



Communication ESTI n° 2025-0501 16 mai 2025

Dimensionnement correct des conducteurs de terre de stations transformatrices en cas de défaut

1. Introduction

Des courants de défaut très importants peuvent apparaître en cas de défaut à la terre dans les stations transformatrices des niveaux de réseau 5 à 7. Les courants de défaut doivent être ramenés par des conducteurs de terre correctement dimensionnés afin que les dispositifs de protection contre les surintensités soient efficaces. En outre, le dimensionnement des conducteurs de terre doit être pris en compte en cas d'augmentation de puissance, par exemple en cas d'installation de transformateurs de plus grande puissance ou en cas de fonctionnement en parallèle de deux transformateurs ou plus. Lors de ses inspections de surveillance, l'ESTI a constaté que les conducteurs de terre ne sont souvent pas correctement dimensionnés. La présente communication décrit en détail les exigences et leur mise en œuvre.

1.1 Caractéristiques nécessaires au dimensionnement des conducteurs de terre

Les conducteurs de terre doivent être dimensionnés tant pour les courants de service que pour d'éventuels courants de défaut à la terre. Dans une station transformatrice, les conducteurs et installations de terre sont utilisés aussi bien par les installations à moyenne tension que par les installations à basse tension et doivent être dimensionnés pour répondre aux exigences les plus élevées. L'apparition simultanée d'un défaut côté moyenne et basse tension est peu probable et peut ne pas être prise en considération lors du dimensionnement.

Afin de dimensionner ou de valider les différents conducteurs de terre, les paramètres suivants doivent être connus, tant au niveau moyenne tension qu'au niveau basse tension :

- Courants de défaut à la terre maximaux I_F (courant de défaut à la terre)
- Durées du défaut t_F
- Dispositions géométriques et position des liaisons de terre (chemins possibles du courant de défaut).

2. Défaut à la terre au niveau moyenne tension (MT)

2.1 Courant de défaut à la terre MT maximal I_F (courant de défaut à la terre)

En Suisse, les réseaux moyenne tension sont exploités avec un point neutre isolé du transformateur ou avec une compensation du défaut à la terre correspondante. En cas de défaut unipolaire à la terre, c'est au maximum le courant de compensation capacitif qui circule contre la terre. Pour le dimensionnement des conducteurs de terre, on tient compte du court-circuit bipolaire avec contact à la terre.

Un important courant de défaut à la terre circule entre les deux défauts à la terre ; ce courant est déterminé par les transformateurs haute tension des sous-stations et par les impédances du réseau.

En cas de court-circuit bipolaire avec contact à la terre au niveau moyenne tension, on peut admettre que celui-ci est de même intensité dans une station transformatrice.

2.2 Durée du défaut t_F

Pour supprimer un court-circuit bipolaire dans le réseau à moyenne tension, il faut, selon le réseau, le 2^e niveau de protection qui peut durer jusqu'à 1 s.

2.3 Disposition géométrique

Pour déterminer les sections des conducteurs de l'installation de mise à la terre, il faut d'abord analyser quelles parts du courant de défaut à la terre peuvent circuler entre les points de l'installation.

En cas de défaut à la terre au niveau moyenne tension, le courant de défaut à la terre circule entre la sous-station et les stations transformatrices concernées.

Si le réseau moyenne tension se compose principalement de lignes en câbles avec les gaines des câbles mis à la terre des deux côtés, en cas de défaut à la terre, une part importante du courant de défaut à la terre circule dans les gaines de câbles [4]. Les facteurs de réduction permettant d'estimer cette part figurent dans la norme SN EN 50522 [2].

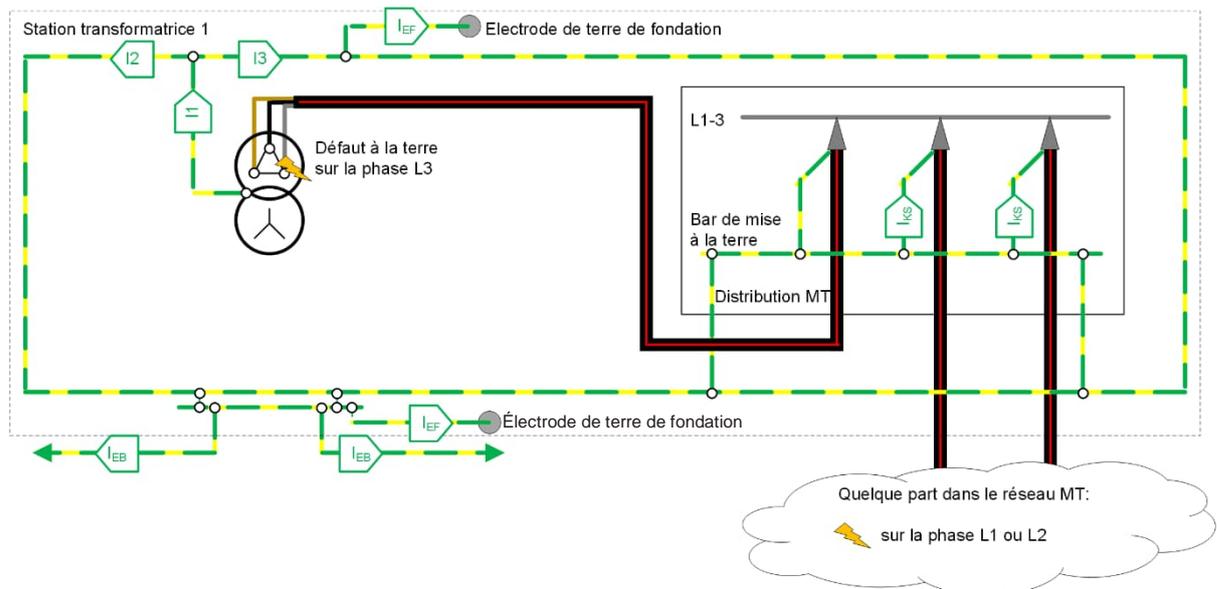


Illustration 1 Exemple : répartition du courant de défaut dans les liaisons de terre en cas de court-circuit bipolaire avec contact à la terre au niveau MT :

- I_1 : 100 % du courant de court-circuit bipolaire avec contact à la terre (courant de défaut) si la gaine du câble du transformateur n'est mise à la terre que d'un seul côté.
- I_2, I_3 : ~ 50 % du courant de défaut
- I_{KS} : Les courants de terre de retour sur toutes les gaines de câbles mises à la terre des deux côtés (au total jusqu'à ~ 90 % du courant de défaut à la terre, en fonction du facteur de réduction)
- I_{EB}, I_{EF} : Courants de terre de retour vers les rubans de terre, les piquets de terre ou vers l'électrode de terre de fondation (différence entre I_1 et tous les I_{KS} , dans cet exemple : ~ 10 % du courant de défaut)

Si les stations transformatrices ne sont raccordées qu'à des lignes aériennes sans câbles de mise à la terre ou à des câbles avec gaines de câbles mises à la terre d'un seul côté, la totalité du courant de défaut à la terre traverse le sol. Les liaisons de terre de l'installation moyenne tension en direction de l'électrode de terre (électrode de terre de fondation, ruban ou piquet de terre) doivent être dimensionnées en conséquence.

En cas de défaut d'isolement sur une borne de traversée moyenne tension au niveau du transformateur, le courant de défaut à la terre doit pouvoir circuler via les gaines de câbles mises à la terre des différents départs MT. Cela peut se faire soit par des gaines de câbles de transformateurs mises à la terre des deux côtés, soit par la mise à la terre de la cuve du transformateur et de l'installation moyenne tension.

Si le câble moyenne tension entre l'installation de couplage et le transformateur n'est exploité qu'avec des gaines de câble mises à la terre d'un seul côté, la mise à la terre de la cuve du transformateur doit être dimensionnée pour la totalité du courant de court-circuit à la terre.

3. Défaut à la terre au niveau basse tension (BT)

3.1 Courant de défaut à la terre BT maximal I_F (courant de défaut à la terre)

Dans le cas d'un réseau basse tension rigide à terre, le défaut unipolaire à la terre d'une phase contre terre est déterminant pour le dimensionnement des conducteurs de terre. Le courant de défaut à la terre correspond ainsi au courant unipolaire de défaut à la terre.

Pour les transformateurs de réseau local typiques du groupe Dyn5, le courant de défaut unipolaire à la terre (I_{KES}) correspond au courant de court-circuit tripolaire (I_{K3}).

Puissance apparente [kVA]	Tension de court-circuit [%]	$I_{K3} \sim I_{KES}$ [kA]
400 kVA	4,4 %	13.2 kA
630 kVA	4,6 %	19,8 kA
1000 kVA	5,0 %	29.0 kA

Tableau 1 Exemples de transformateurs typiques

3.2 Durée du défaut t_F

Les mesures de protection contre les surintensités prises par l'exploitant déterminent la durée de défaut. En outre, l'installation de mise à la terre doit rester intacte même en cas de défaillance du dispositif de protection primaire, au moins jusqu'à ce que la protection redondante ait pu supprimer le défaut.

Les défauts à la terre, en dehors de la zone de protection secondaire (défaut d'isolement sur le châssis du transformateur, défaut d'isolement des lignes BT entre le transformateur et la distribution BT) sont déclenchés par l'organe de protection côté haute tension.

3.3 Disposition géométrique

Pour déterminer les sections des conducteurs de l'installation de mise à la terre, il faut d'abord analyser quelles parts du courant de défaut à la terre peuvent circuler entre les points de l'installation.

En cas de défaut unipolaire à la terre côté basse tension, la totalité du courant de défaut à la terre circule à l'intérieur de la station transformatrice. Il faut garantir que le courant de défaut à la terre puisse retourner au point neutre du transformateur depuis n'importe quel point de défaut à la terre.

En règle générale, l'installation de mise à la terre et le conducteur de mise à la terre sont sollicités lorsqu'un défaut à la terre survient dans le transformateur lui-même. En cas de défaut-

lance d'une traversée BT, le courant de défaut unipolaire à la terre circule de la phase concernée vers la cuve du transformateur.

Pour les réseaux BT rigides à terre, le courant de court-circuit à la terre doit retourner au point neutre du transformateur. Souvent, dans une station transformatrice, le point neutre du transformateur n'est mis à la terre que par un point central de mise à la terre (ZEP) dans la distribution BT. Dans ce cas, le courant de défaut à la terre doit retourner au point neutre du transformateur depuis le châssis du transformateur en passant par l'installation de mise à terre vers le point central de mise à la terre (ZEP), via la distribution BT et sa connexion aux conducteurs PEN (Illustration 2).

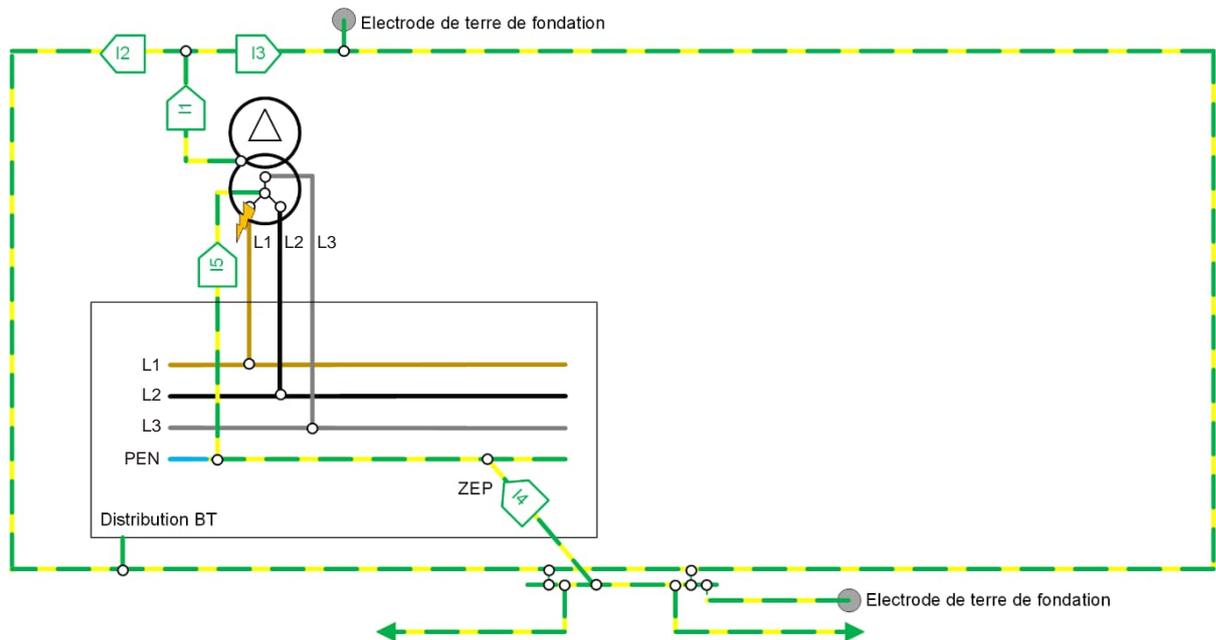


Illustration 2 Exemple : répartition du courant de défaut dans les liaisons de terre en cas de défaut à la terre sur un transformateur (phase contre cuve) :

I1, I4, I5 :	100 % du courant de défaut à la terre
I2, I3 :	~ 50 % du courant de défaut à la terre

Pour les stations transformatrices à deux transformateurs, un fonctionnement en parallèle est prévu pour les commutations.

Dans ce cas, le courant de défaut à la terre d'un transformateur double par un calcul simplifié en cas de défaut unipolaire à la terre.

L'exemple suivant (Illustration 3) montre comment les courants se répartissent. Selon le Tableau 2 du chapitre 4, les cuves de deux transformateurs 1000 kVA devraient être mises à la terre avec un conducteur électrique équivalent à au moins 257 mm² de cuivre chacun si le défaut à la terre (50 kA = 100 %) est déclenché en 1 s.

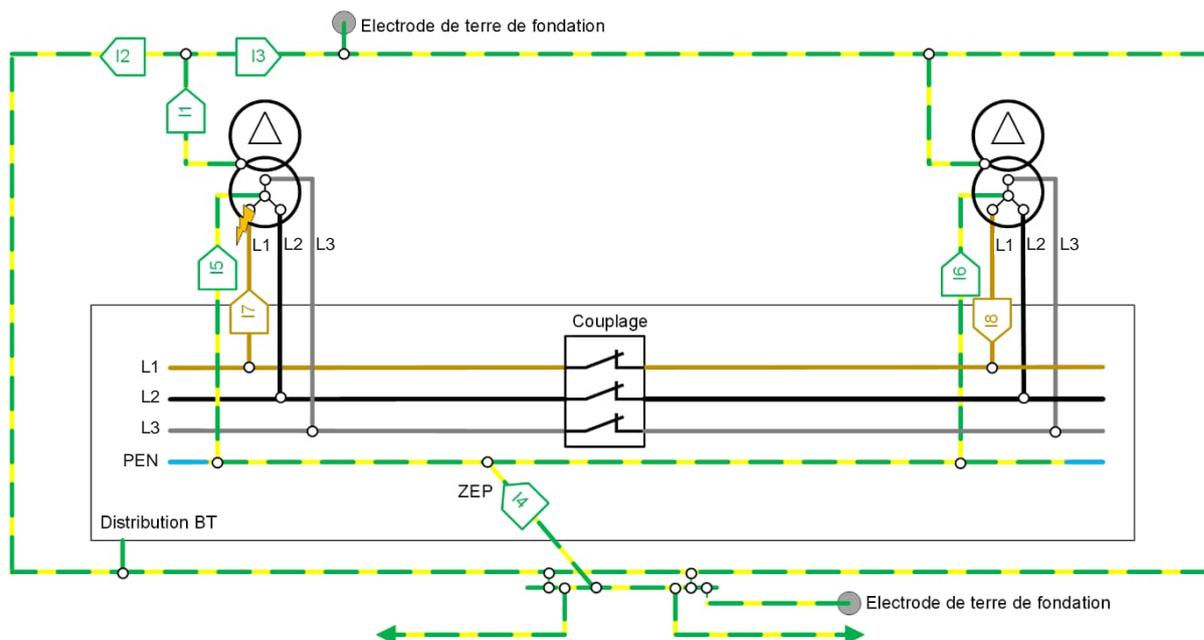


Illustration 3 Exemple : répartition du courant de défaut dans les liaisons de terre en cas de défaut à la terre sur un transformateur en fonctionnement en parallèle :

I1, I4 :	100 % du courant de défaut à la terre
I2, I3, I5, I6 :	~ 50 % du courant de défaut à la terre
I7, I8 :	Courants de défaut sur la phase L1, 50 % du courant de défaut à la terre

3.4 Variantes d'exécution

Il existe différentes manières de mettre correctement à la terre une station transformatrice.

- Les conducteurs de terre sont dimensionnés pour le courant de défaut à la terre le plus élevé et le temps de déclenchement le plus long possible. Si l'installation de mise à la terre est conforme aux illustrations Illustration 2 et Illustration 3, les connexions du châssis du transformateur à la ceinture de terre, en particulier, doivent être dimensionnées correctement.
- Par le passé, une liaison à la terre du point neutre était installée aussi bien pour tous les transformateurs que pour la distribution basse tension. Les grands courants de défaut à la terre pouvaient ainsi circuler directement de la cuve du transformateur au point neutre ou, en cas de défaut à la terre, dans la distribution basse tension via le conducteur PEN. Pour des raisons liées à la CEM, un point central de mise à terre (ZEP) est désormais généralement installé dans la distribution basse tension afin d'éviter, qu'en service normal, des courants d'équilibrage ou vagabonds ne circulent en dehors du conducteur neutre dans le conducteur de terre.

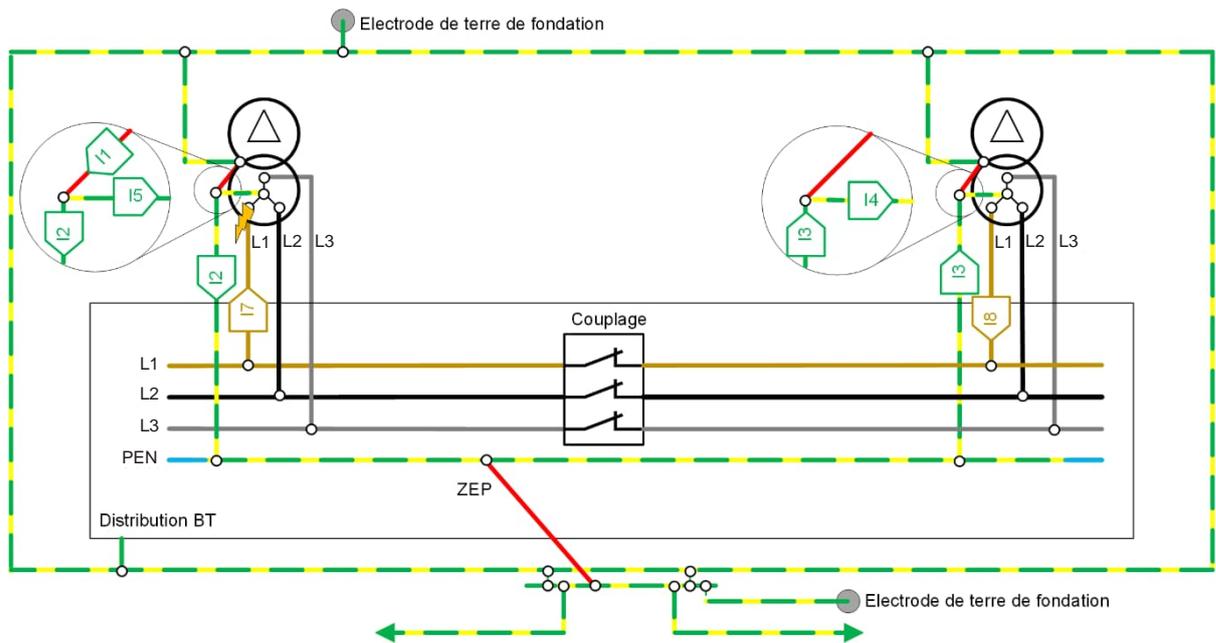


Illustration 4 Exemple : répartition du courant de défaut dans les liaisons de terre en cas de court-circuit à la terre sur un transformateur en fonctionnement en parallèle. Les lignes rouges sont les liaisons de terre entre le point neutre / conducteur de neutre et l'électrode de terre de l'installation.

I1 : ~ 100 % du courant de défaut à la terre

I2, I3, I4, I5 : ~ 50 % du courant de défaut à la terre

I7, I8 : Courants de défaut sur la phase L1, 50 % du courant de défaut à la terre

- La réalisation de liaisons directes à la terre depuis les châssis des transformateurs vers le conducteur PEN de l'installation de distribution BT (parallèlement aux câbles des transformateurs) allège sensiblement la ceinture de terre / la barre d'équipotentialité.

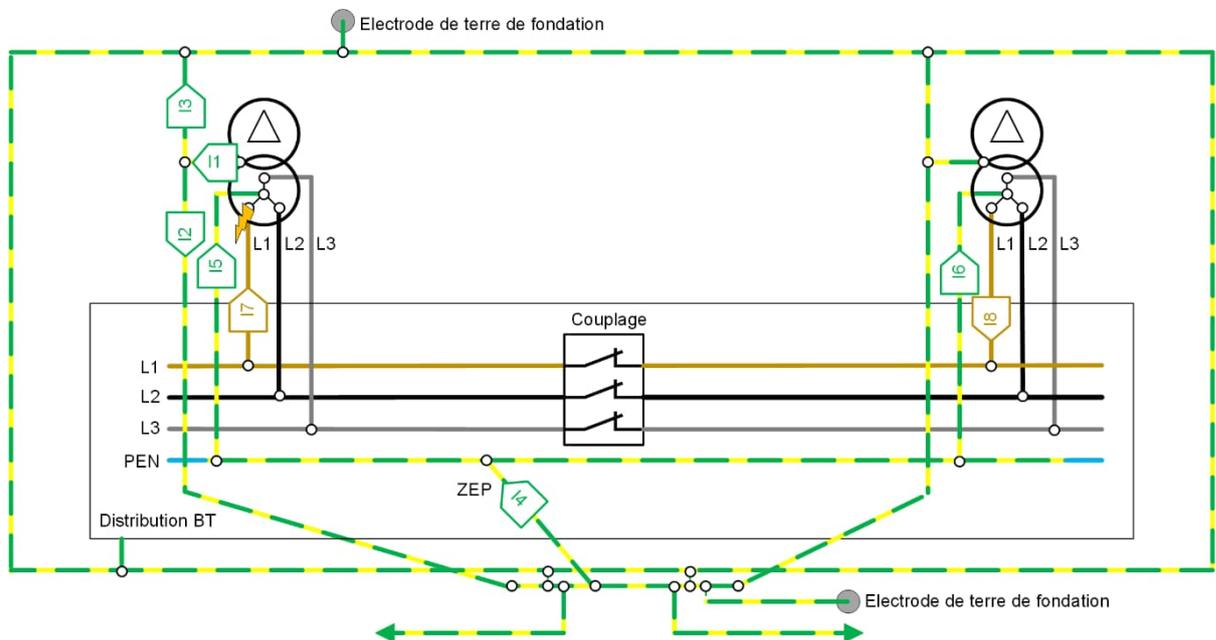


Illustration 5 Exemple : répartition du courant de défaut dans les liaisons de terre en cas de défaut à la terre sur un transformateur en fonctionnement en parallèle.

I1, I4 : 100 % du courant de défaut à la terre

I2, I3 : ensemble 100 % du courant de défaut à la terre

I5, I6 : ~ 50 % du courant de défaut à la terre

I7, I8 : Courants de défaut sur la phase L1, 50 % du courant de défaut à la terre

4. Dimensionnement des conducteurs de terre

Dimension minimale des électrodes de terre en cuivre pour un réchauffement de 20 °C à 300 °C			
	Durée du courant de court-circuit t [s]		
	0,5 s	1 s	5 s
Courant de court-circuit [kA]	Section minimale du conducteur [mm ²]		
100 kA	363	514	1149
50 kA	182	257	574
30 kA	109	155	345
20 kA	73	103	230
10 kA	36	51	115
5 kA	18	26	57

Tableau 2 Extrait du tableau 10.2.3 de la SNG 483755 avec des valeurs de courants supplémentaires.
Dimensionnement de conducteurs en cuivre nus

L'annexe D de la norme SN EN 50522 [2] fournit des formules pour le calcul des courants admissibles des conducteurs de terre ou des électrodes de terre. Dans la SNG 483755 [3], les sections en cuivre sont indiquées dans le tableau 10.2.3 d'après cette formule pour certains courants de court-circuit.

Les conducteurs de terre qui servent exclusivement à la compensation de potentiel et qui n'évacuent pas une part significative du courant de défaut à la terre doivent respecter, pour des raisons mécaniques, les sections minimales selon la SNG 483755, chap. 10.2.1 [3].

5. Bibliographie

- [1] SR 734.2 «Ordonnance sur les installations électriques à courant fort (Ordonnance sur le courant fort)» du 30 mars 1994 (Etat le 1^{er} juin 2019)
- [2] SN EN 50522:2022-02 «Prises de terre des installations électriques de puissance en courant alternatif de tension supérieure à 1 kV»
- [3] SNG 483755:2023 "Mise à la terre comme mesure de protection dans les installations électriques à courant fort Explications relatives aux articles 53 – 61 de l'Ordonnance sur le courant fort RS 734.2"
- [4] Günther Storf, Erdung in Mittelspannungsnetzen, Bulletin SEV/VSE 2021, Nr. 5, S 41ff

Auteurs :

ESTI : Günther Storf

CT Mises à la terre du CES : Beat Geiser, Marcel Schellenberg, Christoph Studer