

# RAPPELS DE COURS

## 1. ARRIVEE DE L'ENERGIE

### 1.1 Réseau Haute Tension

La finalité de ce réseau est triple :

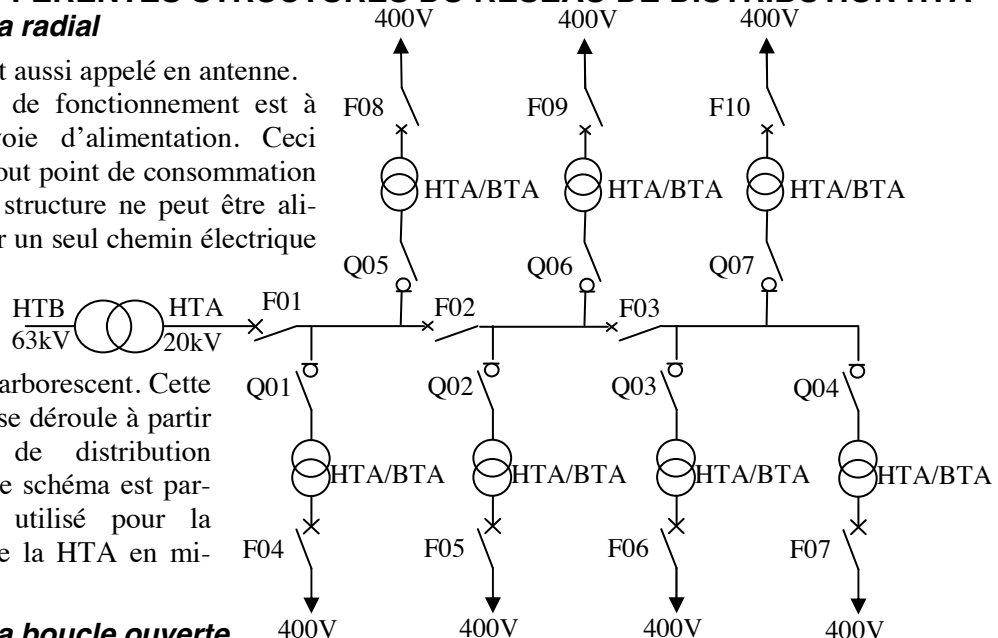
- une fonction de "transport" dont le but est d'acheminer l'électricité des centrales de production aux grandes zones de consommation ;
- une fonction "d'interconnexion nationale" qui gère la répartition de l'offre en orientant la production en fonction de la répartition géographique et temporelle de la demande ;
- une fonction "d'interconnexion internationale" pour gérer des flux d'énergie entre les pays en fonction d'échanges programmés ou à titre de secours.

Les tensions sont de 225 ou 400 kV. L'utilisation de ces tensions élevées est liée à un objectif économique. En effet pour une puissance donnée, les pertes en ligne par effet Joule sont inversement proportionnelles au carré de la tension :  $p = k / U^2$ , avec  $U$  = tension du réseau,  $k$  = une constante fonction de la ligne. De plus les puissances transportées sont telles, que l'utilisation d'une tension basse entraînerait des sections de câble tout à fait inadmissibles.

### 1.2. LES DIFFERENTES STRUCTURES DU RESEAU DE DISTRIBUTION HTA

#### 1.2.1 Schéma radial

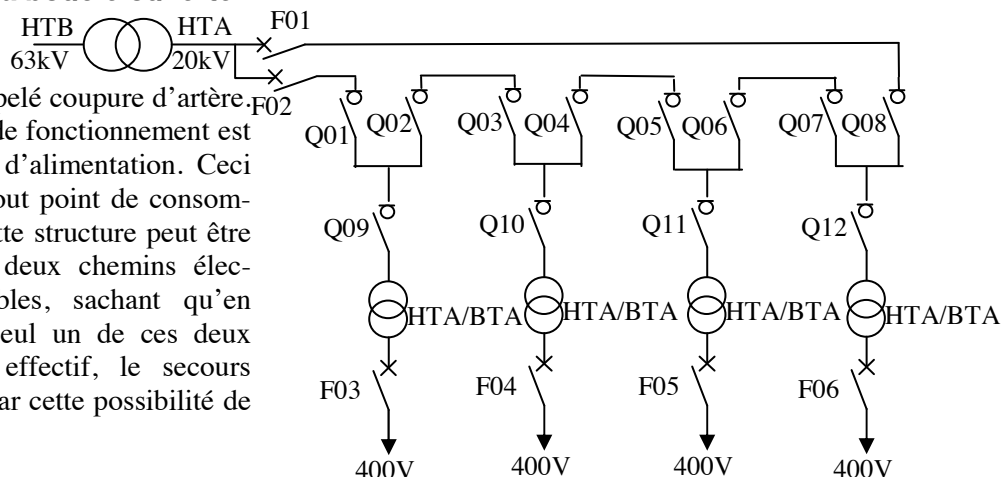
Ce schéma est aussi appelé en antenne. Son principe de fonctionnement est à une seule voie d'alimentation. Ceci signifie que tout point de consommation sur une telle structure ne peut être alimenté que par un seul chemin électrique possible.



Il est de type arborescent. Cette arborescence se déroule à partir des postes de distribution HTB/HTA. Ce schéma est particulièrement utilisé pour la distribution de la HTA en milieu rural.

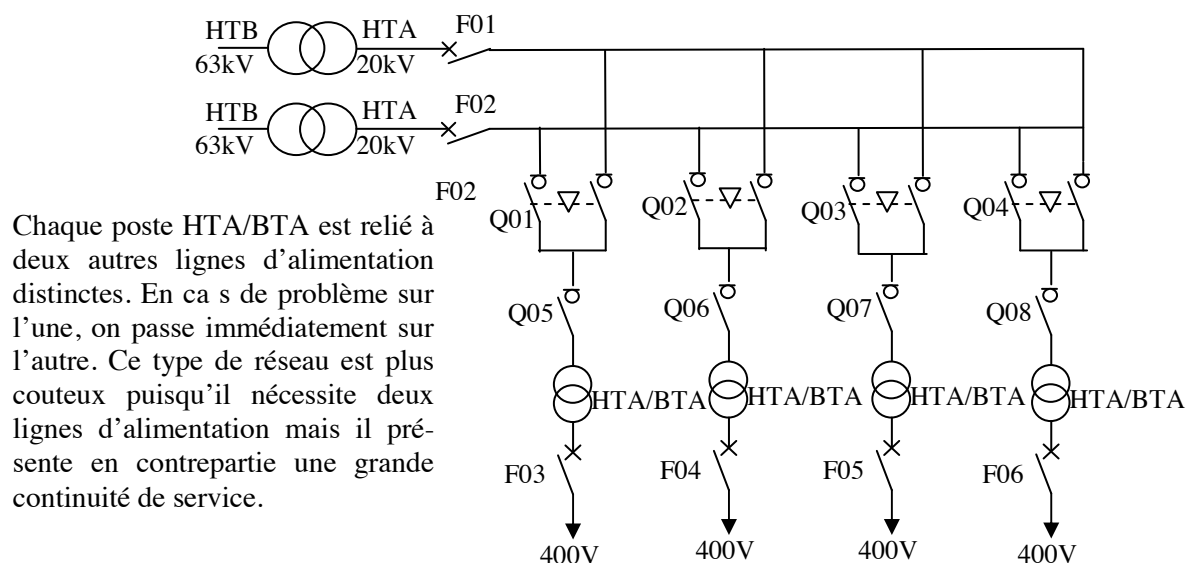
#### 1.2.2 Schéma boucle ouverte

Il est aussi appelé coupure d'artère. Son principe de fonctionnement est à deux voies d'alimentation. Ceci signifie que tout point de consommation sur cette structure peut être alimenté par deux chemins électriques possibles, sachant qu'en permanence seul un de ces deux chemins est effectif, le secours étant réalisé par cette possibilité de bouclage.



Dans un tel schéma, il y a toujours un point d'ouverture dans la boucle (d'où le nom de boucle ouverte aussi utilisé pour cette solution), ce qui revient à un fonctionnement équivalent à deux antennes.

### 1.2.3 Schéma double dérivation



On le trouve essentiellement en milieu urbain et en souterrain

## 1.3 Gestion de l'énergie

### 1.3.1. Tarification EDF :

domaines	TBT	BTA	BTB	HTA	HTB
Alternatif	$U \leq 50 \text{ V}$	$50 \text{ V} < U < 500 \text{ V}$	$500 \text{ V} < U < 1000 \text{ V}$	$1000 \text{ V} < U < 50 \text{ kV}$	$U > 50 \text{ kV}$
Continu	$U \leq 120 \text{ V}$	$120 \text{ V} < U < 750 \text{ V}$	$750 \text{ V} < U < 1500 \text{ V}$	$1500 \text{ V} < U < 75 \text{ kV}$	$U > 75 \text{ kV}$

Réseau B1 (127 / 220 V) de moins en moins utilisé ; remplacé par le réseau B2 (220 / 380 V) qui est devenu actuellement 230 / 400 V.

Il existe 3 tarifs différents :

Désignation	Puissance	Niveau de tension
Bleu	$< 36 \text{ kVA}$	BTA monophasé ou triphasé
Jaune	$< 250 \text{ kVA}$	BTA triphasé
vert	$< 250 \text{ kW}$	BTA triphasé
Vert A5	$< 10 \text{ MW}$	HTA 20 kV triphasé

➤ *But de la gestion de l'énergie* : Réduire la consommation, et maintenir la consommation la plus constante possible (pour éviter la mise en route fréquentes et de courte durée des centrales thermiques).

➤ *Le tarif bleu* :  $S \leq 36 \text{ kVA}$

HC : Heures creuses et HP : Heures Pleines P : puissance souscrite (abonnement)

Options	Abonnements	Remarques	
Base	3, 6, 9, 12, 15, 18, 24, 30, 36 kVA	prix du kWh ↓ quand P↑ prix de la prime ↑ quand P↑	
Heure creuse	Idem	Tarif HC et HP prix kWh HC < prix kWh HP	Monophasé ou triphasé
EJP	24 à 36 kVA	2 tarifs : Heures normales et Pointe mobile	triphasé
Tempo		6 tarifs : Bleu : HC et HP Blanc : HC et HP Rouge : HC et HP	tarif bleu < tarif blanc tarif blanc < tarif rouge Monophasé ou triphasé

➤ *tarif jaune et tarif vert* : 36 kVA < S < 250 kVA

Les tarifs jaunes et verts sont des tarifs concernant les gros consommateurs d'énergie. Ceux sont des P.M.E. (tarif jaune) et de grosses industries (tarif vert). Le but étant toujours de régulariser et d'éviter des pointes trop importantes de la consommation.

Hiver : du 1<sup>er</sup> novembre au 31 mars.

Option	Utilisation	Tarif
Base	Utilisation Moyenne < 2000 h	Hiver : HP et HC Eté : HP et HC
Base	Utilisation Longue > 2000 h	Hiver : pointe, heure pleine et HC Eté : HP et HC
EJP		Hiver : Pointe mobile et heure pleine Eté : HP et HC

Les dépassements de puissance sont facturés.

Possibilité de réduction de la prime fixe pour effacement de puissance : le calcul de la prime fixe se fait avec des coefficients réducteurs en fonction de la puissance maximale souscrite dans les différentes périodes tarifaires ; suivant la puissance consommée pour chaque période, on détermine une puissance réduite. Le calcul de cette puissance réduite permet de voir que le coût de la prime fixe annuelle s'en trouve réduit.

➤ *Le Tarif vert A5* : S > 250 kVA

Option	Durée d'utilisation (H)	Tarif
Base	Courte (< 2000 h), Moyenne (2000h < H < 3500 h), Longue (3500 h < H < 6300 h), Très Longue (> 6300 h)	Hiver : Pointe, HP et HC Eté : HP et HC
EJP	Moyenne et Très Longue	Hiver : Pointe mobile et hors pointe Eté : HP et HC

- possibilité de souscrire une puissance réduite.

- facturation du dépassement de puissance et de la puissance réactive (si Q/P > 0,4)

Un complément de prime fixe est prévu en cas de dépassement de la puissance souscrite maximale, ce complément dépend de la période tarifaire lors du dépassement.

Pour diminuer cette énergie réactive, la solution consiste à placer des condensateurs sur les récepteurs grands consommateurs d'énergie réactive ou au départ de l'installation.

➤ *Comment réduire au maximum sa facture ?*

Il faut d'abord prévoir une bonne puissance souscrite dans chaque période tarifaire pour éviter les compléments de prime fixe dus à un dépassement de puissance.

Choisir une bonne version tarifaire. Pour l'option de base, le choix se fera en fonction des heures d'utilisation annuelle de la puissance souscrite. Il faut réduire au maximum les consommations d'énergie réactive.

➤ *Le tarif vert A8 et B* :

Le choix des tarifs verts A8 et B par rapport au tarif vert A5 est fonction de la classe de tension (HTA ou HTB) et de la classe de puissance.

### 1.3.2 Energie réactive :

La formule de l'énergie réactive est la suivante :  $Q = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \sin(\varphi)$  exprimée en VAR.

Cette énergie est très pénalisante quelque soit le tarif EDF que vous ayez (bleu, jaune ou vert). En tarif vert, EDF vous la facture directement dès que  $\text{tg}(\varphi) > 0,4$ .

En tarif bleu et jaune, elle vous autopénalise. En effet vous payez un abonnement en VA mais vous utilisez des Watts. Comme  $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$ , pour un abonnement fixe S, plus Q est important, plus P est petit.

Exemple : abonnement S = 100 kVA sous U = 400V (I = 250A)

Si  $\cos(\varphi) = 1$  alors on a P = S = 100 kW

Si  $\cos(\varphi) = 0,5$  alors on a P = 50 kW.

Les 250 A maximum à votre disposition (déclenchement du disjoncteur EDF) vous permettent d'utiliser seulement 50 kW pour un mauvais  $\cos(\varphi)$  de 0,5 au lieu des 100 kW disponibles avec un  $\cos(\varphi)$  idéal (=1).

## 2. DISTRIBUTION DE L'ENERGIE ELECTRIQUE

### 2.1 Transformateur → TGBT

#### Différents type de transformateur :

- *Transformateurs de séparation* des circuits : Transformateurs dont le primaire est isolé du secondaire par une isolation électrique
- *Principe du transformateur* : Appareil statique à induction électromagnétique destiné à transformer un système de courant alternatif en un ou plusieurs systèmes de courant alternatif de même fréquence, de courant et de tension généralement différent. Séparation électrique entre les enroulements primaire et secondaire.



#### Caractéristiques :

- *Courant nominal* : Courant maxi que peut supporter le transformateur sous tension et puissance nominales.
- *Courant à vide* : Courant circulant dans le primaire du transformateur, à tension nominale, le secondaire étant ouvert.
- *Courant d'enclenchement* : La mise sous tension provoque une pointe d'intensité pouvant atteindre 25 fois le courant nominal et cela pendant quelques millièmes de secondes.
- *Rendement* :  $((P_{nom}) / (P_{nom} + P_{fe} + P_j)) * 100 = \text{rendement en } \%$

$P_{nom}$  = Puissance nominale,  $P_{fe}$  = Perte fer (puissance consommée à vide à tension nominale),  $P_j$  = Pertes joules (puissance consommée à courant nominal, secondaire en court-circuit)

- *Tension de court-circuit* : Tension appliquée au primaire du transformateur afin d'obtenir le courant nominal, le secondaire étant en court-circuit.(exprimée en pour-cent par rapport à la tension nominale)

- *Chute de tension* : C'est le rapport de la différence des tensions à vide et en charge sur la tension en charge.

Chute de tension en % =  $((\text{Tension à vide} - \text{Tension en charge}) / (\text{Tension en charge})) * 100$

- *Couplage* : il existe 3 schémas de couplages pour les enroulements : couplage étoile Y, couplage triangle D, couplage zig-zag Z. (primaire) et y, d, z au secondaire.

Le chiffre indique l'indice du couplage (déphasage)

Exemple : Dy11 : HT triangle BT étoile Décalage  $11 \times 30 = 330^\circ$

#### 2.1.1. Protection des personnes

##### A) Schémas de liaison à la terre

Les trois régimes de neutre normalisés sont désignés par deux lettres :

**1<sup>ère</sup> lettre** : situation du neutre par rapport à la terre.

**T** : (Terre) liaison directe du neutre à la terre

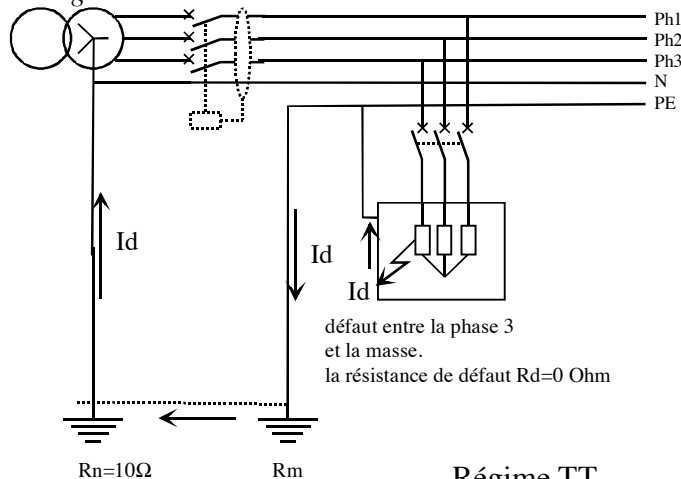
**I** : (Isolé) absence de liaison du neutre à la terre ou liaison par l'intermédiaire d'une impédance

**2<sup>ème</sup> lettre** : situation des masses de l'installation

**T** : (Terre) liaison des masses à une prise de terre distincte de celle du neutre

**N** : (Neutre) liaison des masses au neutre

➤ Régime TT :



- Le courant de défaut se referme par la boucle de défaut comprenant les prises de terre et la résistance de défaut.

- Coupure dès le premier défaut

- Protection par disjoncteur différentiel dont la sensibilité est donné par la relation :  $R_m \cdot I_d < U_L$  avec

$R_m$  : résistances des masses

$I_d$  : courant de défaut

$U_L$  : tension de sécurité (voir p10)

Ce système est imposé dans les installations alimentées par un réseau de distribution publique BT

Ex :  $R_m = 37\Omega$  ;  $U_L = 25 \text{ V}$

$I_d = U_L / R_m = 25 / 37 = 0,67 \text{ A}$

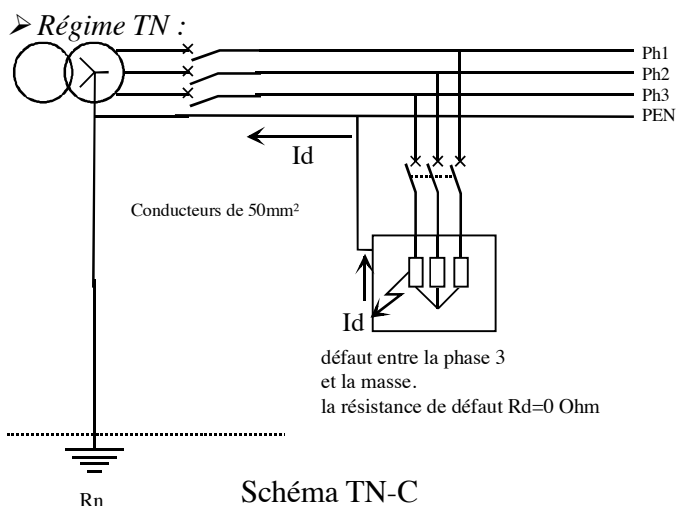
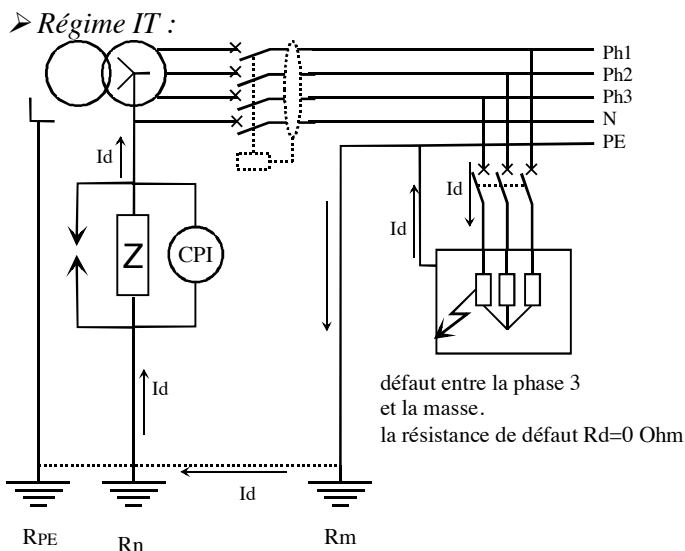


Schéma utilisable dans les installations alimentées par un poste de transformation privé

- Le courant de défaut se traduit par un court-circuit entre phase et neutre.
- La protection s'effectue par des dispositifs de protection contre les courts-circuits. (DPCC : fusible, disjoncteur)
- On doit avoir :  $Z_d \cdot I_a < U_0$   
 $Z_d$  : impédance boucle de défaut  
 $I_a$  : courant de fonctionnement de la protection  
 $U_0$  : tension phase neutre
- coupure au 1<sup>er</sup> défaut
- 2 schémas possibles :  
 TN-C : neutre et conducteur de protection confondus  
 TN-S : neutre et conducteur de protection séparés



- Le courant de premier défaut doit être signalé par un contrôleur permanent d'isolement (avertisseur sonore et visuel)
- Au 2<sup>ème</sup> défaut la protection est assurée dans les mêmes conditions que dans un schéma TN si toutes les masses sont interconnectées ou TT si les masses ne se sont pas interconnectées.  
 Utilisable dans les installations alimentées par un poste de transformation privé et exploité par un service de maintenance spécialisé.
- Permet d'assurer la continuité de service.

**Prise de terre :** toute pièce ou ensemble de pièces conductrices enfoncées dans le sol et assurant une liaison électrique efficace avec la terre.

**Conducteur de protection PE :** c'est un conducteur utilisé dans les mesures de protection contre les contacts indirects reliant les masses métalliques soit aux autres masses, soit à une prise de terre.

**Conducteur équipotentiel :** ou liaison équipotentielle est une liaison électrique destinée à mettre au même potentiel des masses métalliques différentes.

➤ **Tensions limites :** (Norme NFC15-100)

La protection est assurée tant contre les contacts directs que contre les contacts indirects lorsque la tension est celle donnée dans le tableau ci-dessous

Tension Limite $U_L$	Alternatif U efficace (V)	Continu (V)	Conditions	Exemples
U2	50	100	Normales	Locaux d'habitation, de bureaux industriels non mouillés
U3	25	50	Enceintes conductrices non mouillées	Locaux mouillés - Chantiers
U4	12	25	Enceintes conductrices mouillées	Piscines et volume enveloppe des salles de d'eau

## B) Choix des composants et mise en œuvre

### C) Les harmoniques

Le théorème de Dericlet énonce que tout signal périodique peut être décomposé en série de Fourier comme suit :

$$I(t) = \sum_0^{\infty} C_n \cos(n.wt + \varphi_n) = A_n + \sum_1^{\infty} A_n \cos(n.wt) + \sum_1^{\infty} B_n \sin(n.wt)$$

avec  $A_n = \frac{2}{2\pi} \int_0^{2\pi} I(t) \cdot \cos(n.wt) \cdot dt$  et  $B_n = \frac{2}{2\pi} \int_0^{2\pi} I(t) \cdot \sin(n.wt) \cdot dt$ ,  $n$  étant le rang de l'harmonique.

Ces harmoniques proviennent de la déformation du signal intensité due en général aux convertisseurs statiques (variateurs,...). Elles provoquent un échauffement des câbles voire des vibrations dans certains transformateurs.

### 2.1.2. Habilitations électriques

Habilitation du personnel	Opérations		Interventions du domaine BT
	Travaux		
	Hors tension	Sous tension	
Non électricien	B0 ou H0		
Exécutant électricien	B1 ou H1	B1T ou H1T	BR
Chargé d'intervention			
Chargé de travaux	B2 ou H2	B2T ou H2T	
Chargé de consignation	BC ou HC		BC
Agent de nettoyage sous tension		BN ou HN	

**B** pour les ouvrages du domaine BT et TBT et **H** pour les ouvrages du domaine HT

La seconde lettre, lorsqu'elle existe, précise la nature des opérations qu'il peut réaliser :

- **R** indique que le titulaire peut procéder à des interventions de dépannage ou de raccordement, à des mesurages, essais, vérifications. Ce type d'habilitation ne peut être délivré que pour des ouvrages du domaine BT et TBT
- **C** indique que le titulaire peut procéder à des consignations
- **T** indique que le titulaire peut travailler sous tension
- **N** indique que le titulaire peut effectuer des travaux de nettoyage sous tension
- **V** indique que le titulaire peut travailler au voisinage

*Consignation* : Les 4 opérations de la consignation sont :

1. la séparation
2. la condamnation
3. l'identification
4. la VAT suivie éventuellement de la mise à la terre et en court-circuit (MALT et CCT)

La mise à la terre et en court-circuit (MALT et CCT) doit être réalisée de part et d'autre de la zone de travail et doit intéresser tous les conducteurs actifs y compris le neutre. Elle n'est pas exigée en BTA, sauf s'il y a risque de tension induite, risque de réalimentation, présence de condensateurs ou de câbles de grande longueur

- pièces accessibles en BT → Indice de protection (voir **NT2a p61**)
- pièces accessibles en HT → Indice de protection IP3X (voir **NT2a**)

*EPI* : équipement de protection individuel : gants isolants, tapis, masque de protection (avec casque), outils isolants.

*Vérifications nécessaires* : il faut avant chaque intervention vérifier ses EPI, le matériel actif, et le VAT avant et après la consignation.

## 2.2. TGBT —> Circuits terminaux

### 2.2.1 Choix de câbles (section) et canalisations préfabriquées (voir notices NT4e p107)

Définitions : Selon la norme (N.F.C. 15-100)

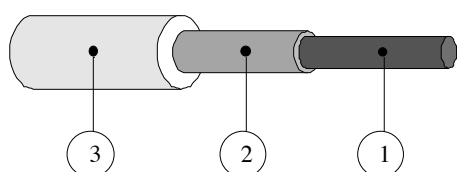
Un conducteur est toujours unipolaire et regroupe l'âme conductrice et son enveloppe isolante.

Un câble est composé d'un ensemble de conducteurs électriquement distincts et mécaniquement solidaires, généralement sous un revêtement de protection (gaine, tresse, armure, etc...)

La canalisation électrique est l'ensemble constitué par un ou plusieurs conducteurs électriques, des éléments assurant leur fixation et le cas échéant leurs protections mécaniques.

Une canalisation électrique est caractérisée par l'ensemble de trois éléments, qui sont :

- des conducteurs ou un câble, qui assurent la transmission de l'énergie ;
- des conduits, tubes, moulures, goulottes, caniveaux qui assurent la continuité de la protection mécanique ;
- des modes de fixation ou de pose qui prennent en compte le montage de la canalisation, sur les parois, dans les parois, dans le sol, en l'air ou dans l'eau.



- ① : Ame ou conducteur
- ② : Isolant électrique
- ③ : Gaine de protection mécanique

#### L'âme du conducteur

L'âme est l'élément conducteur, elle peut-être :

- en Cuivre : résistivité  $\rho = 0,0225 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$  Valeur normalisée NFC 15-100
- en Aluminium : résistivité  $\rho = 0,0360 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$

L'âme est caractérisée par sa souplesse (indice de 1 à 6)

*Désignation* : Les conducteurs et les câbles sont désignés à l'aide de deux normes : le code CE-NELEC (Comité Européen de Normalisation Electrique) remplace progressivement le code UTE traditionnel. (exemple CENELEC : H07RN-F4G25 ; exemple UTE : U1000 C0N 4x25)

#### L'isolant électrique

La tension d'emploi d'une canalisation électrique est conditionnée par la nature de l'isolant électrique.

L'isolation des parties actives entre elles (conducteurs) peut être réalisée par :

- des isolants minéraux (caoutchouc...)
- des isolants de synthèse (polychlorure de vinyle PVC...)
- de l'air : entre les jeux de barres, canalisations préfabriquées, canalisation aérienne ; C'est l'écartement entre les conducteurs qui fixe le niveau d'isolement.

#### Protection mécanique

Fils de câblage : ils sont protégés par les gaines, conduits, tubes isolants ou non, goulottes, moulures.

La gaine assure la protection des conducteurs contre les contraintes du milieu ambiant :

- chocs mécaniques,
- présence d'agents chimiques
- humidité de l'air ou présence d'eau.

Canalisations préfabriquées : la protection mécanique est assurée par une enveloppe métallique

Jeux de barres : pas de protection mécanique. Ils doivent être utilisés dans un local protégé, dans un coffret ou une armoire d'appareillage électrique.

Le choix d'une canalisation fait appel à une sélection avec quatre codifications :

- codification des influences externes à l'installation ;
- codification des conducteurs et câbles ;
- codification des conduits ;
- codification des modes de pose.

Différents tableaux permettent d'effectuer les choix conformément à la normalisation. (voir norme NFC 15-100)

## 2.2.2 Choix des composants de protection et mise en œuvre

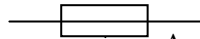
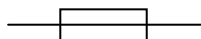
### A) Fusibles (Notices NT2c p62)

➤ *Fonction* : Protéger les circuits contre les surintensités.

Il existe deux formes de cartouches.

- Les cartouches cylindriques : usage domestique et faibles intensités.
- Les cartouches à couteaux : usage industriel et fortes intensités.

Symboles :



Avec percuteur

➤ *Types de fusibles* :

Fusibles gG : Protègent contre les faibles, les fortes surcharges et les courts-circuits, ils sont marqués en noir (usage général).

Fusibles aM : Protègent contre les fortes surcharges et les courts-circuits, ils sont marqués en vert (accompagnement moteur), utilisés également pour le primaire des transformateurs.

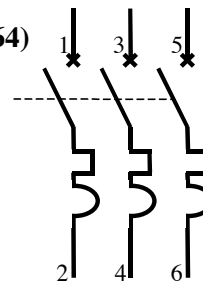
➤ *Caractéristiques d'un fusible* :

- Intensité nominale ( $I_n$ ) : pas d'échauffement, donc pas de fusion.
- Tension nominale ( $U_n$ ) : tension maximum d'utilisation du fusible.
- Courant de non-fusion ( $I_{nf}$ ) : non fusion pendant un temps conventionnel.
- Courant de fusion ( $I_f$ ) : fusion avant un temps conventionnel.
- Zone de fonctionnement : courbe de fusion  $I = f(t)$  avec  $I$  : courant de défaut et  $t$  : temps de fusion.
- Pouvoir de coupure ( $P_{dc}$  en kA) : la plus grande intensité de court-circuit que peut couper le fusible sans création d'arc électrique permanent ( $P_{dc} = 100$  kA).
- Courbe de limitation : capacité d'un dispositif de protection à limiter les courts-circuits d'une valeur donnée.
- Type, dimensions.

### B) Disjoncteur magnéto-thermique : (Notice NT1h p50 et NT2e p64)

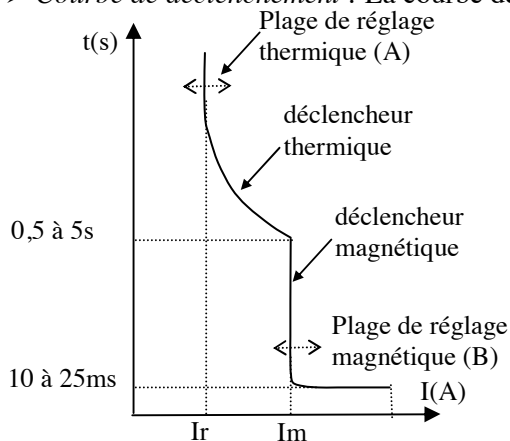
Son but est de protéger contre les surcharges et les courts-circuits et d'isoler une partie de l'installation.

Il intervient au-delà des courants de surcharges jusqu'à l'intensité maximale de court-circuit. La coupure doit être très rapide pour éviter les dégâts occasionnés par des courts-circuits ( $t \leq 10$  ms).



Symboles :

➤ *Courbe de déclenchement* : La courbe de déclenchement comporte 2 parties :



✓ Partie A : La protection contre les faibles et les fortes surcharges (ex : moteur bloqué  $\Rightarrow I >$ ) est réalisée par le module thermique du disjoncteur.

✓ Partie B : La protection contre les courts-circuits est réalisée par le module magnétique du disjoncteur.

Pôles : Ce sont les contacts qui permettent d'établir et d'interrompre le courant nécessaire au récepteur de puissance (moteur, lampes, machines à laver, prises de courant, etc ...).

Il existe plusieurs types de déclencheurs magnétiques :

✓ Type B ou L : protection des câbles de grandes longueurs.  $2,6 I_{rth} \leq I_{rm} \leq 3,85 I_{rth}$