

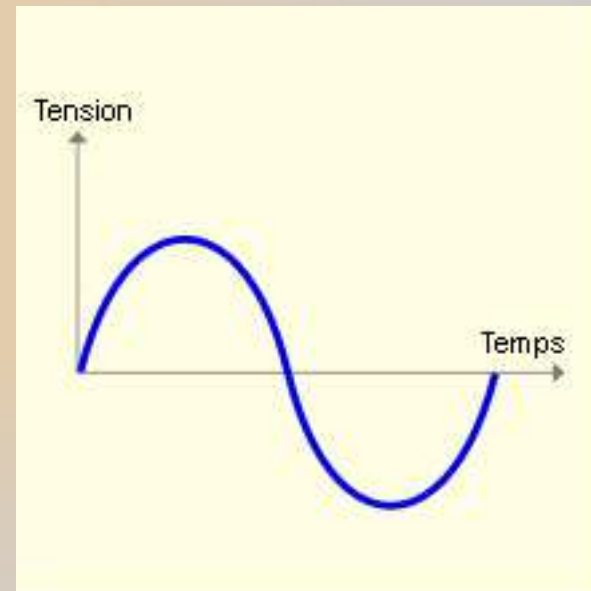
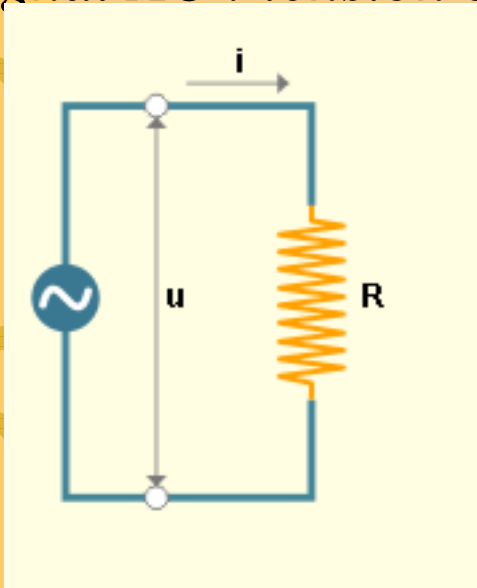
*Dimensionnement électriques des
lignes aériennes*

Plan

- ☛ Introduction & Rappels
- ☛ Différents types de distribution
- ☛ Calcul des puissances
- ☛ Moment électrique & chute de tension
- ☛ Dimensionnement des câbles de phase
- ☛ Dimensionnement du neutre
- ☛ Calcul des courants de court-circuit
- ☛ *Phénomènes perturbateurs*
- ☛ Bibliographie

Introduction & Rappels

Signal AC : tension et courant



*Si la tension u fournie par la source varie suivant une loi sinusoidale, un courant sinusoidal (lui aussi) s'établit : c'est un **circuit à courant alternatif**.*

Tension u en Volt (V)

Courant i en Ampère (A)



Introduction & Rappels

Signal AC : fréquence et période

* Période (T)

Le signal observé est périodique,
il se répète dans le temps.

La période est le temps qui correspond
au déroulement complet d'un cycle.

Elle est mesurée en secondes.

* Fréquence (f)

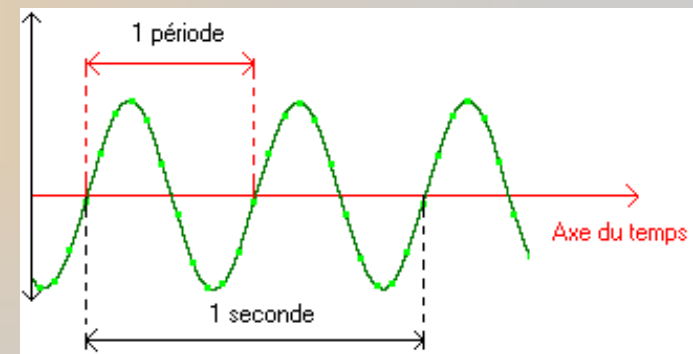
Le nombre de cycles par unité de temps,
donc par seconde.

Graphique : 1 seconde > 2 cycles, 2Hz.

$$f = 1/T \quad T \text{ en seconde (s)}$$

$$T = 1/f \quad f \text{ en Hertz (Hz)}$$

La fréquence du réseau européen & marocain : 50 Hz



● Introduction & Rappels ●

Signal AC : forme d'onde

$$v(t) = V_{max} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t)$$

*** Valeur de crête**

$$V_{max} = \sqrt{2} \cdot V$$

C'est la valeur maximale qu'atteint le signal. Par exemple pour un réseau 230 Vac, la valeur de crête ou maximale est de 325 V.

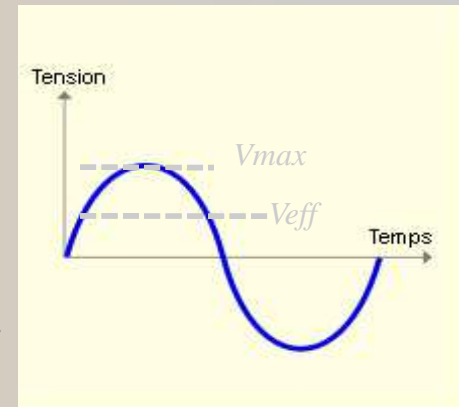
*** Valeur efficace ou rms**

C'est la valeur quadratique moyenne.

En sinusoidal $V_{eff} = V_{max} / \sqrt{2}$

*** Valeur moyenne**

En sinusoidal, sur une période complète, la valeur moyenne est nulle.



$$\sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_t^{t+T} u^2(t) dt}$$

$$V_{moyen} = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T [v(t)] \cdot dt$$

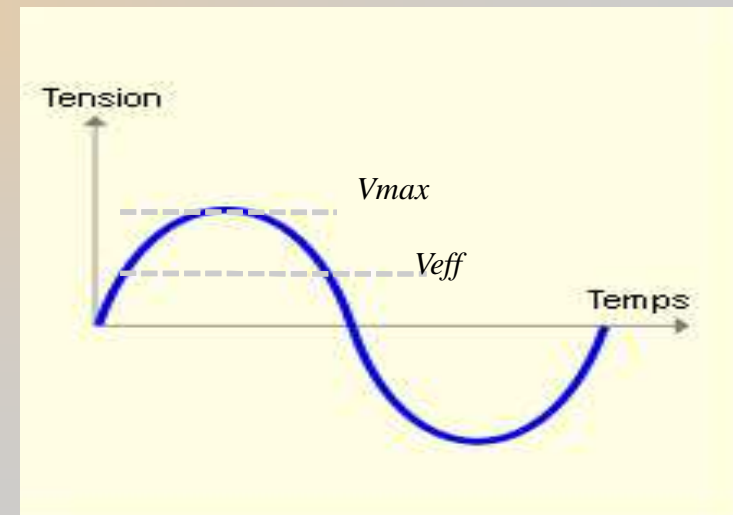
● Introduction & Rappels ●

* *Signal AC : facteur de crête*

Le facteur de crête fournit une mesure de la déformation du signal. C'est le rapport entre la valeur de crête (max) et la valeur rms.

Dans le cas d'une charge linéaire: ≡

$$FC = \frac{V_{Max}}{V_{efficace}} = \sqrt{2} = 1,414$$



● Introduction & Rappels ●

* Puissance moyenne

$$\bar{P} = \frac{1}{T} \int_0^T P(t) dt$$

$$= \frac{RI^2}{T} \int_0^T \sin^2(\omega t) dt$$

$$\int_0^T \sin^2(\omega t) dt = \frac{1}{\omega} \left[\frac{\omega t}{2} \right]_0^T = \frac{1}{\omega} \frac{\omega T}{2} = \frac{T}{2}$$

$$\bar{P} = \frac{RI^2}{T} \frac{T}{2}$$

$$= \frac{RI^2}{2}$$

$$\int \sin^2(x) dx = \frac{x}{2} - \frac{\sin x \cos x}{2}$$

$$\int_0^{2\pi} \sin^2(x) dx = \pi$$

● Introduction & Rappels ●

* *Intensité efficace*

★ Définition

$$\bar{P} = RI_{eff}^2 \quad \Rightarrow \quad I_{eff} = \frac{I}{\sqrt{2}} = 0.707 I \quad \text{Courant sinusoïdal !}$$

★ Courant quelconque

$$\bar{P} = \frac{1}{T} \int_0^T R i^2(t) dt = Ri_{eff}^2 \quad \Rightarrow \quad I_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt}$$

● Introduction & Rappels ●

* *Tension efficace*

$$\bar{P} = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{1}{R} v^2(t) dt = \frac{v_{eff}^2}{R}$$

★ Loi d'Ohm pour AC: $V_{eff} = R I_{eff}$

$$I_{eff} = \frac{I}{\sqrt{2}} * V_{eff} = \frac{V}{\sqrt{2}} \quad \Rightarrow \quad \bar{P} = \frac{VI}{2}$$

Différents types de distribution

La topologie des réseaux de transport et distribution est à définir dès la conception.

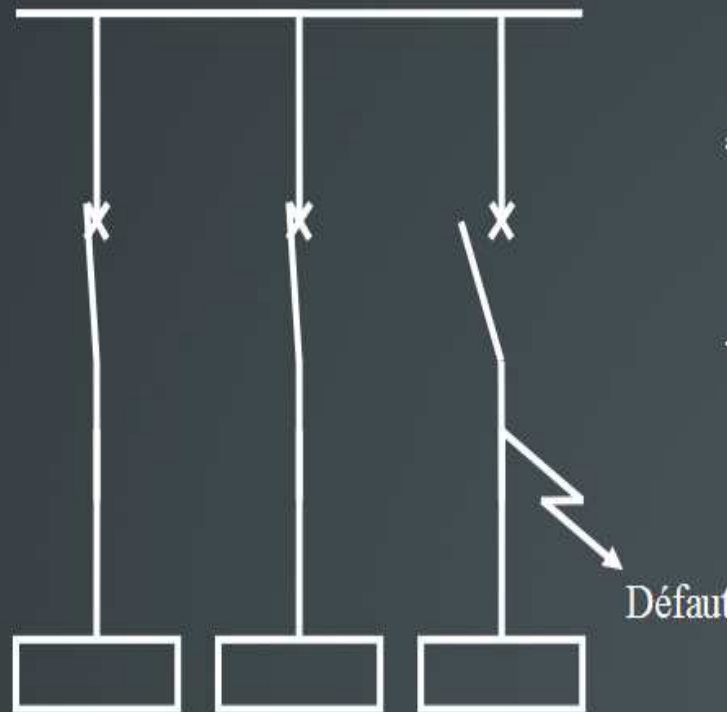
Elle doit répondre aux deux critères principaux suivants :

** La sûreté de fonctionnement.*

** La continuité de service.*

Différents types de distribution

1. Distribution simple antenne.

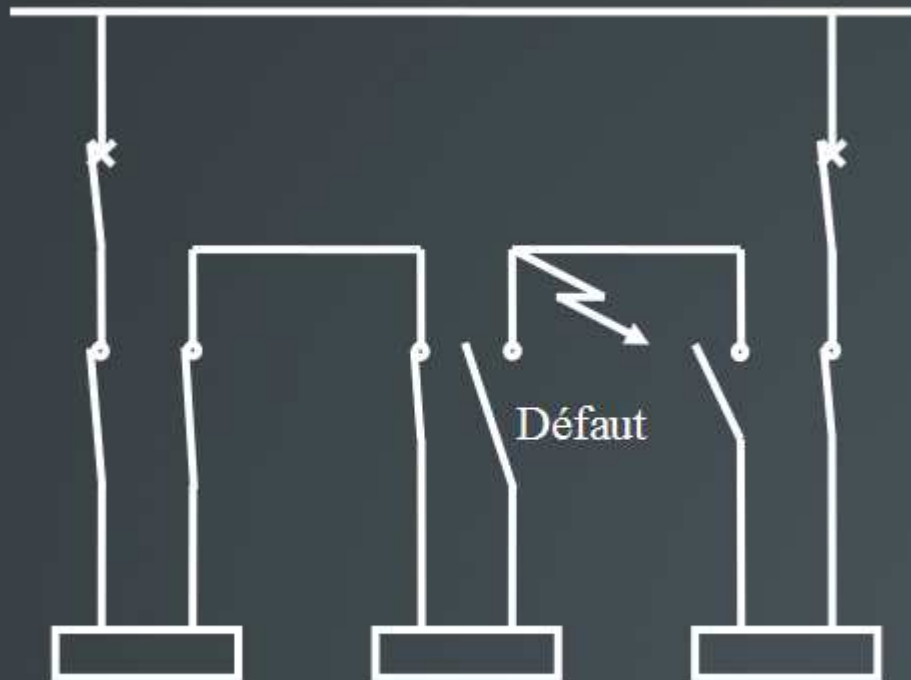


Avantage :
Solution économique

Inconvénient :
Sur un défaut mise hors service de tout le circuit aval.

Différents types de distribution

2. Distribution en boucle



Avantage :

meilleure qualité de la distribution électrique.

Inconvénient :

investissement plus important.

plus difficile à maîtriser.

Différents types de distribution

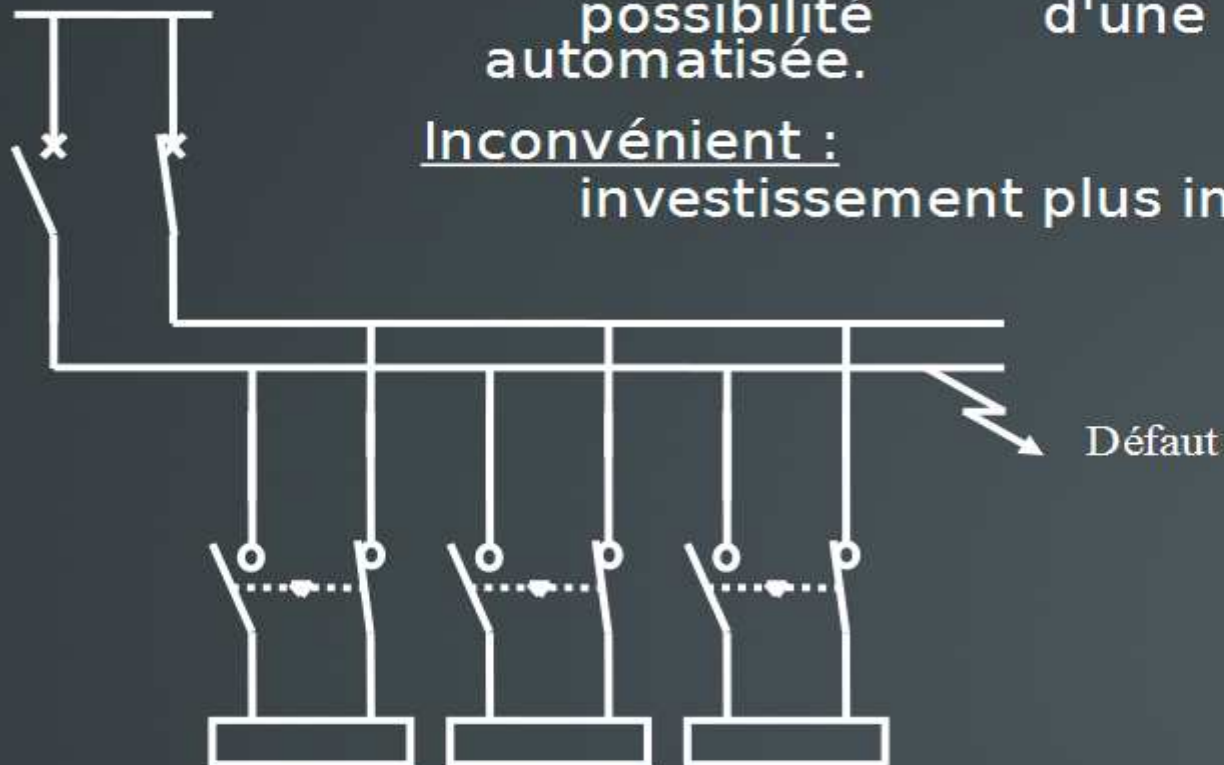
3. Distribution double antenne

Avantage :

meilleure qualité de la distribution électrique.
possibilité d'une commande automatisée.

Inconvénient :

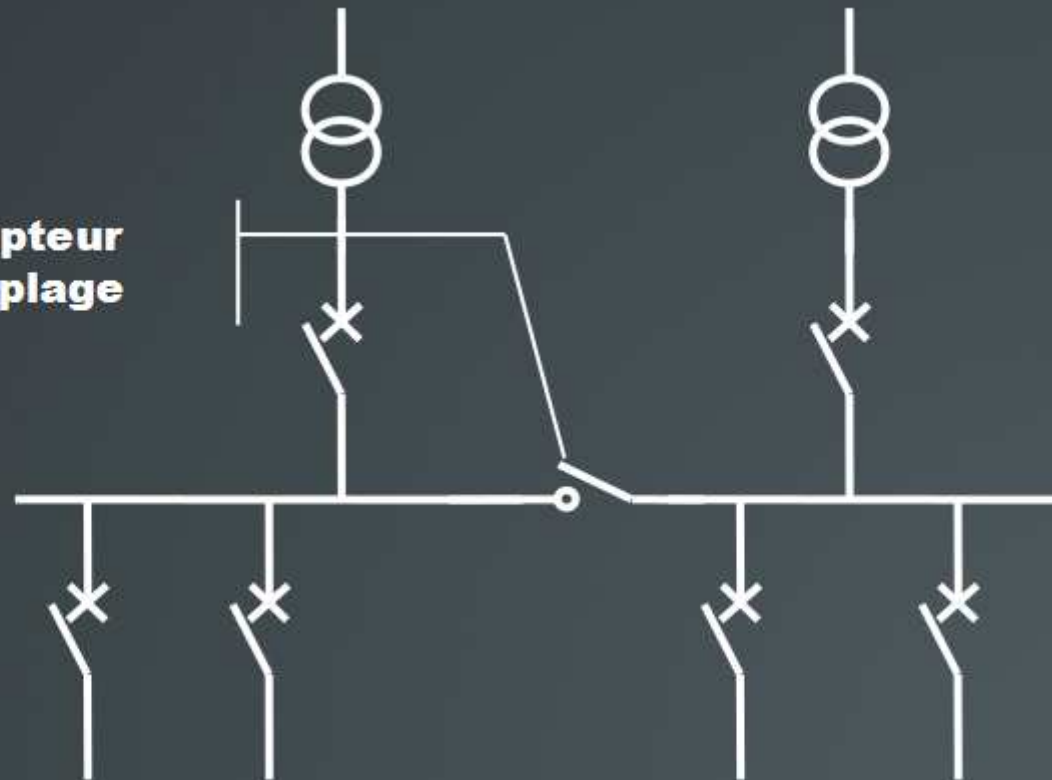
investissement plus important.



Différents types de distribution

4. *Doublage des sources*

Interrupteur de couplage



Calcul des puissances

■ Puissance absorbée.

La puissance absorbée par un récepteur est déterminée à partir de sa puissance nominale coefficientée de son rendement et de son cosinus ϕ .

$$P_a = \frac{P_n}{\eta \cos \phi} = a P_n \quad \text{avec} \quad a = \frac{1}{\eta \cos \phi}$$

On peut alors déterminer le courant absorbé par le récepteur :

$$\text{Monophasé : } I_a = \frac{P_a}{V} \quad \text{Triphasé : } I_a = \frac{P_a}{\sqrt{3} U}$$

V représente la tension simple, U la tension composée. La puissance absorbée s'exprime en VA et correspond à la puissance apparente.

Moment électrique & chute de tension

❖ *Chute de tension dans un Conducteur:*

$$\Delta u = I (R \cos \alpha + X \sin \alpha)$$

$$\Delta u = \frac{P}{U} (R + X \operatorname{tg} \alpha)$$

Soit u la chute de tension en % :

$$u = \frac{\Delta u}{U} * 100$$

$$\Rightarrow u = \frac{P}{U^2} * 100 * (R + X \operatorname{tg} \alpha)$$

$$\text{Or } \begin{cases} R = r \ell; r: \text{en } \Omega / \text{Km} \\ X = x \ell; x: \text{en } \Omega / \text{Km} \end{cases}$$

Moment électrique & chute de tension

$$M = \frac{U^2}{100(r + x \operatorname{tg} \alpha)}$$

$$M = P \ell \quad \equiv$$

Pour une chute de tension de 1%

$$M = \frac{U^2}{100(r + x \operatorname{tg} \alpha)}$$

Moment électrique & chute de tension

- ❖ Une ligne électrique M_1 desservant une installation de moment M engendre une chute de tension :

$$u = \frac{M}{M_1} \%$$

- ❖ Pour une charge situé en bout de ligne, le moment à transporter est: $M = P \ell$

- ❖ Pour une charge uniformément répartie le long d'une ligne l'intensité décroît progressivement le long du départ et le moment électrique équivalent pour cette charge peut être pris égal à :

$$M = \frac{P \ell}{2}$$

Moment électrique & chute de tension

- ❖ *En ligne BT d'agglomération, les puissances appelées par les branchements peuvent être en général considérés comme uniformément réparties le long du départ considéré.*

Dimensionnement des câbles de phase

La section des conducteurs sera d'une section au moins égale à la plus forte des trois sections calculées

S_J : à partir de l'échauffement du câble

S_U : à partir de la chute de tension

S_{CC} : à partir du courant de court-circuit

On peut être amené à majorer cette section en fonction des courants de défaut

Dimensionnement des câbles de phase

1. Câble de phases : méthode S_J

Le principe de cette méthode est de limiter l'échauffement du câble, afin de lui assurer une durée de vie satisfaisante

Cette température est définie dans le tableau ci-dessous de la norme NFC-15 100.

Type d'isolation	Température maximale de fonctionnement (°C)
Polychlorure de vinyle (PVC)	Conducteur : 70
Polyéthylène réticulé (PR) et éthylène-propylène (EPR)	Conducteur : 90

NOTE - Les températures maximales de fonctionnement indiquées dans ce tableau, ont été prises dans les normes NF C 32-300 et NF C 32-301.

Dimensionnement des câbles de phase

2. Câble de phases : méthode S_U

De façon générale la chute de tension peut se calculer à partir :

$$U = b \left(\rho \frac{L}{S} \cos \phi + L \lambda \sin \phi \right) I_B$$

$b = 2$ pour les circuits monophasés,
 1 pour les circuits triphasés.

ρ est la résistivité des conducteurs en service normal (1,25 la résistivité à 20°C).

pour le cuivre 0,023 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$.

pour l'aluminium 0,037 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$.

λ est la réactance linéique des conducteurs prise égale à 0,08 $\text{m}\Omega/\text{m}$ en l'absence d'indication.

S est la section des conducteurs en mm^2 .

L est la longueur en mètre des conducteurs.

I_B est le courant d'emploi en A.

$\cos \phi$ est le facteur de puissance de l'installation. Normalement on le prend égal à 0,8 en l'absence d'autre indication.

Dimensionnement des câbles de phase

3. Câble de phases : méthode S_{cc}

- Lors du passage d'un courant de court-circuit dans les conducteurs d'une canalisation durant un très court instant (quelques dixièmes de secondes à cinq secondes au maximum), l'échauffement est considéré adiabatique.
- C'est à dire que l'échauffement reste limité à la partie conductrice du câble.
- Pour des temps inférieurs à 5 secondes, la relation $I^2 t = k^2 S^2$
- Cette relation permet de déterminer le temps t (en seconde) pendant lequel un conducteur de section S (en mm^2) peut supporter un courant I (en ampère).

Dimensionnement des câbles de phase

- Le coefficient k est obtenu à partir du tableau suivant

Valeur de K pour les conducteurs actifs et de protection

Isolant		PVC	PR / EPR	Caoutchouc 60°C	Caoutchouc 85°C	Caoutchouc siliconé	Nu sans isolant
$\theta^{\circ}\text{max (}^{\circ}\text{C)}$		160 / 140 ⁽²⁾	250	200	220	350	200 / 150 ⁽¹⁾
Conducteur de protection non incorporé à un câble ou conducteurs non regroupés	Cuivre	143 / 133 ⁽²⁾	176	159	166	201	159 / 138 ⁽¹⁾
	Aluminium	95 / 88 ⁽²⁾	116	105	110	133	105 / 91 ⁽¹⁾
	Acier	52 / 49 ⁽²⁾	64	58	60	73	58 / 50 ⁽¹⁾
Conducteur actif ou de protection constitutif d'un câble multiconducteur ou conducteurs regroupées	Cuivre	115 / 103 ⁽²⁾	143	141	134	132	138
	Aluminium	76 / 68 ⁽²⁾	94	93	89	87	91
	Acier						50

(1) Si risque particulier d'incendie

(2) Section supérieure à 300 mm² ou conducteurs regroupés

Dimensionnement du neutre

- La section du neutre doit être égale à celle des conducteurs de phase ($S_N = S_{PH}$).
- * Dans les circuits monophasés,
- * Dans le cas des circuits triphasés de section de phase inférieure à 16 mm^2 en Cu et 25 mm^2 en Alu ,
- * Dans le cas de circuits triphasés susceptibles d'être parcourus par des courants harmoniques de rang 3 ou multiples de 3 dont le taux d'harmoniques est compris entre 15% et 33%.
- Attention si le neutre est chargé un coefficient de 0,84 est appliqué au courant admissible des câbles.

Dimensionnement du neutre

La section du neutre peut être inférieure à celle des conducteurs de phase, à la condition de respecter les conditions suivantes ($S_N < S_{PH}$).

** Il faut que les conducteurs de phases aient une section supérieure à 16 mm² pour le cuivre et 25 mm² pour l'aluminium,*

** La charge du circuit triphasé est équilibrée et les courants harmoniques de rang 3 ou multiple de 3 ne dépasse pas le taux de 15% dans le conducteur de phase,*

** Le conducteur de neutre est protégé contre les surintensités,*

** La section du conducteur de neutre est au moins égale à 16 mm² en cuivre et 25 mm² en aluminium*

Dimensionnement du neutre

- La section du neutre peut être supérieure à celle des conducteurs de phase ($S_N > S_{PH}$). Dans le cas de circuits triphasés susceptibles d'être parcourus par des courants harmoniques de rang 3 ou multiple de 3 dont le taux d'harmoniques est supérieur à 33%.

* Dans le cas d'un câble multicouche, on surdimensionne l'ensemble des conducteurs (phase – neutre). On applique alors un coefficient 1,45 sur le courant de phase pour déterminer le courant admissible dans le neutre, utile à la détermination de la nouvelle section.

* Dans le cas d'utilisation de câble unipolaire, on peut conserver la section calculée pour les phases, mais on applique à nouveau le coefficient de 1,45 pour déterminer le courant admissible dans le neutre, utile à la détermination de la section du neutre

Dimensionnement du neutre

Récapitulatif

	$0 < TH3 \leq 15 \%$	$15 \% < TH3 \leq 33 \%^{(1)}$	$TH3 > 33 \%^{(2)}$
Circuits monophasés	$S_{neutre} = S_{phase}$	$S_{neutre} = S_{phase}$	$S_{neutre} = S_{phase}$
Circuits triphasés+neutre Câbles multipolaires $S_{phase} \leq 16 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$ ou $25 \text{ mm}^2 \text{ Alu}$	$S_{neutre} = S_{phase}$	$S_{neutre} = S_{phase}$ Facteur 0,84	$S_{phase} = S_{neutre}$ S_{neutre} déterminante $I_{Bneutre} = 1,45 \cdot I_{Bphase}$ Facteur 0,84
Circuits triphasés+neutre Câbles multipolaires $S_{phase} > 16 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$ ou $25 \text{ mm}^2 \text{ Alu}$	$S_{neutre} = S_{phase}/2$ admis Neutre protégé	$S_{neutre} = S_{phase}$ Facteur 0,84	$S_{phase} = S_{neutre}$ S_{neutre} déterminante $I_{Bneutre} = 1,45 \cdot I_{Bphase}$ Facteur 0,84
Circuits triphasés+neutre Câbles unipolaires $S_{phase} > 16 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$ ou $25 \text{ mm}^2 \text{ Alu}$	$S_{neutre} = S_{phase}/2$ admis Neutre protégé	$S_{neutre} = S_{phase}$ Facteur 0,84	$S_{neutre} > S_{phase}$ $I_{Bneutre} = 1,45 \cdot I_{Bphase}$ Facteur 0,84

(1) A défaut d'information des constructeurs, circuits d'éclairage alimentant des lampes à décharge dont les tubes fluorescents dans des bureaux, ateliers, grandes surfaces, etc.

(2) A défaut d'information des constructeurs, circuits dédiés à la bureautique, l'informatique, appareils électroniques dans des immeubles de bureaux, centres de calcul, banques, salles de marché, magasins spécialisés, etc.

Calcul des courants de court-circuit

- Le calcul de l'intensité de court-circuit (I_{CC}) aux différents points de l'installation est indispensable pour la conception d'un réseau (pouvoir de coupure, tenue mécanique et électrique des câbles, type de canalisation, ...). C'est le I_{CC}^{I} défaut triphasé dans une installation alimentée par un transformateur qui va être principalement étudié. Il correspond au cas qui donne le plus fort courant dans le cas d'un court-circuit franc.

- La méthode des impédances consiste à totaliser les résistances et réactances des boucles de défaut depuis la source jusqu'au point considéré et à en calculer l'impédance équivalente. Les différents courants de court-circuit et de défaut sont alors déduits par l'application de la loi d'Ohm.

Cette méthode est utilisable lorsque toutes les caractéristiques des éléments constituant les boucles de défaut sont connues

Calcul des courants de court-circuit

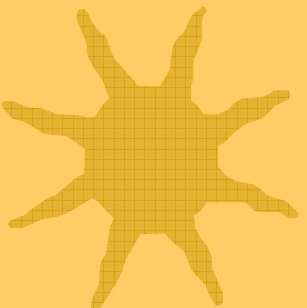
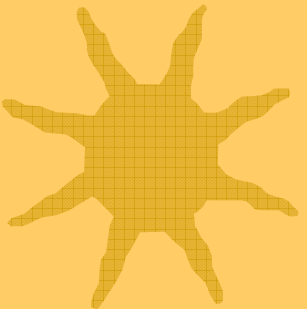
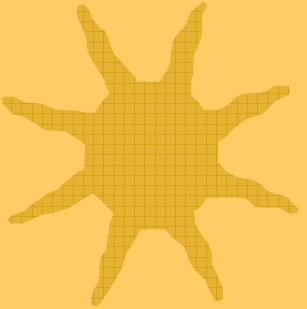
- La méthode conventionnelle est basée sur l'hypothèse que durant un défaut la tension à l'origine du circuit est égale à 80 % de la tension nominale de l'installation. Elle est utilisée

≡

lorsque le court-circuit à l'origine du circuit et les caractéristiques amont de l'installation ne sont pas connus. Elle permet de déterminer les courts-circuits minimaux et d'établir les tableaux des longueurs maximales protégées. Elle est valable pour les circuits éloignés de la source et n'est pas applicable pour les installations alimentées par des alternateurs.



Calcul des courants de court-circuit



- La méthode de composition est utilisée lorsque le court-circuit à l'origine du circuit est connu mais que les caractéristiques amont de l'installation ne le sont pas. Elle permet de déterminer les courts-circuits maximaux en un point quelconque de l'installation.

Calcul des courants de court-circuit

1. Méthode des impédances

- Cette méthode est basée sur le calcul de l'ensemble des impédances constituant la boucle de défaut depuis la source.

$$I_{CC\text{tri}} = \frac{c m U_0}{Z_{CC}} = \frac{c m U_0}{\sqrt{\sum R^2 + \sum X^2}}$$

c = facteur de tension pris égal à 1,05 pour les courts-circuits maximaux et égal à 0,95 pour les courts-circuits minimaux.

m = facteur de charge pris égal à 1,05.

U_0 : tension simple de l'installation (tension phase-neutre).

Z_{CC} : impédance totale de la boucle de défaut au point considéré.

C'est la somme vectorielle des résistances et réactances composant la boucle.

Calcul des courants de court-circuit

1. Méthode des impédances (suite1/2)

- Cette méthode est basée sur le calcul de l'ensemble des impédances constituant la boucle de défaut depuis la source.

* Calcul de la résistance :

$$R = \rho \cdot 10^3 \frac{L}{n_c S_c} \quad (\text{en m}\Omega)$$

ρ = résistivité du matériaux conducteur en $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$.
18,51 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ pour le cuivre,
29,41 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ pour l'aluminium.

L = Longueur du conducteur en m.

n_c : nombre de conducteur en parallèle par phase.

S_c : section du conducteur en mm^2 .

Calcul des courants de court-circuit

1. Méthode des impédances (suite2/2)

* Calcul de la réactance

$$X = \lambda \frac{L}{n_c} \quad (\text{en m}\Omega)$$

λ = réactance linéique du conducteur en m Ω /m.

L = Longueur du conducteur en m.

n_c : nombre de conducteur en parallèle par phase.

Calcul des courants de court-circuit

2. Méthode de composition

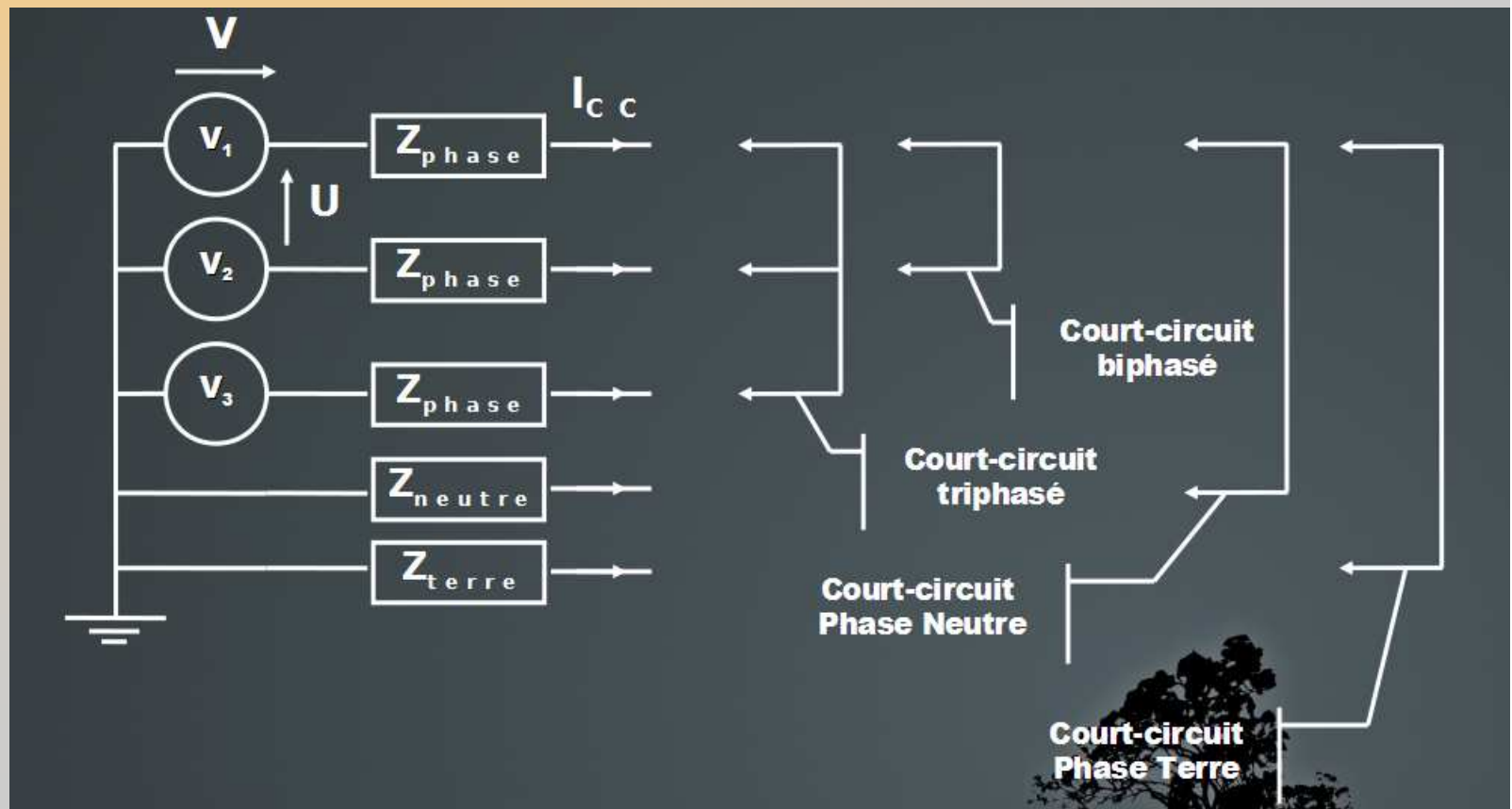
- Cette méthode est basée sur des tables fournies par les constructeurs. Il est nécessaire de connaître:

- * Le courant de court-circuit amont,
- * La longueur de câble du point amont au point considéré,
- * La nature du câble (Cuivre, Aluminium),
- * La section du câble

Calcul des courants de court-circuit

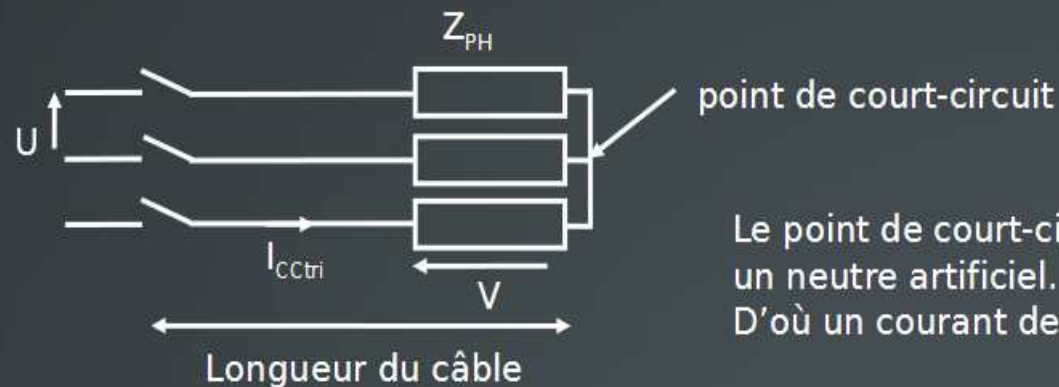
3. Les différents types de court-circuit

- Seuls les courants de court-circuit maximums et minimums ont une importance afin de dimensionner correctement les protections



Calcul des courants de court-circuit

3.1. Courant de court-circuit triphasé



Le point de court-circuit est équivalent à un neutre artificiel.
D'où un courant de court-circuit de :

$$I_{CCTri} = \frac{V}{Z_{PH}} \quad \text{ou} \quad I_{CCTri} = \frac{U}{\sqrt{3} Z_{PH}}$$

En ramenant l'impédance du câble à ses caractéristiques, nous obtenons pour l'impédance:

$$Z_{PH} = \sqrt{\left(\frac{\rho L}{n S_{PH}}\right)^2 + \left(\frac{X}{n}\right)^2}$$

L: longueur du câble de l'organe de protection au point de court-circuit.

S_{PH} : section des câbles de phase.

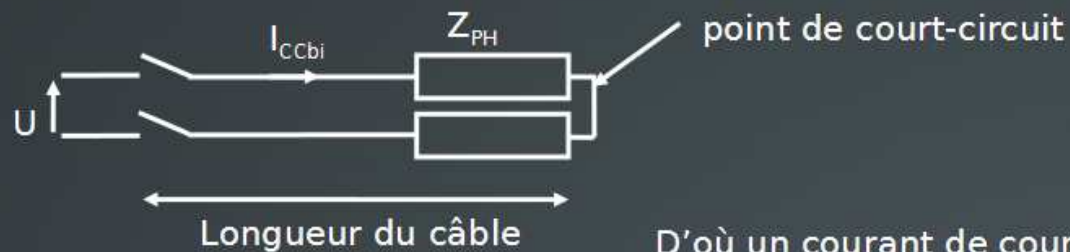
ρ : résistivité du matériaux composant le câble.

$X=\lambda L$: caractéristique inductive du câble.

n: nombre de conducteurs en parallèle par phase.

Calcul des courants de court-circuit

3.2. Courant de court-circuit biphasé



D'où un courant de court-circuit de :

$$I_{CCbi} = \frac{U}{2 Z_{PH}}$$

En ramenant l'impédance du câble à ses caractéristiques, nous obtenons pour l'impédance:

$$Z_{PH} = \sqrt{\left(\frac{\rho L}{n S_{PH}}\right)^2 + \left(\frac{X}{n}\right)^2}$$

L: longueur du câble de l'organe de protection au point de court-circuit.

S_{PH} : section des câbles de phase.

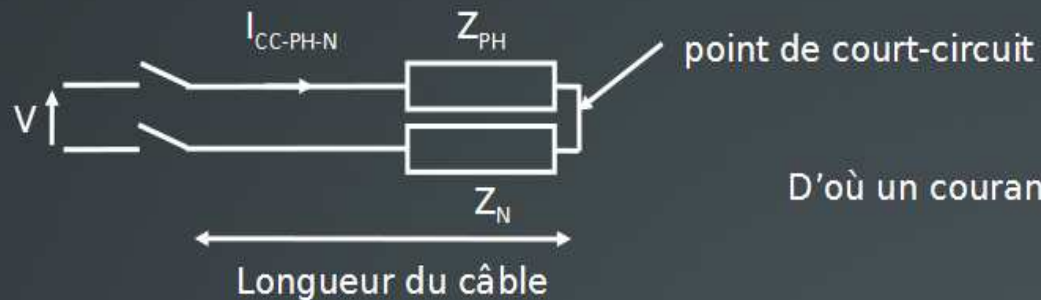
ρ : résistivité du matériaux composant le câble.

$X = \lambda L$: caractéristique inductive du câble.

n: nombre de conducteurs en parallèle par phase.

Calcul des courants de court-circuit

3.3. Courant de court-circuit phase-neutre



D'où un courant de court-circuit de :

$$I_{CC-PH-N} = \frac{V}{(Z_{PH} + Z_N)} \quad \text{ou} \quad I_{CC-PH-N} = \frac{U}{\sqrt{3} (Z_{PH} + Z_N)}$$

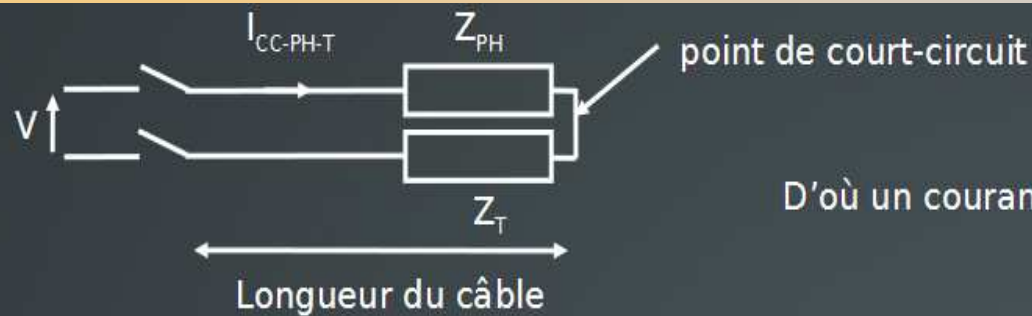
En ramenant l'impédance du câble à ses caractéristiques, nous obtenons :

$$Z_{PH} + Z_N = \sqrt{\left(R_{PH} + R_N \right)^2 + \left(X_{PH} + X_N \right)^2}$$

R_{PH} : résistance du ou des câbles d'une phase.
 R_N : résistance du ou des câbles de neutre.
 X_{PH} : caractéristique inductive du ou des câbles d'une phase.
 X_N : caractéristique inductive du ou des câbles de neutre.

Calcul des courants de court-circuit

3.4. Courant de court-circuit phase-terre



D'où un courant de court-circuit de :

$$I_{CC-PH-T} = \frac{V}{(Z_{PH} + Z_T)} \quad \text{ou} \quad I_{CC-PH-T} = \frac{U}{\sqrt{3} (Z_{PH} + Z_T)}$$

En ramenant l'impédance du câble à ses caractéristiques, nous obtenons :

$$Z_{PH} + Z_T = \sqrt{(R_{PH} + R_T)^2 + (X_{PH} + X_T)^2}$$

R_{PH} : résistance du ou des câbles d'une phase.
 R_T : résistance du ou des câbles de neutre.
 X_{PH} : caractéristique inductive du ou des câbles d'une phase.
 X_T : caractéristique inductive du ou des câbles de neutre.

Calcul des courants de court-circuit

3.5. Cas d'un Transformateur

- L'impédance Z_{TR} d'un transformateur, vue au secondaire est donnée par la relation : $(U_{20}^2 \cdot U_{CC}) / S$
 - U_{20} : tension entre phases, à vide au secondaire;
 - S : puissance du transformateur;
 - U_{CC} : tension de court-circuit en %.
- La résistance se calcule à l'aide de la caractéristique P_{CU} (pertes cuivre) d'un transformateur : $P_{CU} = 3 R_{TR} I_N^2$.
- La réactance se déduit de la relation : $X_{TR} = (Z_{TR}^2 - R_{TR}^2)^{1/2}$.
- Lorsque seul un calcul approché est nécessaire on peut assimiler X_{TR} à Z_{TR} et négliger R_{TR} .
- Il est aussi possible d'utiliser des tables qui donnent directement fonction de la puissance du transformateur les différentes impédances utiles.

Phénomènes perturbateurs

- *La qualité de l'énergie électrique est un indicateur de la santé des équipements électriques branchés sur le réseau.*
- *La santé des équipements (bon fonctionnement, défaillance, durée de vie, etc.) est affectée directement par la qualité du réseau*
- *Garder une bonne qualité de l'énergie c'est équivalent à protéger l'environnement des pollutions.*
- *La qualité de l'énergie est mesurable comme la qualité de l'air*
Harmoniques de tension == monoxyde de carbone CO
Harmoniques de courant == dioxyde de carbone CO₂
Taux de distorsion harmonique élevé == Avertissement SMOG

Phénomènes perturbateurs

➤ *Plusieurs techniques sont actuellement disponibles pour aider à améliorer la qualité de l'énergie.*

➤ *Si les équipements sont déjà installés, comment améliorer la qualité et éviter les problèmes?*

Ajouter le critère qualité de l'énergie au départ, et ceci avant d'arrêter le choix et par la suite l'acquisition de l'équipement.



La meilleure technique de protection est à la source.

● *Phénomènes perturbateurs* ●

Les perturbations dégradant la qualité de la tension peuvent résulter de :

- ***défauts** dans le réseau électrique ou dans les installations des clients (court-circuit dans un poste, une ligne aérienne, un câble souterrain, ...); ces défauts pouvant résulter de causes atmosphériques (foudre, givre, tempête), matérielles (vieillessement d'isolants, ...) ou humaines (fausses manœuvres, travaux de tiers, ...)* ;
- ***installations perturbatrices** : fours à arc, soudeuses, variateurs de vitesse et toutes les applications de l'électronique de puissance, téléviseurs, éclairage fluorescent, démarrage ou commutation d'appareils, etc.*

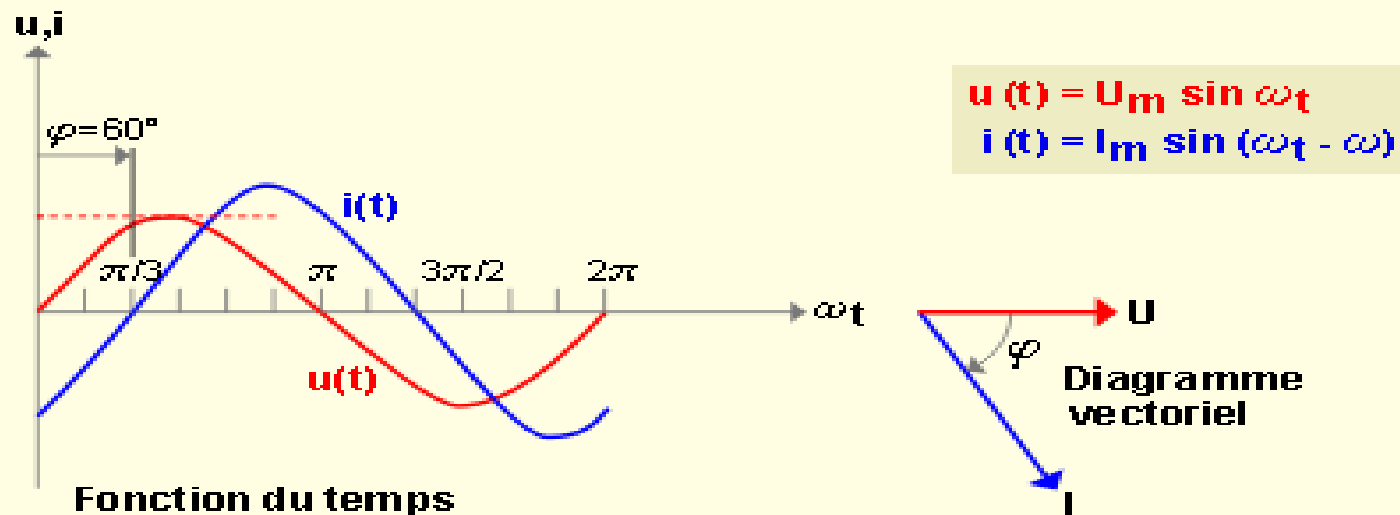
Phénomènes perturbateurs

0. Puissances – Facteur de puissance et $\cos \phi$

Représentation du signal alternatif (courant et tension)

$$v(t) = V_{max} \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t)$$

Suivant le type de charge, le courant peut être soit en phase avec la tension, soit déphasé en avance ou en retard par rapport à la tension. Donc, lorsque la tension est maximum, le courant ne l'est pas forcément.



Phénomènes perturbateurs

0. Puissances – Facteur de puissance et $\cos \phi$

Les différentes charges – impédances

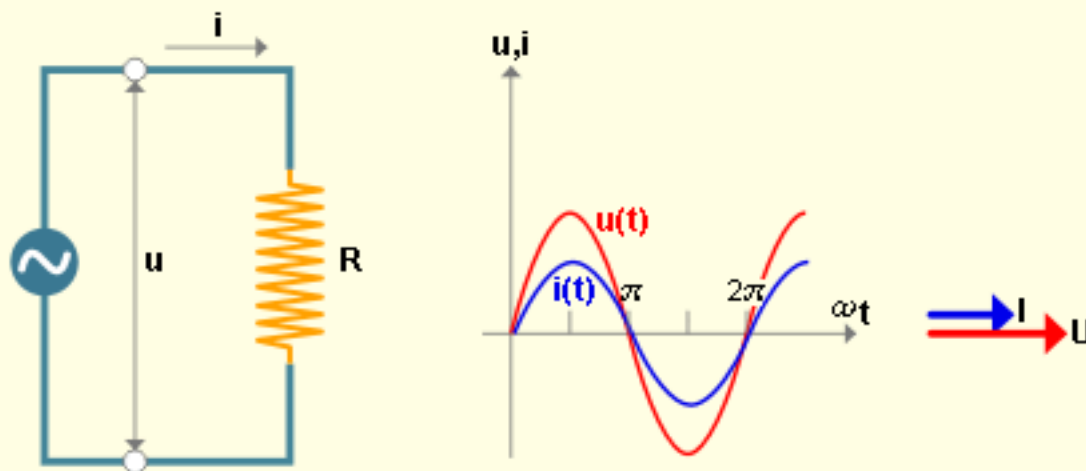
Charges résistives

Exemples : filament de lampe, chauffage électrique, ...

Toute l'énergie fournie est entièrement convertie en chaleur.

Le courant est en phase avec la tension. R est en ohm.

$$\underline{U} = R \cdot \underline{I} = R \cdot I \cdot \sin(2\pi ft + \phi)$$



● Phénomènes perturbateurs ●

0. Puissances – Facteur de puissance et $\cos \phi$

Les différentes charges – impédances

Charges inductives

Exemples : un câble, un bobinage de moteur, un transformateur, un ballast de tube fluo, ...

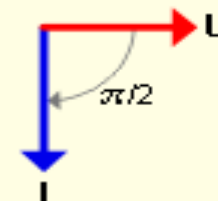
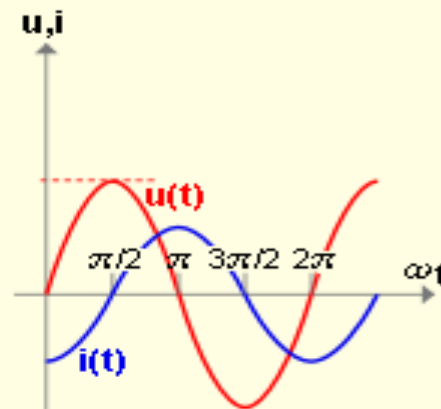
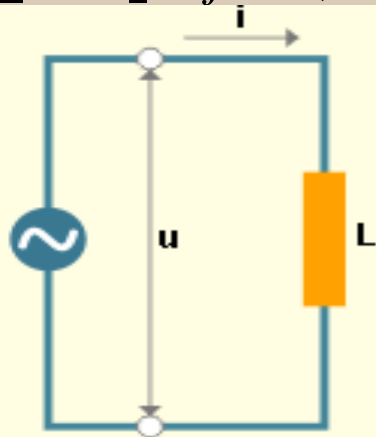
L'inductance L s'oppose au passage du courant (phénomène magnétique).

L se mesure en Henry (H).

L déphase le courant qui sera en retard par rapport à la tension (90°).

$$\underline{U} = \underline{Z} \cdot \underline{I} = j\omega L \cdot \underline{I};$$

$$U = \omega L \cdot I \cdot \sin(2\pi ft + \phi + \pi/2)$$



● Phénomènes perturbateurs ●

0. Puissances – Facteur de puissance et $\cos \phi$

Les différentes charges – impédances

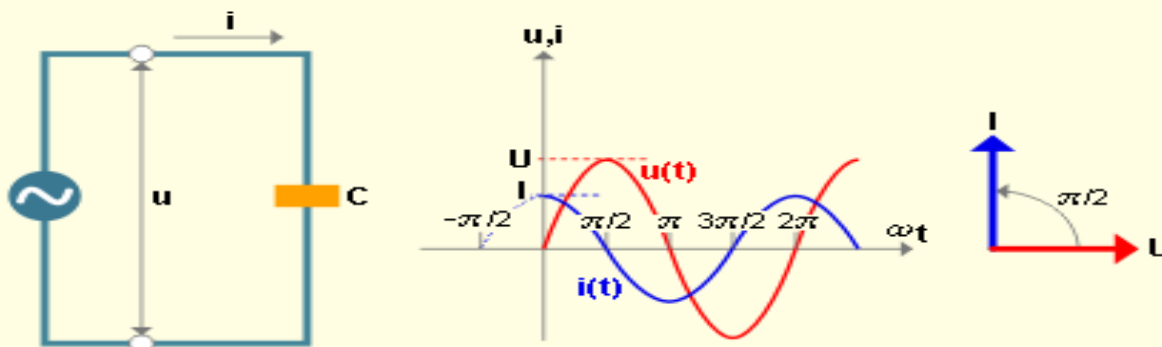
Charges capacitives

Le condensateur C est un réservoir de charges.

C se mesure en Farad (F).

C déphase le courant qui sera en avance par rapport à la tension (90°).

$$\underline{U} = \underline{Z} \cdot \underline{I} = \underline{I} / j\omega C; \quad U = 1/\omega C \cdot I \cdot \sin(2\pi ft + \phi - \pi/2)$$



● *Phénomènes perturbateurs* ●

0. Puissances – Facteur de puissance et cos phi

Puissances

Puissance instantanée fournie : $p(t) = u(t).i(t)$

$$u(t) = U_{max} \cdot \sin(\omega t + \phi_u)$$

$$i(t) = I_{max} \cdot \sin(\omega t + \phi_i)$$

Si on calcule $p(t)$, on arrive à une somme de 2 termes :

- *P puissance active (Watt) qui dépend de U et de I et de leur déphasage,*
$$P = U.I.\cos\phi$$
- *p_f puissance fluctuante (Watt) de moyenne nulle.*

Si on poursuit les développements mathématiques, on trouve également :

- *Q puissance réactive (Var) qui dépend de U et I et de leur déphasage.*
$$Q = U.I.\sin\phi$$

On a également la puissance apparente S (VA) qui est le produit de U et I.

Ne pas confondre kW et kWh qui est l'unité d'énergie (consommation).

Donc une lampe qui a une puissance de 10W, consomme en 24h 240Wh.

● Phénomènes perturbateurs ●

0. Puissances – Facteur de puissance et $\cos \phi$

Facteur de puissance

On sait que la puissance active vaut : $P = U.I.\cos\phi = S.\cos\phi$
 $\cos\phi$ est le facteur de puissance du circuit

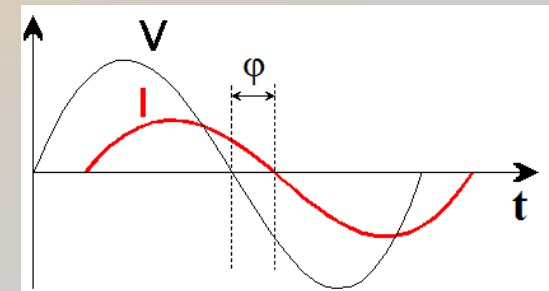
- si circuit résistif : $\cos\phi = 1$
- si circuit purement inductif ou capacitif : $\cos\phi = 0$

Ce facteur de puissance dépend donc directement du déphasage entre courant et tension, et est compris entre 1 et 0.

Plus il est proche de 1, plus la situation est idéale.

Si la forme d'onde n'est plus sinusoidale, la charge non linéaire, alors le facteur de puissance n'est plus égal au $\cos\phi$ mais est défini par :

$$Fp = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}}$$



● *Phénomènes perturbateurs* ●

Si on considère un système d'alimentation triphasé équilibré, les tensions sont égales en amplitude dans les 3 phases et décalées d'un tiers de période.

$$V_a(t) = \sqrt{2} V \sin 2\pi ft$$

$$V_b(t) = \sqrt{2} V \sin (2\pi ft - 120^\circ)$$

$$V_c(t) = \sqrt{2} V \sin (2\pi ft - 240^\circ)$$

Quels en sont les paramètres ?

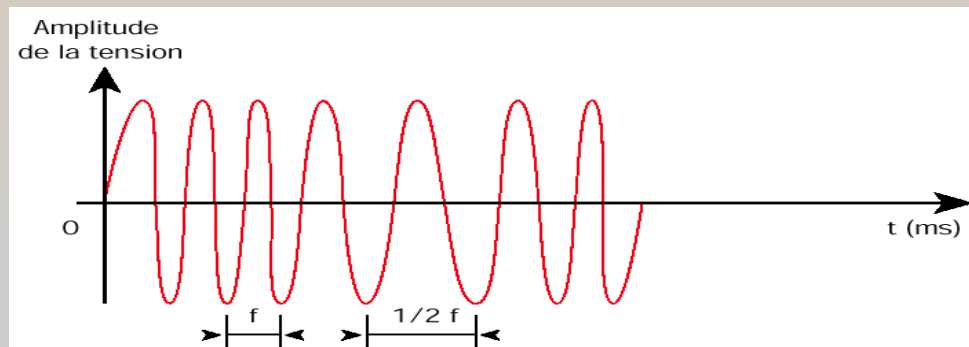
- *la fréquence f (50 Hz)*
- *l'amplitude (V)*
- *la forme d'onde (sinusoïdale)*
- *l'équilibre (même amplitude avec déphasage de 120°)*

● Phénomènes perturbateurs ●

1. Fréquence – Déviations

Les variations de fréquence sont très faibles (moins de 1 %) au sein du réseau synchrone européen en régime normal de fonctionnement et ne causent généralement pas de préjudice aux équipements électriques ou électroniques. 50Hz +/- 1% pendant 99,5% d'une année [EN 50160].

La situation peut être différente dans un petit réseau isolé. Certains processus industriels nécessitent un réglage très précis de la vitesse des moteurs et peuvent subir des dysfonctionnements en cas d'alimentation par un groupe de secours mal conçu. 50Hz +/- 2% pendant 95% d'une semaine [EN 50160].



● *Phénomènes perturbateurs* ●

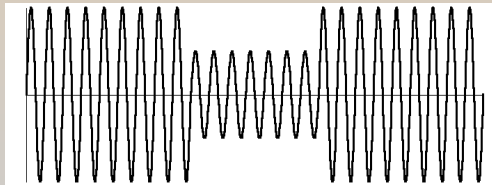
2. Amplitude

2.1 Creux de tension et coupures brèves

Les creux de tension sont dus aux courts-circuits survenant dans le réseau général ou dans les installations clients (événements aléatoires, dus à des phénomènes atmosphériques - foudre, givre, tempête -, des défaillances d'appareils, d'accidents).

Seules les chutes de tension supérieures à 10 % sont considérées (sinon ce sont des « fluctuations de tension »).

Définition creux de tension [EN 50160] : diminution brutale de la tension d'alimentation à une valeur située entre 90 et 1 % de la tension déclarée, suivie du rétablissement après un court laps de temps. Leur durée peut aller de 10 ms (1/2 période du 50 Hz) à 1 minute, par convention (fonction de la localisation du ct-ct et du fonctionnement des protections – un défaut est éliminé en 0.1-0.2 s en HT et de 0.2 s à qq s en MT).

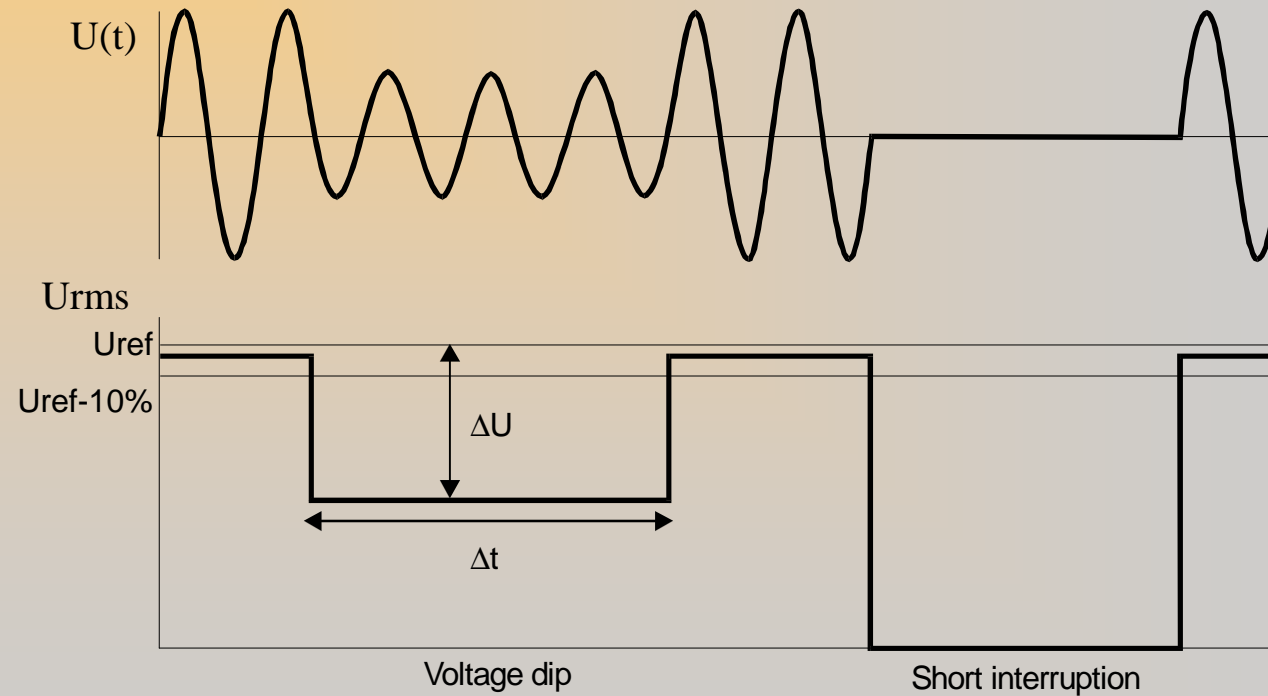


Conséquences : ils peuvent provoquer le déclenchement d'équipements, si leur profondeur et leur durée excèdent certaines limites (voir sensibilité des charges), l'arrêt de certains équipements, voire des pertes de production et des dégâts.

Phénomènes perturbateurs

2. Amplitude

2.1 Creux de tension et coupures brèves



● *Phénomènes perturbateurs* ●

2. *Amplitude*

2.1 *Creux de tension et coupures brèves (suite)*

Interruption d'alimentation [EN 50160] : condition dans laquelle la tension aux points de fourniture est inférieure à 1 % de la tension déclarée. Elle peut être classée comme :

- *prévue : les clients sont informés par avance pour permettre l'exécution de travaux programmés sur le réseau de distribution, ou*
- *accidentelle : lorsqu'elle est provoquée par des défauts permanents ou fugitifs, la plupart du temps liés à des événements extérieurs, à des avaries ou causes externes. Elle peut être classée comme :*
 - *coupure longue (dépassant 3 minutes) provoquée par un défaut permanent ou,*
 - *coupure brève (jusqu'à 3 minutes) provoquée par un défaut fugitif.*

Solutions possibles : on peut prévoir des conditionneurs de réseau, des alimentations sans interruption (ASI/UPS) et des alimentations de secours en fonction de la sensibilité des équipements et de la durée des coupures et/ou creux.

● *Phénomènes perturbateurs* ●

2. *Amplitude*

2.1 *Variations lentes de tension*

La valeur efficace de la tension varie continuellement, en raison des modifications des charges alimentées par le réseau.

Le réseau est exploité pour maintenir ces variations dans des limites contractuelles.

Les appareils peuvent supporter +/- 10%.

On vient de voir que les chutes de tension sont des diminutions supérieures à 10 % sinon ce sont des « fluctuations de tension ».

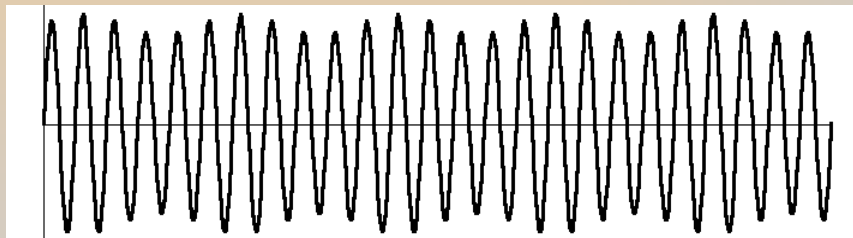
[EN 50160] : pour chaque semaine, 95% des valeurs moyennées sur 10 minutes valent $U_n \pm 10\%$ et toutes les valeurs sont tels que $U_n - 10\%$ et $U_n + 15\%$.

Conséquences : ces variations sont souvent acceptables pour les équipements.

● *Phénomènes perturbateurs* ●

2.2 Fluctuations rapides de tension – Flicker/ papillotement

Dans les installations où il y a des variations rapides de puissance absorbée ou produite ou des démarrages fréquents (soudeuses, éoliennes, fours à arc pendant la période de fusion, compresseurs, moteurs à démarrages fréquents, éoliennes, générateurs d'air conditionné, ...), on observe des variations rapides de tension, répétitives ou aléatoires.



Définition du flicker [EN 50160] : impression d'instabilité de la sensation visuelle due à un stimulus lumineux dont la luminosité ou la répartition spectrale fluctuent dans le temps.

Conséquences : papillotement des éclairages à incandescence (flicker), gênant pour les consommateurs.

● *Phénomènes perturbateurs* ●

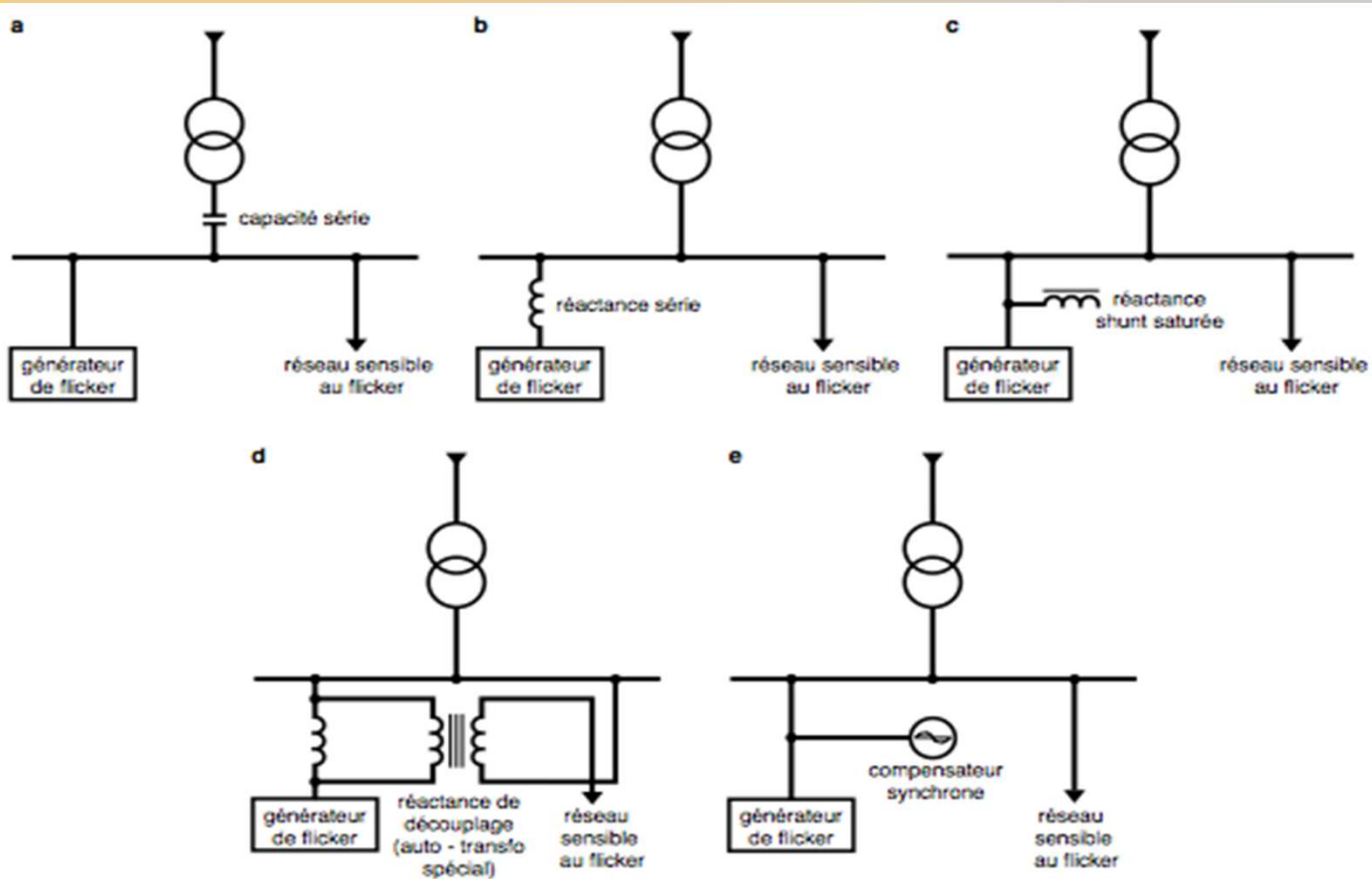
2.2 Fluctuations rapides de tension – Flicker/ papillotement (suite)

Remèdes

- *choix des sources lumineuses : lampes fluorescentes moins sensibles que les lampes à incandescence, les « fluo-compactes » sont encore moins sensibles.*
- *installer un régulateur de tension ou un onduleur sur les lignes éclairage.*
- *agir sur le cycle de fonctionnement des charges perturbatrices.*
- *gestion du réseau : par ex. raccordement des circuits d'éclairage au plus près du transfo., augmenter la puissance du transfo à U_{cc} constant ou diminution de U_{cc} à puissance constante, raccordement de la charge perturbatrice à un niveau de tension plus élevé.*
- *ajout de C série.*
- *ajout d'une réactance série avec un four à arc (consommation de Q !).*
- *ajout d'une réactance shunt saturée (coût et consommation de Q !).*
- *ajout d'une réactance de découplage entre ligne source et ligne victime.*
- *ajout d'un compensateur synchrone ou d'un compensateur statique (qui ajout comme compensateur de Q mais aussi sur le flicker).*

Phénomènes perturbateurs

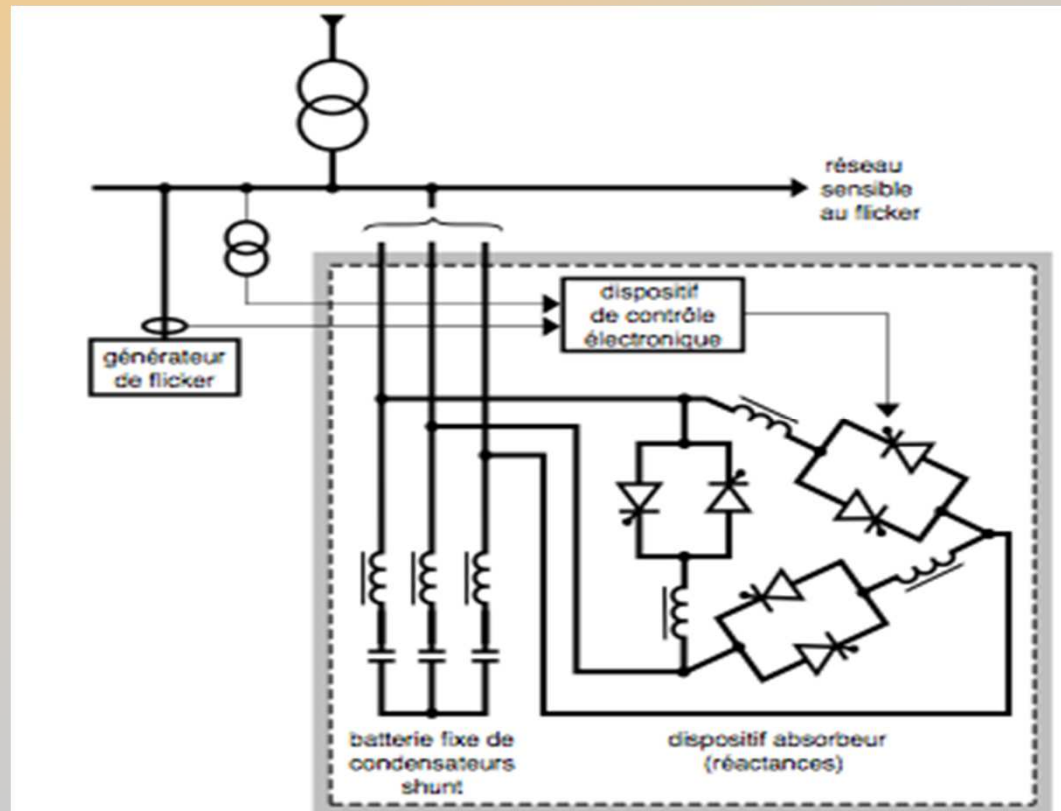
2.2 Fluctuations rapides de tension – Flicker/ papillotement (suite) Remèdes



● *Phénomènes perturbateurs* ●

2.2 *Fluctuations rapides de tension – Flicker/ papillotement (suite)*

- *compensateur statique*



● *Phénomènes perturbateurs* ●

3. Harmoniques et inter-harmoniques

Les distorsions harmoniques se traduisent par une déformation de l'onde de tension qui n'est plus sinusoïdale.

Elles ont pour origine :

- Pour une faible part et avec des taux de distorsion faible, les matériels de réseau eux-mêmes. C'est à dire les machines synchrones, les transformateurs, les machines asynchrones ;

- Pour la part essentielle et avec des taux de distorsion importants, les appareils à circuits non linéaires, c'est à dire les fourres à arcs, l'éclairage fluorescent, les redresseurs, ces derniers équipements prenant une place prépondérante du fait de leur nombre et des puissances unitaires mises en jeu

● *Phénomènes perturbateurs* ●

3. Harmoniques et inter-harmoniques (suite)

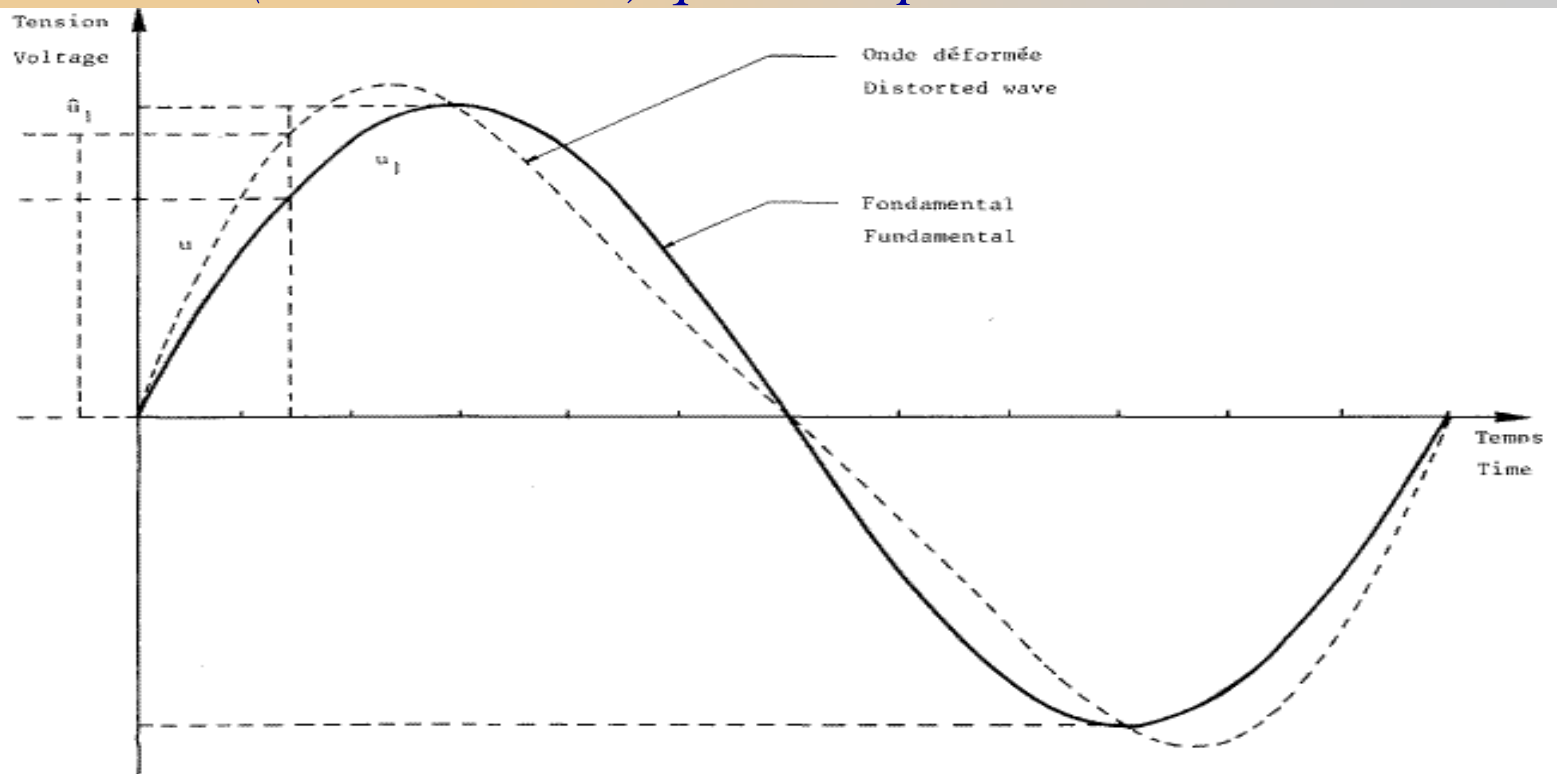
Le domaine de fréquences qui correspond aux harmoniques est généralement compris entre 100Hz et environ 2000 Hz, soit entre l'harmonique de rang $h=2$ et celui de rang $h=40$. Mais il peut également exister dans la tension des réseaux des sous harmoniques ou des pseudo-harmoniques pour lesquels le rang h n'est pas un nombre entier et peut même être inférieur à 1.

Donc, exceptionnellement le domaine de fréquence considéré peut être étendu de quelques Hz à environ 10 KHz.

Phénomènes perturbateurs

3. Harmoniques et inter-harmoniques (suite)

Les distorsions harmoniques → une déformation de l'onde de tension (ou de courant) qui n'est plus sinusoidale



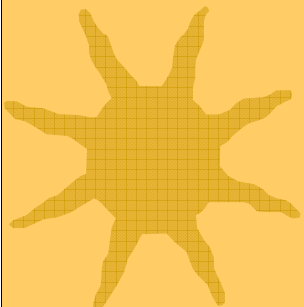
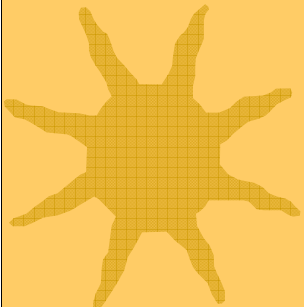
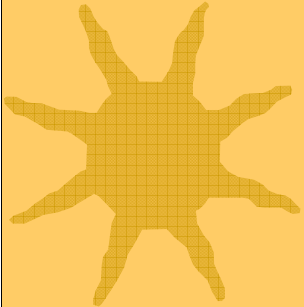
Exemple d'onde déformée par la présence d'harmoniques

● *Phénomènes perturbateurs* ●

3. Harmoniques et inter-harmoniques (suite)

- Il est bien connu qu'une fonction périodique non sinusoidale peut être décomposée en la somme d'une fonction sinusoidales, à la fréquence fondamentale, et d'autres fonctions sinusoidales, habituellement d'amplitude plus petite que celle du fondamental et dont les fréquences sont des multiples entiers de la fréquence fondamentale.

En général, ces fonctions sinusoidales additionnelles ou harmoniques, ont chacune, à l'origine des temps une phase différente par rapport à la fondamentale c'est-à-dire l'ordre de l'harmonique croit.



● *Phénomènes perturbateurs* ●

3. Harmoniques et inter-harmoniques (suite)

En utilisant cette notion d'une onde quelconque assimilable à la somme d'une onde fondamentale et d'harmoniques, cette onde déformée peut représenter un courant ou une tension. Il est périodique de période T, donc de fréquence $f = 1/T$ et de pulsation $w = 2\Pi f$. Cette onde S(t) se décompose de la manière suivante :

$$\mathbf{S(t) = a_0 + \sum\{ a_h \cos(wht) + b_h \sin(wht)\} \quad (h:1 \rightarrow \infty)}$$

L'onde déformée S(t) peut représenter un courant ou une tension

Phénomènes perturbateurs

3. Harmoniques et inter-harmoniques (suite)

$$S(t) = a_0 + \sum \{ a_h \cos(\omega h t) + b_h \sin(\omega h t) \} \quad (h:1 \rightarrow \infty)$$

Avec : $h =$ ordre de l'harmonique ($h=1$ correspond au fondamental).

a_0 une éventuelle composante continue ;

$$a_0 = 1/T \int S(t) dt \quad (t: 0 \rightarrow T)$$

et pour $h \geq 1$: $a_h = 2/T \int S(t) \cos(\omega h t) dt \quad (t: 0 \rightarrow T)$

$$b_h = 2/T \int S(t) \sin(\omega h t) dt \quad (t: 0 \rightarrow T)$$

Ou également : $S(t) = a_0 + \sum C_h \sin(\omega h t + \theta_h) \quad (h:1 \rightarrow \infty)$

Où $\theta_h = \arctan(a_h/b_h) =$ phase de l'harmonique de rang h au temps $t=0$

Phénomènes perturbateurs

3. Harmoniques et inter-harmoniques (suite)

- On définit les fréquences harmoniques f_h comme les fréquences multiples de la fréquence dite fondamentale f .
- Leur rang « h » est tel que : $f_h = hf$.
 - Le terme $\{ a_h \cos(\omega h t) + b_h \sin(\omega h t) \}$ est l'harmonique de rang h .
 - La grandeur $C_h = ((a_h)^2 + (b_h)^2)^{1/2}$ est l'amplitude de l'harmonique de rang h .
- La valeur efficace de l'harmonique est donnée par :
- $C_{\text{eff}} = (2)^{-1/2} C_h$
- C_1 est l'amplitude de la composante fondamentale.

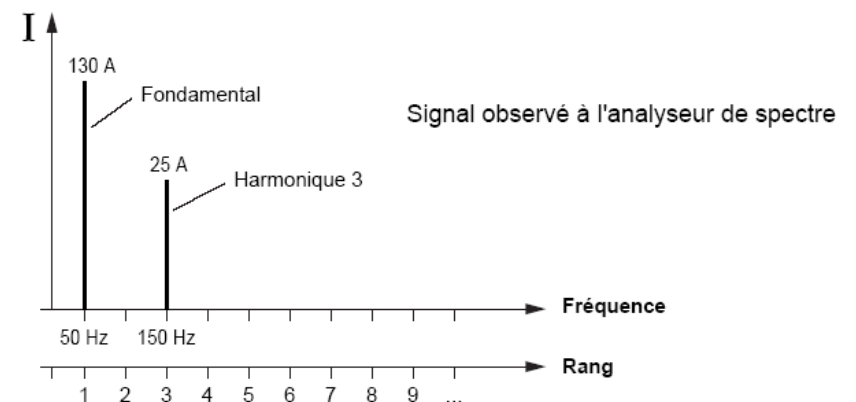
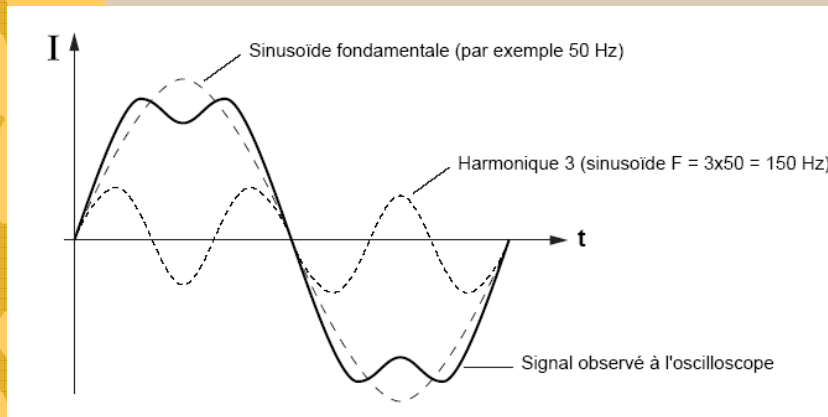
Phénomènes perturbateurs

3. Harmoniques et inter-harmoniques (suite)

3.1 Exemples

Un physicien nommé Fourier a démontré qu'un signal périodique quelconque pouvait se décomposer en une somme de signaux sinusoïdaux ayant différentes amplitudes et phases et dont la fréquence est un multiple entier du fondamental de fréquence f .

Ceci nous amène tout naturellement à parler des **harmoniques**.



Phénomènes perturbateurs

3. Harmoniques et inter-harmoniques (suite)

3.2. Taux de distorsion Harmoniques (TDH)

Taux de Distorsion Harmonique global (THD) = Rapport de la valeur efficace de l'ensemble des courants harmoniques du signal sur la valeur efficace du même signal à la fréquence fondamentale

$$THD = \frac{\sqrt{A_2^2 + A_3^2 + A_4^2 \dots}}{\sqrt{A_1^2}} \% \quad A \text{ ou } V$$

Facteur de Distorsion global (DF) = Rapport de la valeur efficace de l'ensemble des courants harmoniques du signal sur la valeur efficace du signal

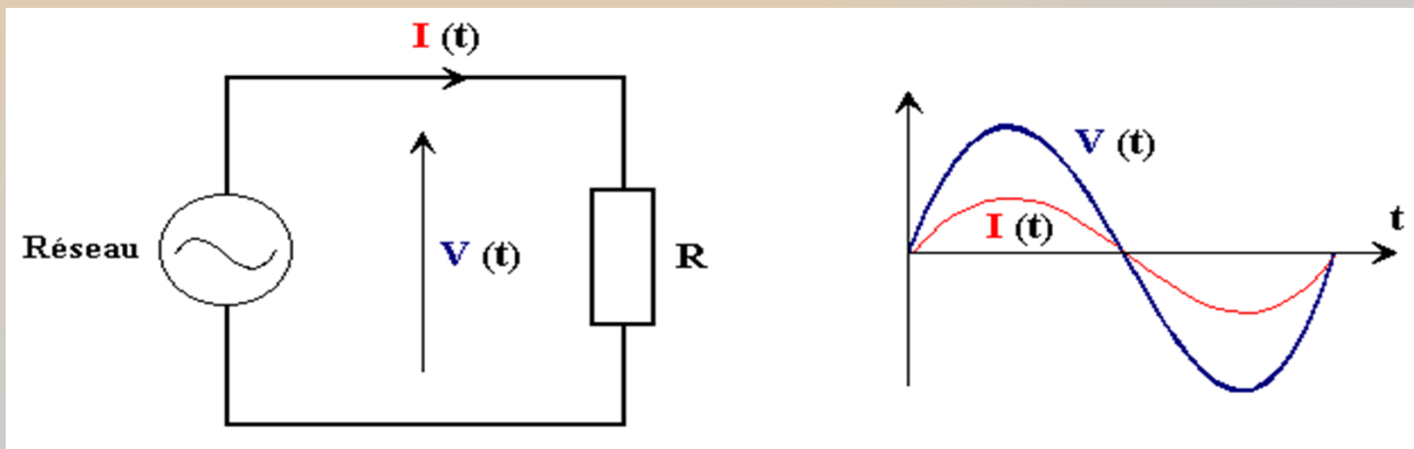
$$DF = \frac{\sqrt{A_0^2 + A_2^2 + A_3^2 \dots}}{\sqrt{A_{eff}^2}} \% \quad A \text{ ou } V$$

Phénomènes perturbateurs

3. Harmoniques et inter-harmoniques (suite)

3.3 Harmoniques – Origine

Hier, la majorité des charges utilisées sur le réseau électrique étaient des charges dites LINEAIRES : charges appelant un courant de forme identique à la tension, c'est-à-dire quasi-sinusoidal comme les convecteurs électriques ou encore les lampes à incandescence.

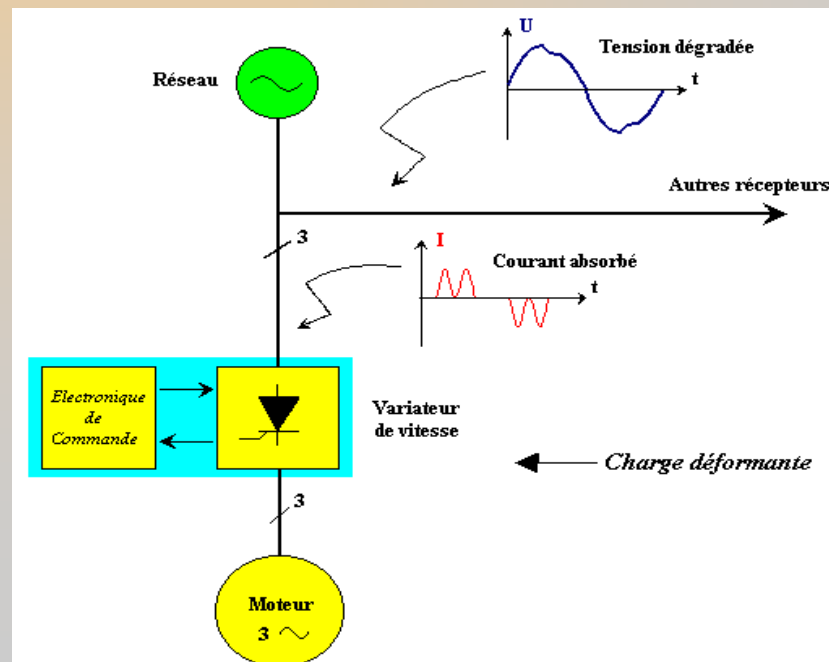


Phénomènes perturbateurs

3. Harmoniques et inter-harmoniques (suite)

3.3 Harmoniques – Origine (suite 1/5)

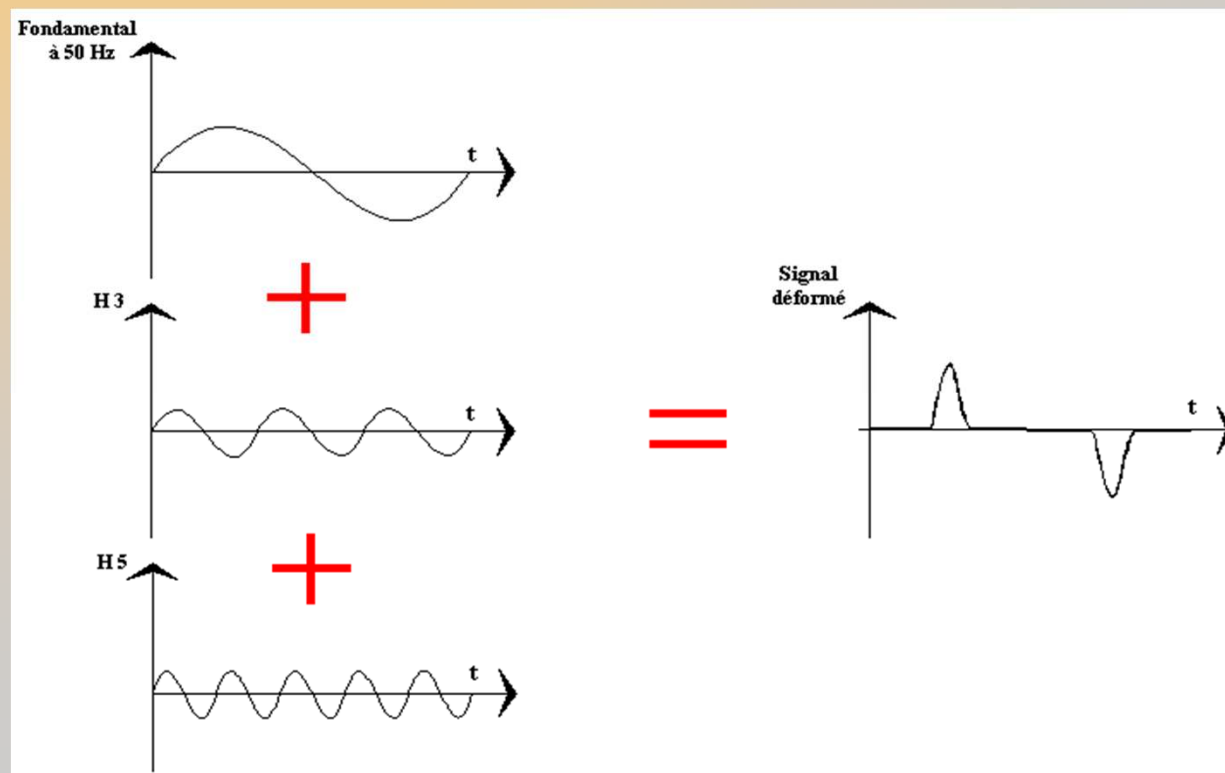
Aujourd'hui, la majorité des charges utilisées sur le réseau électrique sont des charges dites **NON LINEAIRES** ou **DEFORMANTES**.



Phénomènes perturbateurs

3. Harmoniques et inter-harmoniques (suite)

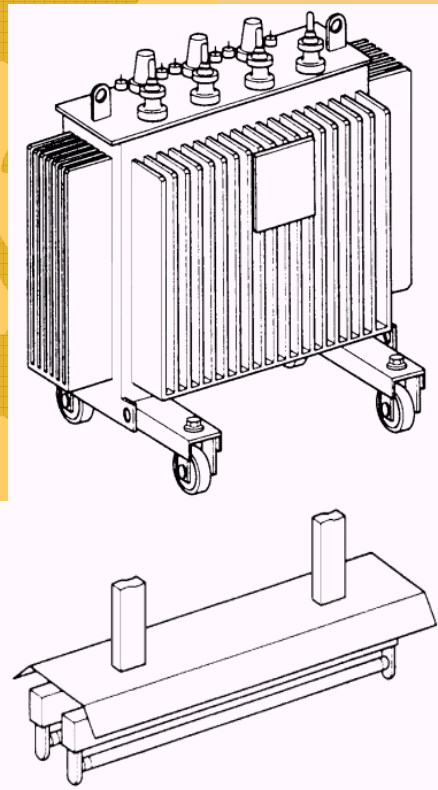
3.3 Harmoniques – Origine (suite 2/5)



Phénomènes perturbateurs

3. Harmoniques et inter-harmoniques (suite)

3.3 Harmoniques – Origine (suite 3/5)

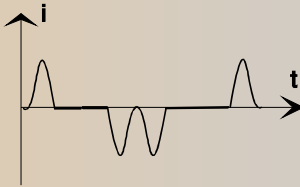
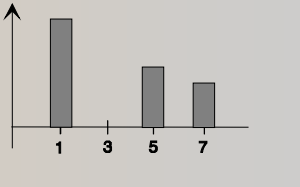
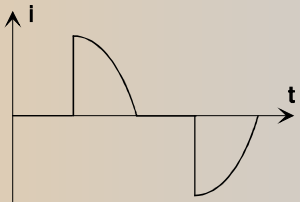
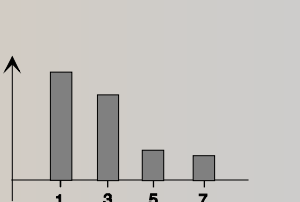
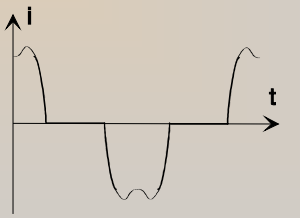
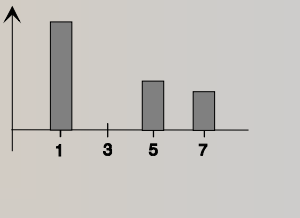
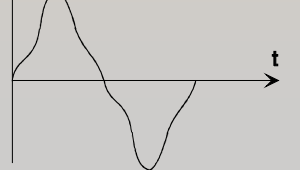
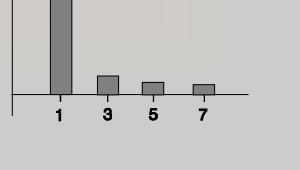


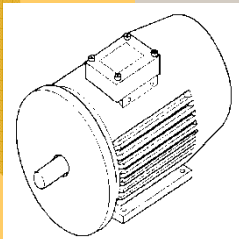
Types de charge	Appareils concernés	Courant absorbé	Spectre harmonique correspondant
Récepteur résistif	<ul style="list-style-type: none"> - Fours industriels à résistances réglées par commande à trains d'ondes - Lampe à incandescence, convecteurs, chauffe-eau. 		<p>1 3 5 7 ↳ fondamental</p>
Eclairage	<ul style="list-style-type: none"> - Tubes fluorescents, - Lampes à vapeur HP. 		<p>1 3 5 7</p>
Redresseur monophasé à diodes avec filtrage Alimentation à découpage	<ul style="list-style-type: none"> - Micro-informatique, - Télévisions, - Lampes à ballast électronique. 		<p>1 3 5 7</p>

Phénomènes perturbateurs

3. Harmoniques et inter-harmoniques (suite)

3.3 Harmoniques – Origine (suite 4/5)

Types de charge	Appareils concernés	Courant absorbé	Spectre harmonique correspondant
Redresseur triphasé à diodes avec filtrage	- Variation de vitesse des moteurs asynchrones.		
Gradateur monophasé (commande par angle de phase)	- Régulation de puissance de fours à résistances, - Modulation de puissance des lampes halogènes.		
Redresseur triphasé à thyristors	- Variation de vitesse des moteurs à courant continu et des moteurs synchrones, - Electrolyseurs.		
Moteur asynchrone	- Machines outils, - Appareils électroménagers, - Ascenseurs.		



Phénomènes perturbateurs

3. Harmoniques et inter-harmoniques (suite)

3.3. Harmoniques – Origine (suite 5/5)

Si on veut résumer la problématique

Présence de charges

=

Courant déformé

Courant déformé

\times

Impédance interne des générateurs

=

Tensions harmoniques

$U = Z.I$

Tensions harmoniques

=

Tension non sinusoïdale

Conclusion :

Cette tension déformée est commune à tous les autres récepteurs du réseau.

Elle est préjudiciable au bon fonctionnement de l'ensemble des récepteurs raccordés sur ce réseau.

● *Phénomènes perturbateurs* ●

3. *Harmoniques et inter-harmoniques (suite)*

3.4. *Harmoniques – conséquences*

- *machines synchrones*
- *transformateurs*

échauffements

pertes & échauffements suppl.

risque de saturation

- *machines asynchrones*

échauffements, couples pulsatoires

- *câbles*

augm. pertes ohmiques et diél.

- *ordinateurs*

problèmes fonctionnels

- *électronique de puissance*

problèmes liés à la forme d'onde

- *condensateurs*

échauff., vieillissement, résonance,

etc.

- *régulateurs, relais, compteurs*
faussée

fonct. intempestif, erreurs, mesure

● *Phénomènes perturbateurs* ●

3. *Harmoniques et inter-harmoniques (suite)*

3.4. *Harmoniques – conséquences (suite 1/2)*

Effets immédiats

Pertes par effet Joule

- *Dégradation du facteur de puissance*
- *Réduction de la puissance des moteurs*
- *Surcharges des câbles, transformateurs et moteurs*
- *Disjonctions intempestives*
- *Augmentation du bruit dans les moteurs*
- *Surdimensionnement de certains composants :*
conducteur du neutre, d'alimentation, batteries de condensateurs

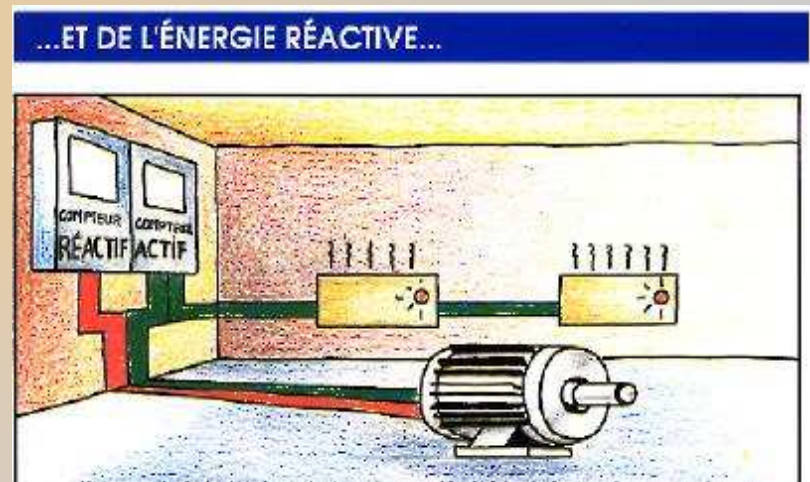
Effets à moyen et long terme

- Réduction de la durée de vie des moteurs*
- Réduction de la durée de vie des transformateurs*
- Vieillessement accéléré des isolants et des diélectriques*

Phénomènes perturbateurs

3. Harmoniques et inter-harmoniques (suite)

3.4. Harmoniques – conséquences (suite 2/2)



Actif

Energie consommée HP	27,408 MWh
Energie consommée HC	13,835 MWh
Puissance maximale du mois	161,250 kW
PMax historique (02/2006)	161,250 kW

Réactif

Energie réactive consommée (kvarh)	18409,000
Cosinus Phi	0,883

Phénomènes perturbateurs

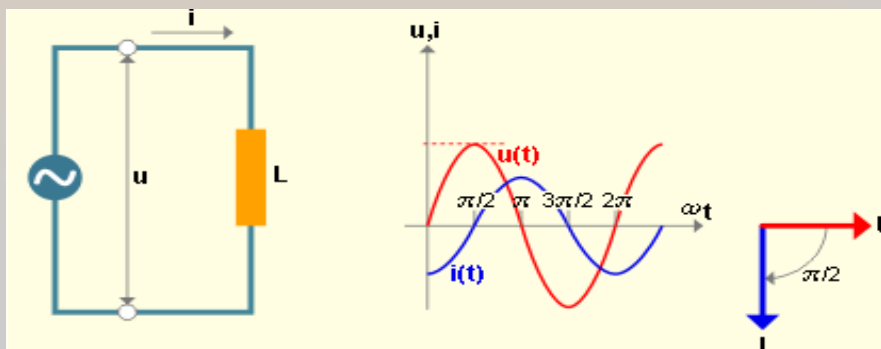
3. Harmoniques et inter-harmoniques (suite)

3.5. Harmoniques – relation avec puissance réactive

Si le réseau doit alimenter des convertisseurs AC/DC, des variateurs de vitesse, ..., il est, en plus de la charge normale due à la consommation de puissance active, sollicité par une demande de puissance réactive et est également pollué par les harmoniques générés par les convertisseurs.

Il faut donc trouver des solutions pour soulager le réseau et éviter les pénalités liées à la consommation de puissance réactive.

Il faut s'arranger pour que le facteur de puissance $\cos \phi$ soit plus grand et supérieur à 0,9.



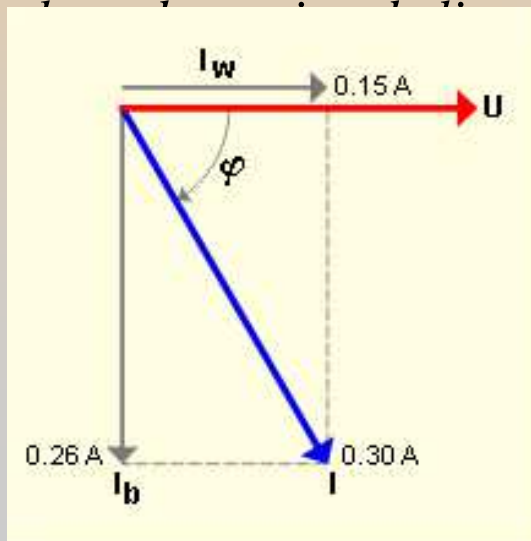
Phénomènes perturbateurs

3. Harmoniques et inter-harmoniques (suite)

3.5. Harmoniques – relation avec puissance réactive (1/6)

Diminuer la puissance réactive consommée et augmenter le $\cos \phi$
Pourquoi ?

- Un allègement de la facturation pour l'abonné
- Une augmentation de la puissance disponible sur l'installation
- Une diminution des pertes
- Une réduction de la chute de tension

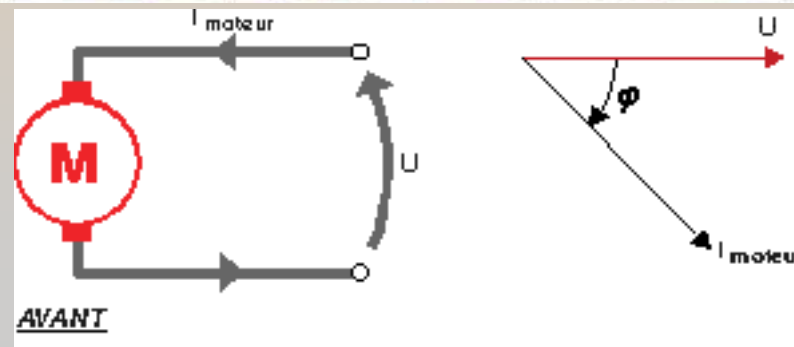
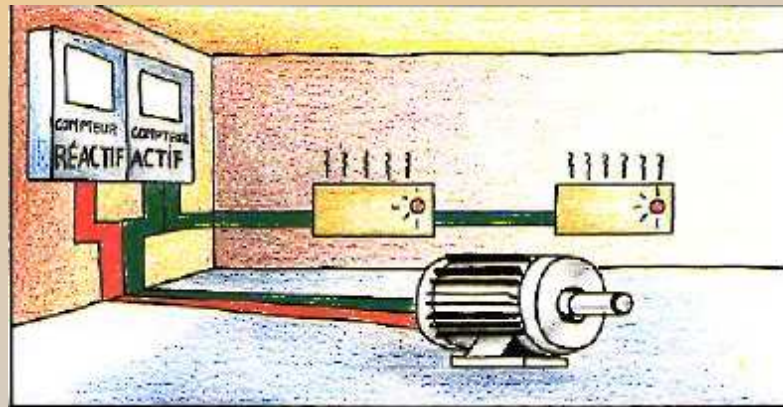


Phénomènes perturbateurs

3. Harmoniques et inter-harmoniques (suite)

3.5. Harmoniques – relation avec puissance réactive (2/6)

* Ajout de bancs de condensateur

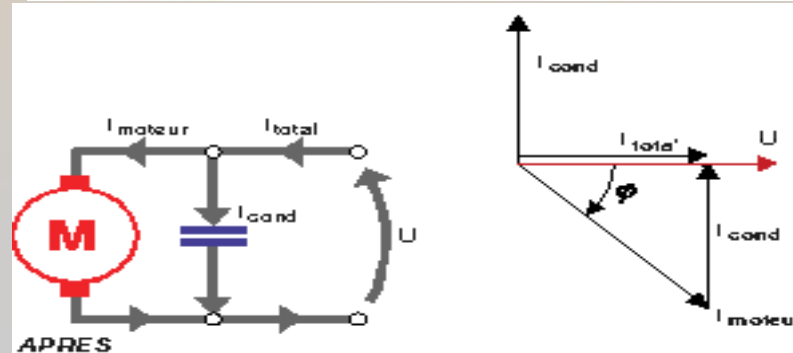
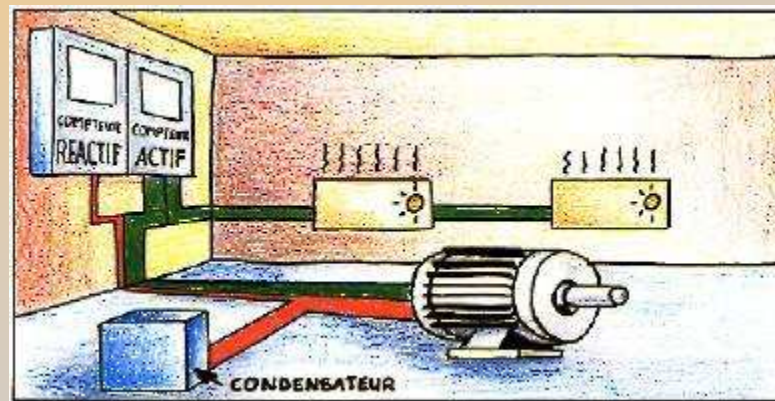


Phénomènes perturbateurs

3. Harmoniques et inter-harmoniques (suite)

3.5. Harmoniques – relation avec puissance réactive (3/6)

* Ajout de bancs de condensateur



Phénomènes perturbateurs

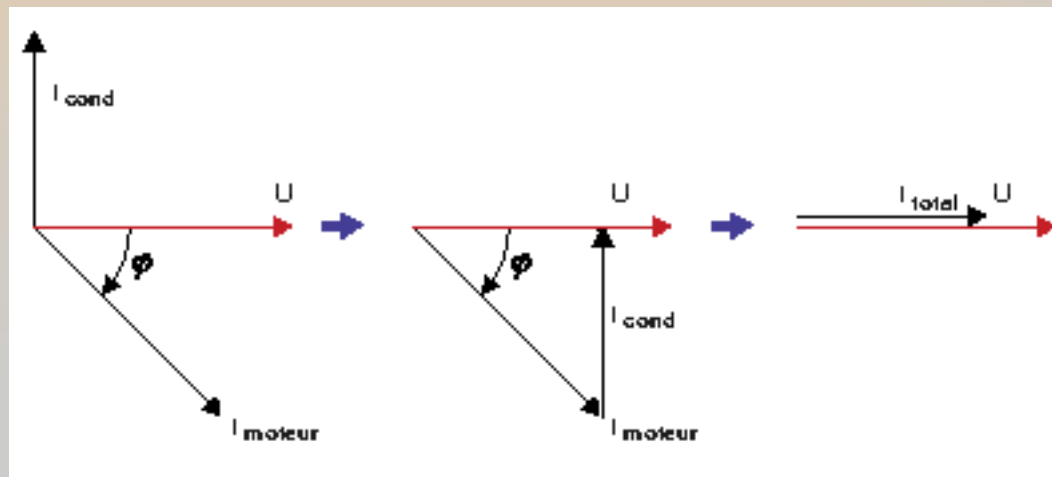
3. Harmoniques et inter-harmoniques (suite)

3.5. Harmoniques – relation avec puissance réactive (4/6)

* Ajout de bancs de condensateur

Paradoxalement,

le fait d'ajouter un équipement (et donc de générer un courant supplémentaire),
entraîne une diminution du courant total demandé au réseau !



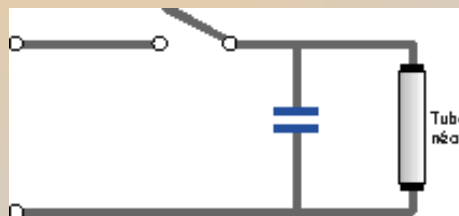
● *Phénomènes perturbateurs* ●

3. Harmoniques et inter-harmoniques (suite)

3.5. Harmoniques – relation avec puissance réactive (5/6)

** Ajout de bancs de condensateur : où ?*

- Compensation individuelle : solution chère, efficace, pas de perte en ligne ni de chute de tension dans l'installation, on évite les surcompensations.



- Compensation centralisée : solution simple.

Batteries fixes et/ou batteries avec enclenchement automatique (gestion par régulateur qui enclenche et déclenche en fonction de la valeur du $\cos \phi$, ce qui évite les surcompensations).

- Compensation par groupes : solution intermédiaire, par ex. pour les utilisateurs en aval d'un tableau.

Phénomènes perturbateurs

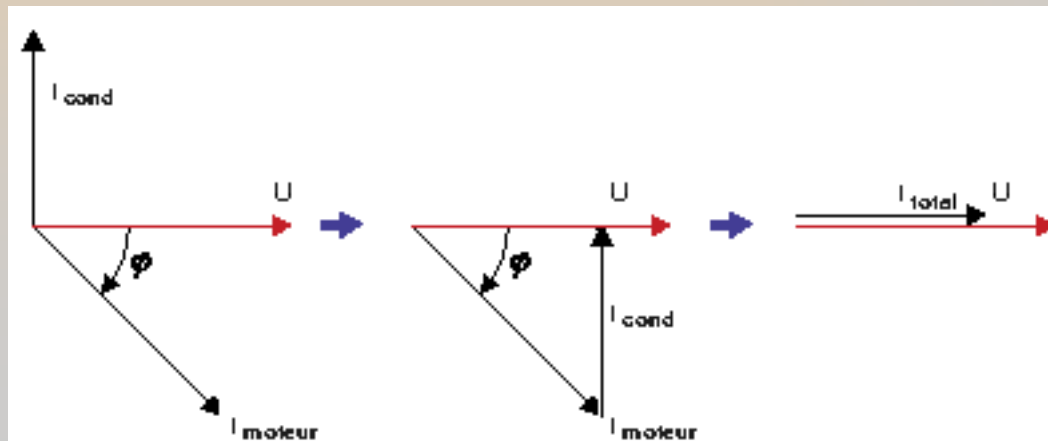
3. Harmoniques et inter-harmoniques (suite)

3.5. Harmoniques – relation avec puissance réactive (6/6)

* Ajout de bancs de condensateur : conséquences, risques et précautions ?

Ne pas surcompenser !

Un dimensionnement correct est essentiel. Si on compense trop peu, le résultat est insuffisant mais si on compense trop, il y aura un renvoi d'énergie réactive capacitive vers le réseau qui sera comptabilisé et facturé.



● *Phénomènes perturbateurs* ●

4. Harmoniques – Remèdes ?

** Ajouter des filtres*

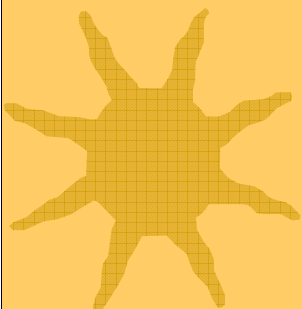
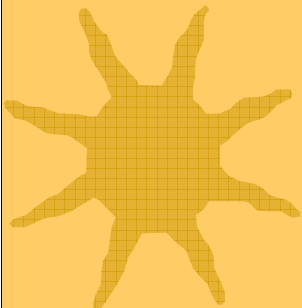
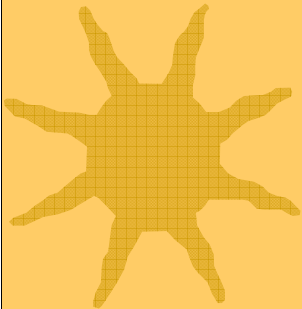
● *Filtres passifs*

■ *Filtre résonnant, extrêmement efficace pour éliminer une harmonique de rang particulier "filtre passe-haut"*

■ *Filtre amorti, filtrage de toutes les fréquences inférieures au rang considéré "filtre passe-bas"*

● *Filtres actifs*

Injecte des courants harmoniques équivalents mais en opposition de phase de ceux émis par les appareils.

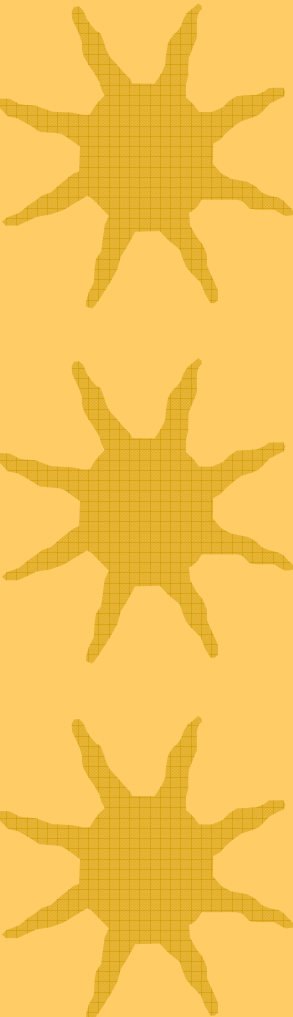


Phénomènes perturbateurs

Résumé

Type de perturbation	Origine	Conséquences	Solutions possibles
Coupure longue	Court-circuit, surcharge, déclenchement intempestif, (maintenance)	Arrêts d'équipements, pertes de production, dégâts	Alimentation de secours (réseau), alimentation sans interruption (ASI)
Creux de tension et coupure brève	Court-circuit, (enclenchement de gros moteur)	Arrêts d'équipements, pertes de production, dégâts	Conditionneur de réseau, conception de l'équipement sensible, alimentation sans interruption
Fluctuation rapide (flicker)	Installations fluctuantes (four à arc, soudeuse, moteur à démarrage fréquent, éolienne...)	Papillotement de l'éclairage	Compensateur synchrone, compensateur statique de puissance réactive, conditionneur actif, condensateur série
Harmonique	Installations non linéaires (électronique de puissance, arcs électriques...)	Effets thermiques (moteurs, condensateurs, conducteurs de neutre...), diélectriques (vieillessement d'isolant) ou quasi instantanés (automatismes)	Filtrage actif ou passif, self anti-harmonique, déclassement d'appareil
Interharmonique	Installations non linéaires et fluctuantes (four à arc, soudeuse, éolienne), changeurs de fréquence, télécommande centralisée	Papillotement de l'éclairage fluorescent, dysfonctionnement d'automatismes, dégâts mécaniques sur machines tournantes	Filtrage actif ou passif, amortissement de filtres anti-harmoniques, conception de l'équipement sensible
Déséquilibre	Installations déséquilibrées (traction ferroviaire...)	Echauffement de machines tournantes, vibrations, dysfonctionnement de protections	Dispositif d'équilibrage, conditionneur de réseau
Surtension transitoire	Court-circuit, commutations, foudre	Déclenchements, danger pour les personnes et pour les matériels	Séparation galvanique, parasurtenseurs, enclenchement "synchronisé", résistance de pré-insertion

Bibliographie

- 
- * *Documentation technique Legrand.*
 - * *Documentation technique Hager.*
 - * *Catalogue Électricien, Scheinder Electric.*
 - * *Guide de l'installation électrique, Scheinder Electric..*
 - * *Technique de l'ingénieur (Génie électrique D5 volume I).*
 - * *Les installations électriques, Patrick Lagonotte, Hermès Science Publications.*