

Lignes de distribution et de transport



- Transport et distribution de l'électricité
 - L'électricité produite est transportée des centres de production (centrales) jusqu'aux centres de consommation (postes) par les réseaux de transport et de répartition haute tension.
 - Les réseaux de distribution moyenne tension permettent de distribuer l'électricité des postes vers les clients moyenne ou basse tension.

Catégorie	Plage	Usages	Exemples
Haute Tension (HT)	plus de 50 kV	Transport Interconnexions Clients « Grande Entreprise » Complexes industriels	69 kV 120 kV 230 kV 315 kV 735 kV

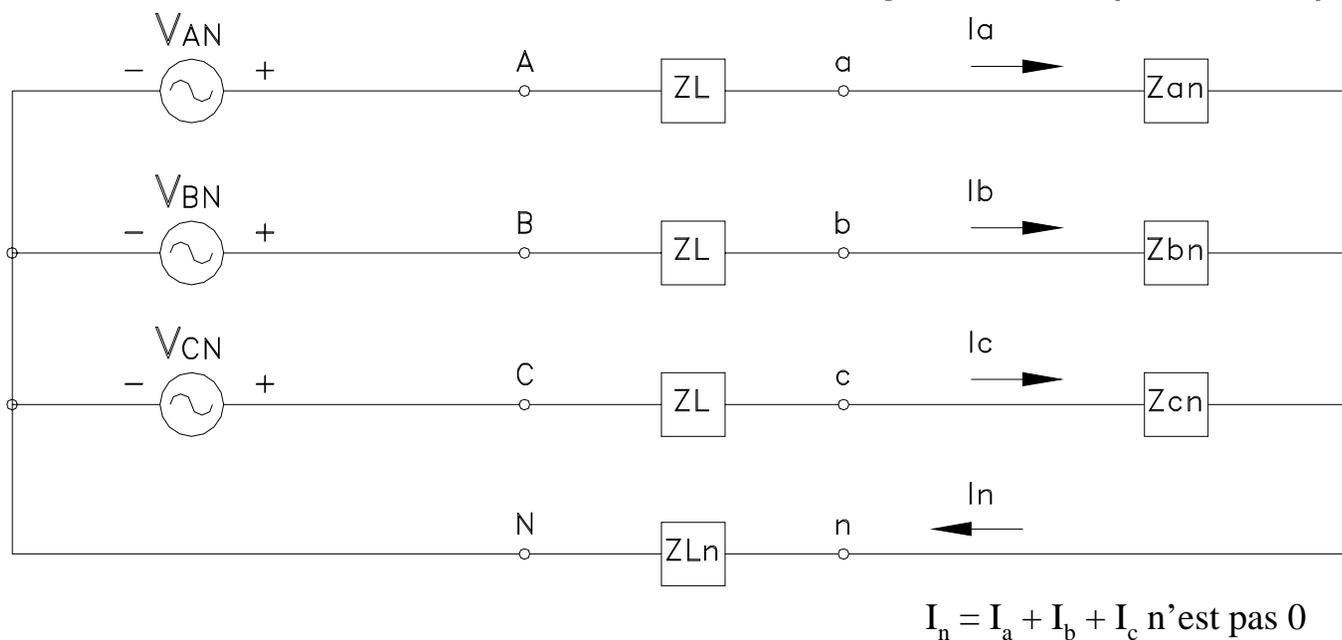
Catégorie	Plage	Usages	Exemples
Moyenne tension (MT)	1 à 50 kV	Distribution Clients MT Complexes industriels	49 kV 34,5 kV 25 kV 13,8 kV 12,5 kV 6,9 kV 4,16 kV 2,4 kV

Catégorie	Plage	Usages	Exemples
Basse tension (BT)	moins de 1000 V	Utilisation Clientèles résidentielles, commerciales, institutionnelles	600 V 480 V 240 V 208 V 120 V

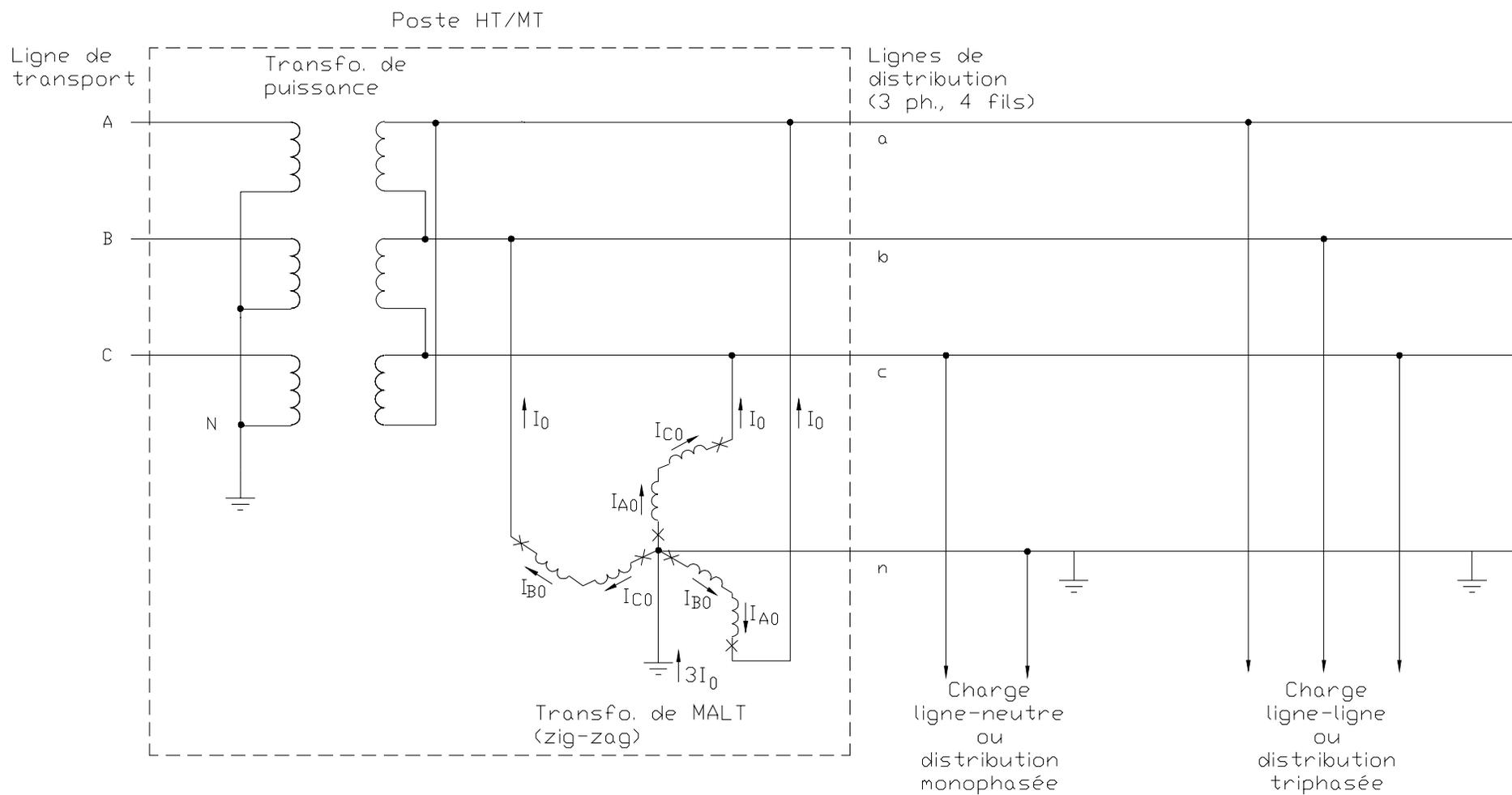
Lignes de distribution



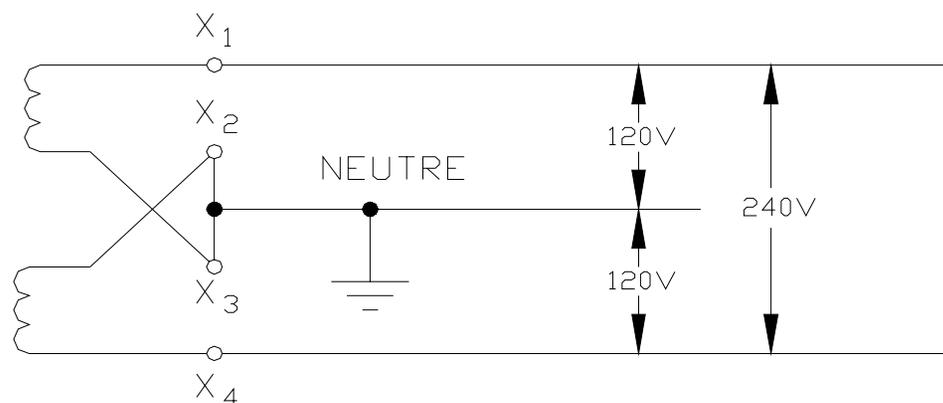
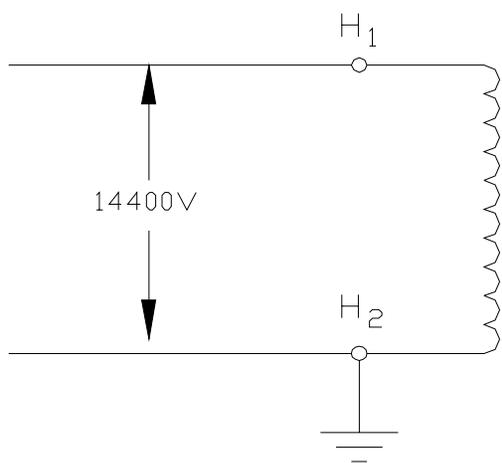
- Réseaux de distribution
 - 25 kV normalisé par HQ
 - Architecture radiale ou bouclée
 - Réseau de distribution 3 phases, 4 fils,



■ Réseau de distribution 25 kV (HQ)



- Réseau de distribution 25 kV (HQ)
 - fil de neutre mis à la terre en plusieurs points
 - permet l'alimentation de charges monophasées raccordées phase-neutre à 14 400 V



- Réseaux aériens
 - plus économiques pour desservir de faibles densités de charges sur de grandes distances
 - plus exposés aux défauts: vent, branches d'arbres, animaux, foudre, verglas, pollution, accidents, etc.
 - Les défauts sont souvent fugitifs (80 %)

- Statistiques de défauts sur les réseaux aériens

Types de défauts	% du total
Phase – terre	83
Biphasé isolé	9
Biphasé - terre	5
Triphasé isolé	1.5
Triphasé - terre	1.5

- Causes des défauts sur les réseaux aériens

Cause	% du total
Foudre	50
Verglas, vent	20
Défaillance de l'équipement	10
Divers : accidents, vandalisme, etc.	20

- Réseaux souterrains
 - justifiés par de fortes concentrations de charges (centre-ville par exemple)
 - ou pour des raisons d'esthétique
 - peu de chance que les défauts soient fugitifs
 - temps d'intervention assez long
 - il faut absolument prévoir une relève

- Réseaux urbains
 - Densité de charge supérieure à 1 000 kVA/km
 - Lignes courtes (< 10 km)
 - Lignes bouclées, avec possibilité de relève
 - Si distribution aérienne, défauts dus aux arbres, aux animaux et à la foudre relativement peu nombreux,
 - mais la pollution des isolateurs peut poser des problèmes

- Réseaux semi-urbains
 - Densité de charge de 500 à 1000 kVA/km

- Réseaux ruraux
 - La densité de charge inférieure à 500 kVA/km
 - Réseau radial,
 - parfois sans possibilité de relève.
 - Lignes aériennes longues et exposées aux intempéries.

Tableau 1-1 Ordre de grandeur des inductances des lignes

	X_1 (Ω / km)
Ligne basse tension en nappe	0,30
Ligne basse tension torsadée	0,12
Ligne moyenne tension	0,40
Ligne haute tension (conducteur simple par phase, 120 kV)	0,48
Ligne haute tension (faisceau de 2 conducteurs par phase, 120 kV et plus)	0,38
Ligne haute tension (faisceau de 3 conducteurs par phase, 315 kV et plus)	0,34
Ligne haute tension (faisceau de 4 conducteurs par phase, 500 kV et plus)	0,30

$$\frac{X_0}{X_1} \approx 3.5 \quad \text{avec câble de garde ou de neutre}$$

Tableau 1-2 Espacement typique des conducteurs aériens

Tension (Volts)	Espacement (d) ^[1]	
	(pouces)	(pied- pouces)
120	12"	1'-0"
240	12"	1'-0"
480	18"	1'-6"
600	18"	1'-6"
2400	30"	2'-6"
4160	30"	2'-6"
6900	36"	3'-0"
13800	42"	3'-6"
25000	48"	4'-0"
34500	54"	4'-6"
69000	96"	8'-0"
120000	204"	17'-0"

[1] On considère un espacement équidistant entre les phases, i.e. un montage triangulaire. Lorsque les conducteurs ne sont pas équidistants, l'espacement triangulaire équivalent (d) peut être calculé ainsi :

$$d_{\Delta} = \sqrt[3]{d_{AB} \times d_{BC} \times d_{CA}}$$

Tableau 1-3 Constantes R et X_A des conducteurs aériens ACSR

Table 4
Constants of Medium-Voltage Aluminum Cable
Steel Reinforced for 1 Ft Delta Spacing

Conductor Size (MCM or kcmil)	(AWG No)	Resistance R at 25 °C, 60 Hz (mΩ/conductor/100 ft)	Reactance X_A at 1 ft Spacing, 60 Hz (mΩ/conductor/100 ft)
1590.0		1.18	6.79
1431.0		1.31	6.92
1272.0		1.47	7.04
1192.5		1.56	7.12
1113.0		1.67	7.19
954.0		1.94	7.38
795.0		2.22	7.44
715.5		2.49	7.56
636.0		2.80	7.68
556.5		3.21	7.86
477.0		3.38	8.02
397.5		4.06	8.24
336.4		4.80	8.43
266.8		6.04	11.45
	4/0	7.62	10.99
	3/0	9.59	11.75
	2/0	12.13	12.12
	1/0	15.27	12.42
	1	19.33	12.59
	2	24.35	12.15
	3	30.73	12.51
	4	38.67	12.40
	5	48.70	12.59
	6	61.47	12.73

NOTE: For a three-phase circuit the total impedance, line-to-neutral, is
 $Z = R + j(X_A + X_B) \cdot M$
 To determine X_B , use Tables 5–8. For overhead lines, $M = 1$.
 For cable in conduit, determine M from Table 9.

IEEE Std 242, Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems

Tableau 1-4 Facteur d'espacement X_B des conducteurs aériens ACSR

Table 5
60 Hz Reactance Spacing Factor X_B , in Milliohms per Conductor per 100 Ft

(feet)	Separation (inches)											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	—	-5.71	-4.12	-3.19	-2.52	-2.01	-1.59	-1.24	-0.93	-0.66	-0.42	-0.20
1	0.00	0.18	0.35	0.51	0.61	0.80	0.93	1.06	1.17	1.29	1.39	1.49
2	1.59	1.69	1.78	1.86	1.95	2.03	2.11	2.18	2.55	2.32	2.39	2.46
3	2.52	2.59	2.65	2.71	2.77	2.82	2.88	2.93	2.99	3.04	3.09	3.14
4	3.19	3.23	3.28	3.33	3.37	3.41	3.46	3.50	3.54	3.58	3.62	3.66
5	3.70	3.74	3.77	3.81	3.85	3.88	3.92	3.95	3.99	4.02	4.05	4.09
6	4.12	4.15	4.18	4.21	4.24	4.27	4.30	4.33	4.36	4.39	4.42	4.45
7	4.47	4.50	4.53	4.55	4.58	4.60	4.63	4.66	4.68	4.71	4.73	4.76
8	4.78											

IEEE Std 242, Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems

Exemple 1-1

Impédance d'une ligne aérienne 25 kV, de calibre 477 MCM ACSR, de 1 km.

Les conducteurs sont montés en nappe horizontale

! ----- d_{AB} ----- ! ----- d_{BC} ----- !

$d_{AB} = d_{BC} = 48''$ et $d_{CA} = 2 \times d_{BC} = 96''$ selon le Tableau 1-2

$$d_{\Delta} = \sqrt[3]{d_{AB} \times d_{BC} \times d_{CA}} = 1.26 d_{AB} = 60.5''$$

$$Z = R + j(X_A + X_B)$$

$$R = 3.38 \text{ m}\Omega / \text{conducteur} / 100 \text{ pi} \times 1000 \text{ m} \times 3.28 \text{ pi/m} = 0.111 \text{ }\Omega \quad (\text{Tableau 1-3})$$

$$X_A = 8.02 \text{ m}\Omega / \text{conducteur} / 100 \text{ pi} \times 1000 \text{ m} \times 3.28 \text{ pi/m} = 0.263 \text{ }\Omega \quad (\text{Tableau 1-3})$$

$$X_B = 3.72 \text{ m}\Omega / \text{conducteur} / 100 \text{ pi} \times 1000 \text{ m} \times 3.28 \text{ pi/m} = 0.1220 \text{ }\Omega \quad (\text{Tableau 1-4})$$

$$Z = 0.111 + j 0.385 \text{ }\Omega / \text{km}$$

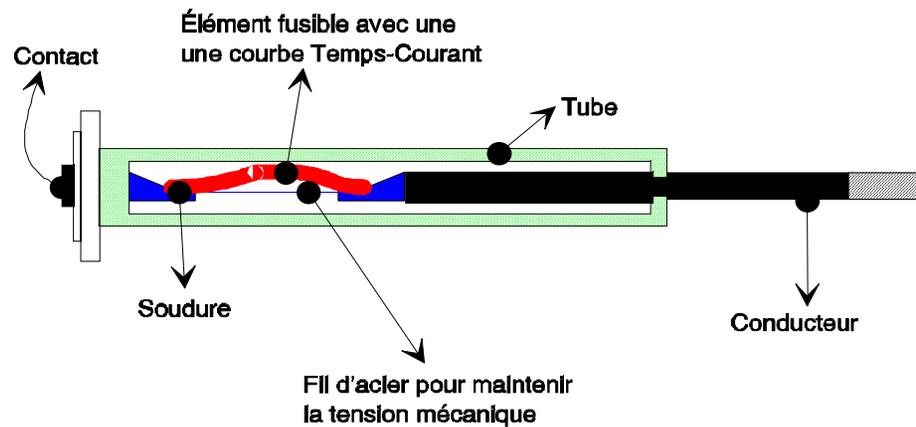
- Protection des lignes de distribution
 - La protection des lignes 25 kV HQ se fait principalement à l'aide des appareils suivants:

- Fusibles;
- Disjoncteurs;
- Réenclencheurs;
- Autosectionneurs



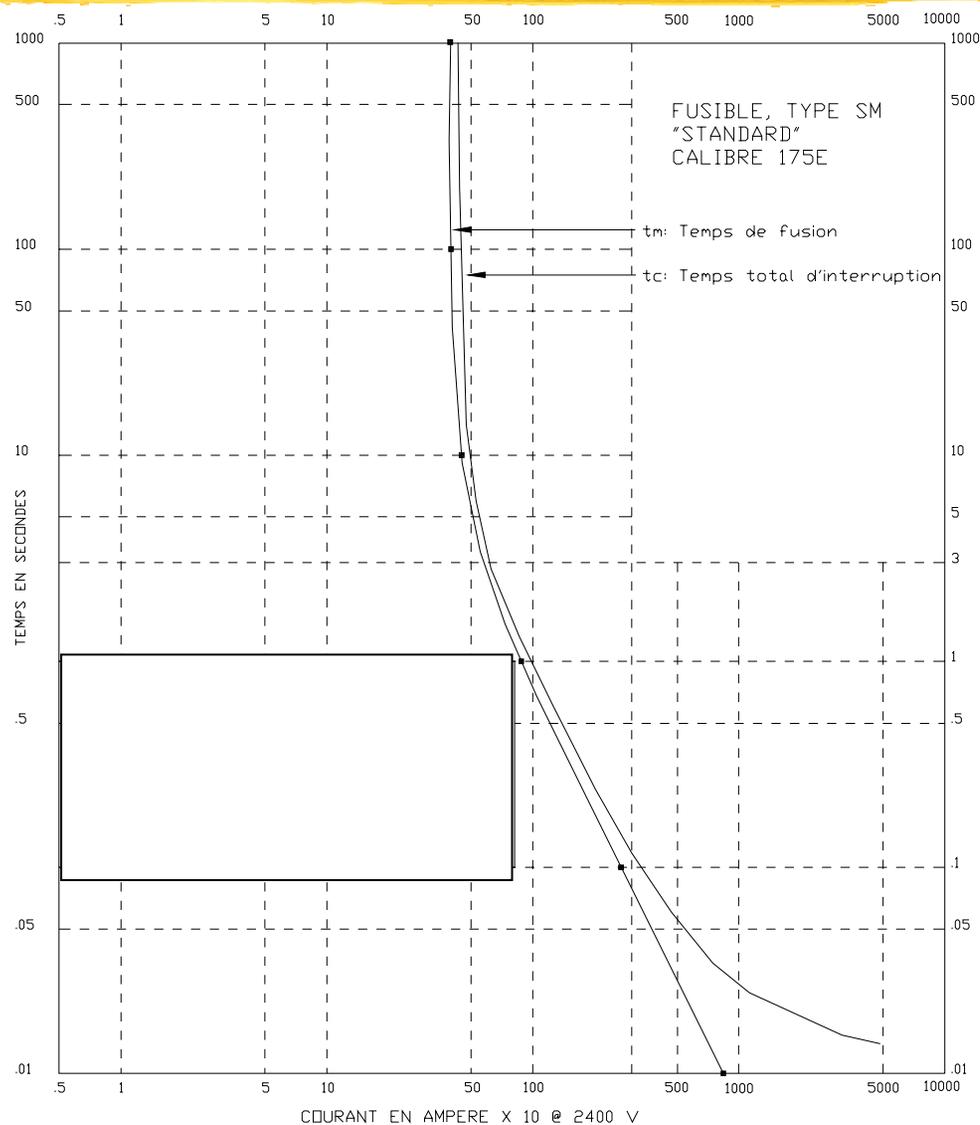
- Les fusibles en distribution
 - largement utilisés à cause de leur faible coût et de leur fiabilité,
 - principal inconvénient : délai d'intervention après opération.
 - Sur le réseau HQ, le fusible de type T (expulsion) est le plus utilisé.
 - Les fusibles de type K, X ou E sont utilisés aussi pour les transformateurs, de même que certains fusibles limiteurs de courant

- Fusible de puissance – à explosion (Type T)



- Fusible de puissance "Solid-material"
- Confinement de l'arc électrique à l'intérieur d'un contenant rempli d'acide borique solide qui réagit avec la chaleur de l'arc et produit de l'eau/vapeur (refroidie l'arc et de provoquer la dé ionisation)
- Utilisé chez HQ dans les endroits confinés comme les cabinets de protection (type SMU)

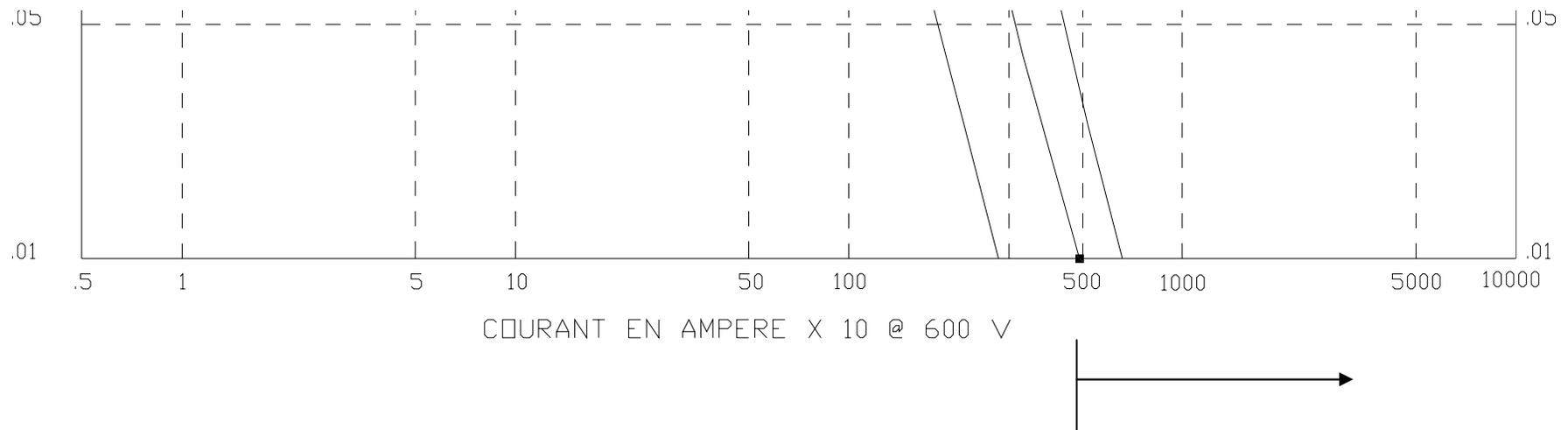




- Fusible de puissance
 - Limiteur
 - Utiliser dans les réseau de distribution souterrain ou dans les endroits fermés.



Que se passe-t-il si le courant de défaut est très élevé ?

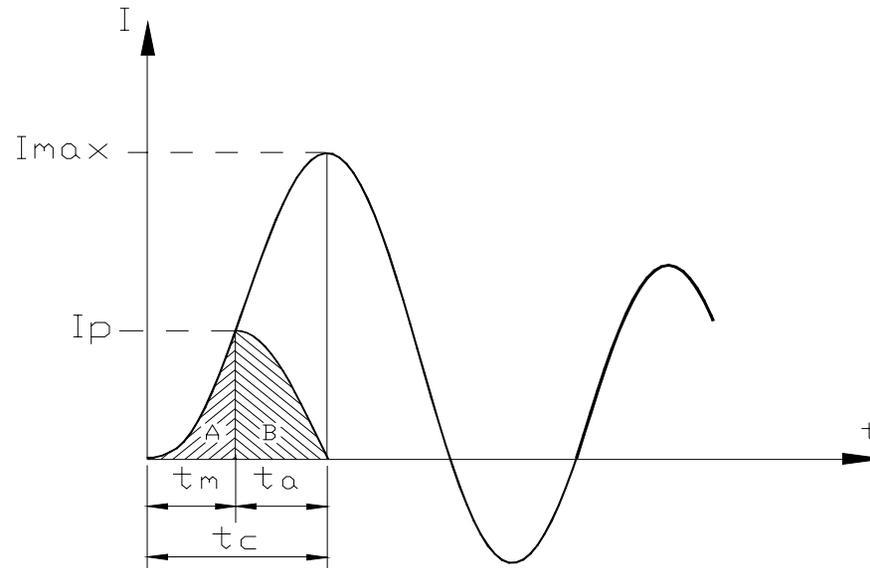


Le temps d'opération de certains types de fusible devient $< \frac{1}{2}$ cycle

Le fusible opère en limitation de courant

Le courant est coupé avant qu'il n'atteigne le courant de défaut maximal disponible ($I_p < I_{max}$)

Limitation de courant



I_{max} : Courant de défaut maximal disponible (valeur crête asymétrique) sans fusible.

I_p : Courant de crête (peak let-through).

t_m : Temps de fusion (Melting Time)

t_a : Temps d'extinction de l'arc (Arcing Time)

t_c : Temps total d'interruption (Total Clearing Time) $t_c = t_a + t_m$

I^2t : Quantité d'énergie thermique totale (A + B) développée dans le circuit durant le temps de fusion et d'extinction du fusible.

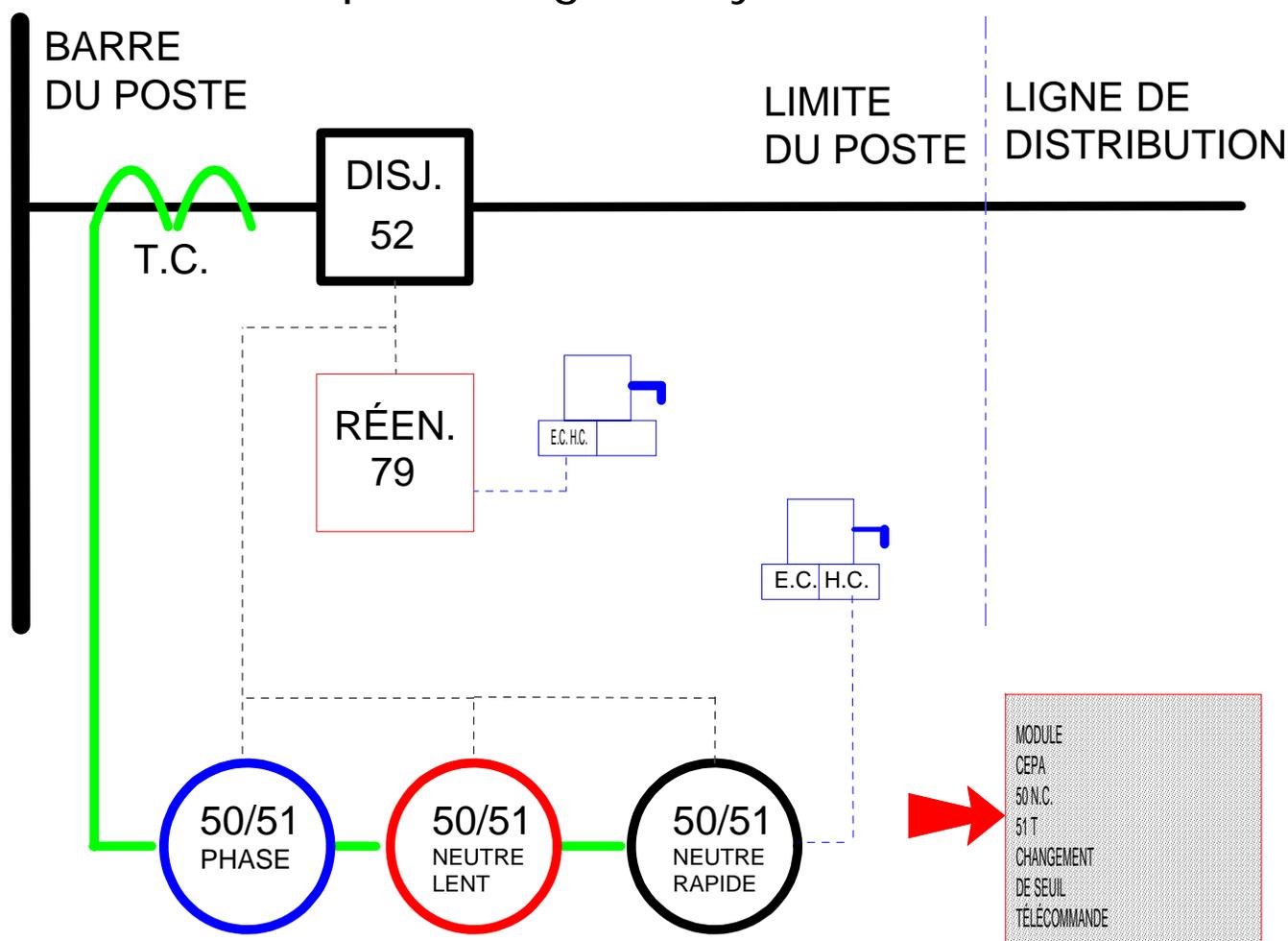
- Les disjoncteurs en distribution
 - Les disjoncteurs (à l'air, à l'huile, au gaz SF₆, à vide) sont habituellement utilisés dans les postes.
 - Ces disjoncteurs conventionnels peuvent être équipés de relais « réenclencheur » dont le rôle est d'assurer la logique et la commande de réenclenchement.



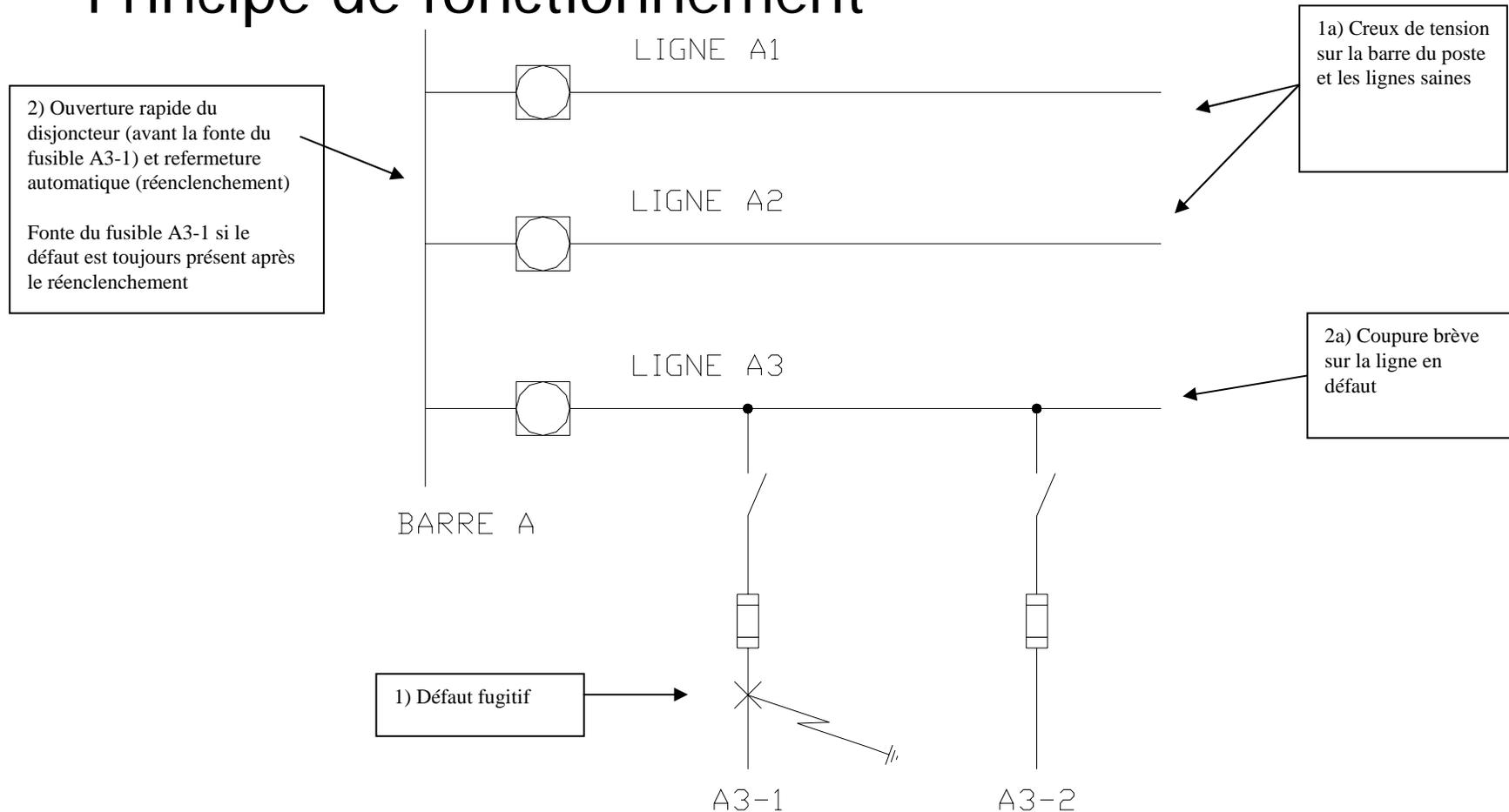
- Les réenclencheurs en distribution
 - Disjoncteur autonome, installé sur la ligne aérienne et muni de sa protection intégrée, qui détecte et interrompt les surintensités selon une séquence d'ouverture/refermeture automatique prédéterminée



- Protection d'un départ de ligne moyenne tension

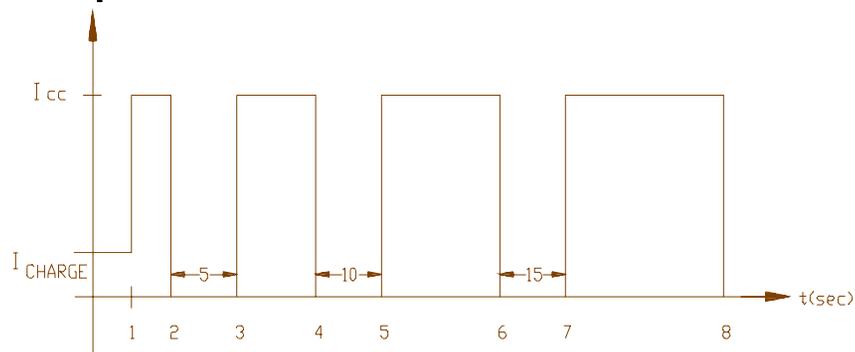


■ Principe de fonctionnement



Note : On ne fait pas de réenclenchement sur les réseaux souterrains (dangereux) car les défauts sont habituellement permanent (ex. : défaut de câble).

■ Séquence de réenclenchement

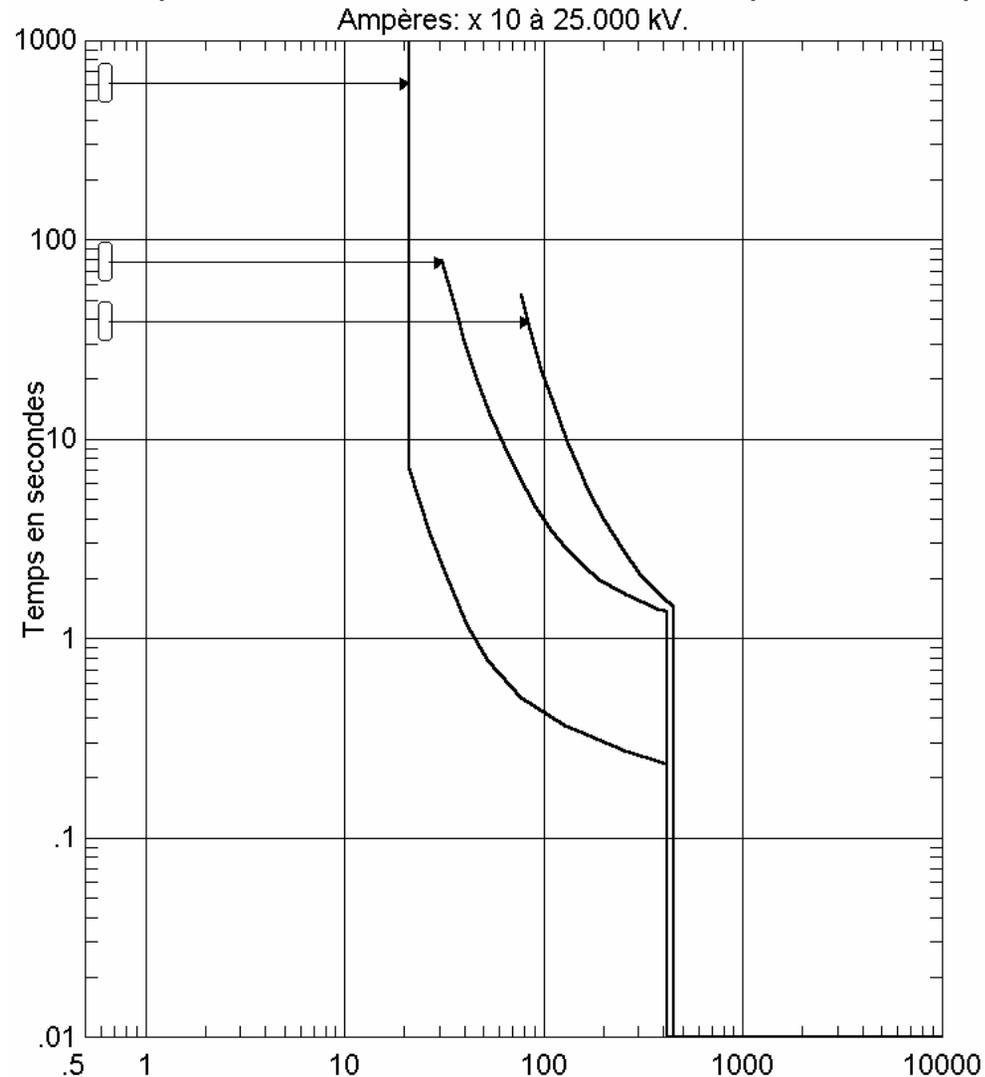


Séquence de réenclenchement typique

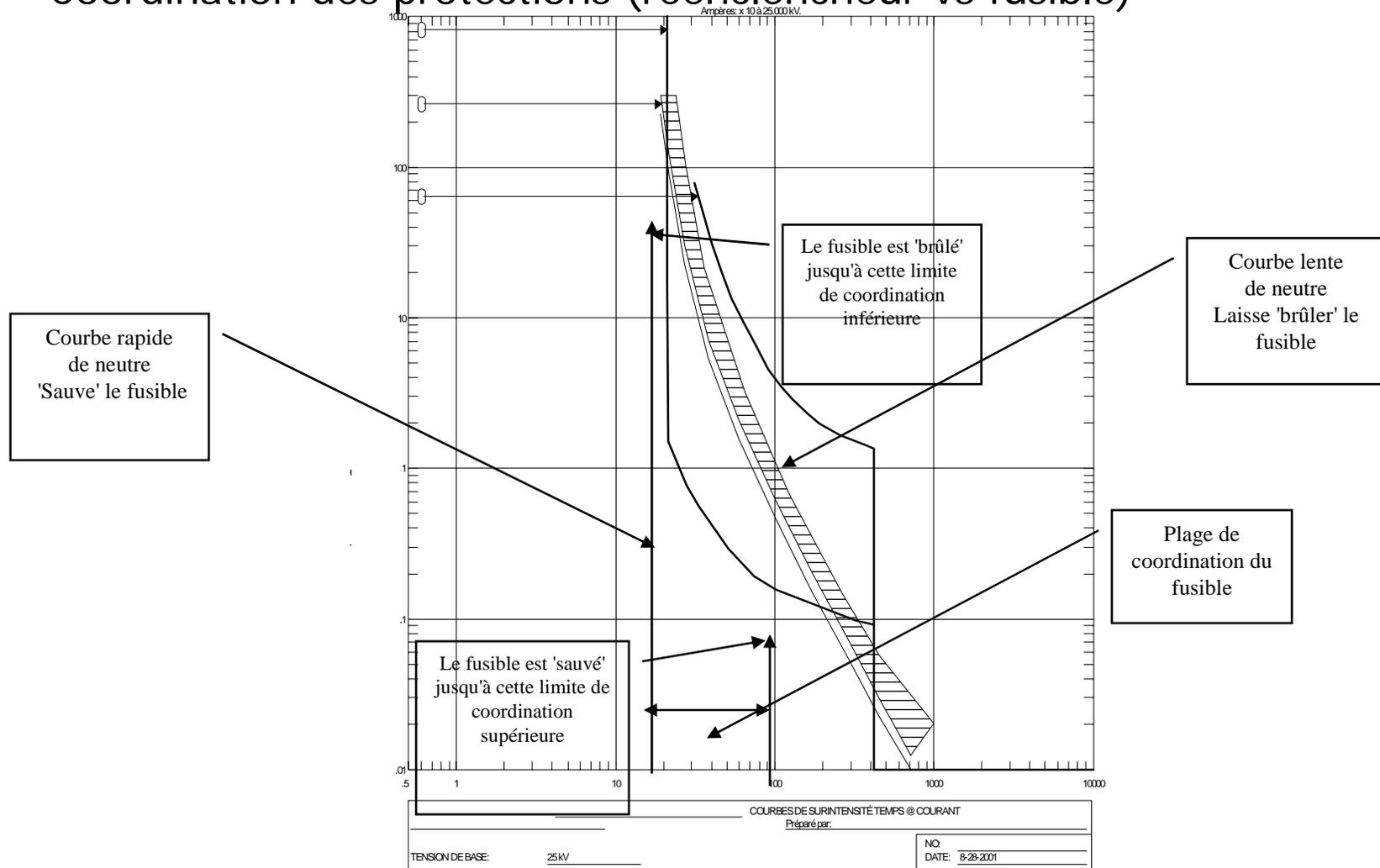
Opération	Durée avant réenclenchement
1 ^{ère} ouverture	5 secondes
2 ^e ouverture	10 secondes
3 ^e ouverture	15 secondes
Réarmement	après 60 secondes

Note : La séquence s'arrête dès que le défaut fugitif disparaît.

- Temporisation de la protection du réenclencheur (rapide/lente, phase/neutre)



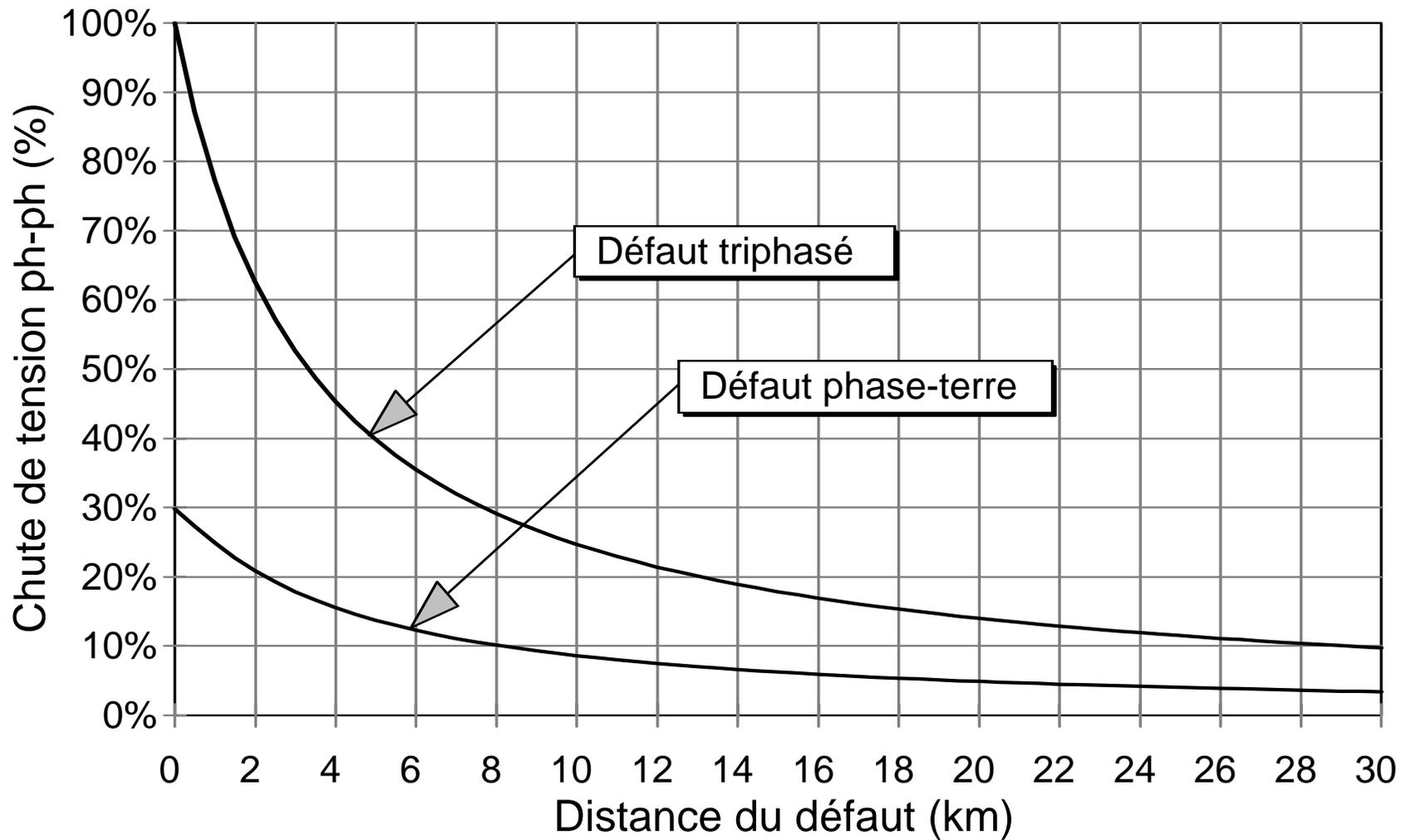
- Coordination des protections (réenclencheur vs fusible)



- Effets du réenclenchement
 - Avantages
 - réduire drastique de la durée des pannes pour les abonnés résidentiels (HQ: indice de continuité)
 - Inconvénients
 - Abonnés résidentiels : reprogrammer toutes les minuteries et horloges (mineur)
 - Clients industriels et commerciaux
 - Coupure brève -> arrêt de production (+/- long et \$)
 - Creux de tension -> si équipements (+/- sensibles), arrêt de production (+/- long et \$)

- Creux de tension
 - Plus le défaut survient loin du poste source, moins le creux de tension est sévère sur les autres lignes saines alimentées à partir de la même barre du poste.
 - La durée du creux de tension dépend essentiellement de la caractéristique temps/courant de la protection de phase et de neutre concernée.

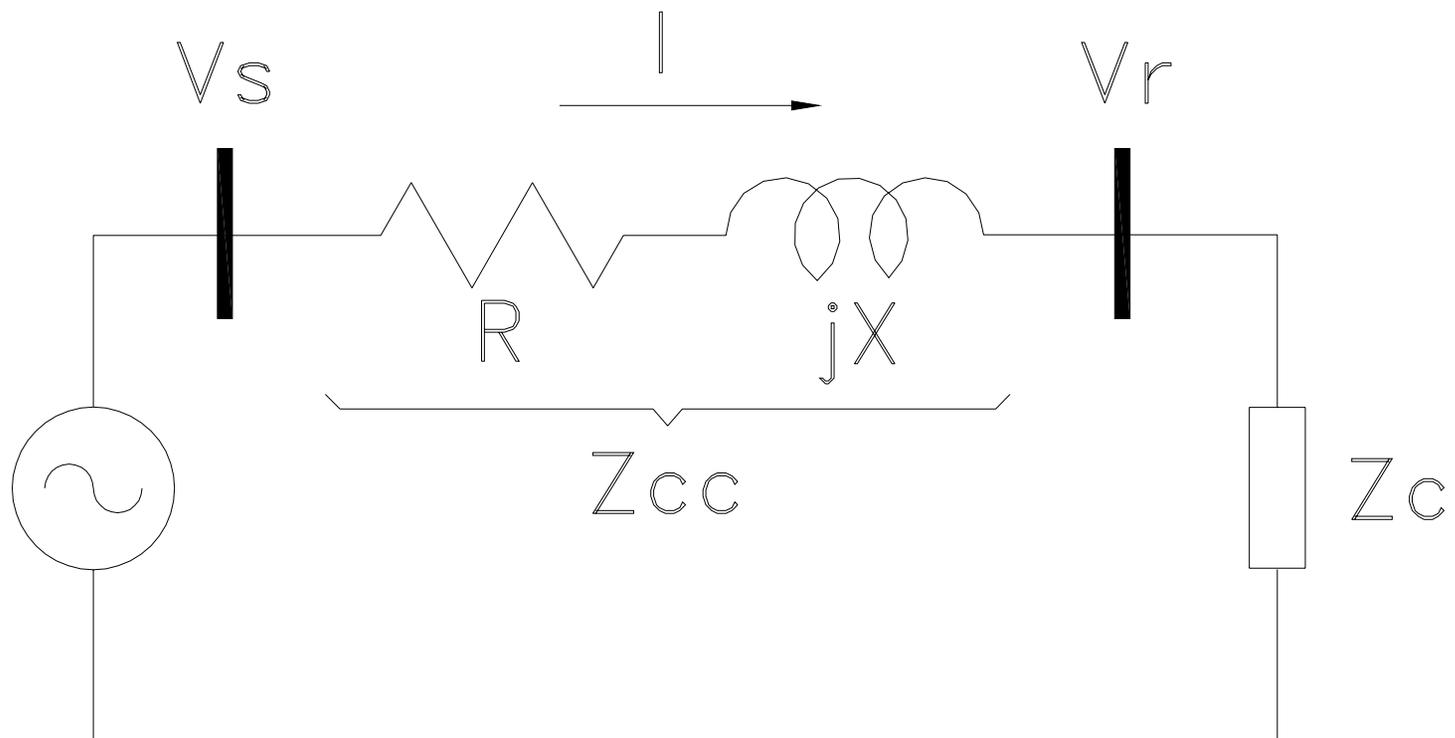
- Exemple de creux de tension
 - Ligne de distribution aérienne 25 kV
 - Calibre 477 MCM, Aluminium
 - Niveau de défaut au poste : 440 MVA
 - $X_0/X_1 = 3$.
 - Résistance de contact au point de défaut négligeable (ce qui n'est pas nécessairement le cas lorsqu'il s'agit d'un défaut fugitif impliquant un arc électrique)



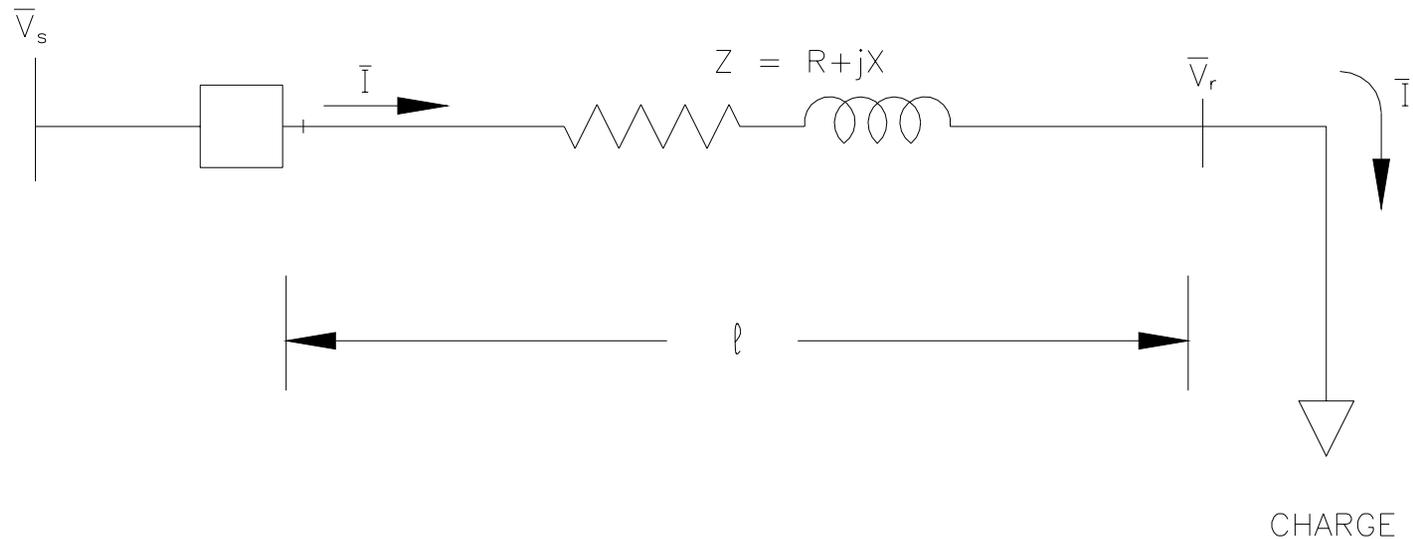
- Conclusions de l'exemple
 - On remarquera à la figure précédente que les creux de tension résultant de défauts à la terre sont beaucoup moins sévères que ceux dus à des défauts de phase.
 - Si la majorité des charges industrielles (ex. EVV) peuvent tolérer des creux de tension d'environ 15 %, on conclut que :
 - La majorité des défauts entre phases dépasseront ce critère, et ce dans un rayon de 18 km du poste.
 - Pour les défauts à la terre, seuls ceux survenant dans les 3 à 5 premiers km de ligne seront susceptibles d'être nuisibles.

- Chutes de tension en distribution

$$\Delta V (\%) = \left(\frac{|V_s| - |V_r|}{|V_s|} \right) \times 100$$



- Modèle simplifié
 - Charge concentrée en bout de ligne



$$\Delta V_{L-N} \approx I (R \cos \theta + X \sin \theta)$$

- Exemple :

- Ligne de distribution 25 kV de 10 km
- Charge concentrée en bout de ligne : 460 A (20 MVA)
- Facteur de puissance de la charge : 0,80 (16 MW)
- Calibre 477 MCM ACSR

$$R = 0,125 \Omega/\text{km} \quad \text{et} \quad X = 0,41 \Omega/\text{km} \quad \times 10 \text{ km}$$

$$R = 1.25 \Omega \quad X = 4,10 \Omega$$

- Exemple :

$$I_L = \frac{S}{\sqrt{3} \times V_{LL}} = \frac{20 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \times 25 \text{ kV}} = 462 \text{ A}$$

$$\Delta V \approx 462 \text{ A} (1,25 \Omega \times 0,8 + 4,1 \Omega \times 0,6)$$

$$\Delta V = 462 \text{ V} + 1137 \text{ V} = 1599 \text{ V} \quad (71\% \text{ de la chute de tension est « réactive »)}$$

$$\% \Delta V = \frac{\Delta V}{V_s} \times 100 = \frac{1599 \text{ V}}{14400 \text{ V}} = 11 \%$$

- Exemple :

Si la charge de 16 MW a un FP corrigé à 0,95, $S = P \div 0,95 = 16,84 \text{ MVA}$

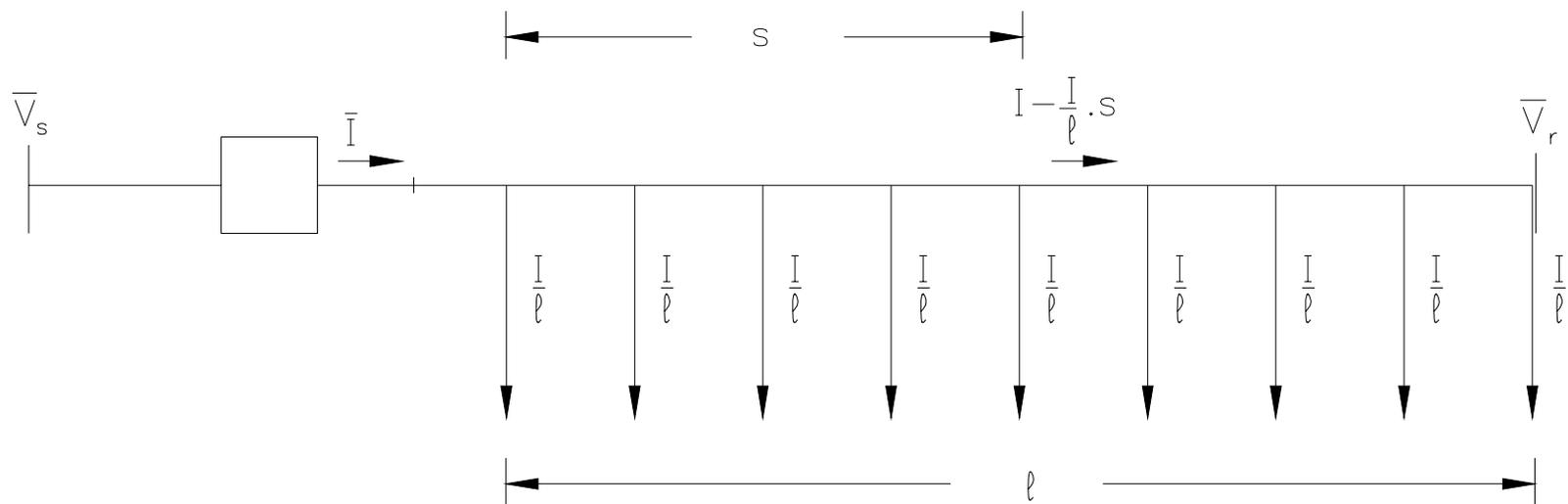
$$I_L = \frac{S}{\sqrt{3} \times V_{LL}} = \frac{16,84 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \times 25 \text{ kV}} = 389 \text{ A}$$

$$\Delta V \approx 389 \text{ A} (1,25 \Omega \times 0,95 + 4,1 \Omega \times 0,31)$$

$$\Delta V = 462 \text{ V} + 494 \text{ V} = 956 \text{ V} \quad (52\% \text{ de la chute de tension est « réactive »)}$$

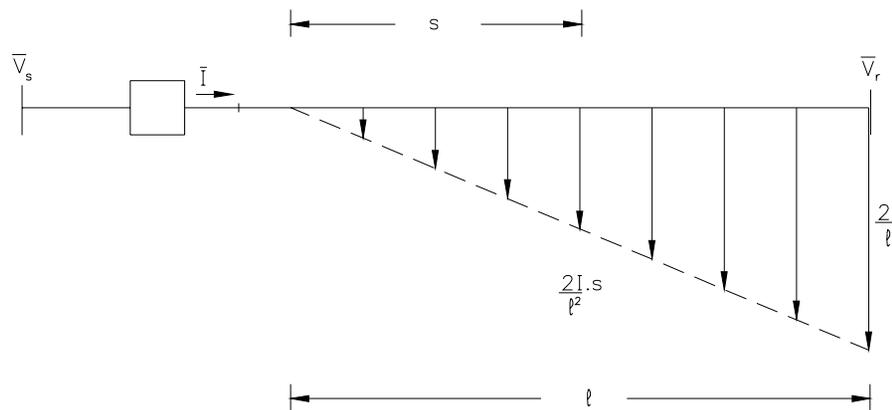
$$\% \Delta V = \frac{\Delta V}{V_s} \times 100 = \frac{956 \text{ V}}{14400 \text{ V}} = 6,6 \%$$

- Modèle simplifié
 - Charge uniformément distribuée



$$\Delta V_{L-N} \approx \frac{I (R \cos \theta + X \sin \theta)}{2}$$

- Modèle simplifié
 - Charge progressivement distribuée



$$\Delta V_{L-N} \approx \frac{2}{3} I (R \cos \theta + X \sin \theta)$$

- Inversement

$$\Delta V_{L-N} \approx \frac{1}{3} I (R \cos \theta + X \sin \theta)$$

- Résumé des modèles de charge
 - charge concentrée en bout de ligne: ΔV
 - charge inversement distribuée: $1/3 \Delta V$
 - charge uniformément distribuée: $1/2 \Delta V$
 - charge progressivement distribuée: $2/3 \Delta V$

- Régulation de tension
 - Les variations de tension sont inévitables :
 - variations de charge des clients (journalières/saisonniers)
 - Étendue importante des réseaux.
 - On ne peut pas garantir une constance absolue de la tension d'alimentation
 - L'alimentation des abonnés se fait à l'intérieur des plages de tension admises.
 - La conception et l'opération des réseaux de distribution réfèrent à cette normalisation car l'appareillage électrique doit être conçu en conséquence.
 - Si la gamme des tensions admises n'est pas respectée, le distributeur s'expose à des plaintes de ses clients.

- Alimentation basse tension
 - Selon la norme ACNOR CAN3 C235-83

Plages de la tension permanente au point de livraison

Tension nominale	Plage normale	Plage marginale
347/600 V	318/550 - 360/625 V	306/530 - 367/635 V
120/208 V	112/194 - 125/216 V	110/190 - 127/220 V
120/240 V	110/220 - 125/250 V	106/212 - 127/254 V

- Alimentation moyenne tension
 - Selon la norme ACNOR CAN3 C235-83:

 - La tension doit être à l'intérieur de $\pm 6 \%$ de la tension nominale (1 à 50 kV)

- Exemple:
 - Client alimenté à 25 kV par une ligne dédiée
 - 24 MVA, F.P. = 0,95
 - Barre commune au poste source alimentant d'autres lignes
 - Tension de la barre réglé à 26 kV pour respecter la limite de 125 V au secondaire des 1er clients en début de ligne
 - Critère : $\Delta V (\%) \leq 6 \%$ chez le client en bout de ligne

- Longueur maximale de la ligne ?

■ Exemple:

■ $I_{\max} : 560 \text{ A (24 MVA)}$

■ $FP : 0,95$

■ $R = 0,128 \text{ } \Omega/\text{km}$

■ $X = 0,41 \text{ } \Omega/\text{km}$

■ $V_s = 26,0 \text{ kV} / 1,73 = 15,011 \text{ kV}$

■ $V_{r \min} = (24,94 / 1,73) \times 94 \% = 13,535 \text{ kV}$

■ $\Delta V = I (R \cos \theta + X \sin \theta) \leq 1\,476 \text{ V}$

■ $l \leq 10,6 \text{ km}$

Lignes de transport



Table des matières

1. Introduction
2. Conception de ligne
3. Contraintes
 - Électriques/Mécaniques/Civils
4. Dimensionnement
 - Électriques/Mécaniques/Civils

Types de ligne

- Transport (120, 230, 315 et 735 kV)
 - Des centres de production vers les centres de consommation
- Interconnexion
 - Vers les réseaux voisins (liens asynchrones, CC)
- Répartition (44, 69, 120 kV)
 - Vers les postes de distribution et les grands clients industriels

La conception de lignes:

- Fait appel à différentes notions théoriques spécialisées
- Des domaines électrique, mécanique et civil
- Expertise peu répandu car peu de lignes construites ces dernières années

Dimensionnement des lignes

- Choix de la tension de service
- Choix du conducteur
- Choix des supports
- Choix de l'armement
- Choix des isolateurs
- Choix de la fixation des conducteurs

Choix de la tension de service
Selon :

- la puissance et la distance à laquelle elle doit être transitée
 - Régulation de tension (ex. 5%)
 - Efficacité (% de perte)
 - Écoulement de la puissance réactive
- la tension du réseau auquel la ligne se raccorde
- les prévisions de charges futures

Choix des supports

- Poteaux de bois
- Tubulaire en acier
- Béton (rond, rectangulaire, carré)
- En treillis d'acier
- Portique : simple, double, multiple en bois, en acier, mixtes (bois/acier)

Choix des supports

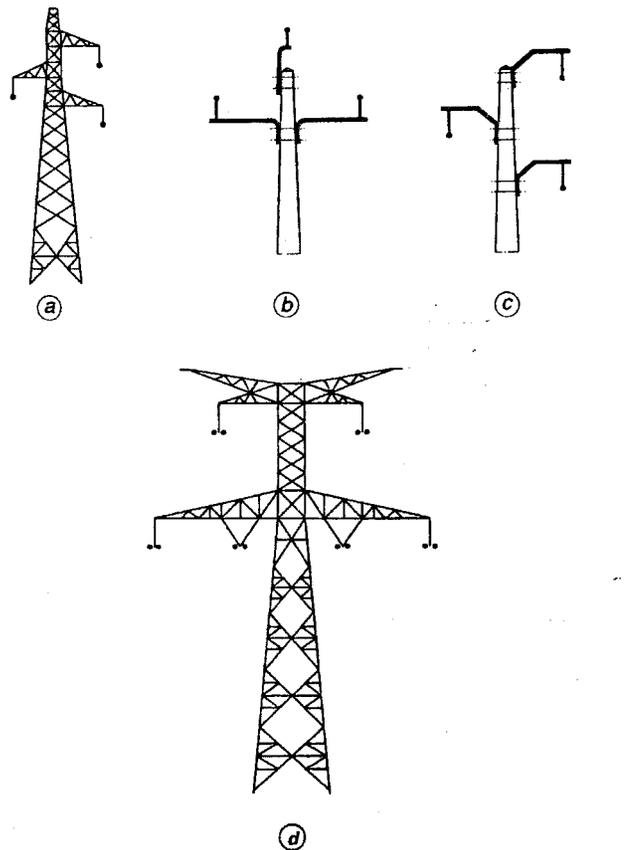
- Alignement
- Arrêt
- Dérivation
- Angle

Choix des fondations

- Selon la nature du support
- Selon la nature du terrain

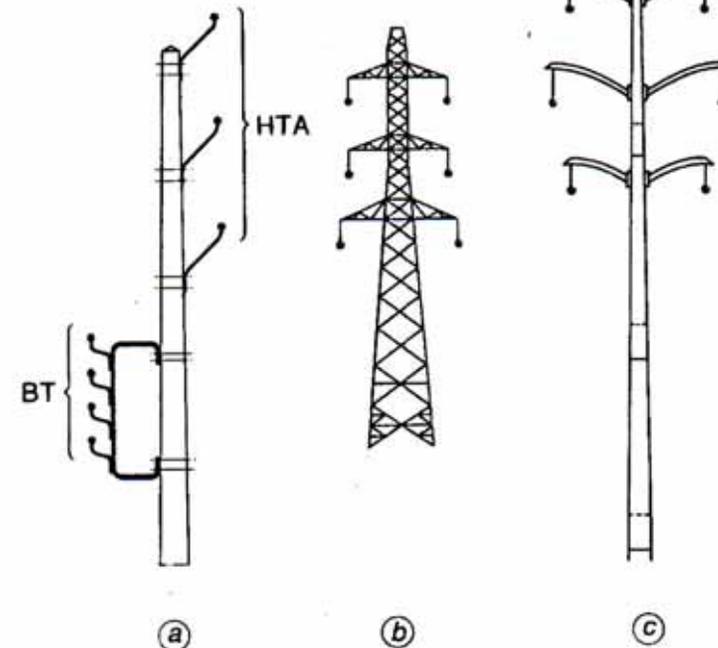
Choix de l'armement

- Alterné, nappe horizontale, drapeau, chapeau de gendarme, canadien
(pour isolateurs rigides)
- Alterné, nappe voûte, drapeau
(pour isolateurs en suspension)



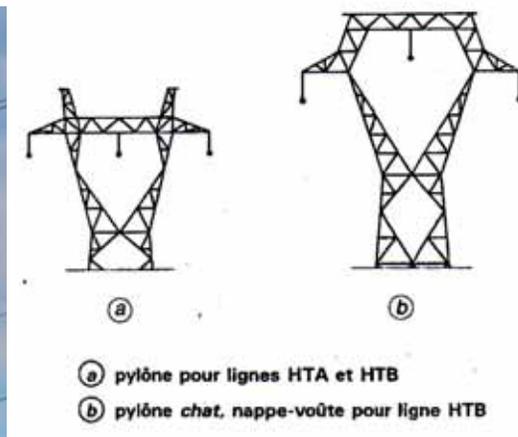
- (a) pylône pour ligne HTB (90 kV)
- (b) chapeau de gendarme; pylône pour ligne HTA, avec isolateurs rigides
- (c) armement alterné avec bras inclinés; pylône pour ligne HTA, avec isolateurs suspendus
- (d) pylône pour ligne HTB à 400 kV, à 2 circuits, type *Beaubourg*

Fig. 18. — Armements en triangle.



- (a) pylône pour ligne mixte BT et HTA
- (b) pylône pour ligne HTB à 2 circuits
- (c) pylône *muguet* (en tôle pliée) pour ligne HTB à 2 circuits

Fig. 19. — Armements en drapeau.

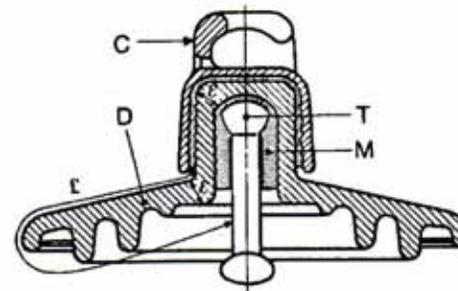


Choix des isolateurs

- Rigides,
- de suspension,
- porcelaine, verre, polymère,
- à rotule, à chape et tenon,
- capot et tige

Choix de la fixation des conducteurs

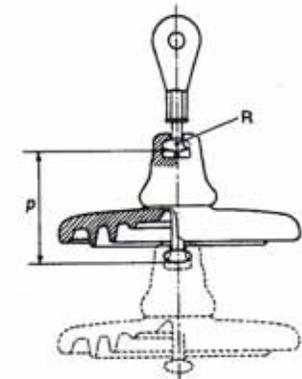
- Pincés de suspension, d'ancrage,
- Pincés à rotule, rigides



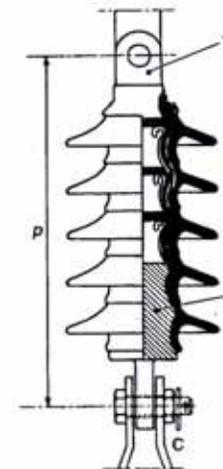
C capot (fonte malléable, galvanisée à chaud)
 D diélectrique (verre trempé ou céramique)
 M mortier de ciment alumineux ou Portland
 T tige (acier, galvanisé à chaud)
 c plus courte distance dans l'air, extérieure à l'isolateur
 ϵ longueur du canal de perforation

$$\epsilon \ll c/2$$

Fig. 9. — Isolateur à capot et tige.



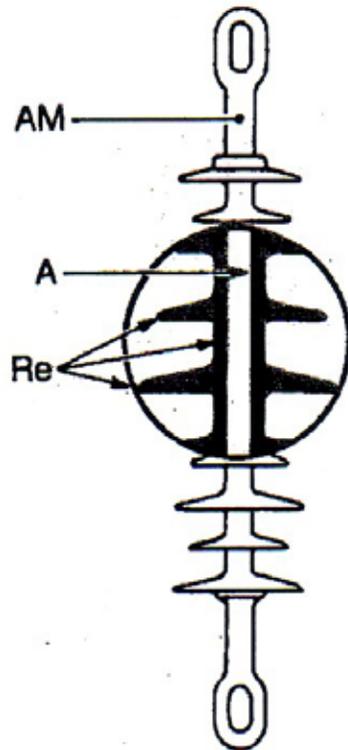
(a) assemblage à rotule



(b) assemblage à chape et tenon

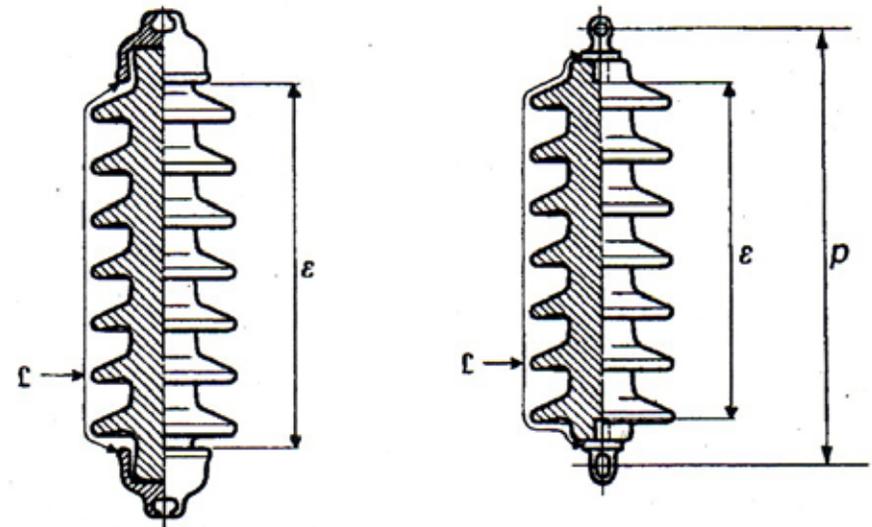
C chape R rotule
 F fût T tenon
 p pas

Fig. 8. — Assemblage des éléments de chaîne.



A âme en fibre de verre-résine
 AM pièces d'accrochage métalliques
 Re revêtement à ailettes en matériau synthétique

Fig. 11. — Isolateur composite.



(a) scellement externe

(b) scellement interne

c plus courte distance dans l'air, extérieure à l'isolateur
 p pas nominal
 ε longueur du canal de perforation

$$\varepsilon \gg c/2$$

Fig. 10. — Isolateur à long fût en porcelaine céramique.

Tension (voltage)

- Distance d'isolement phase-phase, phase-masse
- Dégagement au sol, au-dessus des constructions, des routes, voies ferrées, cours d'eau, etc.
 - Voir tableaux de la norme CSA-C22.

Intensité

- Variation de température due à l'effet joule
- Pertes par rayonnement dans l'infrarouge
- Variation de température ambiante
- Rayonnement solaire
- Refroidissement par convection naturelle

Intensité

- Tension induite dans les circuits adjacents
- Courants de court-circuit
 - Intensité des courants de court-circuit
 - Efforts électrodynamiques
 - Échauffement des conducteurs
- Câbles de garde, MALT

Intensité

- Échauffement des conducteurs
 - Choix de la température ambiante
 - Température d'un conducteur en régime permanent
 - Température admissible en régime temporaire

Effet couronne

- Pertes actives
- Bruits audibles
- Interférences radioélectriques

- Utilisation de conducteurs en faisceau à partir de 230 kV

Défauts affectant les lignes aériennes

- Qualité de service
- Type de défauts : fugitifs, permanents

Défauts provoqués par la foudre

- Notion sur le phénomène de foudre
- Niveau kéraunique, densité des coups de foudre
- Type de défauts : coupe de foudre direct, amorçage en retour
- Rôle du câble de garde (efficace à partir de 69kV)
- Influence de la résistance de la prise de terre

Pollution des isolateurs

- Agents pollueurs
- Inconvénients
- Dispositions pratiques

Mise à la terre des supports

- Protection des personnes
 - tension de touche
 - tension de pas
- Résistance de la prise de terre (surtout pour obtenir une bonne performance de la ligne contre la foudre)
- Dispositions pratiques

Parallélisme avec les lignes de télécommunication et des canalisations (pipe line)

- Induction électromagnétique (phénomène d'induction)
- Écoulement des courants de défauts (phénomène de conduction)
- Valeurs maximales des tensions admises
- Calcul de la tension longitudinale induite
- Évaluation de l'élévation de potentiel du sol

Vent

- Poussée proportionnelle
 - à la surface apparente,
 - à la direction du vent,
 - aux surcharges
- provoquant le balancement et l'augmentation de la tension mécanique
 - sur les conducteurs,
 - sur les structures et supports

Givre et neige

- Surcharge proportionnelle à l'épaisseur et à la densité du manchon de givre et/ou neige,
- augmentation de la tension mécanique

Contraintes géographiques

- Obstacles naturels,
- Dénivellations
- Cours d'eau
- Nature du terrain traversé
- Caractéristiques du sol (mécaniques, physiques)

Distances d'isolement

- Tension entre phases
- Intervalles d'air (variabilité de la longueur)
- Tenue diélectrique de l'air (variabilité)
- Voir tableaux de la norme CSA-C22.

Conditions de vérification

- Vent :
 - Déplacement des câbles
 - Inclinaison des chaînes
- Température
 - Variation de la longueur des câbles
- Neige (épaisseur au sol)
- Givre (abaissement des câbles)

Distance au sol

- Utilisation des sols
- Contre-profil

Distance aux voies de circulation

- Circulation routière
- Circulation ferroviaire
- Voies navigables

Distance aux obstacles

- Distance entre conducteurs et bâtiments
- Distance entre équipement des lignes et bâtiments
- Cas des piscines

Distance entre les lignes

- Distance entre les conducteurs d'une ligne et les supports d'un autre ligne
- Distance entre les conducteurs placés sur des supports différents
- Distance entre les conducteurs et les autres installations électriques sur un même support

Température de répartition

- Équipement du profil en long
- Choix de la température de répartition
- Prise en compte de l'allongement inélastique (fluage)

Distances entre conducteurs et masse des supports

- Définition armement - pièces sous tension
- Distance en l'absence de vent
- Distance sous le vent
- Vérification, inclinaison des chaînes, température, angle de ligne

Distances entre conducteurs

- Configuration des conducteurs
- Balancement synchrone, asynchrone
- Distance entre conducteurs en nappe
- Distance entre conducteurs en drapeau
- Prise en compte des surcharges et phénomènes dynamiques

Distances entre conducteurs et câbles de garde

- Interprétation des paramètres des chaînes
- Cas de charges non homogènes sur conducteurs et câbles de garde

Distances de travail

- Travaux hors tension
- Travaux sur terre hors tension, l'autre étant sous tension
- Travaux sous tension : à distance, au potentiel

Variation de température

- Augmentation de la tension mécanique inversement proportionnelle au changement de température
- Augmentation de la flèche proportionnelle au changement de température

Efforts appliqués aux éléments de l'ouvrage

- Efforts permanents
- Efforts occasionnels
- Efforts exceptionnels pour le montage

Efforts exercés par le vent

- Écoulement : laminaire, turbulent
- Notion de rugosité de la région traversée
- Hauteur et étendue des éléments considérés

Phénomène de givrage

- Pluie verglaçante
- Givre
- Verglas
- Neige collante

Hypothèses climatiques

- Zones de charge de vent
- Zone de charge de glace
- Charges combinées glace et vent
- Charges climatiques normalisées

Calculs mécaniques des câbles

- Chaînettes approximatives
- Paramètres d'un câble tendu
- Changement d'état des câbles
- Notion : fluage et vérification de la portée
- Portée équivalente
- Tableau de pose

Vérifications mécaniques

- Cas de chargement des supports
- Efforts dans les câbles
- Taux de travail des câbles
- Efforts dans les supports
- Taux de travail dans les éléments de support

Phénomènes dynamiques

- Vibrations éoliennes
- Oscillations de grande amplitude
- Vibrations des sous-portées
- Rupture de câbles - coefficient d'impact