

B.1 Etude de la protection des personnes : schéma des liaisons à la terre

Pour cette partie B on fait référence au schéma électrique de distribution représentant l'alimentation du Téléphérique. (**Document technique DT B1**)

Hypothèses retenues pour l'étude :

- Le local est du type sec.
- Au secondaire du transformateur le neutre est relié à une prise de terre R_n de résistance 1Ω .
- Les impédances des lignes jusqu'au disjoncteur D12 sont négligées.
- Les impédances des disjoncteurs et des interrupteurs sectionneurs sont négligées (ces organes sont fermés à l'apparition du défaut).
- La tension entre la phase en défaut et le PE ou le PEN à l'origine du circuit, est prise égale à 80% de la tension simple nominale.
- Le calcul des longueurs maximales des canalisations sera vérifié à partir de la formule :

L_{max} : longueur maximale de la canalisation (en m).

V : tension simple nominale (en V).

S_{ph} : section des conducteurs de phase (en mm^2).

ρ : résistivité des conducteurs à température normale.
soit : $22,5 \times 10^{-3} \Omega \cdot mm^2/m$ pour le cuivre et $36 \times 10^{-3} \Omega \cdot mm^2/m$ pour l'aluminium.

m : rapport entre section des phases et du conducteur de protection ; $m = S_{ph}/S_{pe}$.

I_{mag} : courant (en A) de fonctionnement du déclencheur magnétique.

$$L_{max} = \frac{0,8 \times V \times S_{ph}}{\rho \times (1 + m) \times I_{mag}}$$

B.1.1. A quel type de schéma de liaison à la terre est soumise cette installation? Quelles sont ses particularités (avantages, contraintes ...)?

► Régime TNC : Le TNS est toujours situé en aval du TNC

TNS obligatoire si section < 10mm² cuivre

si section < 16mm² aluminium

► Avantages : pas besoin de personnel d'entretien qualifié, pas de différentiel, pas de prise de terre pour les masses métalliques.

Le TNC offre l'avantage d'économiser sur les conducteurs (nécessite de 4 conducteurs au lieu de 5 pour les autres SLT). En TNC le PEN ne doit pas être sectionné ce qui impose des appareils tripolaires en triphasé et unipolaire en monophasé

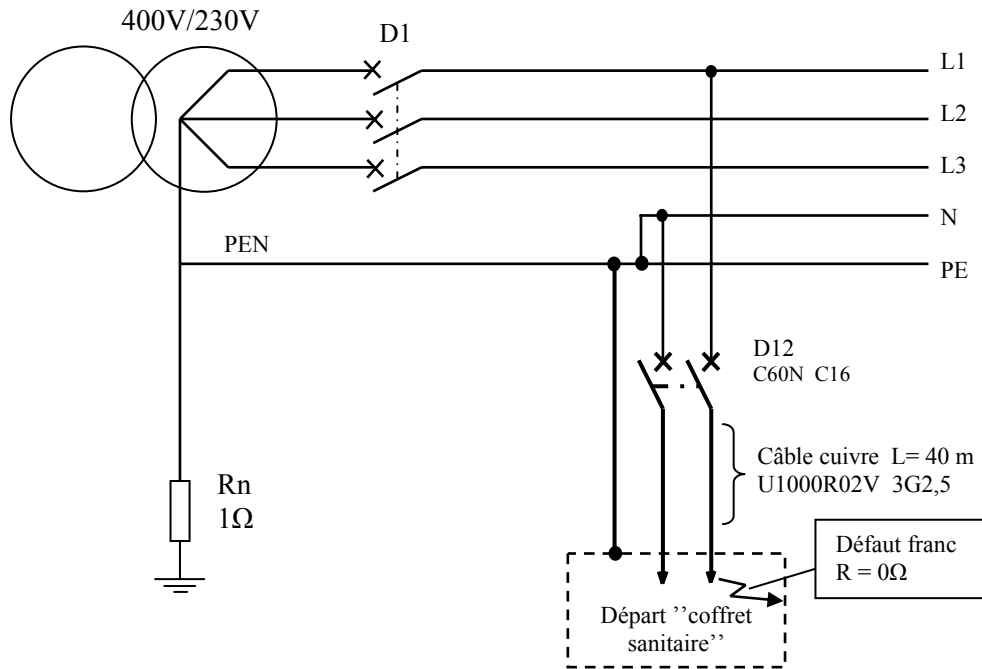
► Inconvénients : fort courants de défaut de déclenchement au 1^{er} défaut. Les schémas TN demandent la vérification des longueurs maximales des canalisations.

B.1.2. Quel(s) appareil(s) de protection faut-il associer à ce schéma de liaison à la terre afin d'assurer la protection des personnes ?

Lors d'un premier défaut, le déclencheur magnétique provoquera l'ouverture des pôles du disjoncteur. On peut aussi assurer la protection des personnes par une cartouche fusible.

B.1.3 Un défaut franc apparaît au niveau du coffret sanitaire. La phase 1 du câble **U1000R02V 3G2,5** alimentant ce coffret est en contact direct avec la masse métallique. On désire vérifier si le disjoncteur D12 assure la fonction de protection lors du défaut.

Tracer en rouge sur le schéma ci-dessous, le parcours du courant de défaut noté **Id**.



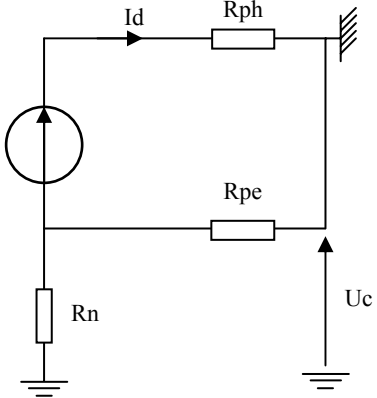
B.1.4. Sur le disjoncteur D12, on a relevé les indications suivantes : **C60N C16, 230V, 2 pôles**.
Que signifie **C16** ?

Courbe C, calibre 16 ampères.

Sur le câble assurant l'alimentation du départ "coffret sanitaire", on a relevé les données suivantes : **U1000R02V-3G2,5**. Que signifie **3G2,5** ?

Câble composé de 3 conducteurs de section $2,5\text{mm}^2$, dont un conducteur représente le PE (vert/jaune, phase et neutre).

B.1.5. Dessiner le schéma équivalent du circuit parcouru par le courant de défaut noté I_d . **Indiquer** sur ce schéma les résistances du câble, la masse métallique et la résistance R_n . **Calculer** le courant I_d .

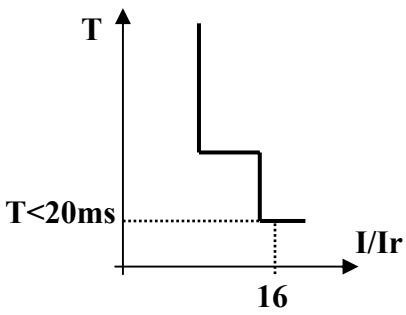


$$I_d = \frac{0,8 \times V \times S_{ph}}{R_{ph} + R_{pe}} = \frac{0,8 \times 230}{2 \times 0,36} = 255 \text{ A}$$

$$R = \frac{\rho \times L}{S} = \frac{22,5 \times 40}{2,5} = 360 \text{ m}\Omega$$

B.1.6. Calculer la tension de contact U_c .

Y a-t-il danger si une personne venait à toucher le coffret sanitaire ? Justifier votre réponse en utilisant les documents techniques DT B2 et DT B9.

$$U_c = \frac{0,8 \times V}{2} = \frac{0,8 \times 230}{2} = 92 \text{ V} > U_L = 50 \text{ V tension de sécurité}$$


$$I/I_r = 255 / 16 = 16$$

La protection est bien assurée car le disjoncteur déclenchera en 20 ms

et 20 ms < 400 ms temps de sécurité local sec doc DT B2

B.1.7. Avec ce type de schéma, **pourquoi** doit-on toujours vérifier la longueur maximale des câbles ?

Pour une longueur de câble correspond une résistance, donc un courant de court circuit. Ce courant I_{cc} doit être supérieur à I magnétique seuil de déclenchement du disjoncteur afin de protéger les personnes contre les contacts indirects.

B.1.8. Calculer la longueur maximale du câble alimentant le Départ "coffret sanitaire".

$$L_{\max} = \frac{0,8 \times V \times S_{ph}}{\rho \times (1 + m) I_{mag}} = \frac{0,8 \times 230 \times 2,5}{22,5 \times 10^{-3} \times (1 + 1) \times (5 \times 16)}$$

$I_n = 5A$ Magnétique 5 à 10 I_n	Si 5 x I_n $L_{\max} = 127 \text{ m}$ Si 10 x I_n $L_{\max} = 127/2$ Soit 63,5 m
---------------------------------------	---

$L_{\max} = 63,5 \text{ m}$

B.1.9. Quelles solutions **proposeriez-vous** si l'on devait dépasser cette longueur ?

- Si les conditions de déclenchement n'étaient pas assurées, il y aurait lieu :**
- ▶ d'augmenter la section des câbles, attention si I_{cc} augmente, il faut donc revoir le Pdc des protections.
 - ▶ de réaliser des liaisons équipotentielle supplémentaires .
 - ▶ d'agir sur le réglage du calibre magnétique.
 - ▶ d'insérer le cas échéant un dispositif différentiel.

B.2 Calcul du courant de court-circuit / Réglage des magnétiques

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.

B.2.1. A partir du **document technique DT B1**, indiquer les départs secours (donner uniquement le repère des appareils de protection).

Départs secours : D5, D6, D7, D8, D9 et D10

B.2.2. 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 ?

Le courant de court-circuit permet de :

- **déterminer le Pdc des disjoncteurs.**
- **de régler les seuils magnétiques des disjoncteurs afin d'assurer la protection des personnes puisque le SLT est un TNC.**

I_{cc3} = **courant de court circuit triphasé en un point de l'installation**

I_n = **calibre de la protection**

I_b = **courant d'emploi du récepteur**

B.2.3. A l'aide du **document technique DT B2** et des **hypothèses ci-dessous**, compléter le **tableau n°1** page **B6**.

Calculer l'intensité de court-circuit aux points A, B et C. **Reporter** les résultats à la **page B7**.


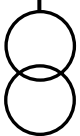





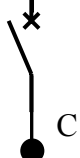
Les données et les hypothèses sont les suivantes :

- la puissance de court circuit P_{cc} 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 $0,15 \text{ m}\Omega$.
- La résistivité du cuivre est de $22,5 \text{ m}\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$. Diviser la résistance par le nombre de conducteurs en parallèle.
- La réactance des câbles unipolaires est de $0,15 \text{ m}\Omega/\text{m}$ par conducteur à diviser par le nombre de conducteurs en parallèle.

Rappel :

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

TABLEAU N°1

Schéma	Partie de l'installation	Résistances (mΩ)	Réactances (mΩ)
	Réseau amont	<u>0,05</u>	<u>0,35</u>
	Transformateur 1250 kVA	<u>1,813</u>	<u>7,16</u>
	Câble de liaison Transformateur TGBT	$R = \rho \times \frac{L}{S} = 22,5 \times \frac{10}{4 \times 240}$ <p style="text-align: center;"><u>0,23</u></p>	$X = 0,15 \times \frac{L}{\text{nbr}} = 0,15 \times \frac{10}{4}$ <p style="text-align: center;"><u>0,375</u></p>
	Disjoncteur D1 NS2000N réglage Ir = 1800 A (cran 0,9) réglage Isd = 9000 A (cran 10) réglage Tr à 0,5s	<u>0</u> Rtotal= 2,093 mΩ	<u>0,15</u> Xtotal= 8,035 mΩ
	Interrupteur Sectionneur D3 IN 2000	<u>0</u>	<u>0,15</u>
	Disjoncteur départ Téléphérique D10 NS 1600N réglage Ir à 0,6 réglage Isd à 10 réglage Tr à 0,5s	<u>0</u> Rtotal= 2,093 mΩ	<u>0,15</u> Xtotal= 8,335 mΩ
	Câble de liaison	$R = \rho \times \frac{L}{S} = 22,5 \times \frac{45}{4 \times 240}$ <p style="text-align: center;"><u>1,05</u></p>	$X = 0,15 \times \frac{L}{\text{nbr}} = 0,15 \times \frac{45}{4}$ <p style="text-align: center;"><u>1,68</u></p>
	Disjoncteur Armoire Téléphérique Q1	<u>0</u> Rtotal= 3,143 mΩ	<u>0,15</u> Xtotal= 10,165 mΩ

Courant de court-circuit au point A

$$I_{cc3} = \frac{U_{20}}{\sqrt{3} \times \sqrt{\sum R^2 + \sum X^2}} = \frac{410}{\sqrt{3} \times \sqrt{2,093^2 + 8,035^2}}$$

$$I_{cc3} = 28,5 \text{ kA}$$

Courant de court-circuit au point B

$$I_{cc3} = \frac{U_{20}}{\sqrt{3} \times \sqrt{\sum R^2 + \sum X^2}} = \frac{410}{\sqrt{3} \times \sqrt{2,093^2 + 8,335^2}}$$

$$I_{cc3} = 27,55 \text{ kA}$$

Courant de court-circuit au point C

$$I_{cc3} = \frac{U_{20}}{\sqrt{3} \times \sqrt{\sum R^2 + \sum X^2}} = \frac{410}{\sqrt{3} \times \sqrt{3,143^2 + 10,165^2}}$$

$$I_{cc3} = 22,24 \text{ kA}$$

B.2.4. A ce stade de l'étude, quel devra être le pouvoir de coupure des disjoncteurs D1 et D10 ?

Justifiez si les caractéristiques du constructeur sont conformes ? (documents techniques DT B4)

Le PDC du disjoncteur D1 = 28,5 kA << 70 kA Pdc constructeur NS2000 N

D10 = 27,55 kA << 50 kA Pdc constructeur NS1600 N

Le choix des deux disjoncteurs est conforme.

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

B.2.5. 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 %.







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 ci-dessous.

B.2.6. . 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.

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 %	$I_n = \frac{S}{\sqrt{3} \times U} = \frac{800}{\sqrt{3} \times 400} = 1,154 \text{ kA}$ $I_{cc3} = \frac{I_n}{X'd} = \frac{1154}{16/100} = 7,2 \text{ kA}$
	Câble de liaison L = 7 m, cuivre, 3 x 1 x 185 mm ²	<p>Si I_{cc3} amont = 7,2 kA</p> <p>I_{cc3} aval = 7kA</p>
	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	I_{cc3} aval = 6,5 kA valeur donnée
	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	

B.2.7. 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 I_r et de I_{sd} qui sont respectivement **0,9** et **5**. (voir documents techniques DT B5, DT B6 et DT B7).

Le déclencheur thermique est réglé à

$I_r = 0,9 \times 1250$ soit 1125 A, voisin du courant nominal du groupe électrogène $I_n = 1154$ A

Le déclencheur magnétique est réglé à

$I_{sd} = 5 \times I_r = 5 \times 1125$ A, soit un seuil de 5625A inférieur à la valeur calculée de 7 kA.

Les deux réglages sont conformes.

B.2.8. Lors du fonctionnement en mode secouru, 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.

Justifier votre réponse (document technique DT B8).

Le rapport I_d / I_r permet de déduire le temps de déclenchement.

Calibre D2 = 1125 A

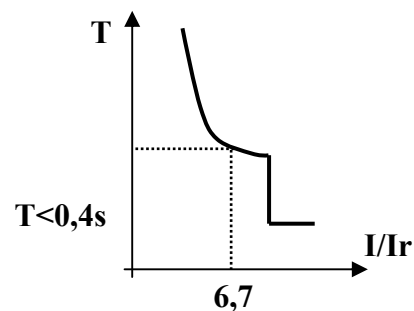
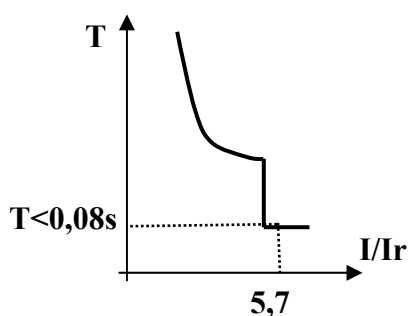
▶ $I_d / I_r = 6500 / 1125 = 5,7$

▶ $I_{sd} = \text{cran } 5$

Calibre D10 = 960 A

▶ $I_d / I_r = 6500 / 960 = 6,77$

▶ $I_{sd} = \text{cran } 10$



Le disjoncteur D2 déclenchera seul. SELECTIVITE PARTIELLE

B.2.9. Lors du fonctionnement en mode normal, le courant de défaut maximum peut atteindre **27,56 kA** en aval de **D10**.

Déterminer le type sélectivité (TOTALE ou PARTIELLE) entre **D1** et **D10**.
Justifier votre réponse (**document technique DT B8**).

Le rapport I_d / I_r permet de déduire le temps de déclenchement.

Calibre D1 = 1800 A

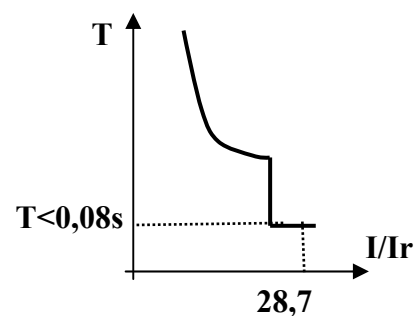
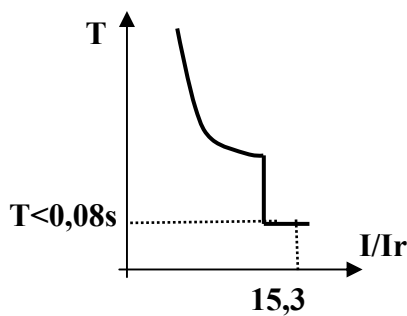
▶ $I_d / I_r = 27560 / 1800 = 15,3$

▶ $I_{sd} = \text{cran } 10$

Calibre D10 = 960 A

▶ $I_d / I_r = 27560 / 960 = 28,7$

▶ $I_{sd} = \text{cran } 10$



Les deux disjoncteurs D1 et D10 déclencheront en même temps : . SELECTIVITE PARTIELLE

B.2.10. Vérifier si les protections assurées par les disjoncteurs **D1**, **D2** et **D10** sont efficaces aussi bien en mode secours qu'en mode normal ? **Justifier**.

En mode secours, il est important de vérifier que le disjoncteur **D2** assure la protection du groupe contre les courts-circuits.

Il est préférable de prendre un seuil bas pour le magnétique de D2, cependant la sélectivité sera partielle avec les disjoncteurs situés en aval.

En mode normal, il serait souhaitable de modifier les seuils magnétiques (I_{sd}) des disjoncteurs **D1** et **D10** afin d'obtenir une sélectivité totale pour un meilleur confort pour les utilisateurs.