

## SYSTEMES DE DISTRIBUTION ELECTRIQUE

### 1 Introduction

L'électricité est une énergie souple et adaptable mais elle est difficilement stockable, alors que la consommation des clients et la coïncidence de la demande sont constamment variables.

Ces exigences nécessitent la permanence du transport et la mise à disposition de l'énergie par un réseau de distribution :

- « Haute Tension » pour les fortes puissances et les longues distances,
- « Basse Tension » pour les moyennes et faibles puissances et les courtes distances.

Le réseau de distribution permet de transporter l'énergie électrique à l'échelle locale, des centres de distribution vers le client final : les petites et moyennes entreprises, les villes, les grandes surfaces, les commerces, les artisans, les particuliers...

### 2 Conditions de distribution de l'énergie

#### 2.1 Domaines de tension

Les domaines de tension sont publiés conformément aux dispositions des codes de sécurité et par référence à la législation en vigueur.

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

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

Les tensions nominales normalisées (Sonelgaz) :

- Réseaux aériens : 30 kV
- Réseaux souterrains : 10 kV de préférence et 30 kV admis.

## 2.2 Qualités de l'alimentation

En permanence des perturbations importantes affectent la qualité de l'alimentation.

Le distributeur a pour obligation d'assurer un service de qualité, concernant notamment :

- La tenue de la fréquence et de la tension
- La continuité de la fourniture d'énergie

### 1) Qualité en régime normal

#### a) Maintien de la fréquence à sa valeur nominale $f = 50 \text{ Hz} \pm 0,05\text{Hz}$

Théoriquement la qualité dépend de l'équilibre permanent entre la puissance fournie par les centrales et la puissance, constamment variable, appelée par la clientèle. D'où une incitation à l'étalement de la charge pour éviter les pointes.

#### b) Tenue de la tension en HTA

Les variations de la tension ont surtout pour origine les chutes de tensions sur les réseaux et dépendent essentiellement de l'énergie réactive transportée. D'où une incitation à limiter l'énergie réactive appelée.

Au point d'utilisation les limites de variations maximales admissibles de la tension autour de la valeur nominale en service normal sont de  $\pm 10\%$  dans les réseaux aériens et de  $\pm 06\%$  dans les réseaux souterrains

### 2) Qualité en régimes perturbés

La qualité de l'alimentation est affectée principalement par : les coupures longues, les coupures brèves et les perturbations électriques.

#### a) les coupures longues

Il est difficile de se protéger contre les coupures longues dues à la production et aux réseaux d'alimentation. Le choix du type d'alimentation permet d'en limiter les conséquences. De plus, la généralisation des travaux sous tension permet de limiter les coupures, notamment pour extension d'ouvrage ou raccordement de clients.

Néanmoins, de nombreux incidents provoquent encore des coupures longues : les perturbations atmosphériques graves, les fausses manœuvres, les défaillances du matériel, les dégradations...

#### b) Les coupures brèves

Elles sont dues essentiellement aux perturbations atmosphériques qui provoquent l'ouverture des disjoncteurs HT, dont le ré-enclenchement est assuré par un automate, selon une procédure préétablie qui tient compte de l'importance du défaut.

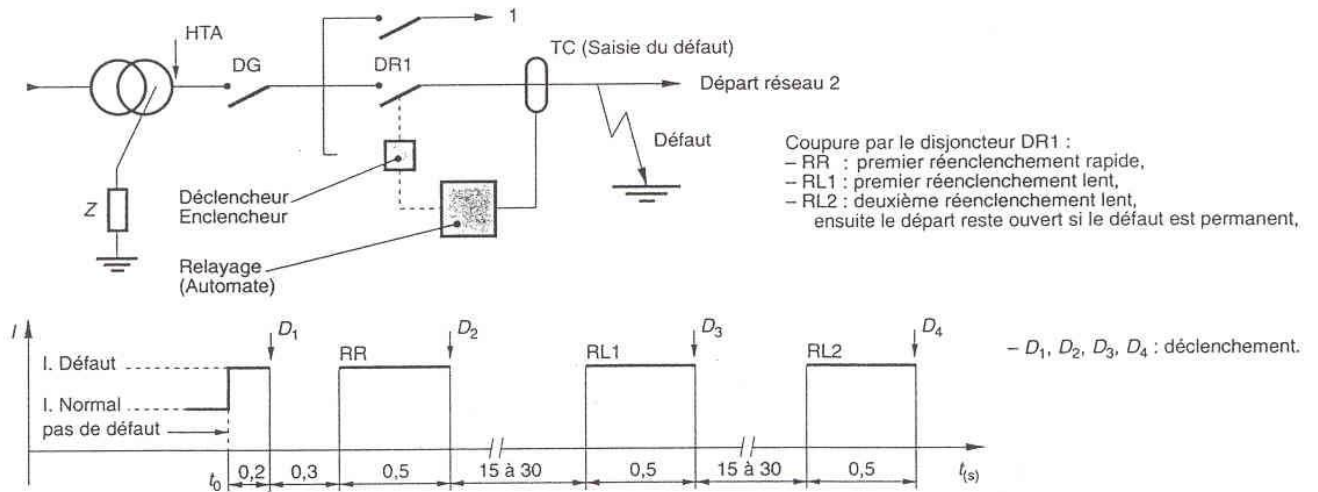


Fig. 4.1 : Coupure sur défaut

### c) Les perturbations électriques

Elles sont une gêne pour les utilisateurs, sans qu'il y ait une véritable coupure du réseau. On distingue principalement :

- Les creux de tension qui sont une baisse momentanée de la tension de 10% à 100%, souvent due à un court-circuit, une surcharge ou un courant d'appel important.
- Les distorsions harmoniques (déformation de tension) souvent due aux interfaces électroniques tels que les variateurs de vitesse.

## 3 Structure d'un réseau HTA

### 3.1 Poste de transformation

C'est l'élément clé du réseau de transport et de distribution. Il reçoit l'énergie électrique, la contrôle, la transforme et la répartit.

La transformation de l'énergie permet l'évacuation de l'énergie des sources de production vers le réseau (postes élévateur de centrale ou abaisseur de distribution). Adapte la tension au transport et à la distribution.

La sûreté du réseau assure la surveillance et la protection du réseau contre les anomalies de fonctionnement. Chaque poste est télécommandé à partir d'un "pupitre centralisé" (éloigné au plus d'une cinquantaine de kilomètres), ce qui permet une intervention rapide en cas d'incident sur le réseau.

### Le poste source

C'est le point de départ de l'alimentation électrique. Les réseaux de distribution ont comme point de départ les postes sources. Ils comportent des transformateurs HTB/HTA à partir desquels la HTA est distribuée en triphasé sans neutre et entre 5 et 33 kV (souvent 20kV). Les transformateurs HTB/HTA peuvent être couplés.

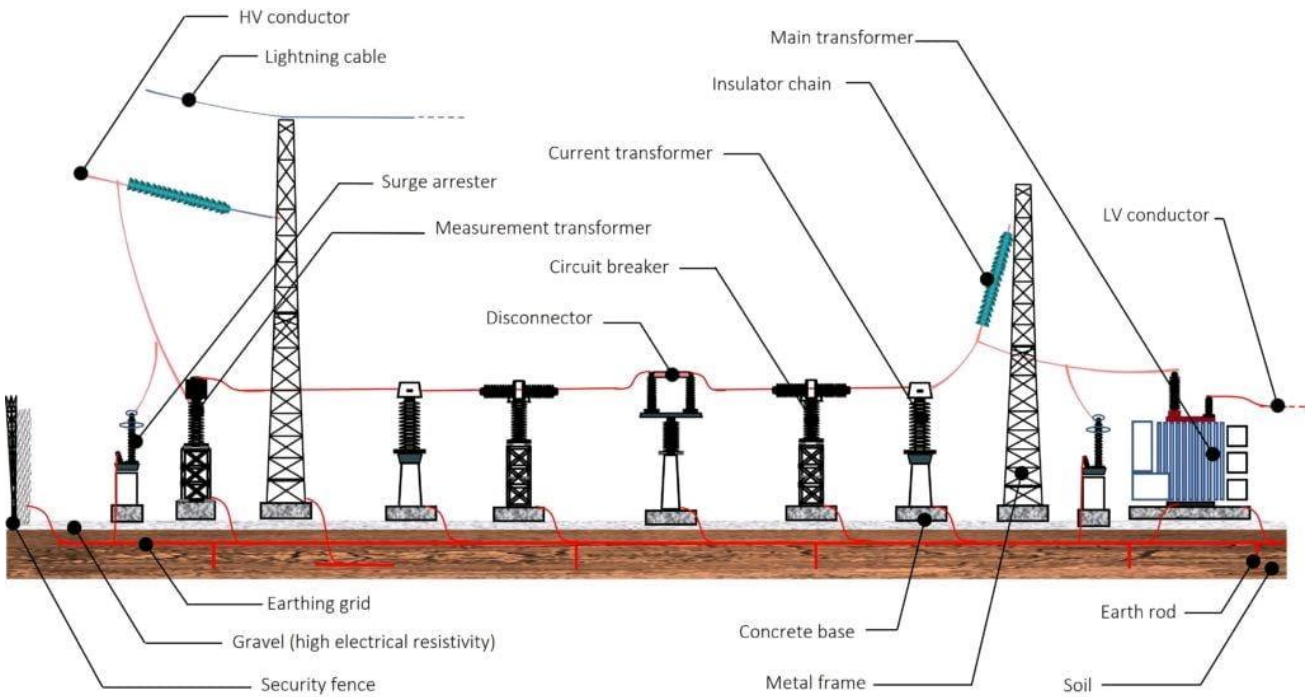


Fig. 4.2 : Poste de transformation

### 3.2 Les différents types d'alimentation

En aval des transformateurs, la partie HTA est constituée de cellules « arrivée », « couplage » et « départ ». A partir de ces départs et selon les besoins de continuité de service et de contraintes de coût, on réalise des schémas :

- En « Antenne » ou « Simple dérivation »,
- En « Boucle » ou « Coupure d'Artère »,
- En « Double dérivation »,

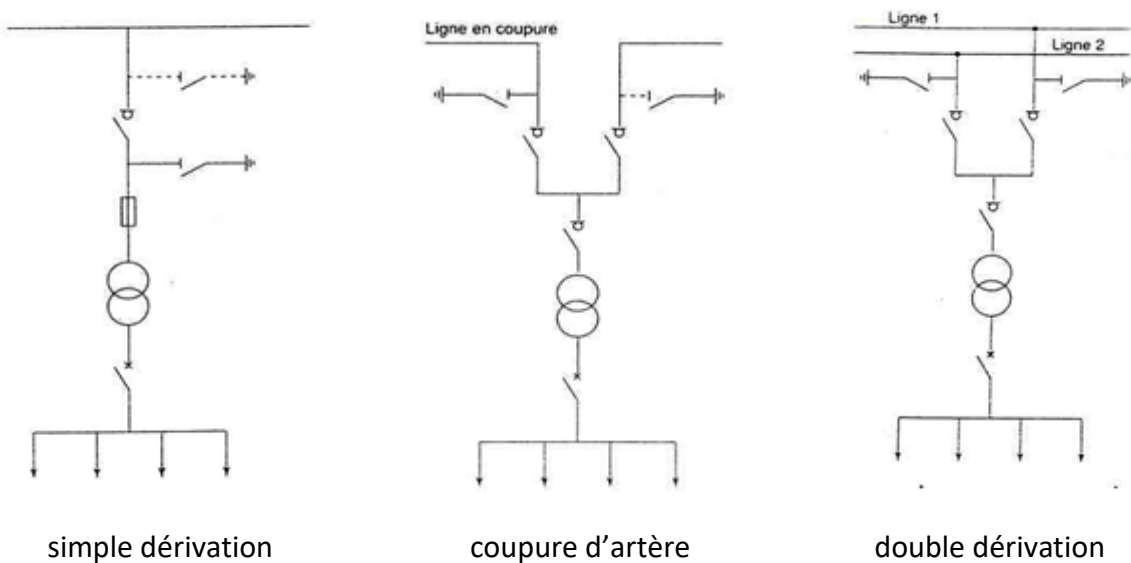


Fig. 4.3 : Types d'alimentation

## 4 Architectures des réseaux de distribution

### 4.1 Réseaux urbains

La qualité de service en milieu urbain est primordiale à cause des infrastructures sensibles comme les hôpitaux, usines . . . etc.

Le réseau urbain est le plus souvent enterré avec des postes maçonnés. Ce choix réduit la fréquence des défauts, mais la durée d'intervention est souvent plus longue.

La répartition géographique des charges est l'une des contraintes qu'il faut prendre en compte lors du choix d'une architecture. En effet, un milieu urbain, est caractérisé par une densité de charge élevée avec des longueurs de conducteurs faibles. Ainsi, les puissances appelées sont importantes et les problèmes qui peuvent intervenir sont principalement liés aux courants admissibles dans les conducteurs.

Les architectures rencontrés habituellement en milieu urbain sont bouclées (parfois radiales) avec des dérivations double ou en coupure d'artère.

#### 1) Réseau en double dérivation

C'est une structure radiale en antenne doublée à partir du JdB du poste source HTB/HTA (Fig. 4.4).

- Chaque poste HT/BT prend sa source à partir d'un câble principal et un câble de secours ;
- En cas de défaut sur le câble principal, la charge (c'est-à-dire le poste MT/BT) peut être basculée vers le câble de secours ;
- Un organe de coupure est installé tous les 10 à 15 postes MT/BT pour faciliter les manœuvres lors de l'élimination de défaut ou de maintenance.

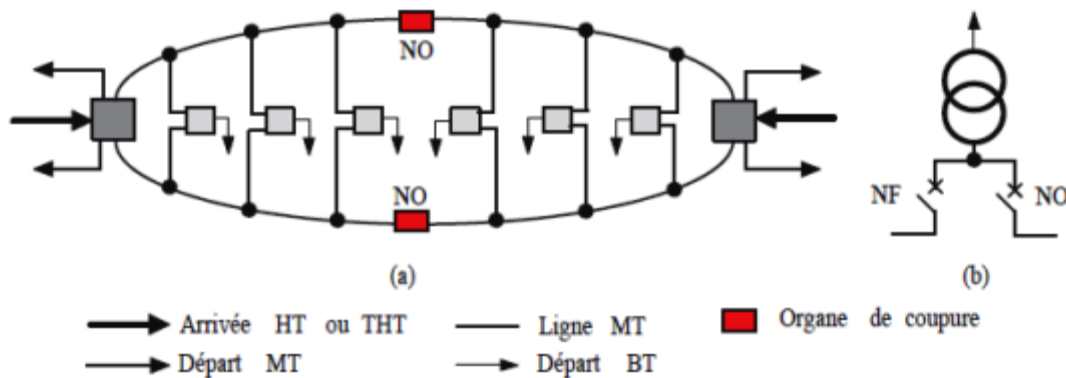


Fig. 4.4 : Réseau en double dérivation

(a) Architecture du réseau, (b) Alimentation du transformateur par les deux dérivations.

## 2) Réseaux à structure en coupure d'artère

Un câble part d'un poste source HTB/HTA, et passe successivement par les postes HTA/BT à desservir avant de rejoindre soit un autre poste source HTB/HTA (Fig. 4.5), soit un départ différent du même poste source HTB/HTA, soit un câble secours.

L'option en coupure d'artère est plus économique que la double dérivation. Plusieurs variantes de la structure en coupure d'artère existent ; quelques-unes sont illustrées sur la Fig. 4.6.

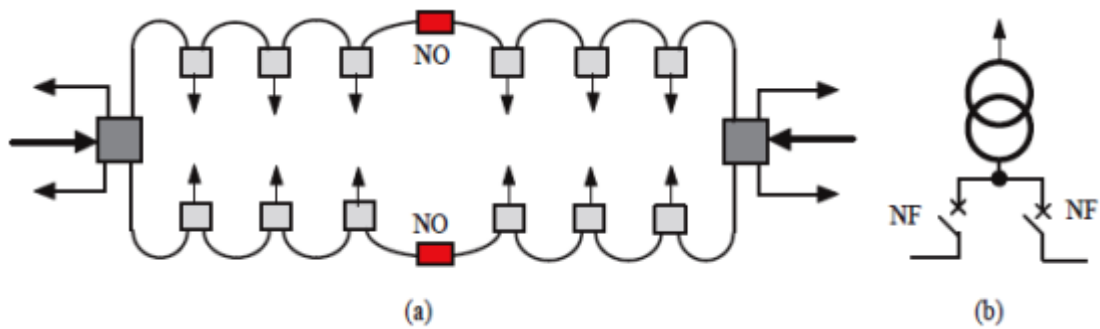


Fig. 4.5 : Réseau à structure en coupure d'artère

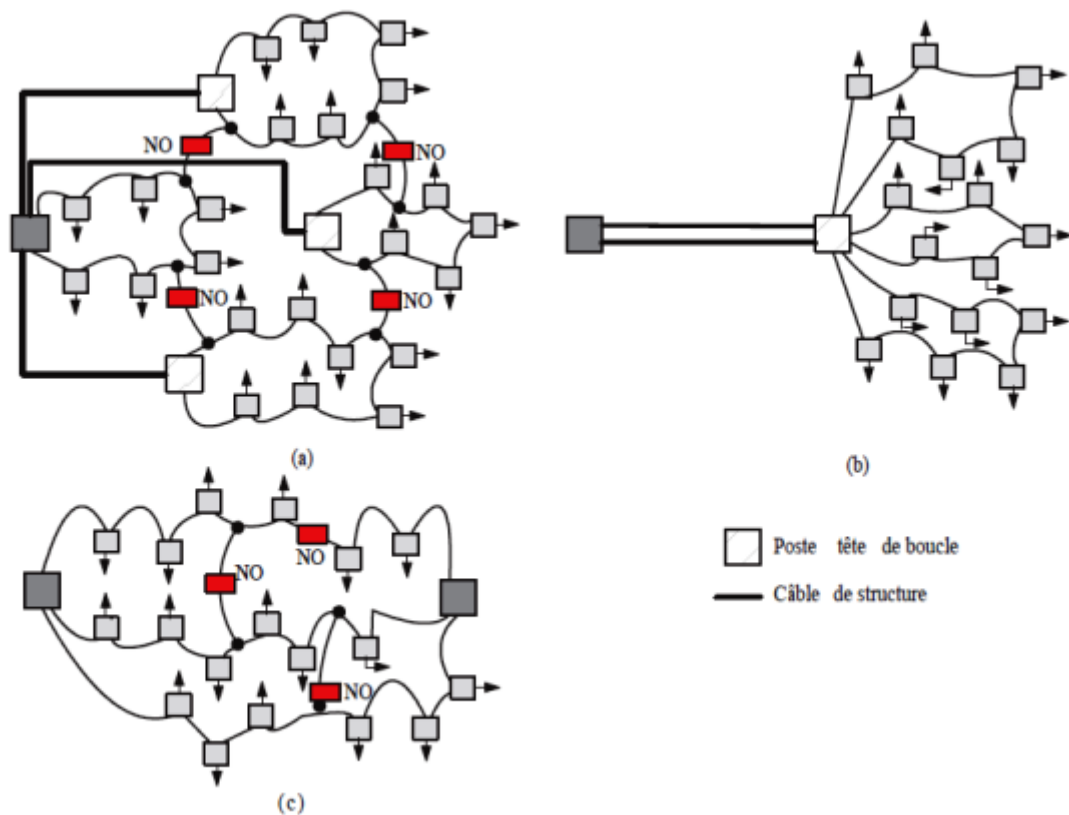


Fig. 4. 6 : Quelques variantes des réseaux en coupure d'artère

a) maille      b) boucle      c) structure maillée

## 4.2 Réseaux ruraux

Le milieu rural se caractérise par une densité de charge faible répartie sur une grande zone. On a donc de grandes longueurs de conducteurs, souvent aériens. Ainsi, les problèmes qui peuvent intervenir dans les réseaux ruraux sont principalement liés aux chutes de tension admissibles en bout de ligne. Les réseaux ruraux ont des architectures arborescentes bouclables mais souvent exploitées en radial (Fig. 4.7).

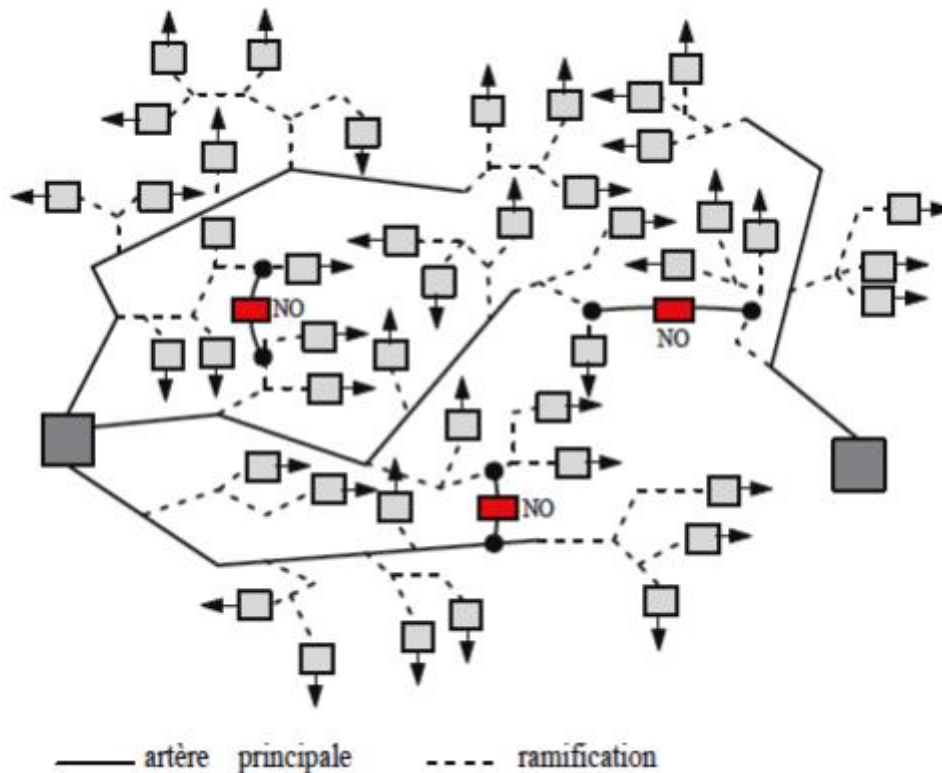


Fig. 4.7 : Réseau rural

## 4 Livraison de l'énergie

### 4.1 Types de livraison

Selon la puissance souscrite et le tarif qui y correspond, la livraison de l'énergie électrique peut se faire : en Basse tension ou en Haute Tension.

#### 1) Livraison BT

Il est du type triphasé 50Hz avec neutre distribué. La puissance ne doit pas être supérieure à 250kVA.

#### Remarque 1 :

- Le choix de la tarification en fonction de l'utilisation,
- Des coûts d'investissement et d'entretien réduits,

Mais le schéma de liaison à la terre est imposé (TT) et l'évolution de la puissance est limitée.

Plusieurs options sont possibles.

## 2) Livraison HT

Pour les puissances supérieures à 250kVA, le distributeur fournit une alimentation dite de 2ème catégorie comprise entre 5 et 33 kV. Les gros consommateurs sont alimentés à des tensions supérieures (90kV ou plus).

### Remarque 1 :

- Le libre choix du schéma de liaison à la terre,
- Une tarification adaptable,
- La possibilité d'évolution de la puissance.

### Remarque 2 :

- Le client est propriétaire du poste HT/BT.
- Son coût et son entretien sont à sa charge.
- Le client n'a accès qu'à la partie BT et à l'interrupteur HT.

Plusieurs options sont possibles.

## 4.2 Postes de distribution BT

Les postes de distribution basse tension (HTA/BT) sont relativement plus simples. En terme de puissance, ce sont des postes qui ne dépassent pas 10 MW. Selon leurs puissances, ils peuvent être soit mis sur poteaux (en zones rural surtout ou semi urbaine) soit dans des cellules maçonnés (zone urbaine).

### 1) Poste HTA/BT en zone rurale ou semi urbaine

- Le poste est alimenté côté HTA par une arrivée aérienne simple, et alimente un ou plusieurs départs BT ;
- L'organe de protection côté HTA peut être un simple sectionneur ou un disjoncteur si le courant nominal est supérieur à 45 A.
- Le poste est soit mis sur le poteau pour des puissances faibles (inférieures ou égale à 160 kVA), soit dans une cellule au bas du poteau pour des puissances plus grandes 250 ou 400 kVA.

### 2) Poste HTA/BT en zone urbaine

- Le poste est alimenté côté HTA par une arrivée souterraine en double dérivation ou en coupure d'artère ; Côté BT, souvent plusieurs départs ;
- L'organe de protection côté HT peut être un simple sectionneur ou un disjoncteur si le courant nominal est supérieur à 45 A.
- Le poste est obligatoirement du type intérieur.



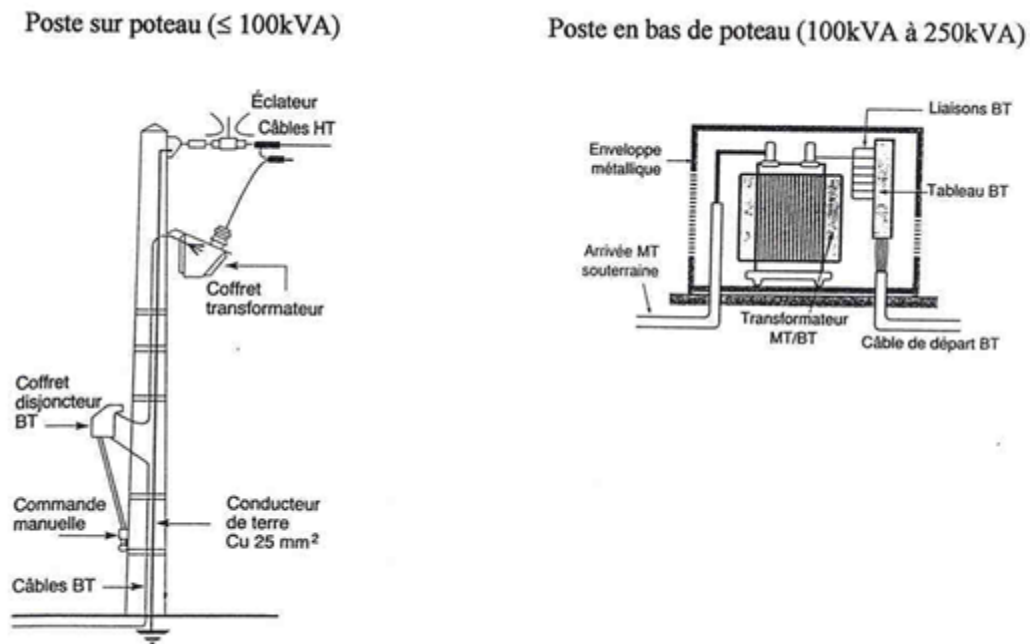
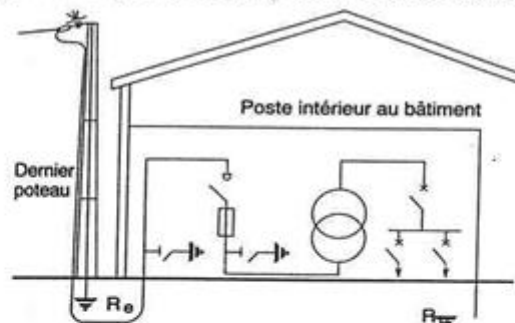


Fig. 4.7 : Postes d'extérieur

Poste ouvert maçonné ou préfabriqué (100kVA à 1250kVA)



Poste en cellules préfabriquées (100kVA à 1250kVA)

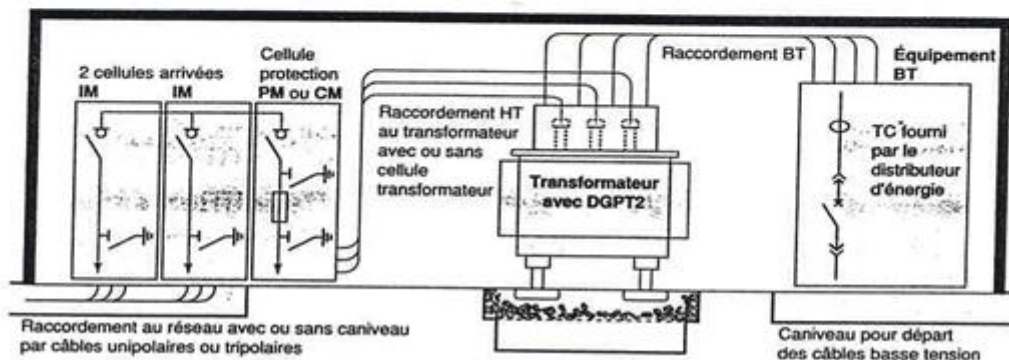


Fig. 4.8 : Postes d'intérieur

### 4.3 Poste HTA/BT et procédures d'exploitation

Un poste de livraison HTA/BT reçoit de l'énergie du réseau HTA, la transforme en BT, et assure la protection des personnes, des matériels et le comptage de l'énergie.

Le plus souvent les postes HTA/BT sont construits à partir de cellules préfabriquées assurant chacune une fonction déterminée. Un poste comporte essentiellement :

- 1 ou 2 cellules d'arrivées suivant le type d'alimentation
- 1 cellule de protection et de comptage d'énergie
- 1 ou plusieurs cellules de transformation
- 1 tableau général basse tension (TGBT) avec protection

Dans toute installation HTA, il faut veiller continuellement à assurer :

- La continuité de service
- La protection des personnes, des biens et des installations

Pour remplir ces conditions, il est nécessaire d'avoir prévu à la conception du poste :

- Les manœuvres à accomplir en cas d'incident
- Le personnel habilité à effectuer les manœuvres
- Les consignes à appliquer

### 4.4 Exemple de protocole d'accès à la cellule d'un transformateur :

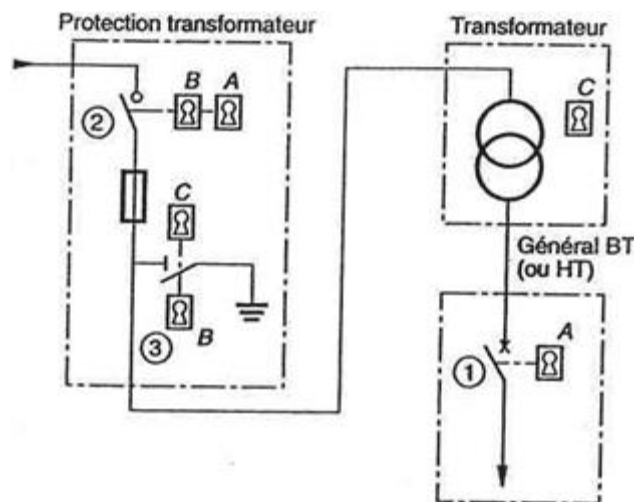


Fig. 4.9 : Verrouillage d'accès à la cellule transformateur

- Ouvrir le disjoncteur général basse tension (1) et le verrouiller en position ouverte avec la clé A, puis prendre la clé A.
- Ouvrir l'interrupteur (2) et le verrouiller en position ouverte avec la clé A, puis prendre la clé B.
- Vérifier l'absence de tension.

- Introduire la clé B dans le sectionneur de terre (3), le fermer et le verrouiller en position fermé, puis prendre la clé C.
- Ouvrir l'accès à la cellule transformateur avec la clé C.

## 5 Appareillage HTA

L'appareillage électrique à haute tension est l'ensemble des appareils électriques qui permettent la mise sous ou hors tension de portions d'un réseau électrique à haute tension (y compris pour des opérations de délestage).

Les applications industrielles des disjoncteurs à haute tension sont pour l'instant limitées au courant alternatif car elles sont plus économiques, il existe cependant des sectionneurs à haute tension pour liaisons à courant continu.

L'appareillage électrique à haute tension a été créé dès la fin du XIXe siècle, au début pour la manœuvre de moteurs et autres machines électriques. Il n'a cessé de se développer, l'appareillage est actuellement utilisé dans toute gamme des hautes tensions, jusqu'à 1 100 kV.

Il existe de nombreux types de cellules : sectionnement à fusible, disjoncteur, couplage... De même, on distingue les cellules isolées dans l'air des cellules isolées dans le gaz (GIS).

Elles se trouvent en général dans le poste de transformation HT/BT avec le transformateur.



Fig. 4.10 : Poste de transformation HTA/BT

### 5.1 Les Cellules préfabriquées

L'appareillage électrique à haute tension (interrupteurs, disjoncteurs, sectionneurs, etc.) est en général installé dans des cellules, armoires métalliques modulaires qu'on assemble et relie entre elles.

Ces cellules sont installées en bâtiment. L'appareillage HTA installé en extérieur est rare dans les postes sources, mais est fréquent en distribution rurale, avec en particulier des interrupteurs installés en haut des pylônes électriques.

Une cellule comprend les différents organes nécessaires au fonctionnement du poste : disjoncteur, jeu de barres, sectionneur de jeu de barres, sectionneur de terre, transformateur de courant, transformateur de tension (ou transformateur de potentiel) et parfois parafoudre.

Il existe de nombreux types de cellules : sectionnement à fusible, disjoncteur, couplage... De même, on distingue les cellules isolées dans l'air des cellules isolées dans le gaz (GIS).



Fig. 4.11 : Cellules HTA

### 1) Les cellules de raccordement

Elles permettent de réaliser les raccordements en antenne, boucle, ou double dérivation.

Elles peuvent recevoir des options

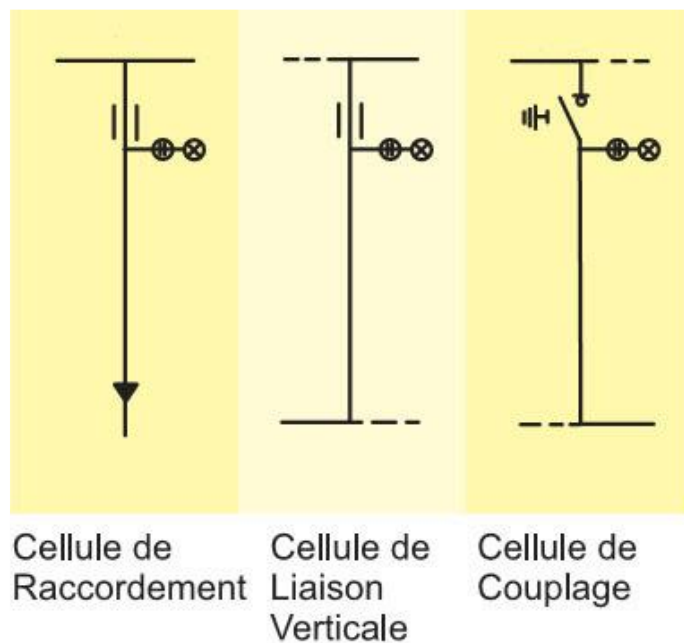


Fig. 4.12 : Cellules de raccordement

### 2) Les cellules de protection

Elles peuvent être équipées de sectionneurs, de fusibles ou de disjoncteurs.

Elles peuvent recevoir des options : transformateur de courant, disjoncteurs motorisés, etc.

Les disjoncteurs peuvent utiliser le principe de la coupure dans l'air ou dans l'hexafluorure de soufre SF6

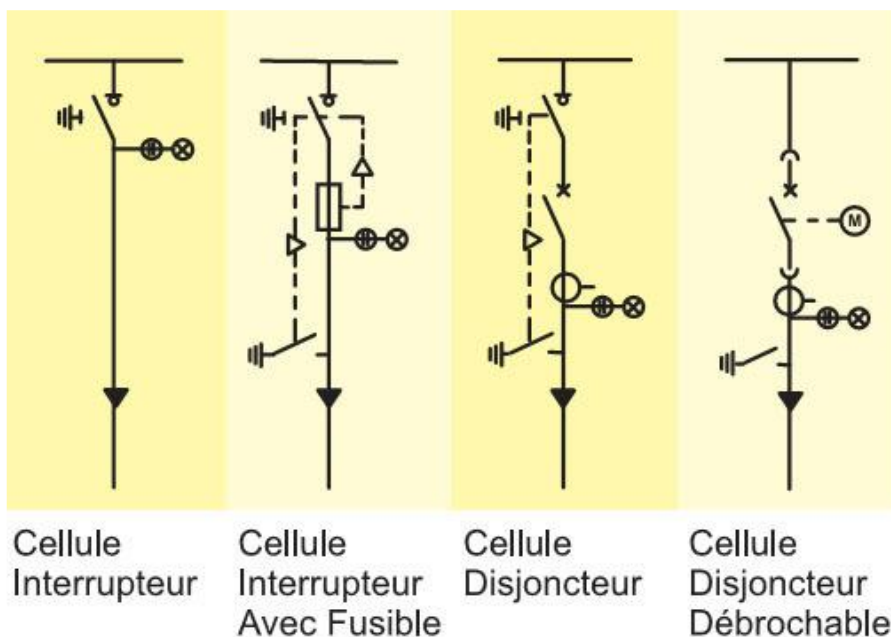


Fig. 4.13 : Cellules de protection

### Remarque : Les 3 positions des interrupteurs HTA

Les interrupteurs HTA ont la particularité de posséder les 3 états suivants : ouvert, fermé et mise à la terre.

Intérêt de la mise à la terre : décharger les capacités contenues dans les câbles et éviter les retours possibles de tension liés à des erreurs de manœuvre.

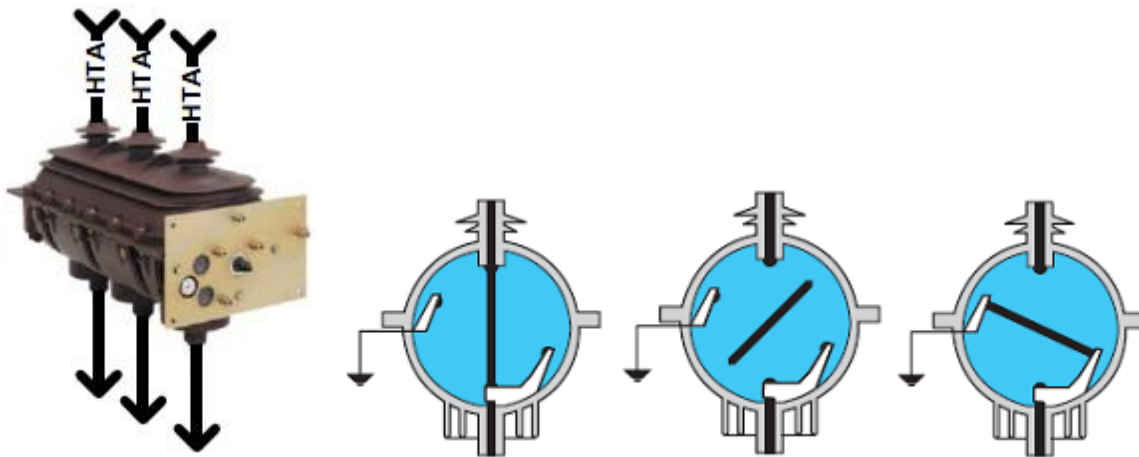


Fig. 4.14 : Les 3 positions des interrupteurs HTA

### 3) Cellules de comptage

Elles permettent le comptage de l'énergie en BT ou en HTA. Dans ce cas, un TP est indispensable.

Une cellule de comptage peut être intégrée dans une autre cellule au travers d'une option.

Les catalogues constructeur (Siemens, Schneider, etc..) permettent de choisir les cellules nécessaires à la confection d'une sous-station principale ou secondaire.

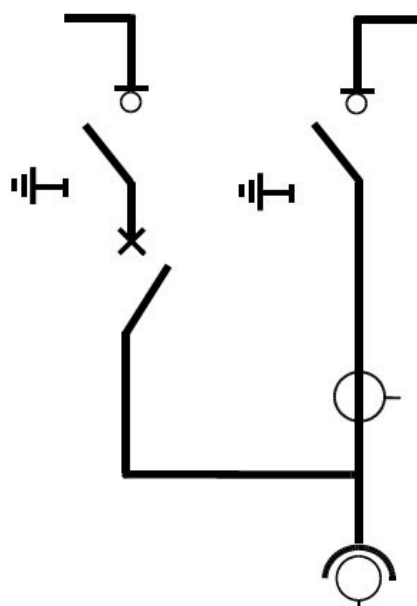


Fig. 4.15 : Cellule de comptage HTA

### 6 Calcul des chutes de tension

L'impédance d'un câble est faible mais non nulle : lorsqu'il est traversé par le courant de service, il y a chute de tension entre son origine et son extrémité. Or le bon fonctionnement d'un récepteur (surtout un moteur) est conditionné par la valeur de la tension à ses bornes.

Il est donc nécessaire de limiter les chutes de tension en ligne par un dimensionnement correct des câbles d'alimentation. Ces chutes de tension sont déterminées afin de vérifier :

- La conformité aux normes et règlements en vigueur
- La tension d'alimentation vue par le récepteur
- L'adaptation aux impératifs d'exploitation.

La norme impose que la chute de tension entre l'origine de l'installation BT et tout point d'utilisation n'excède pas des valeurs spécifiées.

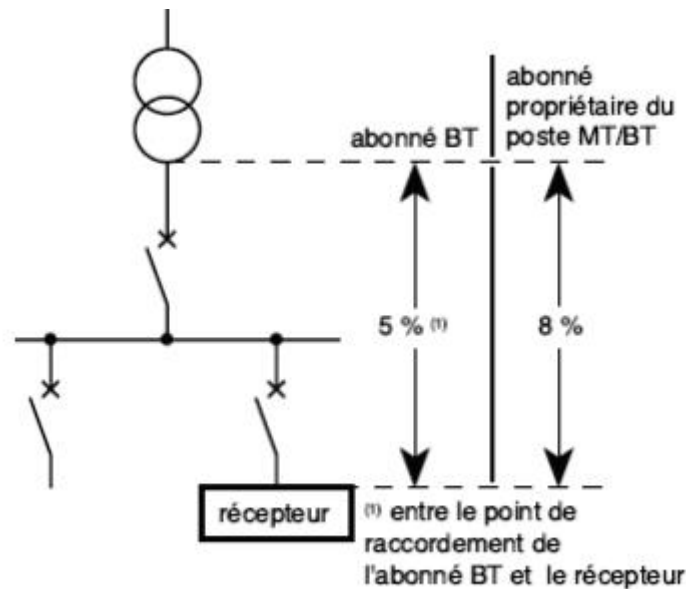


Fig. 4.16 : Chute de tension

**Tableau: Chute de tension maximale entre l'origine de l'installation BT et l'utilisation**

	Eclairage	Autres usages (force motrice)
abonné alimenté par le réseau BT de distribution publique	3 %	5 %
abonné propriétaire de son poste HTA/BT	6 %	8 %

La chute de tension en ligne en régime permanent est à prendre en compte pour l'utilisation du récepteur dans des conditions normales (limites fixées par les constructeurs des récepteurs).

La formule usuelle permettant le calcul de la chute de tension est :

$$\Delta \vec{V} = \vec{I} \cdot \vec{Z} = I(\cos\varphi + j\sin\varphi)(R + jX)$$

On utilise souvent la formule approximative en monophasé :

$$\Delta V = 2I_B L(R\cos\varphi + X\sin\varphi)$$

et en triphasé:

$$\Delta U = \sqrt{3} I_B L(R\cos\varphi + X\sin\varphi)$$

où

$I_B$  : courant d'emploi en A

L : longueur du câble en km

R : résistance linéaire d'un conducteur en  $\Omega/\text{km}$

S : section en  $\text{mm}^2$

X : réactance linéique d'un conducteur en  $\Omega/\text{km}$

Nous avons :

$$R = \frac{22.5 (\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{km})}{S (\text{mm}^2)} \quad \text{pour le cuivre}$$

$$R = \frac{36 (\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{km})}{S (\text{mm}^2)} \quad \text{pour l'aluminium}$$

X est négligeable pour les câbles de section inférieure à  $50 \text{ mm}^2$ . En l'absence d'autre indication on prendra  $X = 0,08 \Omega/\text{km}$ .

$\varphi$  : déphasage du courant sur la tension dans le circuit considéré ; généralement :

- Éclairage :  $\cos \varphi = 1$
- Force motrice : en démarrage  $\cos \varphi = 0,35$  et en service normal  $\cos \varphi = 0,8$

#### Calcul à partir d'un tableau simplifié :

On utilise aussi des tableaux qui donnent la chute de tension en % pour une certaine longueur de câble (souvent 100m, en 400 V/50 Hz triphasé), en fonction de la section du câble et du courant véhiculé (courant nominal du récepteur). Ces valeurs sont données pour un  $\cos \varphi$  de 0,85 dans le cas d'un moteur et de 1 pour un récepteur non inductif. Ces tableaux peuvent être utilisés pour des longueurs de câble  $L \neq 100 \text{ m}$  : il suffit d'appliquer au résultat le coefficient  $L/100$ .

#### Remarque :

Pour qu'un moteur démarre dans des conditions normales, le couple qu'il fournit doit dépasser 1,7 fois le couple résistant de la charge. Or, au démarrage, le courant est très supérieur au courant en régime permanent. Si la chute de tension en ligne est alors importante, le couple du démarrage diminue de façon significative. Cela peut aller jusqu'au non-démarrage du moteur. D'où la nécessité du calcul de la chute de tension au démarrage.



Cette chute de tension doit être évaluée pour :

- Vérifier que les perturbations provoquées sur les départs voisins sont acceptables
- Calculer la chute de tension effective aux bornes du moteur au démarrage.

La chute de tension en ligne au démarrage est fonction du facteur de puissance  $\cos \varphi$  du moteur à sa mise sous tension. La norme IEC 947-4-1 définit les limites extrêmes de ce facteur de puissance en fonction de l'intensité nominale du moteur :

- Pour  $I_n \leq 100 \text{ A}$ ,  $\cos \varphi \leq 0,45$
- Pour  $I_n > 100 \text{ A}$ ,  $\cos \varphi \leq 0,35$ .

**Exemple :**

Un moteur triphasé 400 V, de puissance 7,5 kW ( $I_n = 15 \text{ A}$ )  $\cos \varphi = 0,85$  est alimenté par 80 m de câble cuivre triphasé de section  $4 \text{ mm}^2$ .

La chute de tension entre l'origine de l'installation et le départ moteur est évaluée à 1,4 %.

La chute de tension totale en régime permanent dans la ligne est-elle admissible ?

**Réponse :**

La chute de tension entre le départ moteur et le moteur est :

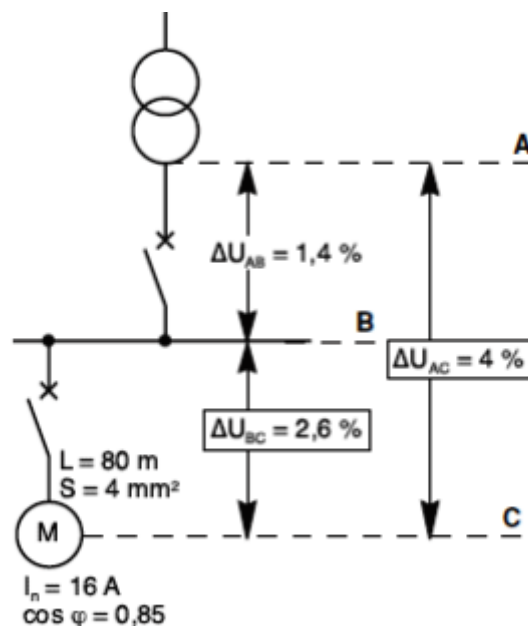
$$\Delta U_{AC} = \sqrt{3} I_B L (R \cos \varphi + X \sin \varphi) = \sqrt{3} \times 16 \times 0,08 \left( \frac{22,5}{4} \times 0,85 + 0 \right) = 10,59 \text{ V}$$

Soit  $\Delta U_{AC} = 10,59 / 400 = 2,6 \%$

La chute de tension entre l'origine de l'installation et le moteur vaut donc :

$$\Delta U_{AC} = \Delta U_{AB} + \Delta U_{BC} = 1,4 \% + 2,6 \% = 4 \%$$

La plage de tension normalisée de fonctionnement des moteurs ( $\pm 5 \%$ ) est respectée (transfo. HTA/BT 400 V en charge).



## 7 Compensation et amélioration du facteur de puissance

Toute machine électrique (moteur, transformateur, ...) alimentée en courant alternatif met en jeu deux formes d'énergie :

- L'énergie active qui correspond à la puissance active  $P$  mesurée en kW et se transforme intégralement en énergie mécanique (travail utile) et en chaleur (pertes).
- L'énergie réactive qui correspond à la puissance réactive  $Q$  mesurée en kvar qui sert à magnétiser les tôles des appareils électriques (transformateurs, machines tournantes, ...) mais qui peut être fournie par des circuits capacitifs.

Le réseau de distribution fournit les deux formes d'énergie qui composent l'énergie apparente qui correspond à la puissance apparente  $S$  mesurée en kVA.

Les trois puissances  $P$ ,  $Q$  et  $S$  se représentent vectoriellement par un triangle des puissances.

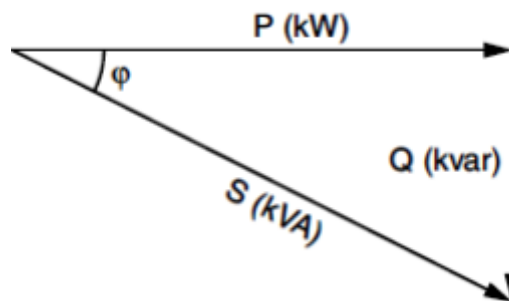


Fig. 4.17 : Triangle des puissances

### 7.1 Facteur de puissance

Le facteur de puissance d'une installation est le quotient de la puissance active en kW consommée par l'installation sur la puissance apparente en kVA fournie à l'installation. Il est égal au cosinus de l'angle de déphasage  $\varphi$  entre la puissance active et la puissance apparente.

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

Le  $\cos \varphi$  est compris entre 0 et 1. Un facteur de puissance proche de 1 optimise le fonctionnement d'une installation. Il signifie que l'énergie réactive est faible comparée à l'énergie active.

Il est possible d'exprimer la  $\tan \varphi$  avec :  $\tan \varphi = \frac{Q}{P}$

Ce rapport illustre l'énergie réactive que le distributeur doit livrer pour fournir une puissance active donnée. Une faible valeur de  $\tan \varphi$  correspond à une installation optimisée. Une valeur contractuelle  $\tan \varphi = 0,4$  c'est-à-dire  $\cos \varphi = 0,93$ .

Le tableau ci-dessous fournit quelques valeurs courantes du facteur de puissance pour certains types d'équipements et appareils.

**Tableau : Valeurs typiques du facteur de puissance pour différents appareils**

Equipements et appareils		cos $\varphi$	tg $\varphi$
Moteur asynchrone ordinaire chargé à	0%	0.17	5.80
	25%	0.55	1.52
	50%	0.73	0.94
	75%	0.80	0.75
	100%	0.85	0.62
Lampes à incandescence		1.0	0
Lampes fluorescentes (non compensées)		0.5	1.73
Lampes fluorescentes (compensées)		0.93	0.39
Lampes à décharge		0.4 à 0.6	2.29 à 1.33
Fours à résistance		1.0	0
Fours à induction avec compensation intégrée		0.85	0.62
Fours à chauffage diélectrique		0.85	0.62
Machines à souder à résistance		0.8 à 0.9	0.75 à 0.48
Postes statiques monophasés de soudage à arc		0.5	1.73
Groupes rotatifs de soudage à l'arc		0.7 à 0.9	1.02 à 0.48
Transformateurs-redresseurs de soudage à l'arc		0.7 à 0.8	1.02 à 0.75
Fours à arc		0.8	0.75

## 7.2 Avantages dus à l'amélioration du facteur de puissance

### Diminution de la facture d'électricité

La diminution de la consommation d'énergie réactive, avec l'amélioration du facteur de puissance, est très sensible au niveau de la facturation : on pénalise les abonnés pour un  $\cos \varphi < 0,93$  (tg  $\varphi = 0,4$ ).

### Optimisation des choix technico-économiques

→ Diminution de la section des câbles

La puissance active transportée par un câble diminue lorsque le facteur de puissance s'éloigne de 1. Pour une même puissance active à fournir la diminution du facteur de puissance impose le choix de câbles de plus grande section.

→ Diminution des pertes en ligne

Un bon facteur de puissance permet une diminution des pertes en ligne à puissance active constante. Les pertes wattées (dues à la résistance des conducteurs) sont intégrées dans la consommation enregistrée par les compteurs d'énergie active (kWh) et sont proportionnelles au carré du courant transporté.

→ Réduction de la chute de tension

L'amélioration du facteur de puissance diminue l'énergie réactive transportée et de ce fait diminue les chutes de tension en ligne.

→ Augmentation de la puissance disponible

La puissance active disponible au secondaire d'un transformateur est d'autant plus grande que le facteur puissance de l'installation est élevé.

L'amélioration du facteur de puissance permet donc un dimensionnement réduit des transformateurs, des appareillages, des conducteurs, etc. ainsi qu'une diminution des pertes en ligne et des chutes de tension dans l'installation.

### 7.3 Moyens d'amélioration du facteur de puissance : Compensation

#### 1) Principe de la compensation

Compenser une installation consiste à installer une source d'énergie réactive de compensation qui permet d'améliorer de facteur de puissance de l'installation.

La Fig. 4.18 ci-dessous traduit la représentation vectorielle de la compensation.

Avant compensation: P, Q, S et  $\cos\varphi$

Après compensation: P, Q', S' et  $\cos\varphi'$

La puissance réactive de compensation à installer est donnée par l'expression :

$$Q_c = P (tg\varphi - tg\varphi')$$

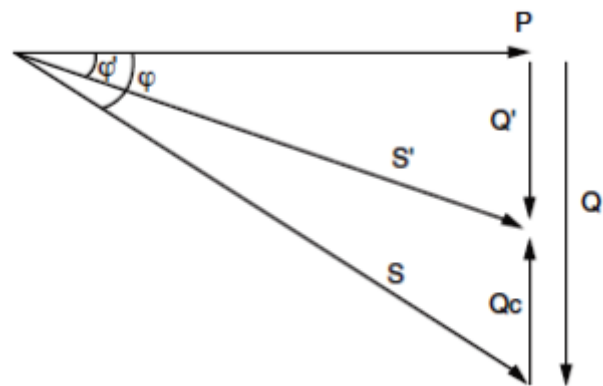


Fig. 4.18 : Compensation

#### 2) Moyens de compensation

La compensation peut se faire en basse tension ou en haute tension en utilisant des condensateurs.

En basse tension la compensation est réalisée avec deux familles de produits :

→ Les condensateurs de valeurs fixes ou condensateurs fixes

Ces condensateurs sont d'une puissance unitaire constante et leur mise en œuvre peut être :

- Manuelle : commande par disjoncteur ou interrupteur
- Semi-automatique : commande par contacteur
- Directe : asservie aux bornes d'un récepteur

→ Les équipements à régulation automatique ou batteries automatiques

Ils permettent d'ajuster en permanence la compensation aux besoins de l'installation et s'utilisent dans le cas où Q consommée ou P varie dans des proportions importantes c'est-à-dire essentiellement aux bornes des TGBT ou pour les gros départs. Ces batteries de condensateurs sont divisées en gradins et sont commandées graduellement.

### Règle générale

Si le dimensionnement en kvar des condensateurs est  $\leq 15\%$  du dimensionnement du transformateur, une compensation à une valeur fixe est appropriée. Au-delà de 15 % il est conseillé d'installer une batterie de condensateurs à régulation automatique.

→ Compensation statique : montages à base de thyristors.

### Remarque

Lorsque La puissance à installer est supérieure à 800 kvar avec une charge stable et continue il peut être plus économique de choisir des batteries de condensateurs haute tension à installer sur le réseau. (Rappel :  $Q = U^2 C \omega$  d'où pour une même valeur de Q réduction de la capacité et coût moins élevé du condensateur).

### 3) Modes de compensation

La compensation peut être :

- **Globale** : La batterie de condensateurs est raccordée en tête de l'installation et reste en service de façon permanente. Ce mode de compensation convient lorsque la charge est stable et continue.
- **Partielle** : la batterie de condensateurs est raccordée au tableau de distribution et fournit l'énergie réactive par atelier ou par groupe de récepteurs. Ce mode de compensation convient lorsque l'installation est étendue et comporte des ateliers dont les régimes de charge sont différents.
- **Individuelle** : La batterie de condensateurs est raccordée directement aux bornes de chaque récepteur du type inductif, notamment les moteurs. Elle convient lorsque la puissance de certains récepteurs est très importante par rapport à la puissance totale, elle offre le plus d'avantages.

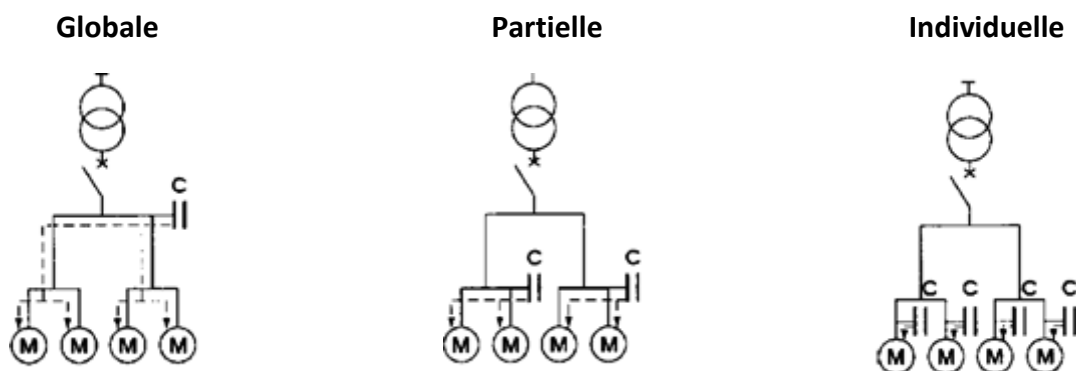


Fig. 4.19 : Modes de compensation

**Exemple 1**

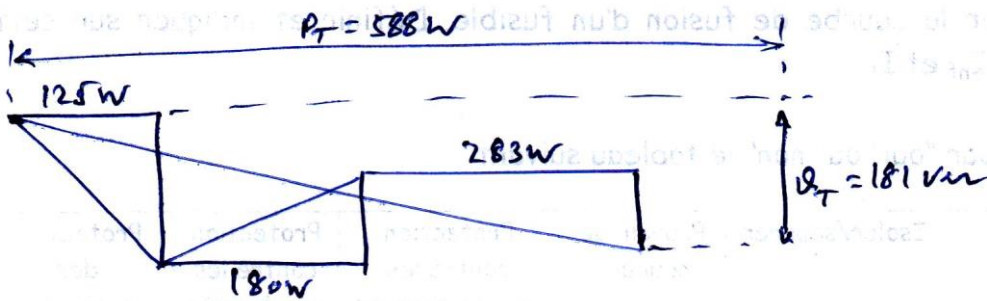
Dessiner le triangle des puissances pour chaque dérivation ainsi que celui de la puissance totale.



**Exemple 2**

Donner la composition de la puissance globale et le facteur de puissance pour un ensemble de 3 charges :

1) 250 VA ; 0.5 (AR)      2) 180W ; 0.8 (AV)      3) 300VA ; 100VAr (AR)



**Exemple 3**

Un transformateur de puissance 500kVA fonctionne à pleine charge avec un  $\cos\phi = 0.6$  (AR). On améliore le facteur de puissance à 0.9 (AR) en insérant des condensateurs. Déterminer la puissance réactive nécessaire  $Q_c$  des condensateurs. Après compensation, que sera le taux de charge du transfo.

$$P = S_n \cdot \cos\phi = 500 \times 0.6 = 300kW$$

$$Q = S_n \cdot \sin\phi = 500 \times 0.8 = 400kVAr$$

$$Q_1 = P \tan\phi' = 300 \times \tan(\arccos(0.6)) = 146kVAr$$

$$Q_c = Q - Q_1 = 400 - 146 = 254 kVAr$$

$$\frac{S_1}{S_n} = \frac{333}{500} = 66.7\%$$

