

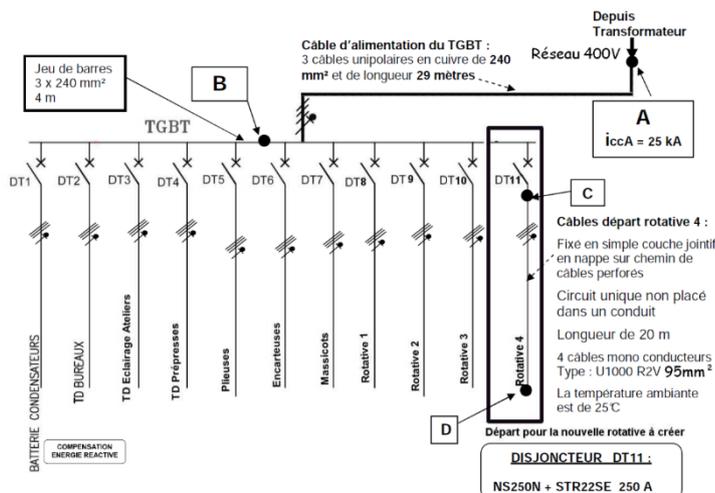
Distribution électrique : le disjoncteur et calcul de courant de court-circuit

Installation électrique Basse Tension (B.T)

Une installation électrique Basse Tension est régie par des textes classés en deux catégories :

- les _____ (décrets ou arrêtés) relatifs à la protection des travailleurs dans les établissements qui mettent en œuvre des courants électriques.

- les textes _____ (règles de conception) : norme NFC-15-100.



1. Disjoncteur BT

Un disjoncteur est un appareil mécanique de connexion capable d'établir, de supporter et _____ un courant dans _____.

Constitution générale (cas d'un disjoncteur bipolaire : 2 pôles protégés)

Un disjoncteur protège l'installation :

- contre les _____ (action du déclencheur _____)
- contre les _____ (action du déclencheur _____)

Un disjoncteur est capable d'interrompre un circuit quel que soit le courant qui le traverse jusqu'à son _____ ultime : Icu exprimé en kA (norme CEI.947-2).

Les déclencheurs sont de deux sortes :

Les déclencheurs « _____ » : en condition de surcharge, l'échauffement significatif fonction de l'intensité provoque le déclenchement grâce à un élément « thermomécanique » : le bilame. En condition de court-circuit, à partir d'une certaine intensité (supérieure au courant de surcharge), le déclenchement est assuré quasi instantanément par un circuit magnétique qui actionne un noyau.

Les déclencheurs « _____ » dont l'intérêt est d'obtenir :

- une plus grande précision des seuils de déclenchement (courbes de déclenchement réglables selon l'utilisation).
- des possibilités d'information locale ou à distance.

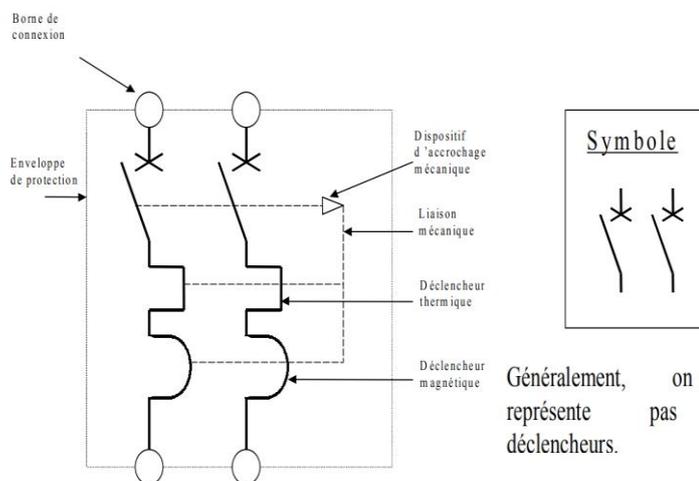
Caractéristiques d'un disjoncteur

Un disjoncteur est caractérisé essentiellement par son _____, sa _____, son _____, son _____, le type de déclencheur utilisé et sa courbe de déclenchement.

1.1 Types, domaines d'applications

La principale fonction d'un disjoncteur est d'assurer la protection des circuits qu'il alimente. La protection des circuits doit être assurée contre :

- les _____ (déclencheur thermique à bilame)
- les _____ (déclencheur magnétique instantané ou à retard).



Généralement, on ne représente pas les déclencheurs.

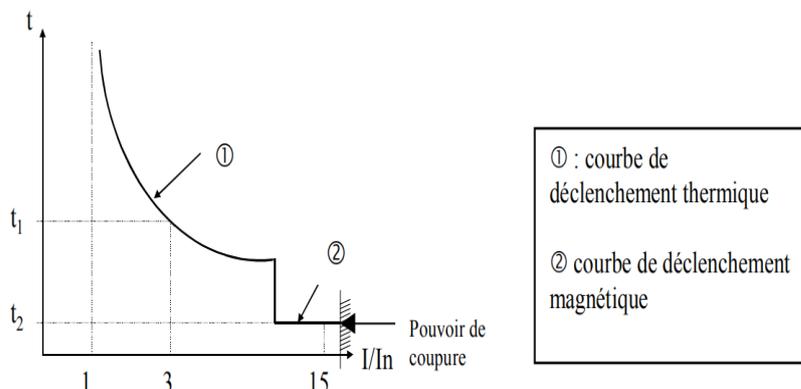
Distribution électrique : le disjoncteur et calcul de courant de court-circuit

Courbe typique de déclenchement: Elle représente la variation _____ du disjoncteur en fonction du _____ (ou multiple de $I =$ intensité réelle traversant le disjoncteur et $I_n =$ calibre du disjoncteur).

Un courant supérieur à I_n ($I/I_n > 1$) entraîne le _____ du disjoncteur.

Exemple:

- $I/I_n = 3$: la protection est assurée par le déclencheur _____ (temps de déclenchement = t_1)
- $I/I_n = 15$: la protection est assurée par le déclencheur _____ (temps de déclenchement = t_2)



Selon le domaine d'application du disjoncteur (sur charge résistive, sur charge inductive, déclenchement instantané ou à retard désiré), il existe différentes courbes de déclenchement.

Parmi les plus employées, nous retiendrons **la courbe _____, la courbe _____ et la courbe _____.**

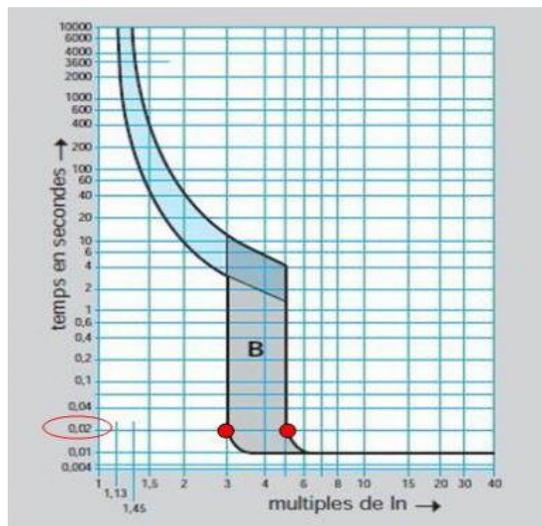
Courbe de déclenchement type B

Analyse de la courbe:

- L'élément thermique tolère : $2 \cdot I_n$ entre ____ et ____ s
- L'élément magnétique provoque la coupure pour $8 I_n$ au bout de ____ ms
- Fonctionnement du magnétique : ____ à ____ fois I_n

Le déclencheur **courbe B** est utilisé lorsque **les longueurs des câbles _____** (protection des personnes avec schémas de liaisons à la terre type IT ou TN).

Le déclencheur **courbe B** est aussi utilisé pour la protection des _____.

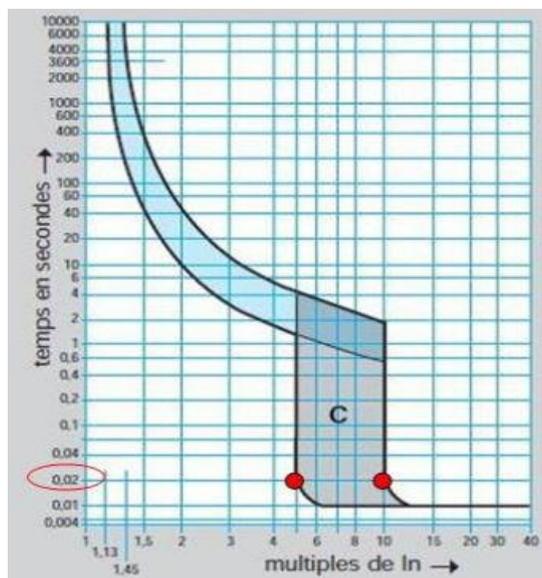


Courbe de déclenchement type C

Analyse de la courbe:

- L'élément thermique tolère : $2 \cdot I_n$ entre ____ et ____ s
- L'élément magnétique provoque la coupure pour $15 I_n$ au bout de ____ ms
- Fonctionnement du magnétique : ____ à ____ fois I_n

Le déclencheur courbe C est aussi utilisé pour les _____ (protection des circuits prise, éclairage et autre).



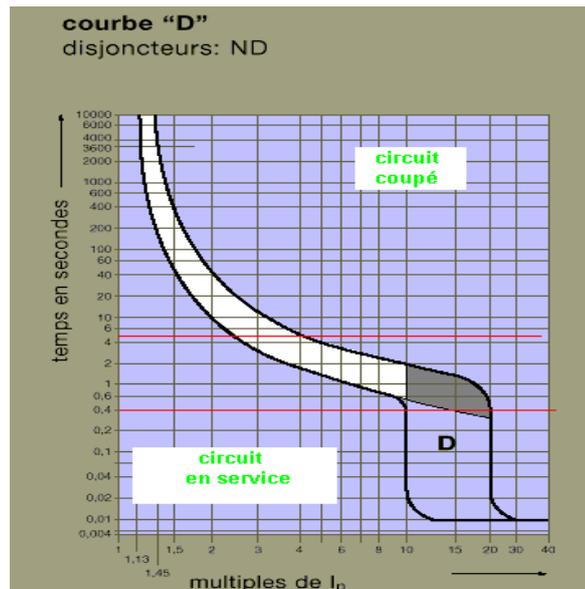
Distribution électrique : le disjoncteur et calcul de courant de court-circuit

Courbe de déclenchement type D

Analyse de la courbe:

- L'élément thermique tolère : $2 \cdot I_n$ entre ____ et ____ s
- L'élément magnétique provoque la coupure pour $30 I_n$ au bout de ____ ms
- Fonctionnement du magnétique : ____ à ____ fois I_n

Le déclencheur **courbe D** est aussi utilisé pour la **protection des circuits à fort appel de courant** (primaire de transformateur, démarrage direct de moteur).



Déclencheurs électroniques

L'introduction de l'électronique dans les disjoncteurs permet de réaliser la protection et la surveillance des réseaux B.T.

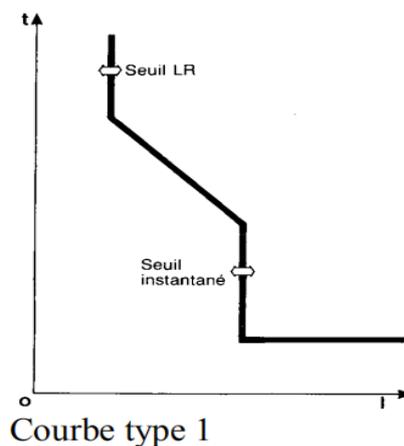
Les unités de contrôle associées aux disjoncteurs réalisent les niveaux de protection suivants :

- _____ LR (protection contre les surcharges). I_r (réglage du seuil de déclenchement du thermique) réglable de 0,4 à 1 fois I nominale du disjoncteur.
- _____ CR (protection contre les courts-circuits). I_m (réglage du seuil de déclenchement du magnétique) réglable de 2,5 à 15 fois I_r selon le type de déclencheur.
- _____ : fixe ou réglable.

Courbes types de déclencheurs électronique

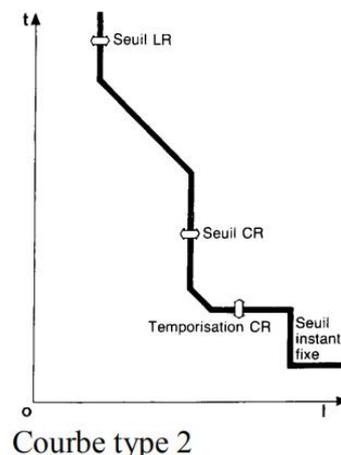
Courbe type 1 :

- protection contre les _____ par déclenchement _____ (LR) réglable.
- déclenchement _____ (seuil réglable) en cas de _____.



Courbe type 2 :

- protection contre les surcharges par déclenchement long retard (LR) réglable.
- en cas de court circuit : déclenchement court retard (CR) réglable avec sélectivité chronométrique, déclenchement instantané à haut seuil fixe.



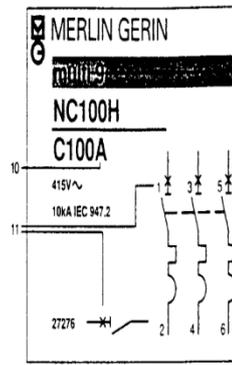
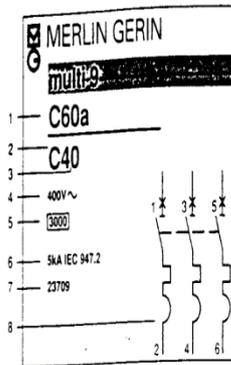
Remarque: pour ces types de disjoncteurs, la variation du temps t de déclenchement est donnée en fonction du _____ I/I_r .

Distribution électrique : le disjoncteur et calcul de courant de court-circuit

1.2 Présentation de disjoncteurs

Disjoncteurs « magnéto-thermique »

En basse tension, les constructeurs les plus représentatifs sur le marché français sont : _____, _____ et _____.



Marquage de la face avant

- 1 : variante du disjoncteur suivant le pouvoir de coupure
- 2 : courbe de déclenchement
- 3 : calibre du disjoncteur (courant assigné)
- 4 : tension d'emploi (Ue)
- 5 : pouvoir de coupure suivant la norme "domestique et analogue" NF C 61-410
- 6 : pouvoir de coupure suivant la norme "industrielle" NF C 63-120
- 7 : référence commerciale
- 8 : symbole électrique suivant le nombre de pôles
- 9 : classe de limitation
- 10 : A = Ampère ; doit être précisé suivant la norme CEI 947-2 pour applications industrielles
- 11 : symbole d'aptitude au sectionnement à coupure pleinement apparente
- 12 : marque de conformité NF USE

Disjoncteurs avec déclencheur électronique



Disjoncteur avec déclencheur électronique

disjoncteurs Compact	NS800			NS1000			NS1250	
nombre de pôles	3, 4			3, 4			3, 4	
commande	manuelle							
	électrique							
type de disjoncteurs	N	H	L	N	H	L	N	H
raccordement	fixe							
	débouchable (sur châssis)							
caractéristiques électriques selon Nema AB1	N	H	L	N	H	L	N	H
pouvoir de coupure à 60 Hz (kA)	50	65	125	50	65	125	50	65
	35	50	100	35	50	100	35	50
	25	50	-	25	50	-	25	50
caractéristiques électriques selon IEC 60947-2 et EN 60								
courant assigné (A)	In			1000			1250	
	800			1000			1250	
tension assignée d'isolement (V)	Ui			800			800	
tension assignée de tenue aux chocs (kV)	Uimp			8			8	
tension assignée d'emploi (V)	Ue			690			690	

1.3 Sélectivité entre disjoncteurs

Dans une installation électrique, la _____ est une nécessité (exemple : impératifs de production).

Un défaut survenant en un point quelconque de l'installation doit être éliminé par le _____ placé immédiatement _____ du défaut.

Exemple:

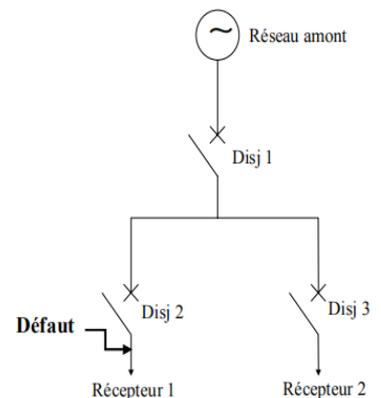
Un défaut en aval de Disj 2 doit se traduire uniquement par l'ouverture de Disj 2.

La sélectivité est totale si Disj 2 s'ouvre et si Disj 1 reste fermé.

La sélectivité est partielle si la condition notée ci-dessus n'est pas toujours respectée.

La sélectivité peut être:

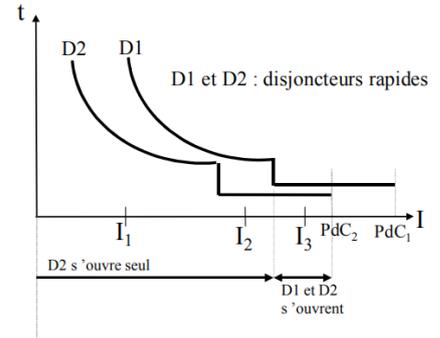
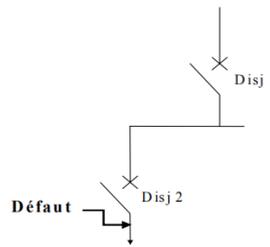
- _____
- _____



Distribution électrique : le disjoncteur et calcul de courant de court-circuit

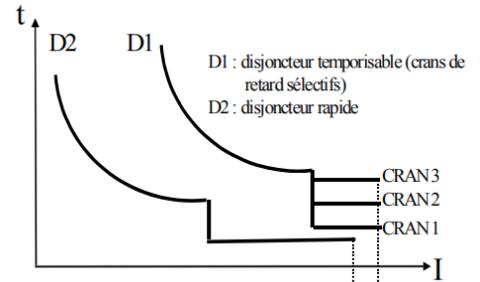
Sélectivité ampèremétrique

PdC1 : pouvoir de coupure du disjoncteur D1
 PdC2 : pouvoir de coupure de disjoncteur D2
 I défaut = I1 : seul _____ s'ouvre
 I défaut = I2 : seul _____ s'ouvre
 I défaut = I3 : D1 et D2 s'ouvrent donc la sélectivité est _____



Sélectivité chronométrique

Elle s'obtient par un échelonnement des _____ des disjoncteurs équipés de déclencheurs _____.
 Le temps de déclenchement du disjoncteur amont est _____ par rapport à celui du disjoncteur _____.



1.4 Exercice

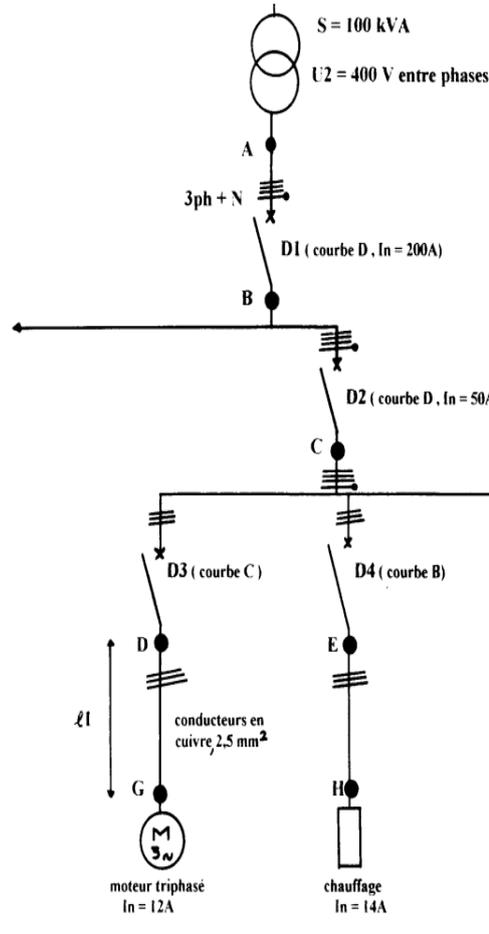
1. Pour chaque disjoncteur (D2, D3, D4 et D5) déterminer le calibre, le nombre de pôles, sa référence commerciale ainsi que son pouvoir de coupure.

2. Le pouvoir de coupure de chaque disjoncteur est-il adapté en fonction du courant de court-circuit.

3. En cas de court-circuit au point C, que peut-on dire de la sélectivité entre les disjoncteurs D1 et D2. Justifiez votre réponse.

4. En cas de court-circuit au point G, que peut-on dire de la sélectivité entre les disjoncteurs D2 et D3. Justifiez votre réponse.

5. Dans le cas d'une mauvaise sélectivité entre les disjoncteurs D2 et D3, quelle est la longueur minimale de L1 du câble reliant le disjoncteur D3 au moteur, permettant une sélectivité verticale de type ampèremétrique entre les disjoncteurs concernés.



	Icc présumé
Point A	3,14 kA
Point B	2,1 kA
Point C	1,4 kA
Points D, E, F	1 kA
Point G	0,6 kA

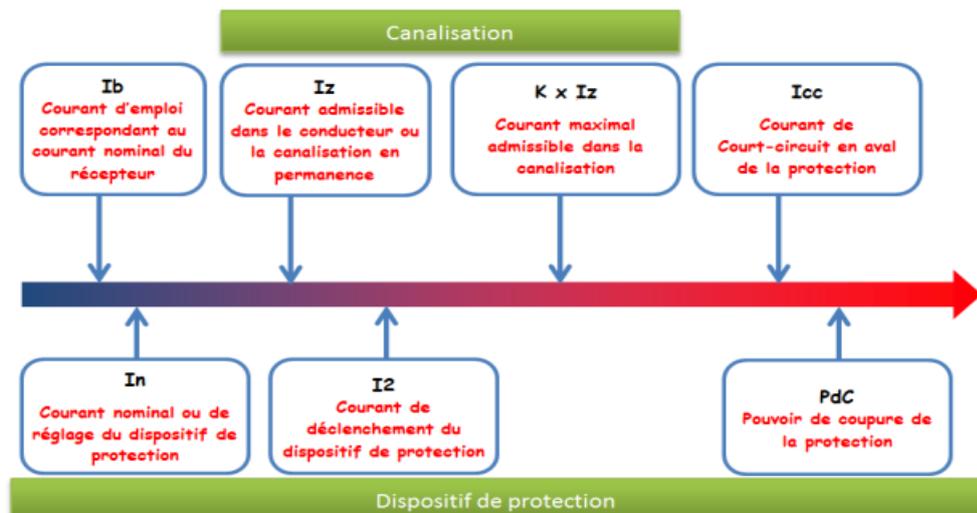
Nota : les différentes valeurs Icc présumé représentent respectivement la valeur du courant maxi si un court-circuit se produit aux différents points A, B, ...

Distribution électrique : le disjoncteur et calcul de courant de court-circuit

2. Calcul de l'intensité de court-circuit

Le dimensionnement d'une installation électrique et des matériels à mettre en œuvre, la détermination des protections des personnes et des biens, nécessitent le calcul des courants de court-circuit en tout point du réseau.

L'intensité du courant de _____ est à calculer aux différents étages de l'installation ; ceci pour pouvoir déterminer les caractéristiques du matériel qui doit supporter ou couper ce courant de défaut



$K = 1,45$ pour les disjoncteurs domestiques ; $K = 1,25$ ou $1,30$ pour les disjoncteurs industriels

Pour dimensionner une installation, il faut que les différents courants respectent l'ordre ci-dessus

Il existe plusieurs méthodes de calcul des courants de court-circuit, en voici deux :

- **La méthode des _____**

Elle consiste à recenser toutes les _____ se trouvant sur le parcours du courant de _____. Des tableaux facilitent la détermination des impédances du réseau de distribution à partir de sa puissance de _____, et celles des transformateurs à partir de leur puissance _____.

D'autres tableaux donnent pour chaque type de ligne et leur mode de pose la part relative de la _____ et de la _____ dans leurs impédances.

Le recensement terminé, le module de _____ est calculé, ce qui permet, par application de la loi d'Ohm, de déduire la valeur du _____.

- **La méthode de _____**

Cette méthode est utilisable quand les caractéristiques de l'alimentation _____.

L'impédance amont du circuit considéré est calculée à partir d'une _____ à son origine.

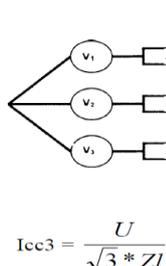
Cette méthode approchée a une précision suffisante pour ajouter un circuit à une installation existante, du moment que sa puissance ne dépasse pas _____ kVA.

2.1 Courant de court-circuit par la méthode des impédances

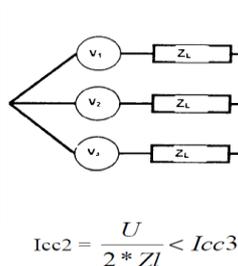
Dans un réseau triphasé, un court-circuit peut se traduire par :

- Une liaison électrique entre 3 phases (le courant de court-circuit sera appelé _____).
- Une liaison électrique entre 2 phases (_____)
- Une liaison électrique entre 1 phase et le neutre (I_{cc1}) ou entre 1 phase et la terre (_____)

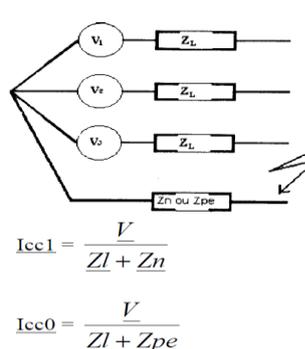
I_{cc3}



I_{cc2}



I_{cc1} ou I_{cc0}



V_1, V_2, V_3 représentent les _____ du réseau côté BT.

Z_L représente _____ par phase en amont du défaut. Z_n représente l'impédance du _____.

Z_{pe} représente l'impédance du conducteur de _____.

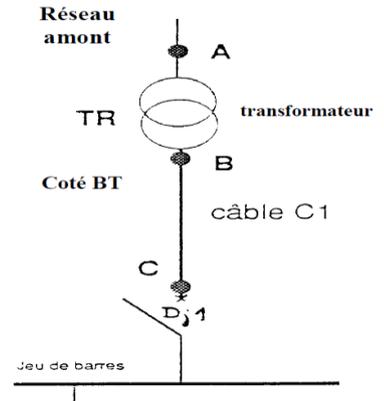
Distribution électrique : le disjoncteur et calcul de courant de court-circuit

A partir des formules ci-dessus, on remarque que le courant de court-circuit, le plus néfaste pour l'installation, a lieu lors d'un court-circuit entre _____, c'est-à-dire _____ (cas uniquement envisagé dans la suite du cours).

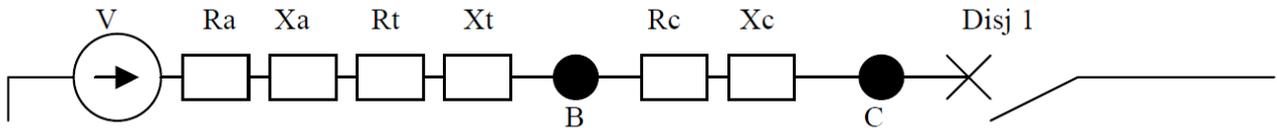
Si un court-circuit se produit côté BT:

- o au point B le courant (I_{ccB}) est limité par l'impédance interne du _____ et celle du _____ ramenées au secondaire du transformateur.
- o au point C, le courant (I_{ccC}) est limité par l'impédance interne du transformateur, celle du réseau amont ramenées au secondaire du transformateur et celle du _____ C1.

$$I_{cc(B)} > I_{cc(C)}$$



Lors d'un court-circuit entre les 3 phases (cas le plus défavorable), l'installation peut être représentée côté BT, pour une phase, par le schéma suivant :



- Ra : résistance du _____ ramenée au secondaire (du transformateur).
- Xa : réactance du _____ ramenée au secondaire.
- Rt : résistance totale du _____ ramenée au secondaire.
- Xt : réactance totale du _____ ramenée au secondaire.
- Rc : résistance d'une phase du câble C1.
- Xc : réactance d'une phase du câble C1.
- V : tension simple au secondaire.

$$I_{cc\text{eff}}(B) = \frac{V_{eff}}{Z(B)} \quad Z(B) = \sqrt{(Ra + Rt)^2 + (Xa + Xt)^2}$$

Le pouvoir de coupure de Disj 1 doit être supérieur au courant de court-circuit susceptible de le traverser : **PdC de Disj 1 > Icc(C)**

Un court-circuit au point B sera éliminé par les protections en amont du transformateur (généralement par fusibles côté réseau amont).

2.2 Courant de court-circuit par la méthode de composition

Cette méthode rapide, mais approximative, permet de déterminer _____ en un point du réseau connaissant _____ ainsi que la _____ et la _____ de raccordement au point amont (guide UTE 15-105).

- Dans la première partie du tableau (conducteurs cuivre) ou la troisième partie du tableau (conducteurs en aluminium) se placer sur la ligne correspondante à la section des conducteurs de phase.
- Avancer ensuite dans la ligne jusqu'à la valeur immédiatement inférieure à la longueur de la canalisation.
- Descendre (cuivre) ou monter (alu) jusqu'à la deuxième partie du tableau et s'arrêter à la ligne correspondante Icc amont.
- La valeur lue à l'intersection est la valeur de Icc recherchée.

Exemple : On connaît Icc amont = 28 kA
On cherche Icc aval d'un câble de 12 m, de section 50 mm² avec une âme en cuivre

Résultat Icc aval : 30 kA

Distribution électrique : le disjoncteur et calcul de courant de court-circuit

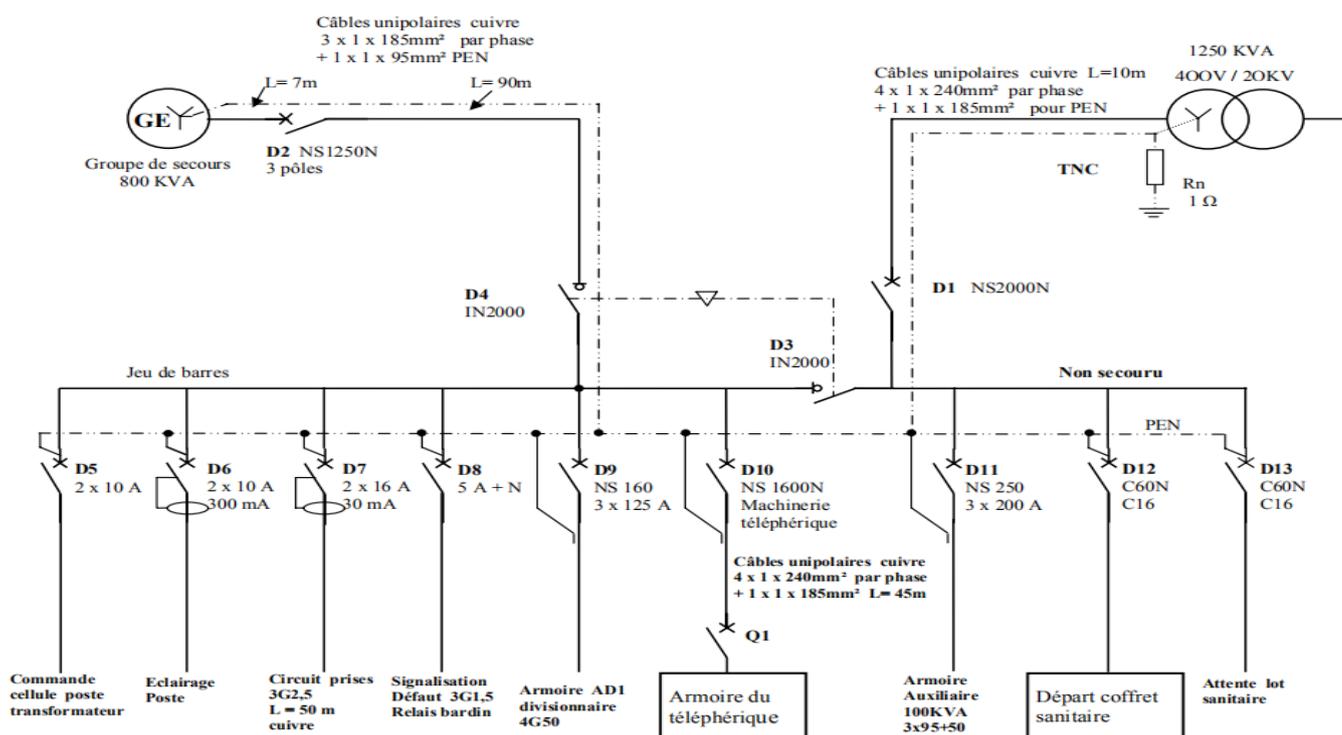
2.3 LE TÉLÉPHÉRIQUE DU PIC DU MIDI

Calcul des courants de court-circuit / Réglage des magnétiques

Un transformateur HT/BT, 20 kV / 400 V - 1250 KVA, alimente la station en énergie électrique.



Cabine du téléphérique



On souhaite:

Déterminer le courant de court-circuit triphasé en chaque point du circuit allant :

- ▶ du transformateur à l'armoire du téléphérique.
- ▶ du groupe électrogène à l'armoire du téléphérique.

Justifier le réglage des déclencheurs électroniques des appareils D1, D2 et D10 ; vérifier leur coordination.

Etude de la ligne électrique allant du Transformateur à l'armoire du téléphérique.

2.3.1 A partir du schéma ci-dessus, indiquer les départs secourus (donner uniquement le repère des appareils de protection)

2.3.2 Donner la définition de I_{cc3} , I_n et I_b . Pour quelle(s) raison(s) est-il nécessaire de connaître le courant de court-circuit dans une installation électrique ?

Distribution électrique : le disjoncteur et calcul de courant de court-circuit

2.3.3. A l'aide du document technique DT B2 et des hypothèses ci-dessous, compléter le tableau N°1 suivant :

TABLEAU N°1

Schéma	Partie de l'installation	Résistances (mΩ)	Réactances (mΩ)
	Réseau amont		
	Transformateur 1250 kVA		
	Câble de liaison Transformateur TGBT		
	Disjoncteur D1 NS2000N réglage Ir = 1800 A (cran 0,9) réglage Isd = 9000 A (cran 10) réglage Tr à 0,5s		
	Interrupteur Sectionneur D3 IN 2000		
	Disjoncteur départ Téléphérique D10 NS 1600N réglage Ir à 0,6 réglage Isd à 10 réglage Tr à 0,5s		
	Câble de liaison		
	Disjoncteur Armoire Téléphérique Q1		

Les données et les hypothèses sont les suivantes :

- La puissance de court-circuit Pcc du réseau amont est de 500 MVA.
- On néglige l'impédance des jeux de barre de l'armoire.
- Pour les disjoncteurs et l'interrupteur :
 - On négligera la résistance des pôles.
 - La réactance d'un pôle est de 0,15 mΩ.
- La résistivité du cuivre est de 22,5 mΩ.mm²/m. Diviser la résistance par le nombre de conducteurs en parallèle.
- La réactance des câbles unipolaires est de 0,15 mΩ/m par conducteur à diviser par le nombre de conducteurs en parallèle.

Calculer l'intensité de court-circuit aux points A, B et C.

Rappel :

$$I_{cc3} = \frac{U_{20}}{\sqrt{3} \times \sqrt{\sum R^2 + \sum X^2}}$$

2.3.4. A ce stade de l'étude, quel devra être le pouvoir de coupure des disjoncteurs D1 et D10?

Vérifier si les caractéristiques du constructeur sont conformes.

Etude de la ligne électrique allant du groupe électrogène à l'armoire du téléphérique

2.3.5. Les faibles courants de court-circuit générés par les groupes électrogènes rendent difficile la protection des circuits.

Le choix du disjoncteur placé en aval du générateur dépend du courant de court-circuit délivré par le générateur ainsi que de l'impédance interne de l'alternateur.

$$I_{cc3} = \frac{I_n}{X'd} \times 100$$

I_n : courant nominal de l'alternateur.
I_{cc3} : courant de court-circuit de l'alternateur.
X'd : réactance transitoire exprimée en %.

Distribution électrique : le disjoncteur et calcul de courant de court-circuit

Calculer le courant nominal de l'alternateur ainsi que le courant de court-circuit au point D.

Compléter la première ligne du tableau n°2.

2.3.6. En vous aidant du document technique DT B3, compléter le tableau n°2 afin de déterminer le courant de court-circuit au point E (la valeur du courant de court-circuit au point F est donnée).

Nota : les courants de court-circuit au point F et après le disjoncteur D10 sont supposés identiques.

2.3.7. Le déclencheur Micrologic 2.0 A associé au disjoncteur D2, permet d'assurer les protections contre les surcharges et les courts circuits.

Justifier les réglages de Ir et de Isd qui sont respectivement 0,9 et 5 (documents techniques DT B5, DTB6 et DT B7).

TABLEAU N°2

Schéma	Partie de l'installation	Courant de court circuit Icc (kA) (méthode Icc amont / Icc aval)
	Groupe Electrogène triphasé S = 800 kVA U = 400 V X'd = 16 %	
	Câble de liaison L = 7 m, cuivre, 3 x 1 x 185 mm ²	
	Disjoncteur D2 NS1250N réglage Ir à 0,9 réglage Isd à 5 réglage Tr à 0,5s	
	Câble de liaison L = 90 m, cuivre, 3 x 1 x 185 mm ²	<u>Icc₃ = 6,5 kA (valeur donnée)</u>
	Interrupteur Sectionneur D4 IN 2000	
	Jeu de barres	
	Disjoncteur départ Téléphérique D10 NS 1600N réglage Ir à 960 A (cran 0,6) réglage Isd à 9600 A (cran 10) réglage Tr à 0,5s	

2.3.8. Lors du fonctionnement en mode secours, le courant de défaut maximum peut atteindre 6,5 kA en aval de D10. Déterminer le type de sélectivité (TOTALE ou PARTIELLE) entre D2 et D10.

2.3.9. Lors du fonctionnement en mode normal, le courant de défaut maximum peut atteindre 27,56 kA en aval de D10. Déterminer le type de sélectivité (TOTALE ou PARTIELLE) entre D1 et D10.

2.3.10. Vérifier si les protections assurées par les disjoncteurs D1, D2 et D10 sont efficaces aussi bien en mode secours qu'en mode normal ? Justifier.