vec{V} (sens trigonométrique). ($\varphi = \varphi_u - \varphi_i$)

Si on prend la tension comme référence des temps (phase à l'origine de v nulle), on a alors : $v(t) = V_m \cdot \sin(\omega \cdot t)$, on peut alors écrire : $i(t) = I_m \cdot \sin(\omega \cdot t - \varphi)$

Si on prend $i(t)$ comme référence des temps on a alors : $i(t) = I_m \cdot \sin(\omega \cdot t)$ et $v(t) = V_m \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi)$.



Fresnel :

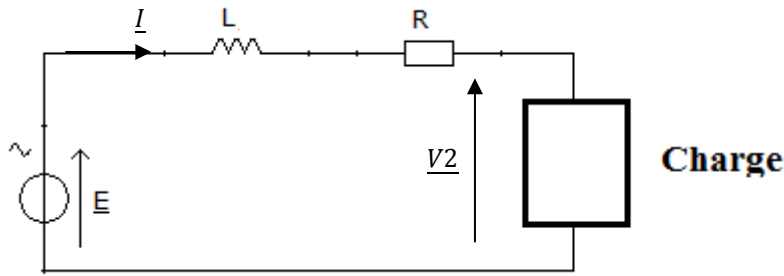
Chronogramme :

Exemple d'application : chute de tension de ligne

EDF fournit une tension sinusoïdale de 230 V avec une fréquence de 50 Hz. Cependant, entre le point de distribution du 230 V et le point d'utilisation, la longueur de câble peut être élevée. Or, le courant consommé par les installations circule dans ces câbles et crée une chute de tension. Ainsi, à l'arrivée, on n'aura plus 230 V disponibles. Des normes imposent des chutes maximales à respecter suivant le type d'application. (3% pour les luminaires, 5 % pour les autres applications).

Nous allons établir le diagramme de Fresnel permettant de représenter ce phénomène et d'établir une formule approchée de la chute de tension.

On représente le transformateur EDF fournissant le 230 V par une fem, le câble délivrant l'énergie électrique par une résistance en série avec une bobine. On a le schéma page suivante :



La charge absorbe un courant de 50 A, et a un $\cos \varphi$ de 0,75 (charge inductive). $R=0,4 \Omega$ et $L=4 \text{ mH}$.
Loi des mailles :

Diagramme de Fresnel :

Expression de la chute de tension :

R_q : en tension continu, on constate donc que pour une intensité de ligne et un même diamètre, la chute de tension est plus faible car pas d'effet inductif (d'où utilisation de ligne à courant continu pour la distribution d'énergie électrique sur de grandes distances, cas de la Chine)

ii) Nombre complexe

Une autre représentation consiste à utiliser la notation complexe. En effet, le diagramme de Fresnel permet d'avoir une vision graphique du circuit mais cela se prête mal aux calculs.

On préfère donc souvent pour l'étude des circuits en régime sinusoïdal la correspondance donnée ci-dessous :

Temporel	Complexe
$a(t)=A_m \cdot \sin(w \cdot t + \varphi)$	Nombre complexe : $\underline{A} = \dots\dots\dots$
Somme : $a(t)=a_1(t)+a_2(t)$	$\underline{A} = \underline{A}_1 + \underline{A}_2$
Multiplication par un réel λ : $b(t)=\lambda \cdot a(t)$	Multiplication du complexe par le réel λ $\underline{B} = \lambda \cdot \underline{A}$

Dérivation : $b(t) = \frac{d a(t)}{dt}$: $\underline{B} =$
Intégration : $b(t) = \int a(t)dt$: $\underline{B} =$

La notation complexe appliquée aux relations tension courant des dipôles passifs permet d'introduire la notion d'impédance :

Temporel	Complexes
Condensateur : $i(t) = C \times \frac{d u(t)}{dt}$	$\rightarrow \underline{I} = \dots \rightarrow \underline{Z}_C = \dots$ $\underline{U} = \dots$
Bobine : $u(t) = L \times \frac{d i(t)}{dt}$	$\rightarrow \underline{U} = \dots \rightarrow \underline{Z}_L = \dots$

La loi d'ohm se généralise ainsi en complexe : $\underline{U} = \dots$

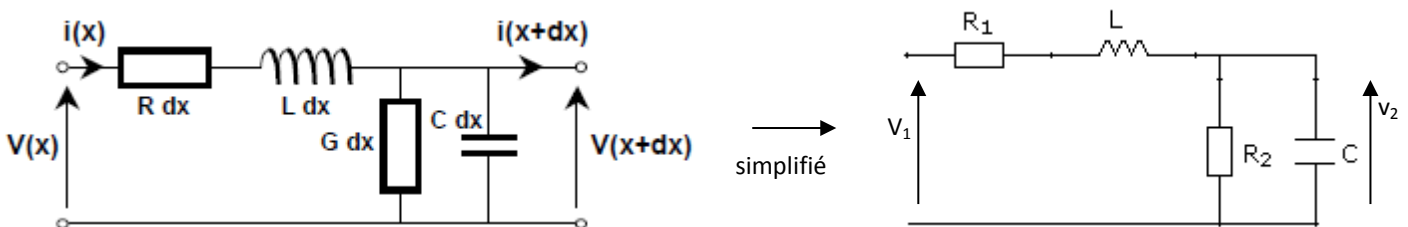
On peut alors utiliser les lois de Kirchhoff, les diviseurs, théorème de Millmann ... comme en régime continu mais avec la notation complexe.

Rq : - L'inverse de l'impédance d'un dipôle est son admittance $\underline{Y} = \frac{1}{\underline{Z}}$.

- Les lois de Kirchhoff ne s'appliquent pas en valeurs efficaces.
- Les lois d'associations de dipôles en parallèle et en série s'appliquent également pour les impédances complexes.

Exemple de calcul d'impédance équivalente : ligne de transmission

Une ligne de transmission haute fréquence (câble coaxiale TV par exemple) peut être modélisée sur une petite portion de câble par le circuit page suivante :



c) Puissances

i) définitions

La puissance instantanée $p(t)=u(t).i(t)$ est bien évidemment fluctuante en régime sinusoïdal et ne correspond pas à la puissance utile en électricité. La puissance utile est appelée puissance active et se calcule par la valeur moyenne de la puissance instantanée.

$$P = \langle p \rangle = \langle v(t).i(t) \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T V\sqrt{2}. \sin(\omega t) \times I\sqrt{2}. \sin(\omega t - \varphi) dt = \frac{2.V.I}{T} \int_0^T \frac{\cos(\omega t - \omega t + \varphi) - \cos(\omega t + \omega t - \varphi)}{2} dt$$

$$P = \frac{V.I}{T} \int_0^T [\cos(\varphi) - \cos(2\omega t + \varphi)] dt = \frac{V.I}{T} \times [T. \cos(\varphi) - 0] = \dots\dots\dots$$

L'unité de la puissance active est le

On trouve également d'autres définitions de puissance :

- Puissance : $Q = \dots\dots\dots$ unité le
- Puissance : $S = \dots\dots\dots$, unité le

On utilise également le facteur de puissance $k = \dots\dots\dots$ qui permet de définir la bonne utilisation ou non de l'énergie électrique. (En pratique, bon si k de l'ordre de 0,9). En régime sinusoïdal, on a $k = \cos \varphi$.

Les relations de trigonométrie nous donnent les relations suivantes :

..... et $\frac{Q}{P} = \dots\dots\dots$

La puissance apparente complexe $\underline{S} = \underline{V} \times \underline{I}^*$ permet dans une définition d'inclure toutes les puissances utilisées en régime sinusoïdal. En effet, on a également la relation : $\underline{S} = P + j.Q$

ii) Applications aux dipôles de base

Ces définitions de puissances appliquées aux dipôles de base donnent les formules résumées dans le tableau ci-dessous :

dipôle	Résistance	Bobine (inductance)	condensateur
P	$P = \dots\dots\dots$	$P = \dots\dots$	$P = \dots\dots$
Q	$Q = \dots\dots$	$Q = \dots\dots = \dots\dots$	$Q = -\frac{I^2}{C\omega} = -C\omega \cdot U^2$ Q < 0 car le condensateur fournit de la puissance réactive
φ	$\varphi = \dots\dots$	$\varphi = \dots\dots$	$\varphi = \dots\dots$

iii) Théorème de Boucherot :

Dans une installation comportant plusieurs circuits en parallèle, La puissance active totale est la somme de la puissance active de chaque sous circuit, idem pour la puissance réactive. (Mais cela ne fonctionne pas pour la puissance apparente)

$P_t = \dots\dots\dots$, $Q_t = \dots\dots\dots$ et $S_t = \dots\dots\dots$

Le courant efficace total se calcule en passant par la puissance apparente : $I_t = \frac{S_t}{U} \neq \sum I$

Exemple : Relèvement du facteur de puissance

A partir d'une certaine puissance, les industriels sont soumis à un tarif spécifique de l'électricité. Ces tarifs prévoient une taxe au client qui aurait un facteur de puissance trop faible (Car à même puissance active facturée, une installation avec un mauvais cos φ entraîne un surdimensionnement des câbles et des transformateurs pour le fournisseur d'électricité)

Pb : On alimente sous la tension 230 volts du secteur un poste de travail constitué de 10 lampes à incandescence de 100 W et d'un moteur de puissance utile 3 680 W. À pleine charge, le rendement du moteur est $\eta = 0,75$ et le facteur de puissance 0,707. (On rappelle que $\eta = P_u/P_a$, une lampe est assimilable à une résistance)

1. Calculer la puissance absorbée P_o par le moteur
2. Calculer le facteur de puissance $\cos \varphi$ du poste de travail et l'intensité du courant absorbé à pleine charge.
3. On veut relever le facteur de puissance à $\cos \varphi = 0,866$. Calculer la valeur du condensateur nécessaires ainsi que la nouvelle intensité I' du courant absorbé par le poste.

.....

.....

.....

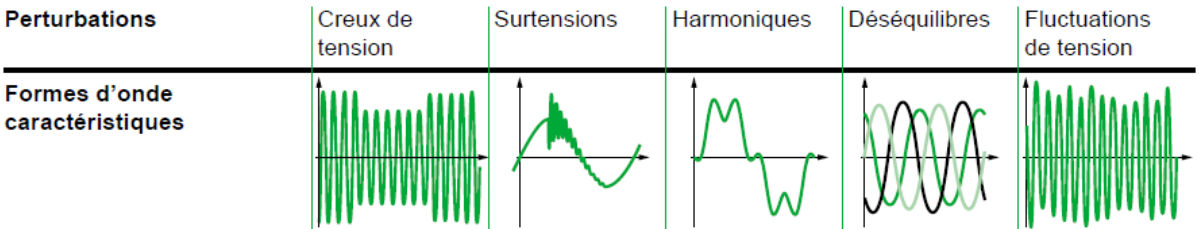
.....

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

d) Qualité de la tension d'une source sinusoïdale

La qualité de la tension délivrée par un fournisseur d'énergie est un paramètre primordial. Un défaut , une coupure peuvent avoir d'énormes conséquences (ex : pertes de données en informatique, arrêt de ligne de production dans l'industrie). Dans l'idéal, la tension devrait être purement sinusoïdale avec une amplitude, une fréquence fixes. Les défauts les plus souvent rencontrés sont les suivants :

- Creux de tension : due à des pics de consommation (fort courant) sur une des charges qui entraîne une chute de tension transitoire dues aux inductances de ligne.
- Surtension : due à la foudre, branchements de condensateurs, défaut d'isolement. ..
- Harmoniques de tension (cf note ci-dessous) : due aux courants non sinusoïdaux absorbés par les charges fortement non linéaire (cf annexe).



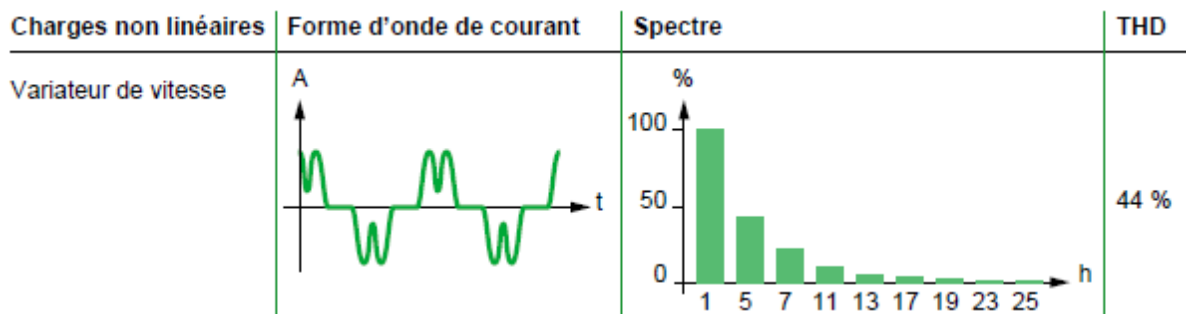
Note : Toute grandeur périodique y(t) peut s'exprimer sous la forme d'une somme de grandeurs sinusoïdales :

$$y(t) = Y_0 + \sum_{h=1}^{\infty} Y_h \sqrt{2} \sin(2 \pi h f + \phi_h)$$

Les coefficients $Y_h \sqrt{2} \sin(2 \pi h f t + \phi_h)$ de la série de Fourier de $y(t)$. La composante Y_h , est l'harmonique de rang h du signal, elle a une fréquence égale à h fois la fréquence du signal périodique.
 Y_0 est la valeur moyenne de $y(t)$.

On représente l'importance des harmoniques d'un signal en traçant un histogramme donnant l'amplitude de chaque harmonique en fonction de la fréquence de l'harmonique.

Exemple de spectre du courant consommé par un variateur de vitesse pour moteur asynchrone :



Les harmoniques de tension peuvent être mesurés par l'intermédiaire d'une grandeur : le taux de distorsion harmonique

Sa valeur efficace est : $Y_{\text{eff}} = \sqrt{Y_0^2 + Y_1^2 + Y_2^2 + Y_h^2 + \dots}$

Le taux de distorsion harmonique (THD) est donné par la formule : $THD = \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} \left(\frac{Y_h}{Y_1}\right)^2}$
Un signal sinusoïdal doit avoir le THD le plus faible possible.

Le taux de distorsion du réseau électrique est presque partout inférieur à 2% en HTB, 5% en HTA et 7% en BT.

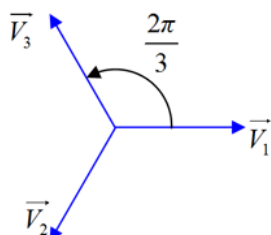
2. Réseau de tensions triphasés

Les tensions sinusoïdales monophasées étudiées précédemment proviennent en fait de réseau de tensions triphasées. Dès que la puissance demandée par une installation devient importante, l'alimentation se fait en triphasé.

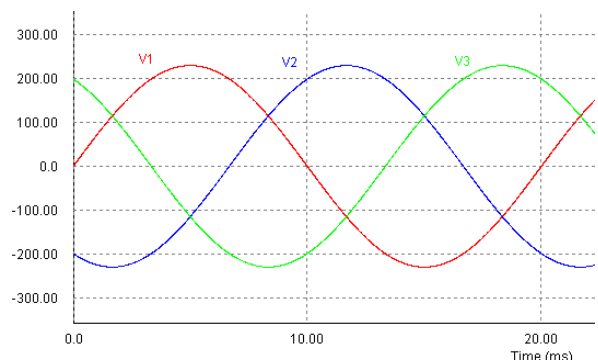
On dispose alors de 3 tensions de mêmes valeurs efficaces dans un réseau équilibré, (cas étudié dans

$$v_1 = v_1(t) = V\sqrt{2} \cdot \sin(\omega t)$$

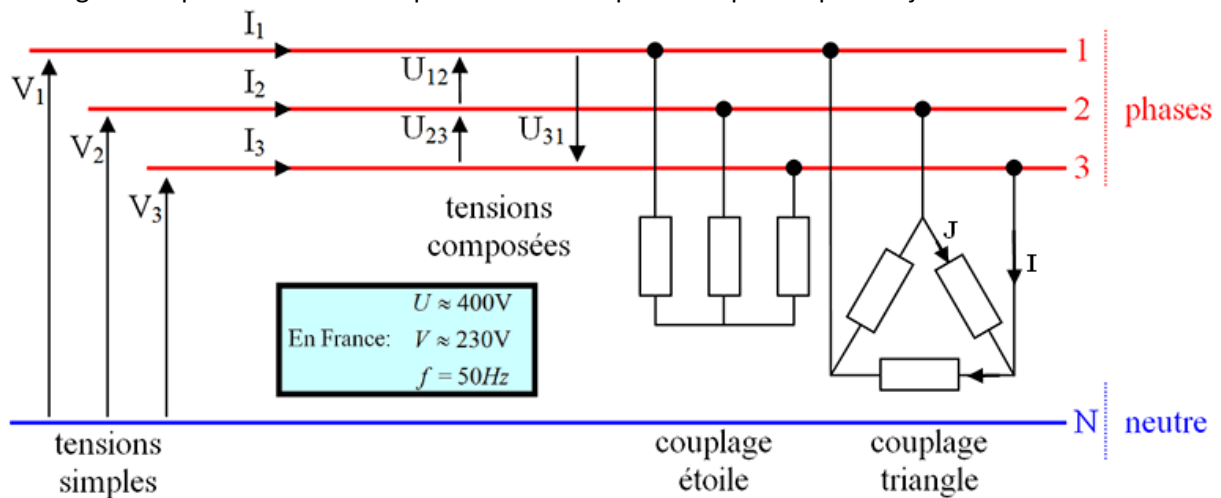
$$v_2 = v_2(t) = V\sqrt{2} \cdot \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$v_3 = v_3(t) = V\sqrt{2} \cdot \sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right)$$


ce cours) et déphasées d'un tiers de période :



Rq : En régime équilibré, la somme des 3 tensions (ou courant) d'un réseau triphasé est nulle.
L'énergie en triphasé est distribuée par 3 fils dits de phase auquel on peut adjoindre un fil de neutre



On appelle tension simple la tension entre le neutre et une phase, tension composée, la tension entre deux phases. (Côté chargé I est le courant de ligne, J le courant de phase)

On a la relation en valeurs efficaces : $U = \sqrt{3} \cdot V$ (et $I = \sqrt{3} \cdot J$)

Les puissances en triphasé sont données par les formules suivantes :

$P = \dots\dots\dots$
 $Q = \dots\dots\dots$
 $S = \dots\dots\dots$

Les formules de Boucherot restent toujours valables

Rq : Le réseau électrique de distribution est un réseau triphasé et non monophasé car il est beaucoup moins onéreux pour le fournisseur d'énergie : En général, le neutre n'est pas distribué. Ainsi, avec 3 câbles, on dispose d'une puissance $P = 3 \cdot V \cdot I \cdot \cos(\varphi)$ alors qu'en monophasé, pour deux câbles (à même tension et courant), $P = V \cdot I \cdot \cos(\varphi)$. Le rapport puissance/ câble (=coût) est donc moitié moindre pour le réseau triphasé.

3. Adaptation de tension

Si le courant que nous utilisons dans les prises EDF est sinusoïdal, cela est dû à un composant : le transformateur.

Au début de l'ère de l'électricité, les générateurs, charges et appareils étaient conçus pour un courant continu. De plus, en continu, la chute de tension est moins importante. La suite logique aurait donc été d'avoir un réseau de tension continue.

Cependant, lorsque l'on désire transporter l'énergie électrique, il est préférable (car plus rentable) de le faire à tension élevée. En effet, pour une même puissance, plus la tension est élevée, plus le courant est faible. Or c'est le courant qui dimensionne la section de câble, donc la quantité de matière (aluminium) à payer.

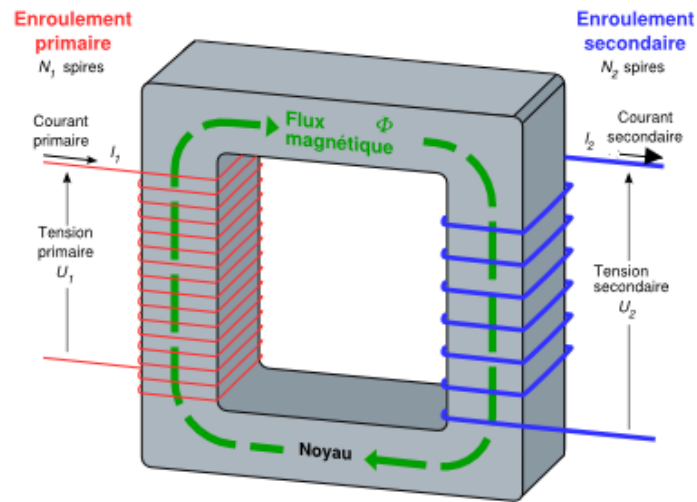
Le problème est qu'en régime continu, il était impossible d'élever la tension (et actuellement cela reviendrait encore trop cher à puissance élevée) alors qu'en régime sinusoïdal, un composant permet de réaliser ceci très simplement : le transformateur.

Le transformateur existe aussi bien en monophasé qu'en triphasé. Cependant, cette année, nous n'allons étudier que le transformateur monophasé supposé parfait.

a) Principe

Le principe du transformateur repose sur le transfert de champ magnétique d'un bobinage à un autre. Un transformateur comporte un bobinage primaire de N_1 spires et un bobinage secondaire (N_2 spires) enroulés autour d'un même circuit magnétique permettant la circulation du champ magnétique :

Le bobinage primaire étant soumis à une tension u_1 , un courant sinusoïdal circule dans le bobinage. Il crée alors un flux magnétique ϕ qui va circuler dans le circuit magnétique (flux lui aussi sinusoïdal). Ce flux va être vu par les spires du bobinage secondaire, Or ce flux étant variable, il y a création d'une différence de potentielle (c'est-à-dire une tension u_2) entre les 2 bornes du bobinage : loi de Lenz.



b) Relation entrée sortie

i) Relation en tensions

Au primaire, la loi de Lenz ($e = -\frac{d\phi}{dt}$) donne la relation suivante : $U_1 = -E_1 = N_1 \cdot \frac{d\phi}{dt}$

De la même façon, appliquée au secondaire, on obtient : $U_2 = N_2 \cdot \frac{d\phi}{dt}$

On a donc : $\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} = m$ rapport de transformation

ii) Relation en courant

On va appliquer le théorème d'Ampère ($\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = \sum I$) sur le contour de la ligne centrale du circuit magnétique :

On note H la valeur vecteur excitation magnétique dans la carcasse métallique, L la longueur moyenne de la carcasse, μ la perméabilité du métal. On a alors :

$$H \cdot L = N_1 \cdot i_1 - N_2 \cdot i_2$$

Or dans un transformateur parfait, la perméabilité du fer est infinie, la relation devient :

$$N_1 \cdot i_1 = N_2 \cdot i_2 \rightarrow \frac{i_1}{i_2} = \frac{N_2}{N_1}$$

On peut constater que le transformateur parfait ne modifie pas la puissance instantanée $u_1 \cdot i_1 = u_2 \cdot i_2$

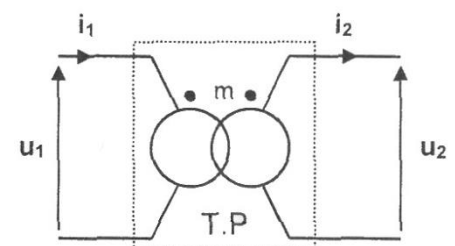
c) Symbolisation

Le symbole normalisé du transformateur parfait est le suivant :

Le primaire est en convention récepteur, le secondaire en convention générateur.

Les 2 cercles représentent les 2 bobinages.

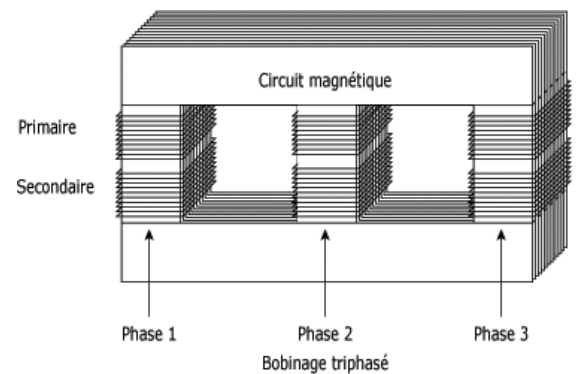
Les 2 points représentent les bornes homologues.(points qui donnent le sens du courant donnant un flux positif)



Rq : Dans un transformateur réel, les relations entre tension de sortie et d'entrées ne sont pas aussi simples. Il faut prendre en compte les pertes par hystérésis, par effets joules, les flux de fuites ...

La constitution des transformateurs est également plus complexe que cela ne pourrait paraître, cf diaporama en cours. On trouve bien sûr aussi des transformateurs triphasés.

Les grandeurs caractéristiques d'un transformateur sont sa puissance apparente : $S=U_1.I_1=U_2.I_2$ et d'autres grandeurs prenant en compte les imperfections du transformateur (non vues ici, car seul le transformateur parfait est au programme d'ATS).



II SOURCES CONTINUES

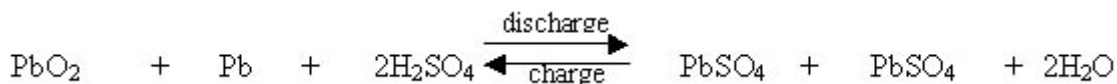
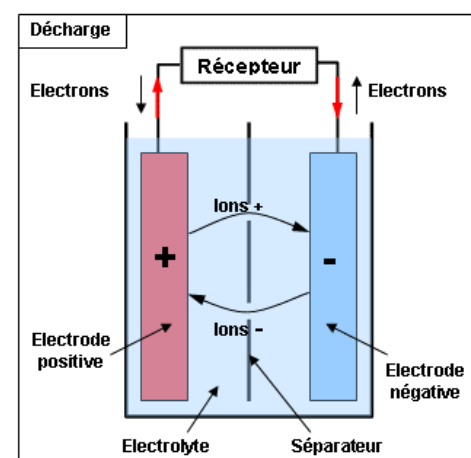
Ces sources prennent notamment un essor important du fait de la généralisation des appareils nomades alimentés par des batteries ou du prochain avènement des véhicules électriques. Une source est 'parfaitement' continue si elle délivre une valeur invariable dans le temps. Par extension, on peut également parler de source continue, lorsque la valeur moyenne du signal est non nulle.

1) Accumulateur (ou piles)

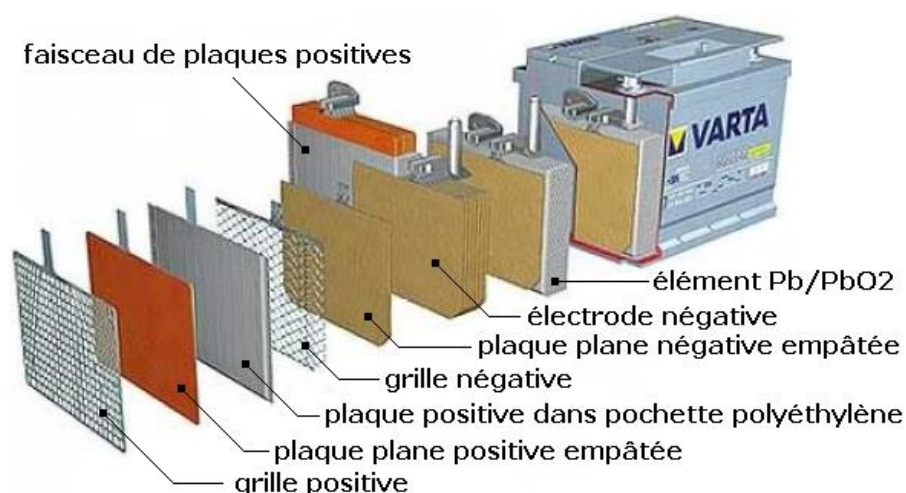
a) Principe

Les piles (non rechargeables) ou accumulateurs (rechargeables) sont des dispositifs fournissant une tension électrique suite à une réaction chimique d'oxydoréduction. Le transfert d'ions dans l'accumulateur se traduit en mouvement d'électrons donc en courant dans le circuit électrique.

Par exemple, dans les batteries au plomb, l'électrolyte est l'acide,



Les accumulateurs se comportent généralement comme des sources de tension (avec une très faible résistance interne). Suivant le couple d'éléments chimiques mis en œuvre, on obtient des niveaux de tensions différentes.



← Ex : Structure d'une batterie au plomb

b) Caractéristiques principales

Les principales caractéristiques (d'un point de vue théorique, calculatoire) d'un accumulateur sont :

- La tension à vide (fém.) : Comme dit précédemment, cette tension dépend des électrolytes utilisés et du nombre d'éléments en série constituant la batterie.
- La capacité de la batterie C en Ampère heure (A.h) : elle représente l'énergie disponible.
Ex : une batterie de 60A.h peut dissiper sous la tension nominale un courant de 60 ampères pendant une heure (ou 10 A pendant 6 heures ...)
R_g : la capacité n'est pas une donnée fixe, elle dépend notamment de la température, du courant de décharge.
- La résistance interne, (une résistance faible permettra de débiter de forts courants).

D'un point de vue industriel, les paramètres importants sont :

- la densité massique ou volumique (énergie par kg ou par l)
- le cout de fabrication
- la présence ou non d'effet mémoire (diminution de l'énergie disponible lorsqu'on recharge la batterie non déchargée)
- le nombre de charge/recharge possible ...

c) Les principaux couples électrochimiques

- Batterie plomb

Tension nominale d'un élément : 2.1 V

Faible énergie massique mais forte densité de courant (permet les démarrages de moteurs à fort pic de courant)

Peu d'effet mémoire

- Accumulateur NiMH (piles rechargeables)

Remplace les NiCd car moins d'effet mémoire, et énergie massique 40% supérieure.

Tension d'un élément : 1,2 V

Pas d'élément réellement toxique (contrairement au cadmium)

Supporte les forts courants de charge

- Pile alcaline

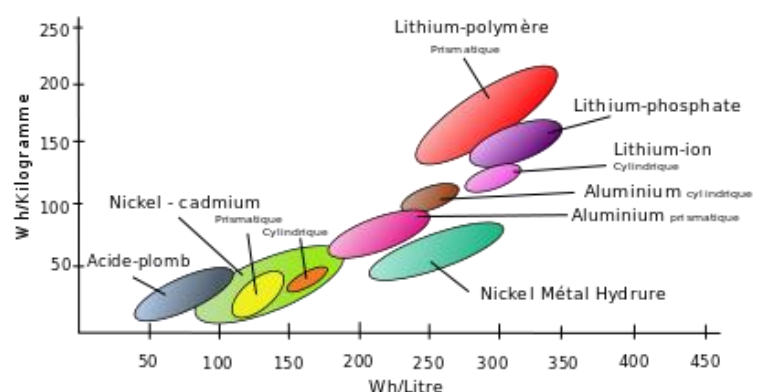
Le couple électrochimique en jeu est zinc et le dioxyde de manganèse dans un électrolyte d'hydroxyde de potassium. La tension d'un élément est de 1,5V.

Les piles alcalines ne sont pas rechargeables car il se forme alors des excroissances à l'intérieur de la pile qui finissent par créer un court circuit.

- Lithium

En pleine expansion grâce à une densité énergétique importante. Différentes technologie lithium existent (Li ion, Li polymère, Li air ...) La tension d'un élément est de 3.6 V.

On récapitule dans le graphique ci-contre les différentes technologies en fonction de leur densité énergétique.



Remarques :

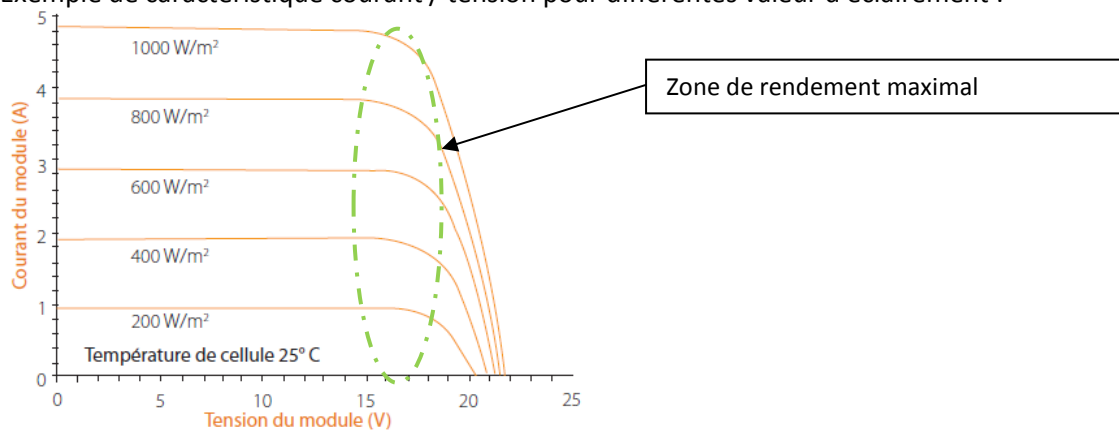
- Ce diagramme qui est amené à être ou devenir rapidement obsolète étant donné les incessantes améliorations apportées sur le sujet : utilisation de nanomatériau, électrodes nouvelles (organiques ou nouveaux matériau), électrolyte nouveau, nouveau couple (Lithium soufre, zinc....).....
- Les valeurs de densité énergétiques peuvent fortement varier suivant que l'on parle de densité en condition de laboratoire ou en conditions industrielles (batterie conditionnée). Des progrès sont aussi réalisés dans le conditionnement, l'industrialisation des batteries.

Suivant le domaine d'application envisagé, la technologie de la plus performante peut varier suivant les critères importants pour l'application (charge rapide, durabilité, densité énergétique...)

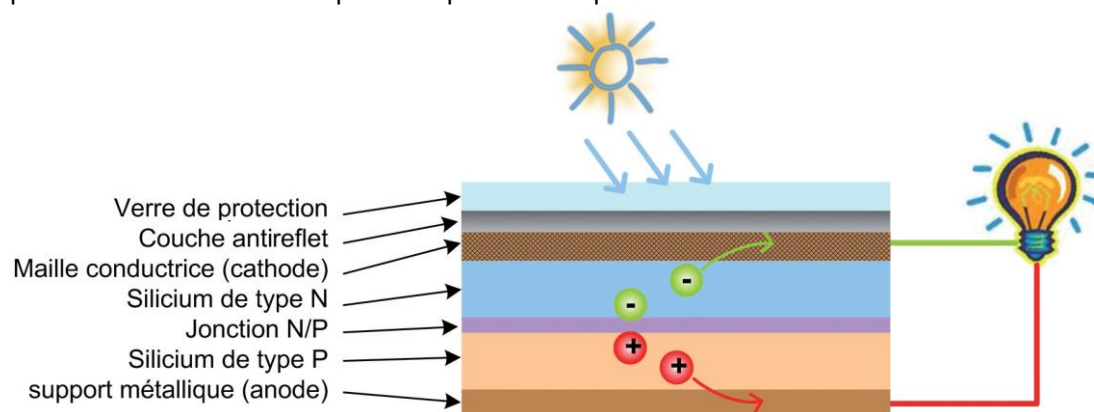
2) Cellules photovoltaïques

Une cellule photovoltaïque est un composant électronique qui, exposé à la lumière (photons), produit de l'électricité. Les photons viennent frapper le semi-conducteur (généralement à base de silicium) et arrache des électrons qui vont générer un courant une fois canalisé par la structure de la cellule. Une cellule photovoltaïque se comporte donc comme un générateur de courant fonction de l'éclairement.

Exemple de caractéristique courant / tension pour différentes valeur d'éclairement :

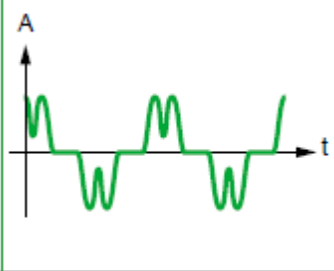
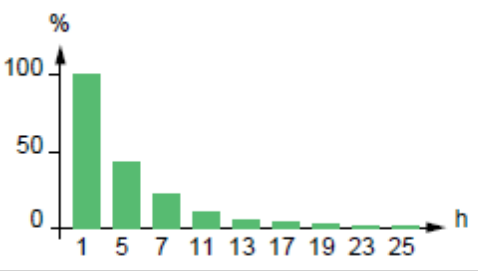
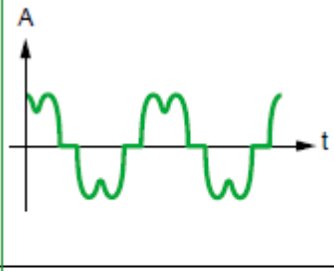
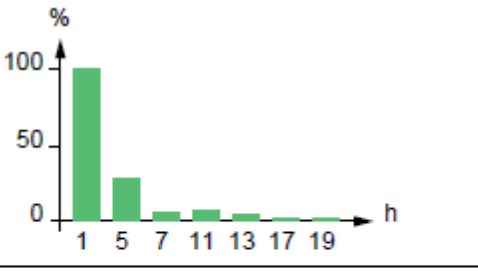
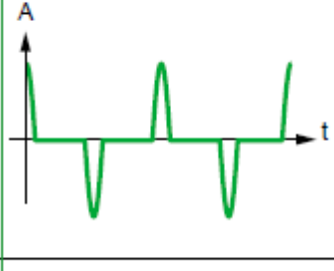
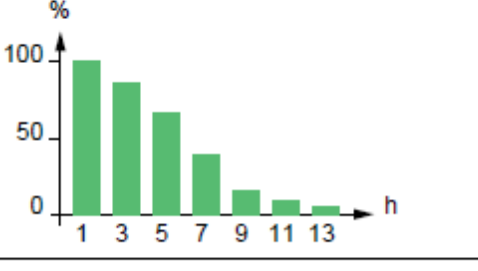
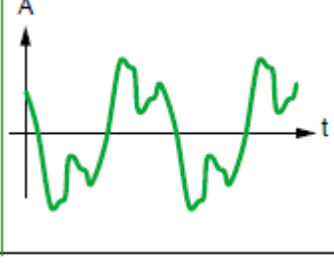
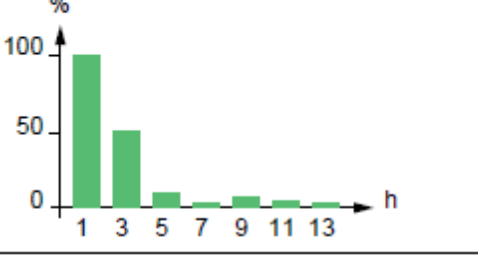


Les panneaux solaires sont en fait constitués de plusieurs cellules connectées en série et en parallèle. La structure d'un panneau photovoltaïque est donnée ci-dessous :



Actuellement, les technologies de cellules photovoltaïques ne permettent des rendements que d'environ 15% (silicium amorphe 6 %, poly cristallin 12%, monocristallin 14%). Un gros axe de progression récent s'est fait sur le cout des cellules.

Annexe : harmoniques des principales charges

Charges non linéaires	Forme d'onde de courant	Spectre	THD
Variateur de vitesse			44 %
Redresseur / chargeur			28 %
Charge informatique			115 %
Eclairage fluorescent			53 %