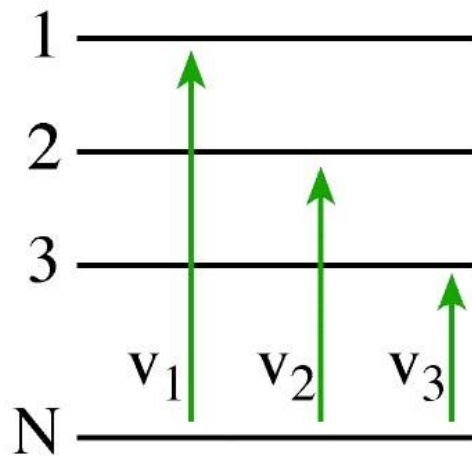
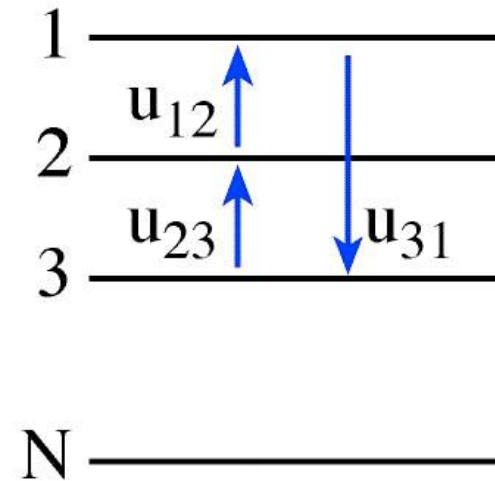


1 - Alimentation triphasée

Distribution : 3 phases 1,2,3 ou A,B,C ou R,S,T
et un neutre N



Tensions
simples



Tensions
composées

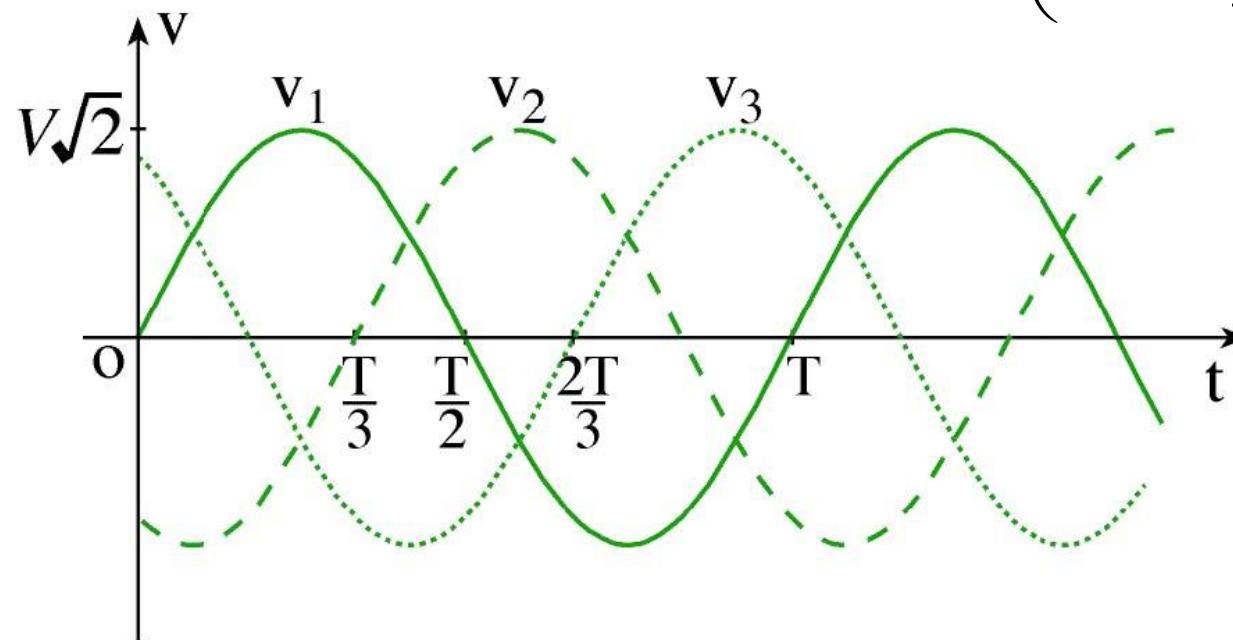
1-a : Tensions simples

Equations for air res : [?]

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

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

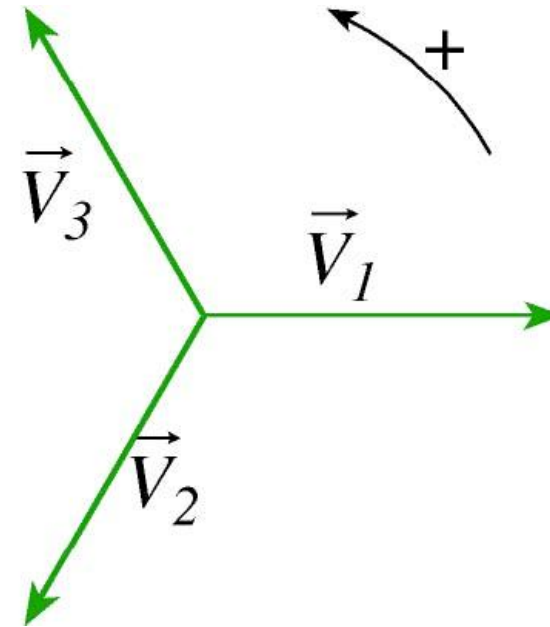
$$v_3(t) = V\sqrt{2} \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right)$$



Triphasé équilibré direct :

$$\sum \vec{V}_i = \vec{0}$$

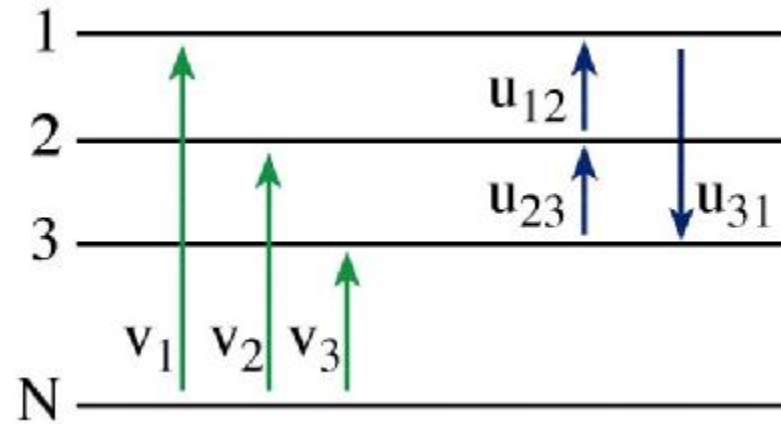
Vecteurs de Fresnel :



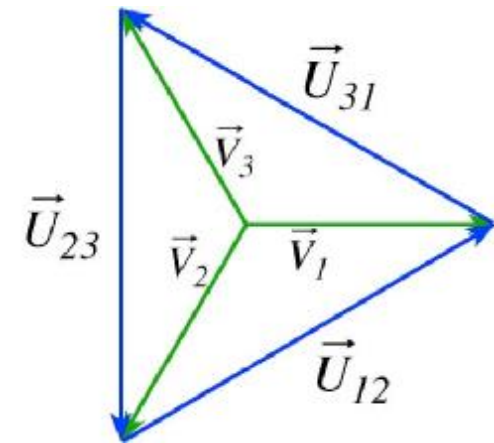
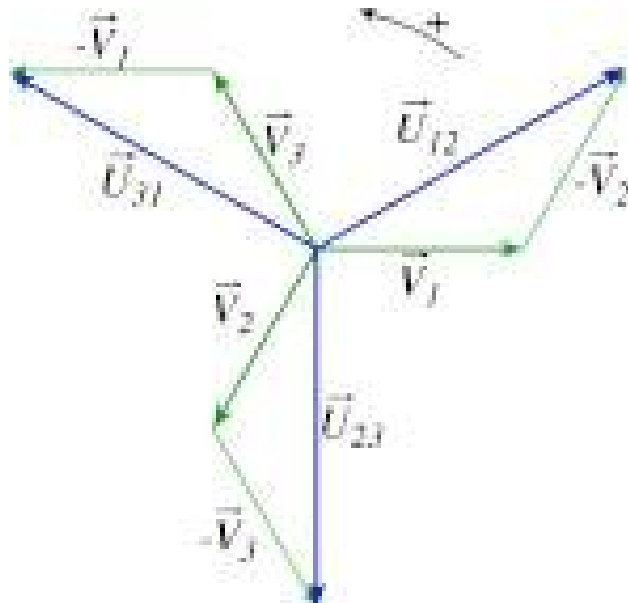
$$V_1 = V_2 = V_3 = V$$

$$\varphi_{V_1/V_2} = \varphi_{V_2/V_3} = \varphi_{V_3/V_1} = \frac{2\pi}{3}$$

1-b : Tensions composées



Vecteurs de Fresnel
pour un système
équilibré direct

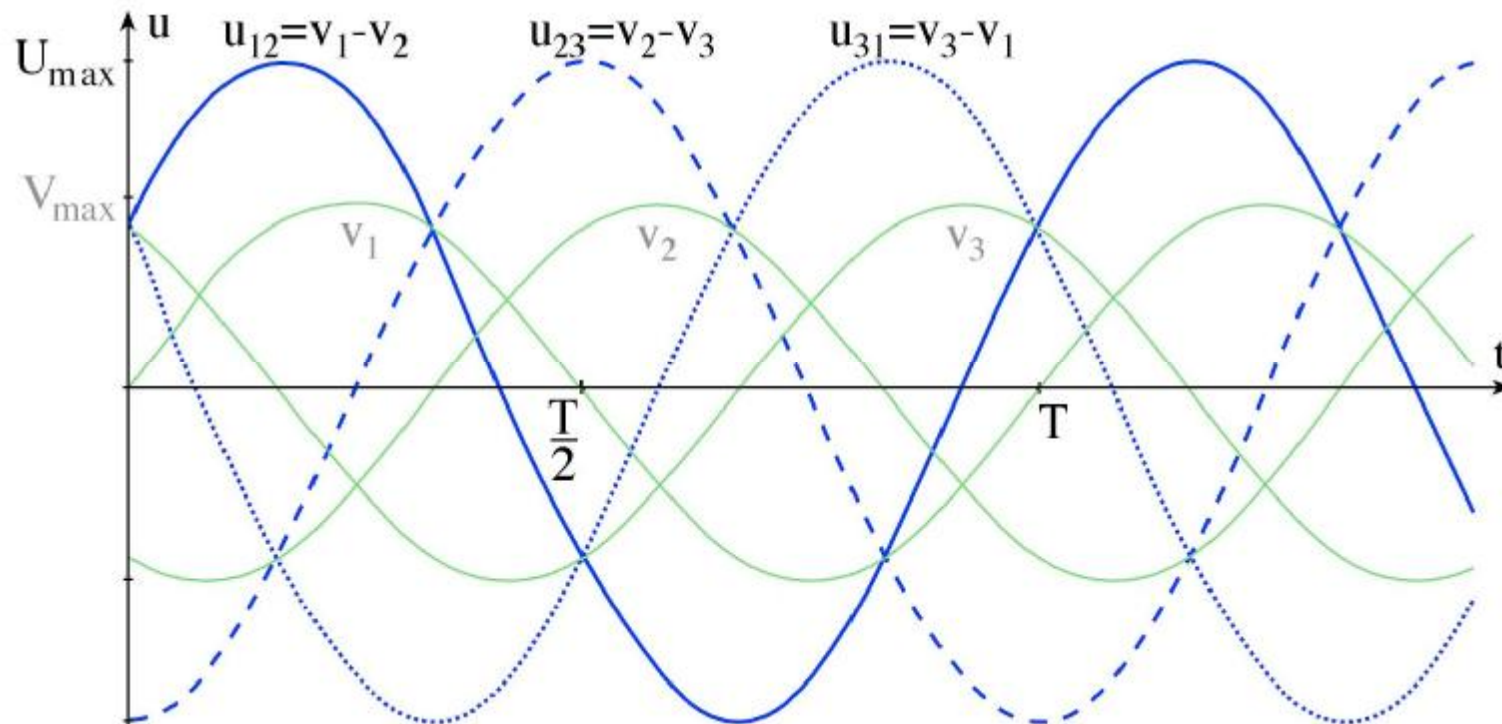


Equations for air res : ?

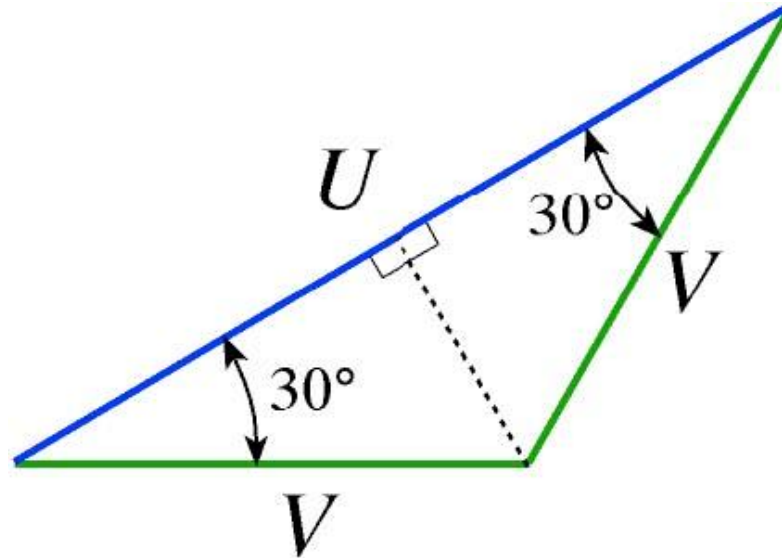
$$u_{12} = U\sqrt{2} \sin(\omega t + \frac{\pi}{6})$$

$$u_{23} = U\sqrt{2} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

$$u_{31} = U\sqrt{2} \sin(\omega t - \frac{7\pi}{6})$$

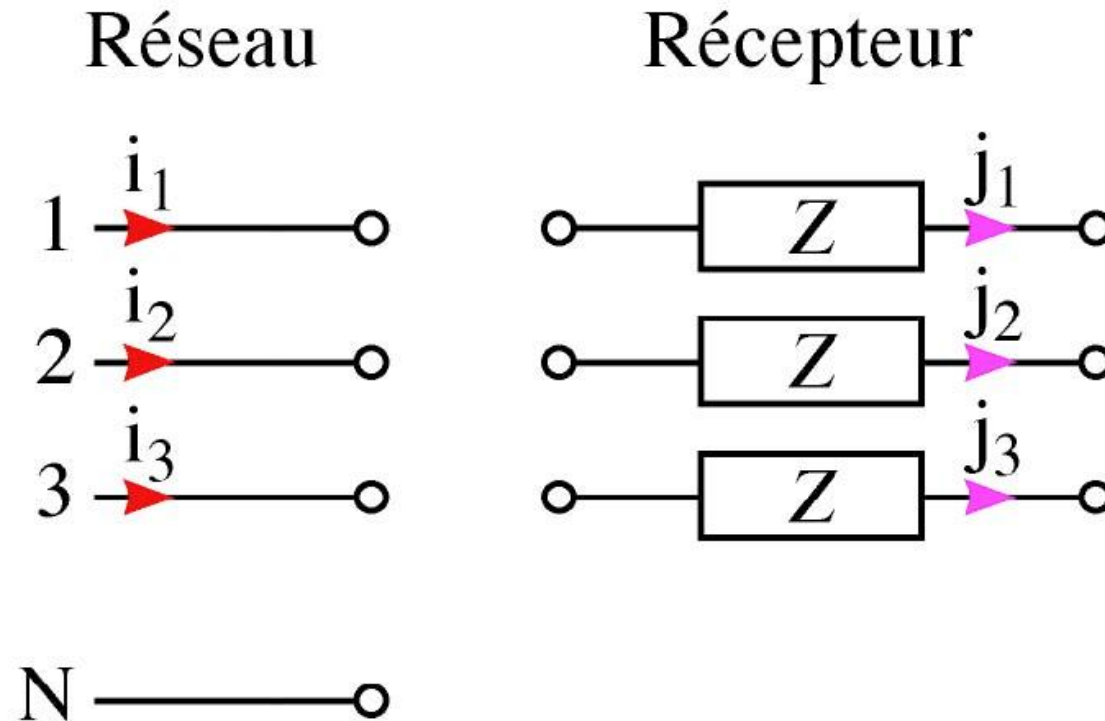


1-c : Relation entre U et V



$$U = V\sqrt{3}$$

1-d : Récepteur triphasé équilibré

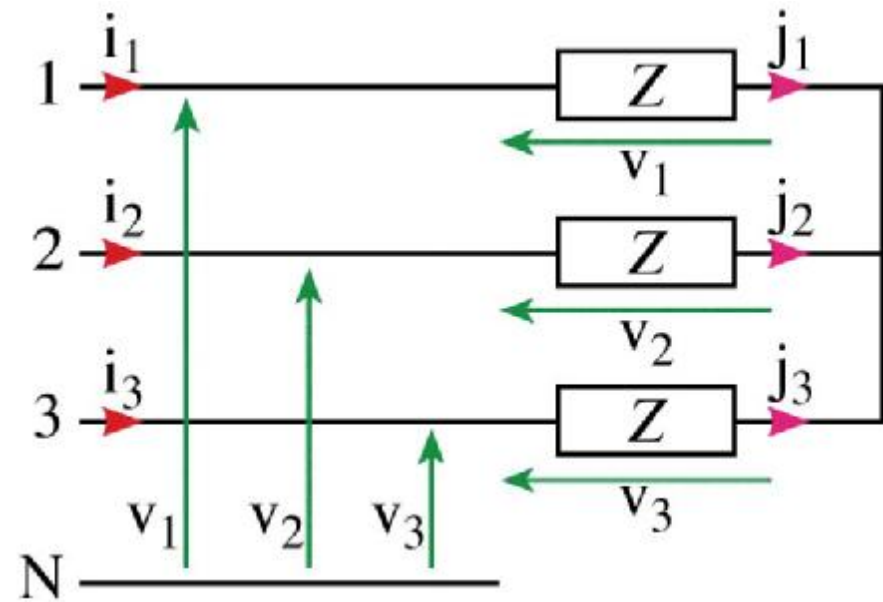
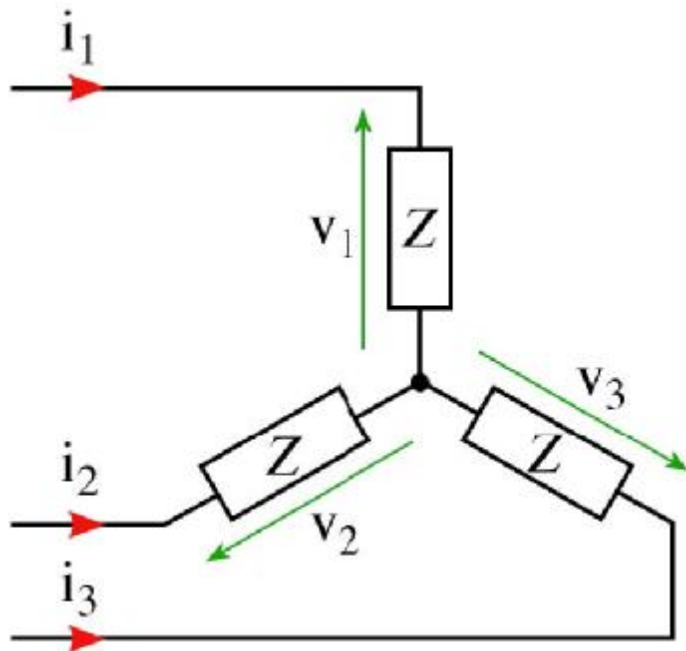


i_i : courants de ligne

j_i : courants dans les charges ou de phase

1-d : Récepteur étoile

Tensions et courants (récepteur étoile)

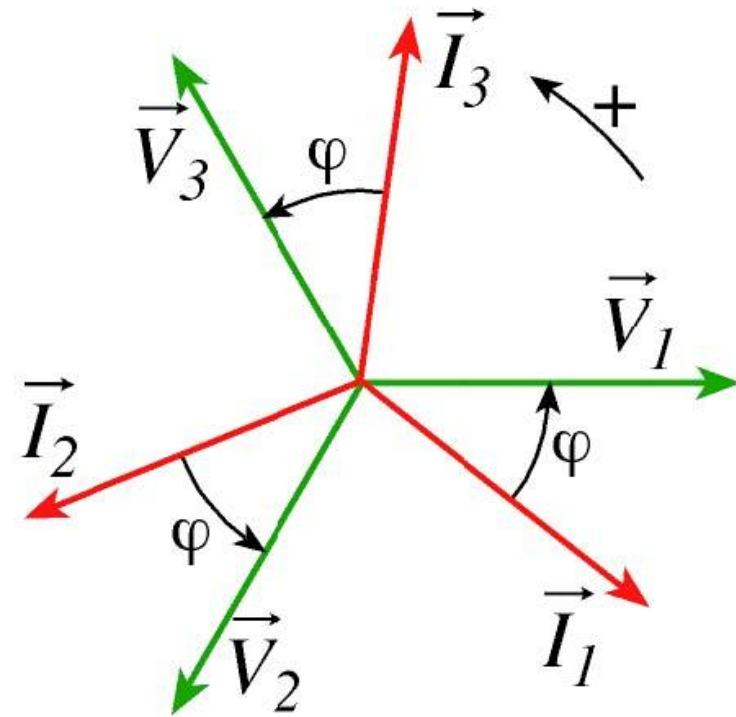


$$I_i = J_i$$

Puissances (récepteur étoile)

On pose $\varphi = \varphi_v - \varphi_i = \varphi_Z$

$\cos \varphi$ facteur de puissance



Puissance active?

$$P = 3 VI \cos \varphi = \sqrt{3} UI \cos \varphi \quad (W)$$

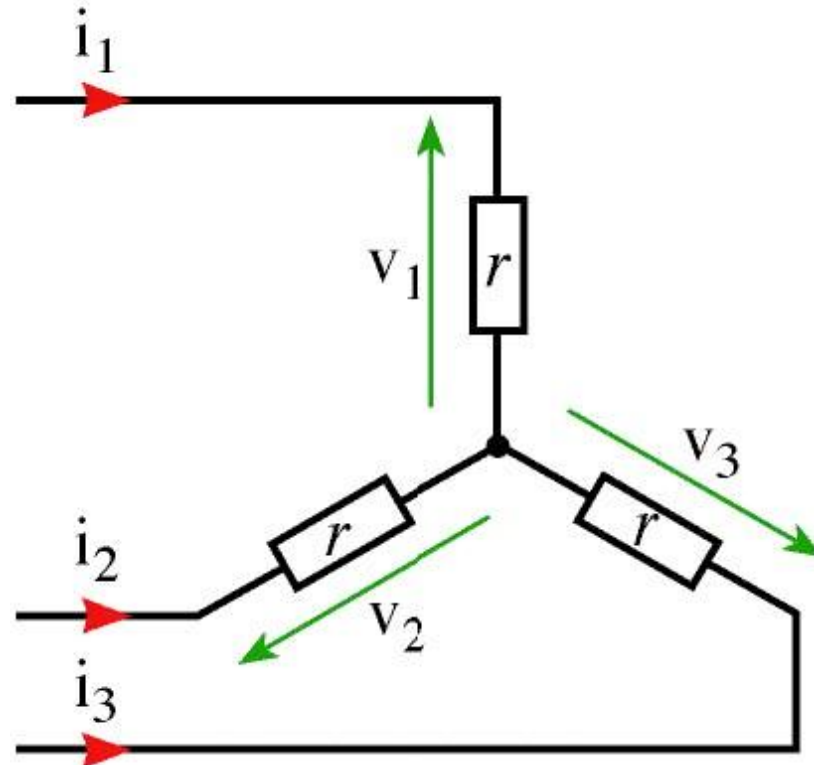
Puissance réactive?

$$Q = 3 VI \sin \varphi = \sqrt{3} UI \sin \varphi \quad (VAr)$$

Puissance apparente

$$S = 3 VI = \sqrt{3} UI \quad (VA)$$

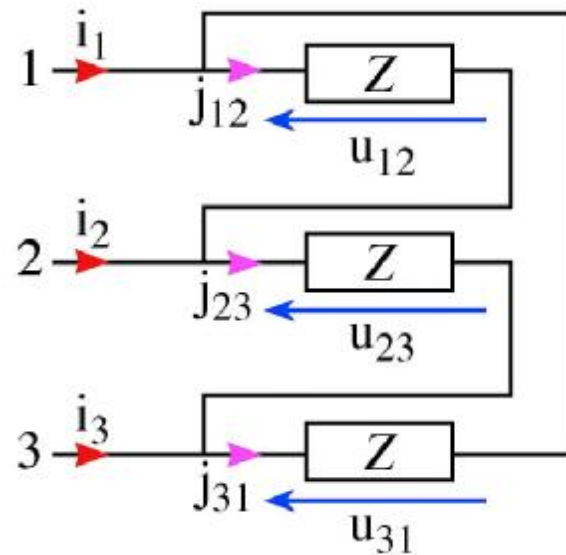
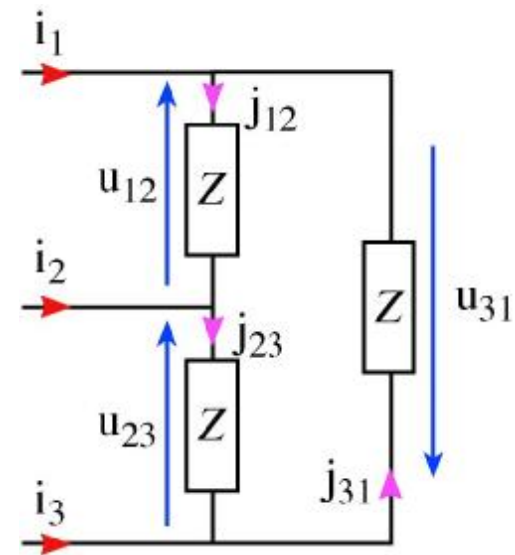
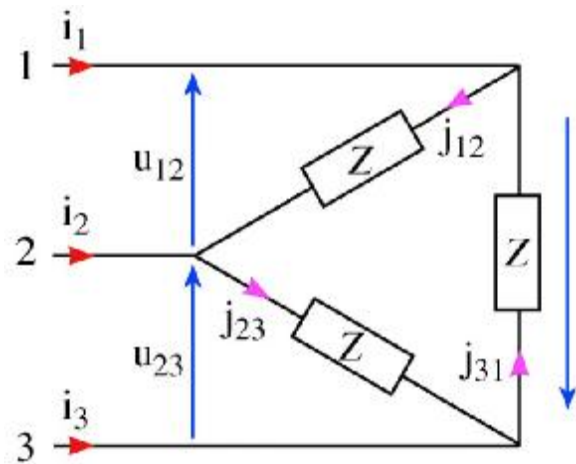
Pertes par effet Joule (récepteur étoile)
pour les 3 phases



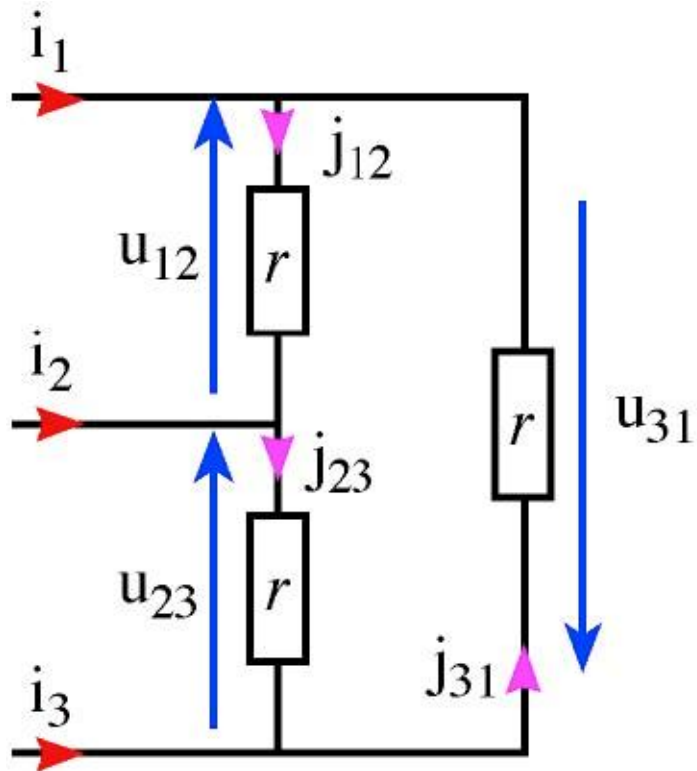
$$P_J = \frac{3}{2} RI^2 \quad \text{avec } R = 2r$$

1-e : Récepteur triangle

Schémas électriques



Puissances (récepteur triangle)



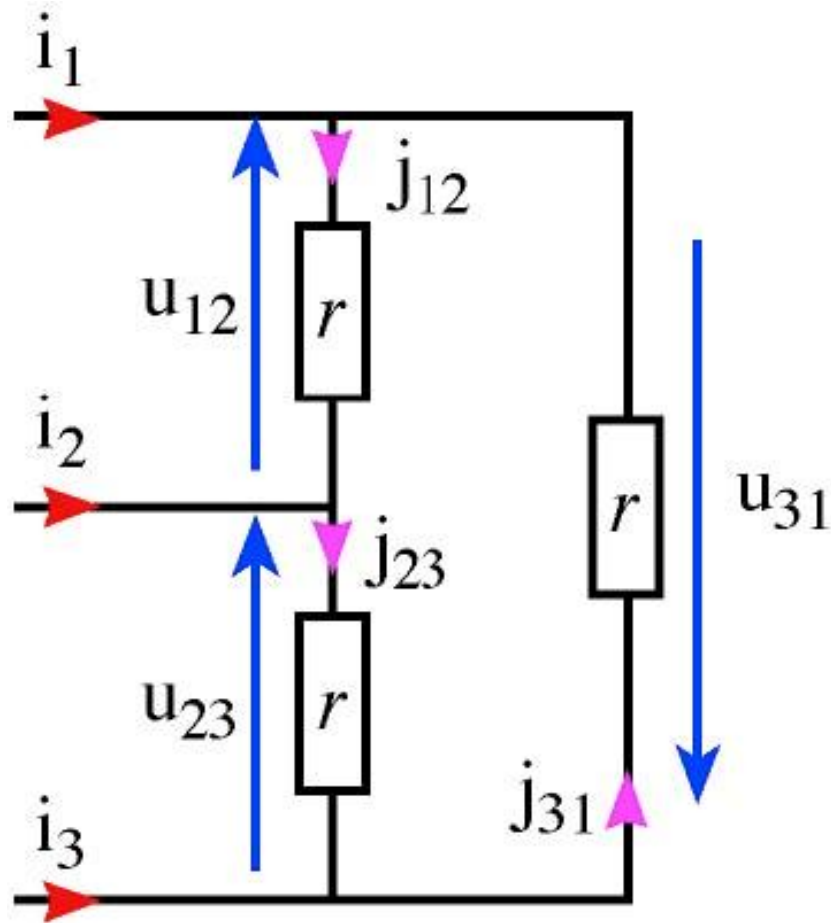
On pose $\varphi = \varphi_u - \varphi_j = \varphi_Z$
 facteur de puissance
 $\cos \varphi$

$$P = 3JU \cos \varphi = \sqrt{3}UI \cos \varphi$$

$$Q = 3JU \sin \varphi = \sqrt{3}UI \sin \varphi$$

$$S = 3JU = \sqrt{3}UI$$

Pertes par effet Joule (récepteur trianglé) ?
 pour les 3 phases



$$P_J = \frac{3}{2} RI^2$$

avec $R = 2r/3$

Résumé :

	Couplage étoile	Couplage triangle
Relation entre U et V	$U = V\sqrt{3}$	$U = V\sqrt{3}$
Relation entre I et J	$I = J$	$I = J\sqrt{3}$
Déphasage	$\varphi(\vec{I}, \vec{V})$	$\varphi(\vec{J}, \vec{U})$
Puissance active	$P = 3VI \cos \varphi$ $P = \sqrt{3}UI \cos \varphi$	$P = 3UJ \cos \varphi$ $P = \sqrt{3}UI \cos \varphi$
Pertes Joule	$P = 3rI^2 = \frac{3}{2}RI^2$	$P = 3rJ^2 = \frac{3}{2}RI^2$
Résistance équivalente	$R = 2r$	$R = \frac{2}{3}r$
Puissance réactive	$Q = \sqrt{3}UI \sin \varphi$	$Q = \sqrt{3}UI \sin \varphi$
Puissance apparente	$S = \sqrt{3}UI$	$S = \sqrt{3}UI$
Facteur de puissance	$\cos \varphi$	$\cos \varphi$

Les textes officiels en basse tension

Les textes réglementaires : la protection des personnes



■ Les établissements recevant du public

la publication UTE C12-201 regroupe les principaux extraits de règlements relatifs à la protection contre les risques d'incendie et de panique dans les ERP :

- classement des établissements en fonction
 - de la nature de leur exploitation (ex : restaurant, salle de spectacle, école...)
 - de leur catégorie de 1 à 5 en fonction de l'effectif du public

- dispositions applicables à tous les ERP

■ les immeubles de grande hauteur :

définition (article R 122-2 du code de la construction et de l'habitation) :

- à 50 mètres pour les immeubles à usage d'habitation,
- à plus de 28 mètres pour tous les autres immeubles.

décret n° 67-1063 du 15/11/1967 modifié par l'arrêté du 18/10/77 celui du 22/10/1982 relatifs au règlement de sécurité dans les IGH

■ les bâtiments à usage d'habitation

l'arrêté du 22/10/1969 : protection dans les bâtiments à usage d'habitation

Les textes réglementaires : la protection des travailleurs

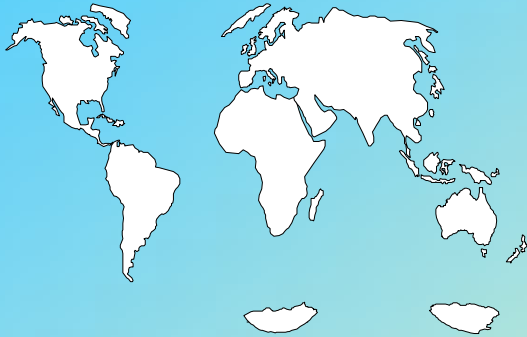
■ **le décret 88-1056 du 14 novembre 1988** relatifs à la **protection des travailleurs** dans les établissements qui mettent en œuvre des courants électriques

- Les généralités
- Conditions générales auxquelles doivent satisfaire les installations
- Protection des travailleurs contre les risques de contact avec des conducteurs actifs ou des pièces conductrices habituellement sous tension.
- Protection des travailleurs contre les risques de contact avec des masses mises accidentellement sous tension.
- Prévention des brûlures, incendies et explosions d'origine électrique.
- Utilisation, surveillance, entretien et vérifications des installations électriques.
- Mesures diverses (circulaire d'application du 7 mai)

Classification des tensions		tension nominale en V	
		en courant alternatif	en courant continu lissé
très basse tension TBT		$U_n \leq 50$	$U_n \leq 120$
basse tension	BTA	$50 < U_n \leq 500$	$120 < U_n \leq 750$
	BTB	$500 < U_n \leq 1000$	$750 < U_n \leq 1500$
haute tension	HTA	$1000 < U_n \leq 50\ 000$	$1500 < U_n \leq 75\ 000$
	HTB	$U_n > 50\ 000$	$U_n > 75\ 000$

Les instances de normalisation

Genève



normes internationales

ISO

IEC

Bruxelles



normes européennes

CEN

CENELEC

Paris

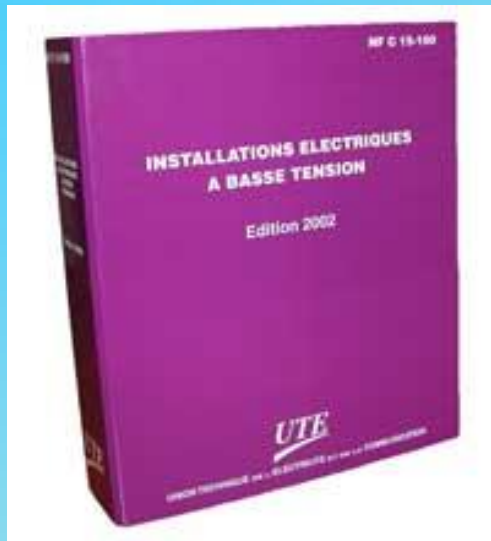


normes française

AFNOR

UTE

Les normes définissant l'installation électrique BT



■ **Des textes normatifs** rassemblant les règles de **conception des installations**, exemples :

❑ **norme NF C 13-100** :
postes de livraisons HT/BT

❑ **norme NF C 13-200** :
installations électriques HT

❑ **norme NF C 14-100** :
installation de branchement BT

❑ **norme NFC 15-100** :
installations électriques BT

Les domaines d 'application de la norme NF C 15-100

■ Installations concernées

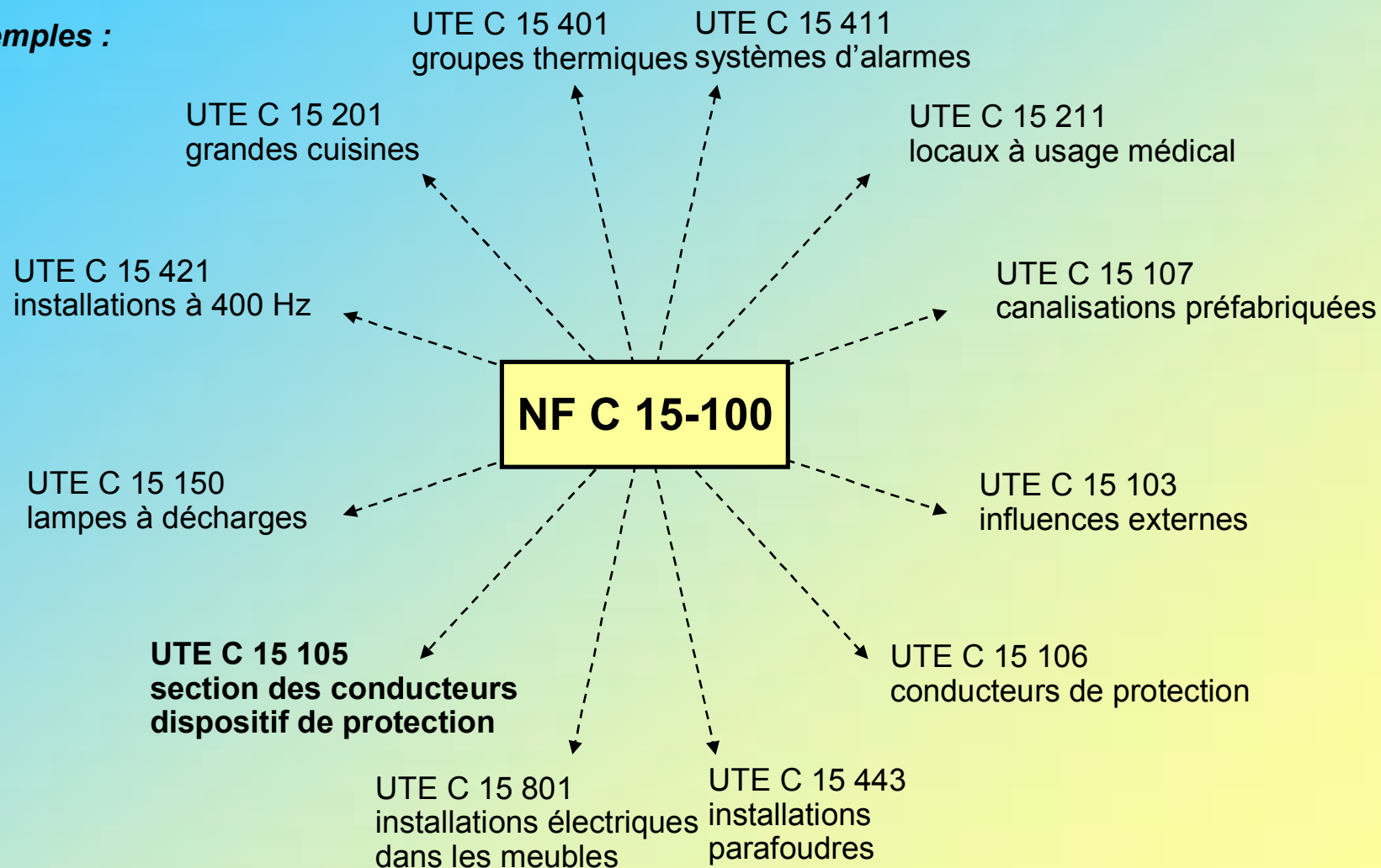
- bâtiments à usage d 'habitation
- bâtiments à usage commercial
- établissements recevant du public
- établissements industriels
- établissements agricoles et horticoles
- bâtiments préfabriqués
- terrains de camping
et installations analogues
- installations temporaires (chantiers,
fêtes foraines, foires, expositions...)
- marinas.
- installation d 'éclairage public ou privé

■ Installations non concernées

- matériel de traction électrique
- équipement électrique des automobiles
- installation électriques des caravanes et
véhicules de loisirs
- installations électriques à bord
des navires, plates-formes en mer
- installations électriques à bord
des aéronefs
- installations dans les mines et carrières
- matériel de réduction des perturbations
radioélectriques.
- clôtures électriques
- installation des paratonnerres

Les documents pratiques associés à la norme NF C 15-100

Exemples :



Le bilan de puissance

La réalisation du bilan de puissance

■ Identifier les récepteurs

- moteurs, éclairage, appareils de chauffage, etc....
- facteur de puissance,
- rendement,
- mode de fonctionnement des récepteurs (courant de démarrage, harmoniques ...).



■ Définir les puissances

- installées,
- d'utilisation,
- futures,
- du contrat STEG,



■ Définir les sources

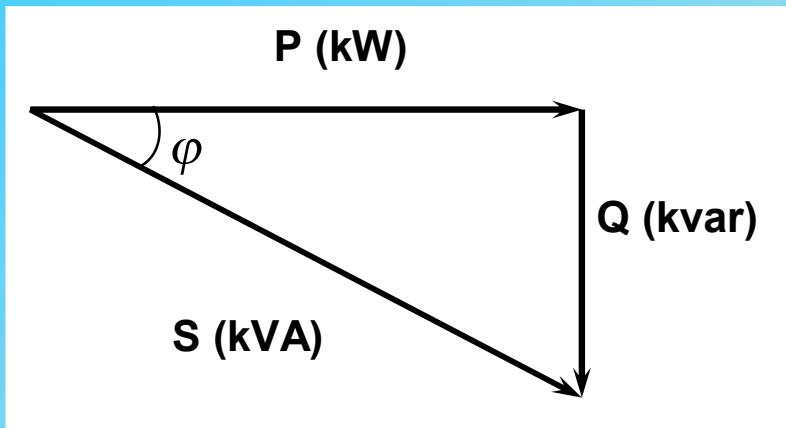
- principales
- de secours

■ Choix des matériels

- les matériels électriques doivent être choisis en tenant compte :
- des conditions de service
 - des conditions d'influence externe



Le facteur de puissance



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

■ Puissances : définitions

□ puissance apparente

$$S = U.I$$

□ puissance active

$$P = U.I.\cos \varphi$$

□ puissance réactive

$$Q = U.I.\sin \varphi$$

■ Facteur de puissance

$$F_p = \frac{P}{S}$$

Remarque : appareils de chauffage (résistances)

$$S = P$$
$$F_p = 1$$

L 'éclairage

$$S = P_a = P_n$$

- **Lampes à incandescence normales ou halogènes :**
la puissance absorbée est égale à la puissance nominale

- **Appareils d'éclairage fluorescent :**

- lampe ou tubes fluorescents avec ballast électronique

$$S = U \cdot I$$

$$P_n = U \cdot I \cdot F_p$$

$F_p \sim 0,9$ en fonction de la lampe

Les ballasts électroniques permettent de gagner 20 % sur la consommation d'énergie, mais aussi de prolonger la durée de vie des lampes de 50 %.

Lampes à décharge :
ex : $P_{\text{lampe}} = 100\text{W}$
 $U = 230\text{V}$, $I = 1,1\text{ A}$
 P avec self = 115 W
 $C = 16\mu\text{F}$ pour $\cos \varphi \geq 0,9$

- **Autres systèmes d'éclairage :**

- lampes à vapeur de mercure
- lampes à vapeur de sodium
- lampes à halogénures métalliques

Le moteur asynchrone



Mot. 3 ~ LS 80 LT					
N°5188565			BJ 017 Kg		
IP 55 I cl F		40°C		S1	
V	Hz	min ⁻¹	kW	cosφ	A
D 230	50	935	1,1	0,78	4,8
Y 400					2,8
MADE IN FRANCE					

$$P_a = \frac{P_u}{\eta}$$

Puissance active absorbée

$$S = \frac{P_a}{\cos \varphi}$$

Puissance apparente

$$S = U I \sqrt{3}$$

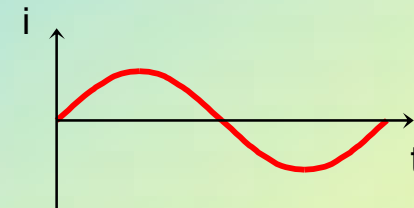
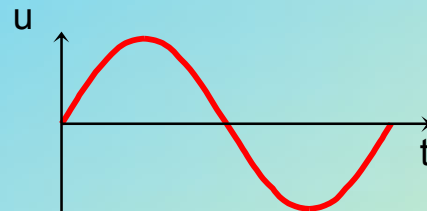
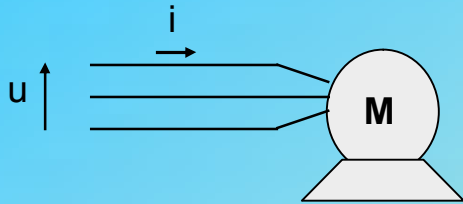
Exemple de « Fp » :
charge

100%	$F_p = \cos \varphi \cong 0,85$
75%	$F_p = \cos \varphi \cong 0,8$
50%	$F_p = \cos \varphi \cong 0,73$
25%	$F_p = \cos \varphi \cong 0,55$

Influences des courants non sinusoïdaux

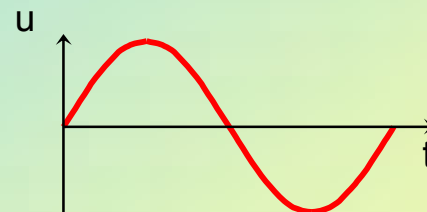
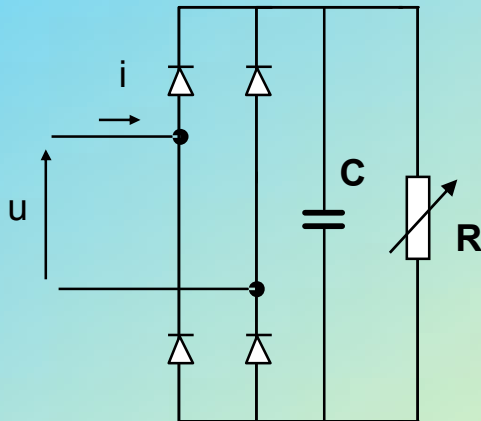
■ Charges linéaires :

une charge est dite linéaire lorsque le courant qui la traverse a la même forme que la tension

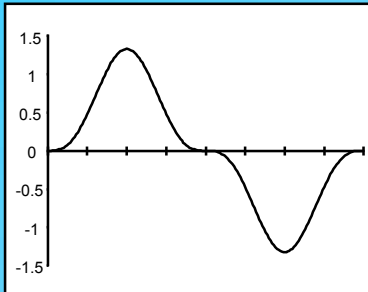


■ Charges non-linéaires :

une charge est dite non-linéaire lorsque le courant qui la traverse n'a pas la même forme que la tension.

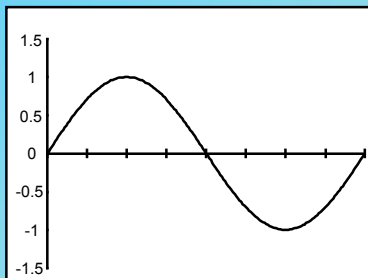


Les harmoniques



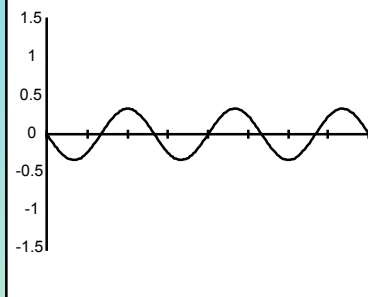
$y(t)$

=



$h_1(t)$

+



$h_3(t)$

■ selon la théorie de Fourier, **tout signal périodique de fréquence F et de forme quelconque peut être représenté sous la forme d'une somme composée :**

□ de l' harmonique fondamentale, H_1
(**terme sinusoïdal à la fréquence F**)

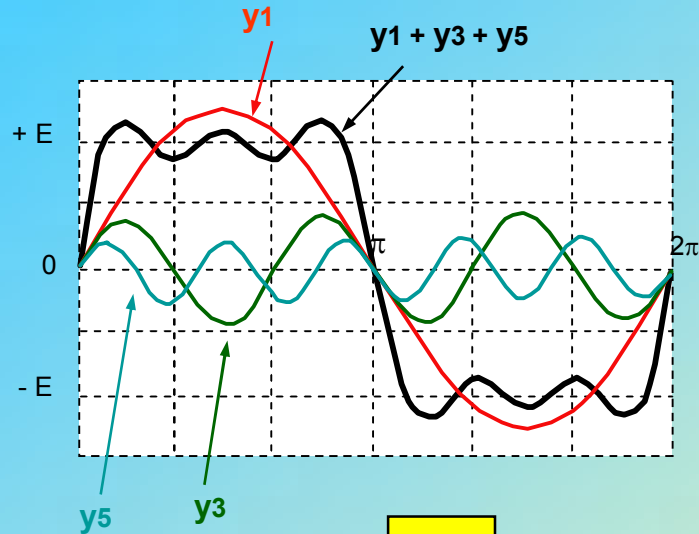
□ des harmoniques de rang n, H_n
(**termes sinusoïdaux dont les fréquences sont des multiples entiers du fondamental H_1**)

□ d'une éventuelle composante continue

$$I_{\text{eff}} = \sqrt{I_{H_1}^2 + I_{H_3}^2 + I_{H_5}^2 + I_{H_7}^2 + \dots + I_{H_n}^2}$$

les analyseurs de réseau permettent de décomposer un signal périodique quelconque et d'en restituer toutes ses composantes sinusoïdales (harmoniques)

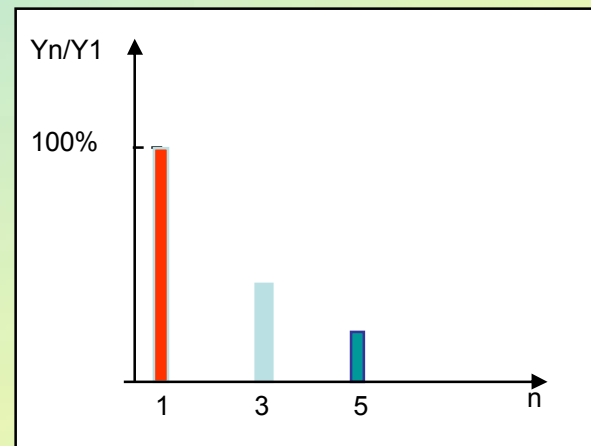
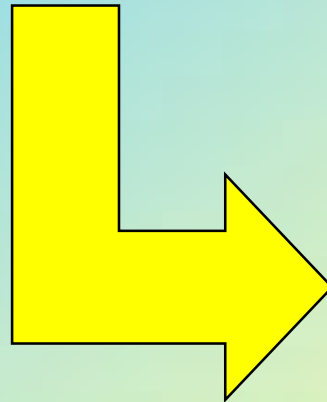
La représentation spectrale



■ Le spectre (de fréquence)

C'est la représentation de l'amplitude des harmoniques en fonction de leur rang.

La valeur de chaque harmonique est le plus généralement exprimée en pourcentage du fondamental



Les taux de distorsion harmonique

■ Le taux individuel d'harmonique

C'est le rapport de la valeur efficace d'un harmonique de rang n à la valeur efficace du signal fondamental

$$H_n \% = 100 \times \frac{Y_n}{Y_1}$$

■ Le taux de distorsion global

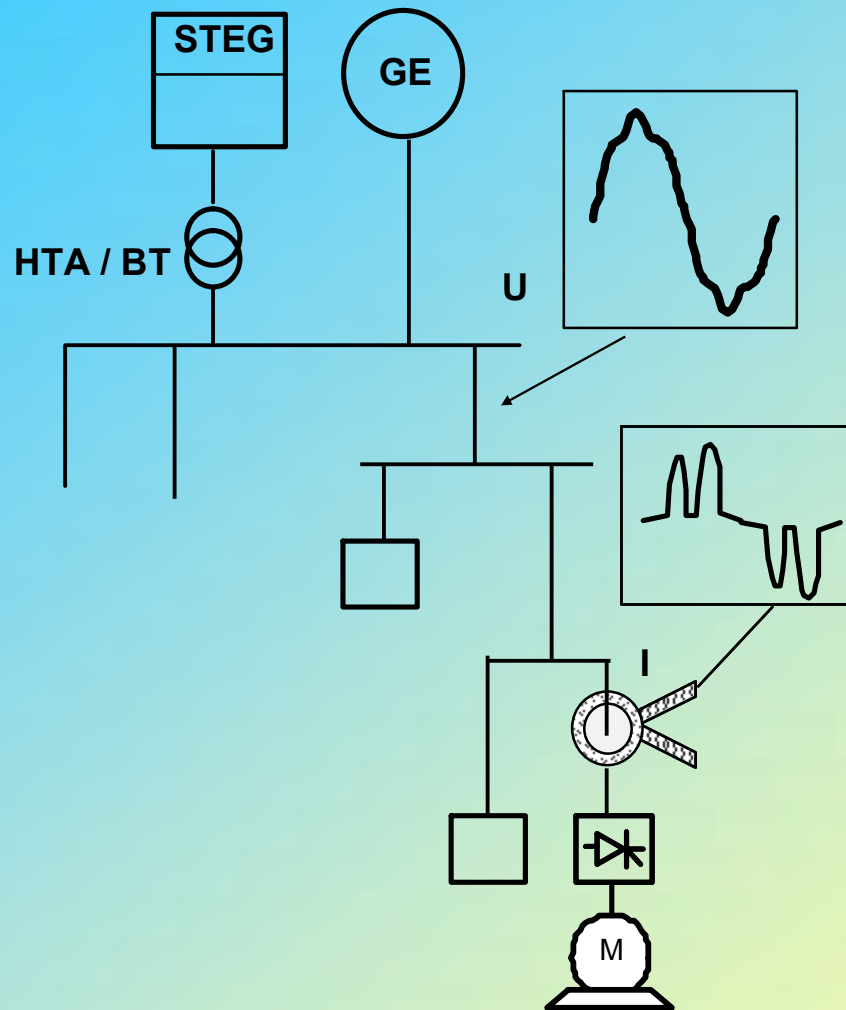
□ par rapport à la valeur efficace du signal fondamental

$$TDH_F (\%) = 100 \times \frac{\sqrt{Y_3^2 + Y_5^2 + Y_7^2 + \dots + Y_n^2}}{Y_1}$$

□ par rapport à la valeur efficace totale du signal

$$TDH_{RMS} (\%) = 100 \times \frac{\sqrt{Y_3^2 + Y_5^2 + Y_7^2 + \dots + Y_n^2}}{Y_{RMS}}$$

Les effets des courants harmoniques



■ Augmentation du courant efficace :

- ❑ échauffement des transformateurs
- ❑ échauffement du câble de neutre
- ❑ déclenchement intempestif des protections,
- ❑ fusion fusibles

■ Déformation de la tension

- ❑ destruction de cartes électroniques
- ❑ perturbation des systèmes de télécommande et télécommunication
- ❑ vibrations et bruits anormaux (transformateurs, tableaux BT, moteurs)
- ❑ claquage de condensateurs

Les harmoniques : solutions générales

- alimenter les charges polluantes par des circuits dont l'origine est la plus proche de la source
- séparer réseaux d'alimentation charges sensibles /charges polluantes
- éviter le schéma TNC
- limiter les courants harmonique injectés :
 - inductances de limitation (variateurs de vitesse, redresseurs, condensateurs)
 - appareils à prélèvement sinusoïdal (correction du facteur de puissance)
- installer des filtres pour piéger les harmoniques :
 - filtres passifs
 - filtres actifs
 - filtres hybrides
- surdimensionner l'équipement (augmentation de la Scc) :
 - générateurs
 - câbles
 - protections

Les facteurs de réduction

NF C 15-100 art 311

■ Facteur d'utilisation

- éclairage chauffage = 1,
- récepteur à moteur = 0,75.

■ Facteur de simultanéité

utilisations	facteurs de simultanéité
éclairage	1
chauffage et conditionnement d'air	1
prises de courant	0,1 à 0,2 (1)
ascenseurs (2) et monte charge	
- pour moteur le plus puissant	1
- pour le moteur suivant	0,75
- pour les autres	0,60
(1) dans les installations industrielles, ce facteur peut-être plus élevé. (2) $IB = IN$ du moteur + $1/3$ de ID .	

IEC 60439-1

■ Facteur de simultanéité pour armoire de distribution et gaines à barres.

nombre de circuits	facteurs de simultanéité
ensembles entièrement testés	
2 et 3	0,9
4 et 5	0,8
6 à 9	0,7
10 et plus	0,6
ensembles partiellement testés choisir dans tous les cas	1

exercice 1

La compensation de l'énergie réactive

Principaux consommateurs d'énergie réactive



- ❑ Transformateurs HTA / BT :

ex :

SN (kVA)	Q (kVAR)	
	à vide	en charge
500	9,5	28,7
630	11,3	37,5
800	20	54,5
1000	23,9	72,4



- ❑ moteurs asynchrones

- ❑ éclairages :

à fluorescence

$F_p \cong 0,5$

lampe à décharge

$F_p \cong 0,4 \text{ à } 0,6$

- ❑ fours

à induction :

$F_p \cong 0,4 \text{ à } 0,8$

four à arc :

$F_p \cong 0,8$

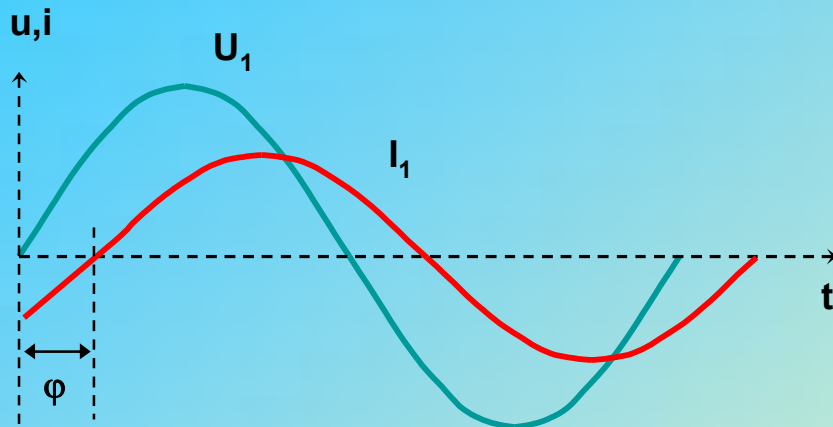


- ❑ machine à souder

monophasée : $F_p \cong 0,5$

machine à souder à résistance : $F_p \cong 0,8$

Le facteur de déphasage (cos φ)

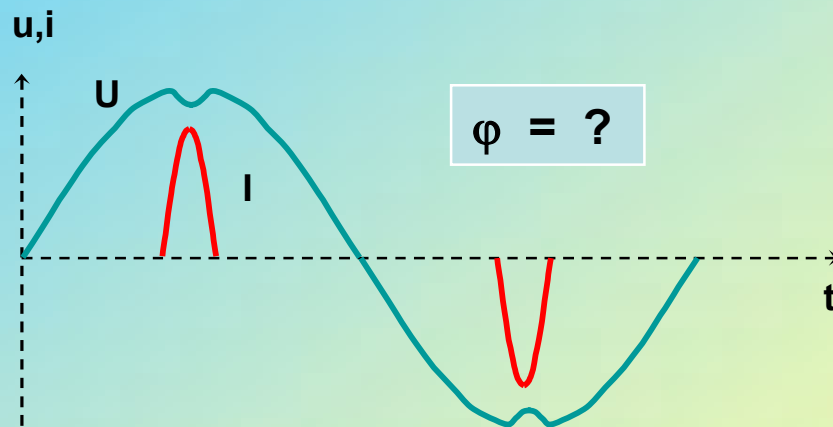


■ Le facteur de déphasage « $\cos \varphi$ » représente le cosinus de l'angle de déphasage entre la tension fondamentale et le courant fondamental (60 ou 50Hz)

$$P_1 = U_1 I_1 \cos \varphi_1$$

$$S_1 = U_1 I_1$$

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_1}{S_1}$$



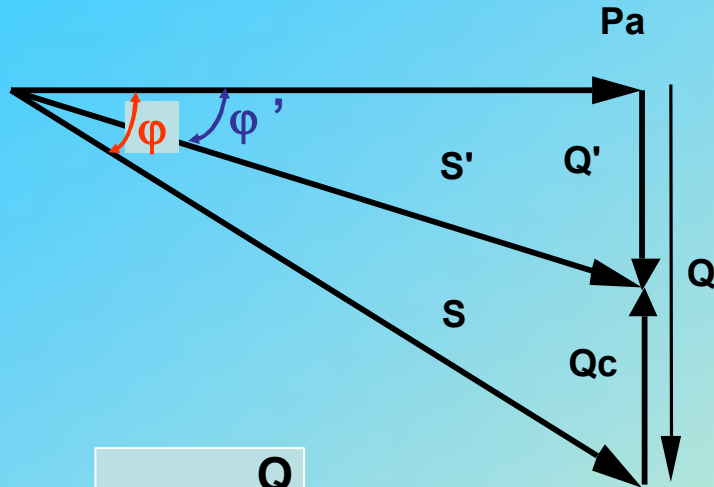
■ Le facteur de puissance « F_p » est le rapport de la puissance active P avec la puissance apparente S

$$F_p = \frac{P}{S}$$

La compensation de l'énergie réactive

■ objectifs :

- réduire les pertes dans l'installation,
- utiliser au maximum le contrat souscrit,
- réduire ou supprimer la facturation d'énergie réactive.
- soulager les câbles en échauffement
- réduire les chutes de tension
- amélioration de la qualité de l'installation électrique, dans le cas de filtrage : association condensateur+ filtres SAH



$$\tan \varphi = \frac{Q}{P}$$

$$\sin \varphi = \frac{Q}{S}$$

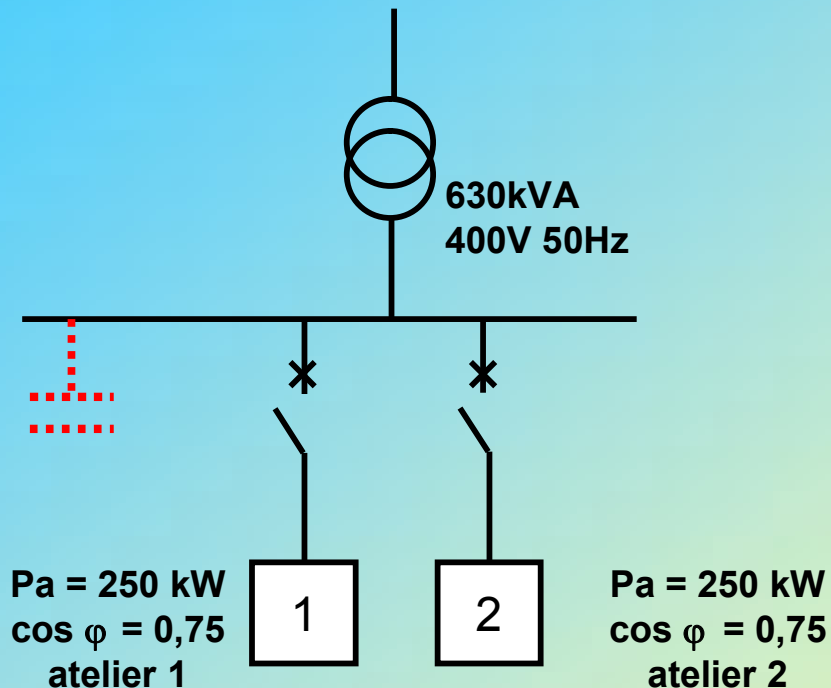
■ puissance batterie de condensateurs (kvar) :

$$Q_c = P_a (\tan \varphi - \tan \varphi')$$

N.B. : Si Q_c est > 800 kVAR, la compensation se fera de préférence en haute tension

Compensation d'énergie réactive : exemple de calcul

■ Installation sans condensateur



□ Puissance consommée :

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} = 665 \text{ kVA} \Rightarrow \text{transformateur surchargé}$$

■ Installation avec condensateurs

□ Objectif : $\cos \varphi_2 = 0,92$

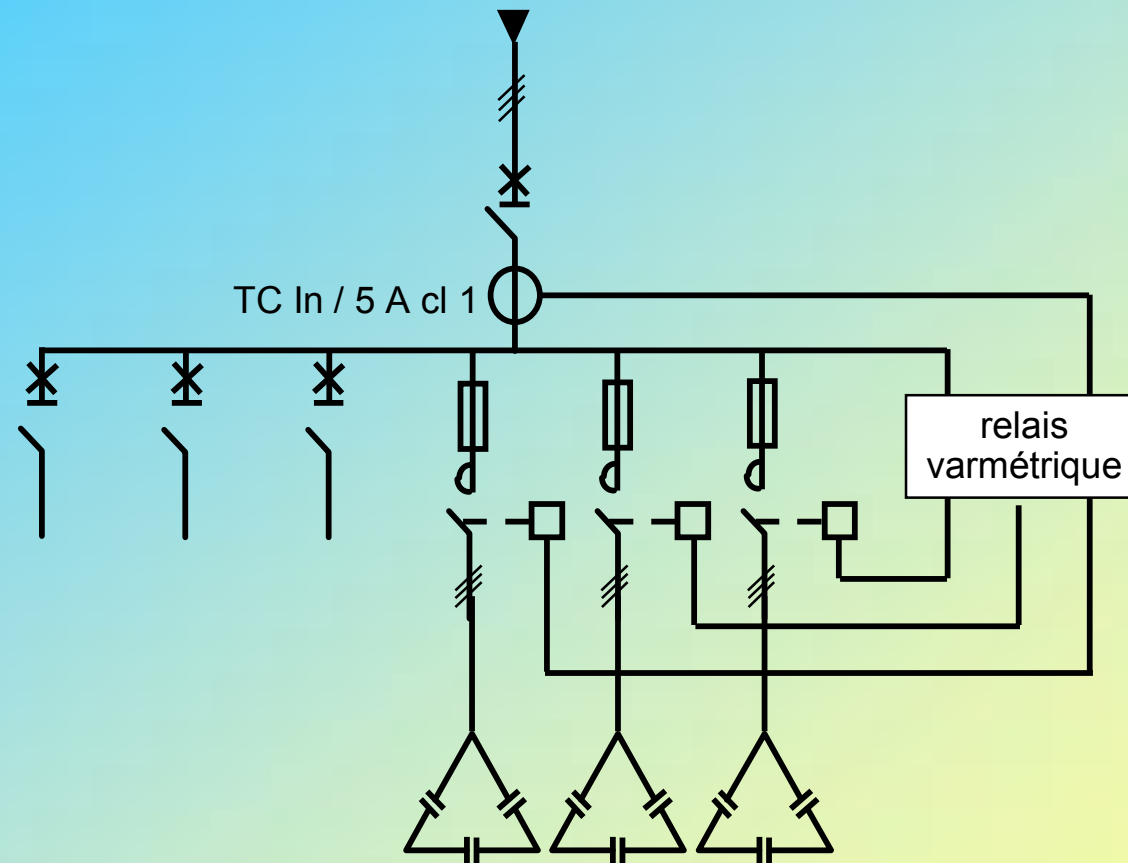
↗ puissance réactive nécessaire :
 $Q = P (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) = 230 \text{ kVAR}$

↗ nouvelle puissance appelée :
 $S = 500 / 0.92 = 543 \text{ kVA}$

□ Conclusion :

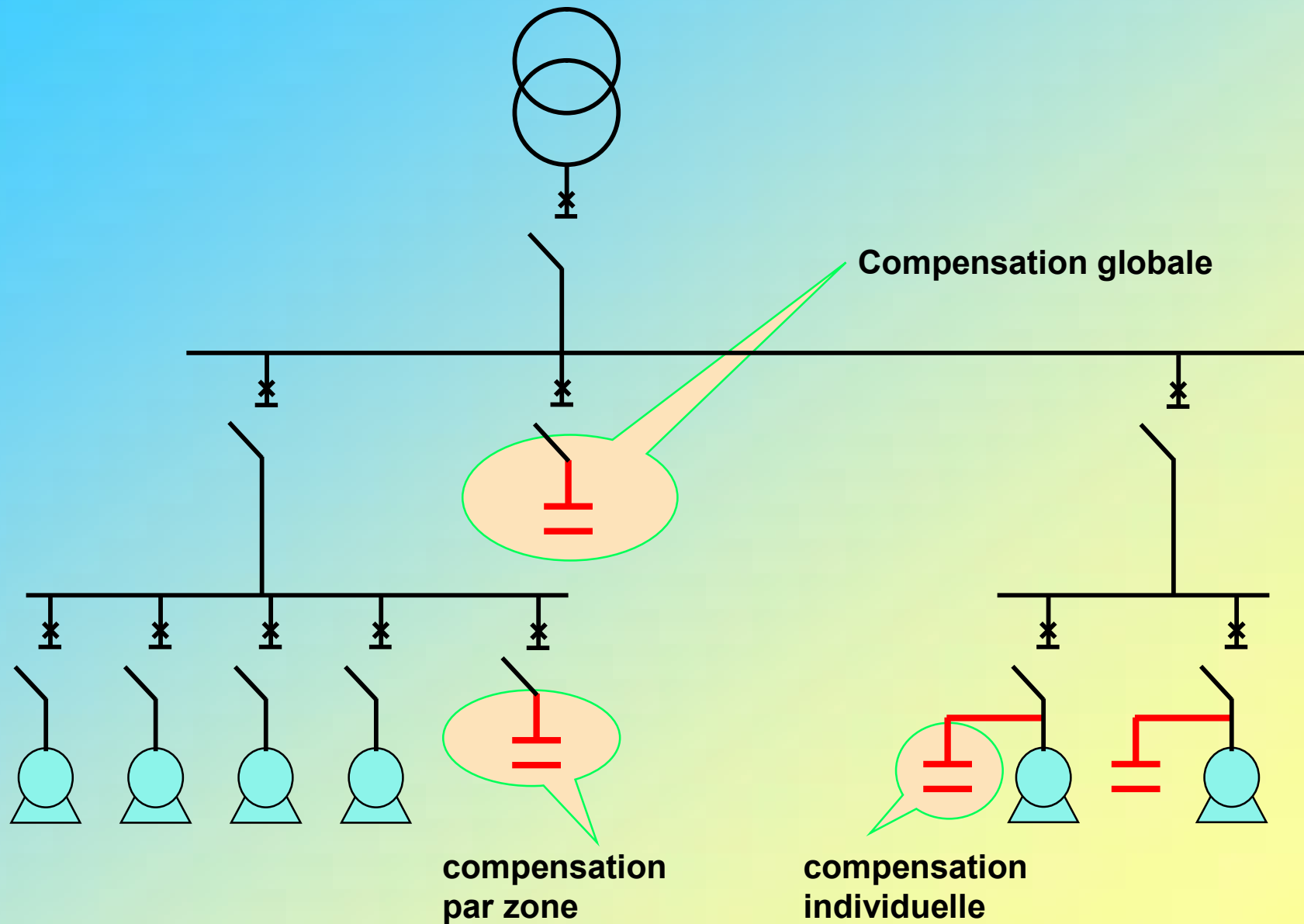
- ↗ transformateur soulagé
- ↗ 87 kVA disponibles
- ↗ facture d'électricité réduite

Les techniques de compensation

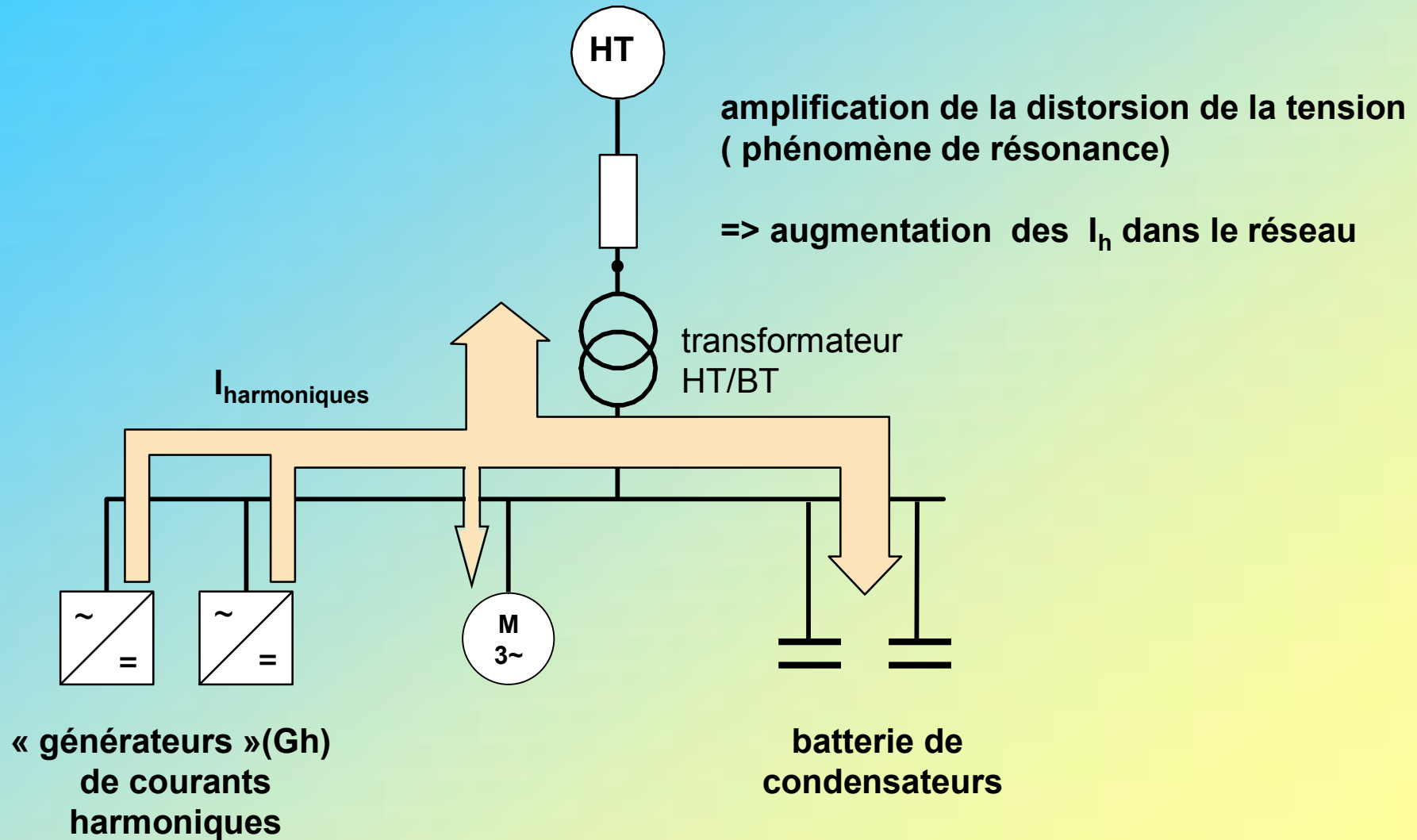


- du type fixe si $Q \leq 15\%$ de S_n
- automatique en gradin si $Q > 15\%$ de S_n
permet la régulation pas à pas de l'énergie réactive.

Les types de compensation



Compensation d'énergie réactive en présence d'harmoniques



Installation des condensateurs : précautions particulières

■ Evaluer la puissance apparente des charges non linéaires « générateurs d'harmoniques » (Gh) :

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> les moteurs à vitesses variables, | <input type="checkbox"/> les machines à souder, |
| <input type="checkbox"/> les convertisseurs statiques (onduleurs) | <input type="checkbox"/> les fours à arcs, |
| <input type="checkbox"/> redresseurs, variateurs, | <input type="checkbox"/> les tubes fluorescents. |

■ Choisir la gamme de condensateurs selon Gh / Sn (Sn : puissance transformateurs HT/BT)

Gh / Sn	0 à 15 %	15 à 25 %	> 25 %
réseau	standard	pollué	fortement pollué
condensateurs	standard	tension condensateurs majorée de 10% (sauf 230V) ou condensateur type H	tension condensateurs majorée de 10% + self anti-harmonique ou condensateur type S.A.H.

- **Normes :** les condensateurs relèvent des normes CEI 831 et NF C 54 104.
Installation selon NF C 54-104.

exercice 2

