



Communication ESTI n° 2023-1201 13 décembre 2023

Distances en cas de proximité ou de croisement de lignes électriques et de conduites

Sommaire

1. Introduction	1
2. Aspects de l'influence ohmique	2
2.1 Tension de claquage dans la terre.....	2
2.2 Différence : croisement et parallélisme	4
3. Distances minimales en cas d'influence ohmique	4
3.1 Distances horizontales minimales en cas de proximité ou de parallélisme d'installations à courant fort et de conduites	4
3.3 Distances minimales entre les lignes en câbles électriques et les conduites souterraines	6
4. Bibliographie	6

1. Introduction

Les conduites et les autres structures conduisant l'électricité linéairement peuvent, en cas de défaut, subir une influence ohmique en raison de leur proximité avec des installations à courant fort :

- En cas de défaut à la terre, une ligne à courant fort exerce une influence ohmique à travers les mises à la terre. Si les distances sont insuffisantes, un arc électrique peut atteindre la conduite et la détériorer.
- Les conduites faites d'un matériau conduisant le courant linéairement peuvent entraîner une migration de potentiel en cas de défaut à la terre de la ligne à courant fort.

Ne font pas partie de la présente communication :

- l'influence inductive ;
- l'inflammation de mélanges gazeux explosifs par des étincelles électriques ;
- les annexes (toutes les infrastructures, bâtiments, installations, vannes de sectionnement, gares de racleur, stations de distribution, de détente et de comptage servant à l'exploitation de la conduite) des installations de transport par conduites ;

- les distances de protection par rapport à des constructions dépourvues d'installations de transport par conduites.

Il est prévu de régler à l'avenir ces problèmes liés à la proximité d'installations à courant fort et de conduites dans une directive de l'ESTI. D'ici là, la présente communication vise à clarifier les principaux aspects des distances quant à leur proximité.

De 1994 à 2021, l'ordonnance sur les lignes électriques (OLEI) [2], [3] contenait des prescriptions concernant la distance minimale entre les lignes électriques et les conduites soumises à la loi sur les installations de transport par conduites (LITC) (art. 124, art. 133 et annexe 19). Les mêmes distances figuraient également dans l'ordonnance concernant les prescriptions de sécurité pour les installations de transport par conduites (OSITC) jusqu'en 2021 (art. 11 et annexe). Au cours de cette période, les distances ont été légèrement revues à partir de 2007.

À la suite de nouvelles adaptations, toutes les distances prévues par les ordonnances précitées ont été supprimées en 2021, ce qui a engendré des incertitudes tant pour les exploitants d'installations à courant fort que pour les exploitants de conduites. Afin d'élaborer un guide pour les questions en suspens, l'ESTI a mis en place en 2023, avec la SSIGE (Société suisse de l'industrie du gaz et des eaux), une étroite collaboration avec des spécialistes des deux branches.

2. Aspects de l'influence ohmique

Nous aborderons ci-après les aspects déterminants pour le calcul des distances de sécurité entre les installations à courant fort et les conduites.

2.1 Tension de claquage dans la terre

Les études de K. Berger [10], [11] comptent parmi les premiers travaux sur la tension de claquage entre parties métalliques dans la terre. Les travaux suivants, comme [13], [14] et [15], aboutissent à des résultats similaires qu'il est possible de résumer comme suit :

- Les distances de claquage les plus faibles sont obtenues avec une résistance spécifique du sol comprise entre 10 et 25 kΩcm (100 ... 250 Ωm, conductivité 40 ... 100 μS/cm). Cette plage de résistance spécifique du sol est atteinte pour les sols ayant une teneur en eau de 30 à 50 % (sable et mélange sable / argile / humus).
- Dans l'étude [10], la rigidité diélectrique moyenne $E_0 = u_0/a$ a été étudiée en procédant à des essais de claquage sur des éclateurs à boule dans le sol, sur la longueur de claquage a .
Les valeurs minimales se situent à 7 kV/cm pour les sols humides (30 % à 50 % de teneur en eau) et n'augmentent que modérément pour les sols plus secs (maximum deux fois). Des impulsions avec des temps d'élévation de quelques μs à 1 ms ont été appliquées. Les valeurs minimales ainsi obtenues peuvent servir de valeurs indicatives pour les demi-ondes en courant alternatif (en cas de défaut à la terre) mais aussi pour les courants de choc dus à la foudre.
- Toutefois, contrairement aux éclateurs à boule, les conducteurs de terre habituels présentent des arêtes où cette intensité minimale de champ est rapidement dépassée. C'est pourquoi ce n'est pas la rigidité diélectrique moyenne qui est déterminante pour mesurer la distance par rapport aux objets dans le sol, mais l'intensité du champ à laquelle une décharge déjà en cours se propage. Une valeur de cette intensité de champ de propagation E_i de 2,5 à 3 kV/cm ressort de l'étude [10]. Lors de chocs d'amplitude croissante, la résistance de terre commence à descendre en dessous de la résistance mesurée en courant alternatif lorsque cette intensité de champ est dépassée dans un volume important. Il se produit alors des décharges qui court-circuitent quasi électriquement un certain tronçon dans le sol. Il semble déterminant qu'en cas de défauts à la terre et de foudre, des intensités de champ de 2,5 kV/cm puissent apparaître jusqu'au

périmètre d'une installation de transport par conduites. Il convient de noter que cette intensité de champ est environ deux fois inférieure à l'intensité de champ nécessaire pour prolonger les canaux de décharge dans l'air (la propagation des décharges de streamer et de leader dans l'air nécessite des intensités de champ de base de 4 ... 5 kV/cm au niveau de la tête de décharge).

Éviter les décharges sur les installations de transport par conduites et donc les claquages souterrains entre la mise à la terre des courants forts et la mise à la terre des conduites est particulièrement important pour les structures portantes de lignes aériennes, car elles présentent des densités de courant élevées et donc des intensités de champ élevées dans le sol.

Dans le cas d'un courant appliqué localement dans le sol, on obtient un rayon définissable à l'intérieur duquel de telles décharges apparaissent en fonction de l'amplitude du courant et de la résistance spécifique du sol (rayon d'ionisation). Si un objet mis à la terre autrement et passant par un potentiel neutre se trouve dans ce rayon, un claquage dans le sol entre la mise à la terre de la structure portante et l'installation de transport par conduites ne peut être exclue. Le **tableau 1** contient des rayons d'ionisation calculés pour les plages d'amplitudes de courant et des résistances du sol qui existent dans la pratique. À titre de comparaison, sont présentées les valeurs qui, selon l'ordonnance sur les lignes électriques de 1994 à 2006 [3], sont indiquées comme distances entre les mises à la terre des structures portantes de plus de 1 kV et les conduites (0,5 m/kA mais au moins 3 m). Cette dernière règle garantit donc, pour une résistance spécifique du sol, des distances allant jusqu'à 5'000 Ωm, qui sont en dehors du rayon d'ionisation.

Remarque : Le courant qui passe à la terre ne doit pas être traité de la même manière que le courant de défaut unipolaire. Sur les lignes aériennes, une part importante du courant de défaut unipolaire se dissipe généralement par les câbles de garde et ne contribue pas à l'entonnoir de tension autour des mises à la terre des structures portantes. La part du courant qui passe à la terre est encore plus faible pour les lignes en câbles à courant fort (câbles à haute tension ou câbles de réseau à basse tension). La majeure partie du courant de défaut unipolaire retourne dans le blindage du câble vers le nœud du réseau d'alimentation. Seule la part de courant de défaut qui passe dans le sol depuis le blindage du câble ou des parties mises à la terre de l'installation de câbles crée un entonnoir de tension dans le sol qui peut provoquer un claquage avec d'autres infrastructures conduisant l'électricité linéairement.

Rayon d'isolation r [m]	Courant qui passe à la terre I_{eff} [A]				
	1'000 A	5'000 A	10'000 A	20'000 A	40'000 A
Résistance spécifique au sol ρ [Ωm]	Amplitude du courant qui passe à la terre \hat{I} [A]				
	1'414 A	7'071 A	14'142 A	28'284 A	56'569 A
100 Ωm	0,3	0,67	0,95	1,3	1,9
200 Ωm	0,42	0,95	1,3	1,9	2,7
500 Ωm	0,67	1,5	2,1	3	6
1'000 Ωm	0,9	2,1	3	4,2	8,5
2'000 Ωm	1,3	3	4,2	6,0	13,4
5'000 Ωm	2,1	4,7	6,7	9,5	19
0,5 m/kA (I_{eff}) (minimum 3 m)	3	3	5	10	20

Tableau 1 Rayon d'ionisation r calculé dans le sol pour différentes amplitudes du courant qui passe à la terre \hat{I} et différentes valeurs de la résistance spécifique du sol ρ

dans l'hypothèse d'une intensité de champ d'ionisation $E_i = 2,5 \text{ kV/cm}$ (selon Berger [10]) et d'une propagation hémisphérique du courant dans le sol :

$$\text{Lien : } r = \sqrt{\hat{I} \rho / (E_i 2 \pi)}, \text{ voir aussi [10]}$$

Dernière ligne : Comparaison avec les règles applicables aux distances entre les conduites et les structures portantes selon l'OLEI 1994 à 2006 [3].

2.2 Différence : croisement et parallélisme

En ce qui concerne les distances de sécurité entre les conduites et les câbles à courant fort selon l'OLEI [3], il existe une différence essentielle entre les croisements et les parallélismes.

La probabilité d'un défaut à la terre du câble à courant fort dans la sphère d'influence de la conduite est beaucoup plus faible en cas de croisement qu'en cas de parallélisme entre les deux systèmes sur plusieurs mètres et à courte distance.

3. Distances minimales en cas d'influence ohmique

3.1 Distances horizontales minimales en cas de proximité ou de parallélisme d'installations à courant fort et de conduites

Le **tableau 2** définit les distances horizontales minimales entre les installations à courant fort et les conduites. Lorsque la distance dépend du courant, la part du courant de mise à la terre qui pénètre dans le sol doit être prise en compte pour l'évaluation du courant qui passe à la terre. Les parts de courant qui transitent par les câbles de garde ou les blindages de câbles peuvent être négligées.

Installation à courant fort (tension d'exploitation)	Distance horizontale minimale par rapport à la conduite
conducteurs nus ou isolés de lignes aériennes :	d1
jusqu'à 50 kV	3 m
plus de 50 kV	10 m
Structures portantes y c. mises à la terre*	d2
jusqu'à 50 kV	3 m
plus de 50 kV	0,5 m par kA de courant qui passe à la terre, minimum 3 m
Centrales électriques, sous-stations, installations de couplage, y c. mises à la terre	d3
jusqu'à 100 kV	0,5 m par kA de courant qui passe à la terre, minimum 10 m
plus de 100 kV	30 m

Tableau 2 Distances horizontales minimales en cas de proximité ou de parallélisme d'installations à courant fort et de conduites, au regard des influences ohmiques (illustration 1)

* : Les fondations en béton armé des mâts font intégralement partie de la mise à la terre du mât.

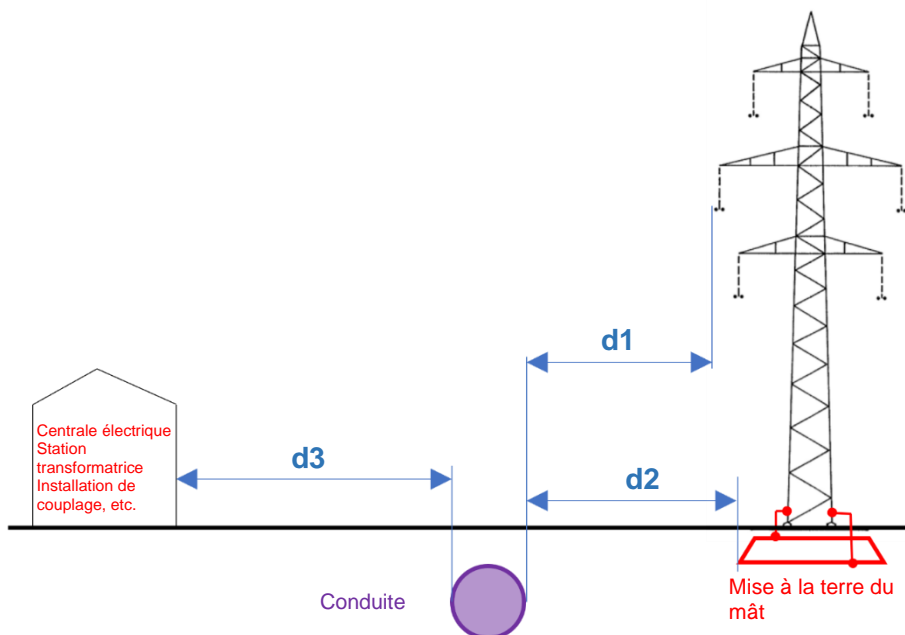


Illustration 1 Proximité d’installations à courant fort et de conduites

Selon l’art. 127 OLEI [1], aux points de croisement avec des lignes aériennes à courant fort, les conduites doivent être enfouies et leur recouvrement doit être au minimum de 1 m (illustration 2).

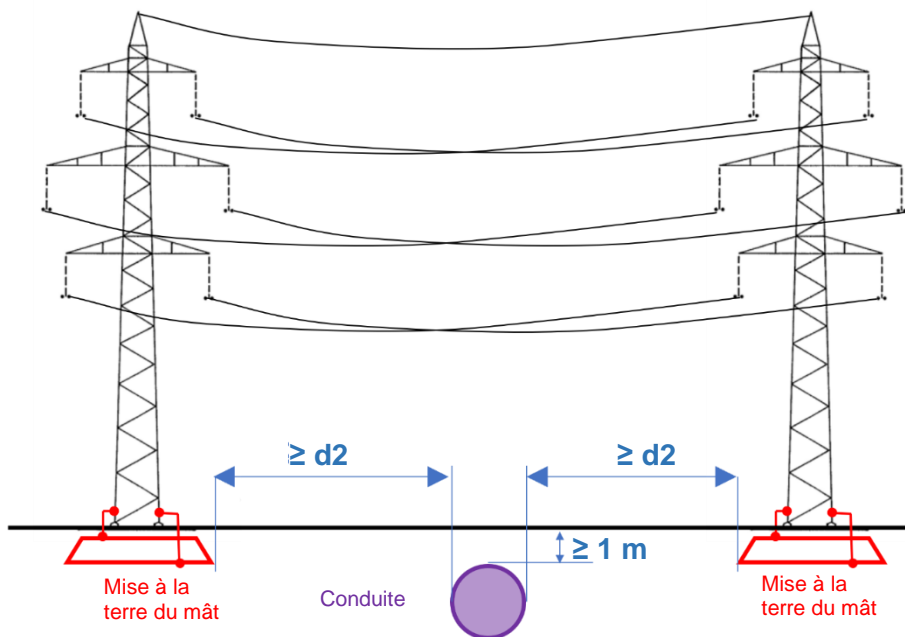


Illustration 2 Croisement de la ligne aérienne avec la conduite

3.3 Distances minimales entre les lignes en câbles électriques et les conduites souterraines

Lignes en câbles (tension de d'exploitation)	jusqu'à 50 kV	plus de 50 kV	
Lignes en câbles parallèles à la conduite (illustration 3)	Couche de terre de 2 m	0,5 m par kA de courant qui passe à la terre, minimum 3 m	d4
Croisement d'une ligne en câbles à courant faible ou fort avec une conduite (illustration 4)		0,5 m	

Lorsque la ligne en câbles présente une isolation supplémentaire (p. ex. tuyau de protection en plastique, batterie de tubes*), la distance peut être réduite à une couche de terre de 0,5 m (illustration 3). L'art. 11 OSITC demeure réservé.

Tableau 3 Distances minimales entre les lignes en câbles souterraines à courant faible ou fort et les installations de transport par conduites
 * : Les tubes de protection pour câbles en plastique sont considérés comme une isolation supplémentaire. Pour les jonctions de tubes de protection par chambre à câbles présentant des liaisons de mise à la terre avec le dispositif de mise à la terre de lignes à courant fort (gainnes de câbles, parasurtensions, etc.) lors de leur exploitation, les distances selon d4 s'appliquent.

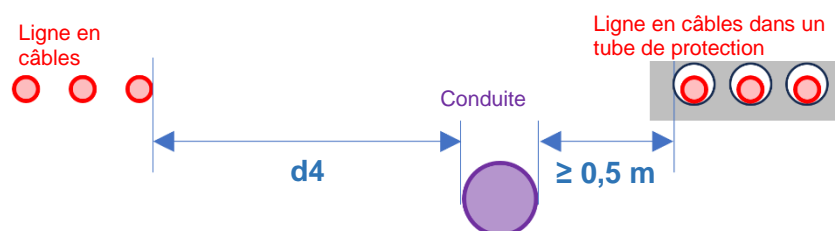


Illustration 3 Proximité de la ligne en câbles à courant fort avec les installations de transport par conduites

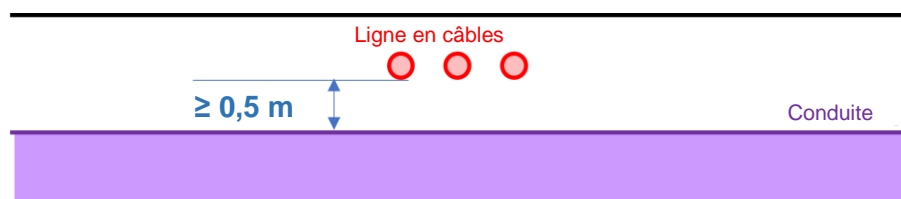


Illustration 4 Croisement de la ligne en câbles avec la conduite

4. Bibliographie

- [1] RS 734.31 « Ordonnance sur les lignes électriques (OLEI) » du 30 mars 1994 (état le 1^{er} juillet 2021)
- [2] RS 734.31 « Ordonnance sur les lignes électriques (OLEI) » du 30 mars 1994 (état le 1^{er} septembre 2009)
- [3] RS 734.31 « Ordonnance sur les lignes électriques (OLEI) » du 30 mars 1994 (état le 30 mars 1994)

- [4] RS 746.11, « Ordonnance sur les installations de transport par conduites de combustibles ou carburants liquides ou gazeux (Ordonnance sur les installations de transport par conduites, OITC) » du 26 juin 2019 (état le 1^{er} juillet 2023)
- [5] RS 746.12, « Ordonnance concernant les prescriptions de sécurité pour les installations de transport par conduites (OSITC) » du 4 juin 2021 (état le 1^{er} juillet 2023)
- [6] RS 746.12, « Ordonnance concernant les prescriptions de sécurité pour les installations de transport par conduites (OSITC) » du 4 avril 2007 (état le 1^{er} août 2019)
- [7] SfB, TE7 « Maßnahmen beim Bau und Betrieb von Rohrleitungen im Einflussbereich von Hochspannungs-Drehstromanlagen und Wechselstrom-Bahnanlagen », Schiedsstelle für Beeinflussungsfragen SfB, Deutsche Bahn AG, Deutsche Telekom AG, Verband der Elektrizitätswirtschaft VDEW e.V., TE7 octobre 2006, texte identique à la recommandation AfK n° 3, Arbeitsgemeinschaft DVGW/VDE für Korrosionsfragen (AfK), DVGW Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V. 53123 Köln, Josef-Wirmer-Strasse 1-3
- [8] SN EN IEC 60071-1 : 2019-10 « Coordination de l'isolement - Partie 1 : définitions, principes et règles »
- [9] Swissgas, « Fiche technique des distances minimales de sécurité par rapport aux installations de transport par conduites » du 30.06.2010.
- [10] Berger K., « Das Verhalten von Erdungen unter hohen Stossströmen », Bull. ASE vol. 37, (1946), cahier 8, p. 197 à 211
- [11] Berger K. ; « Le comportement des prises de terre sous courants de choc de grande intensité » ; Cigré session 1946, papier 320
- [12] Berger K., Baumann W. ; « Die Gefährdung von Rohrleitungen im Spannungstrichter von Hochspannungs-Erdungen » ; Bull. ASE vol. 60 (1969), cahier 12, p. 525 à 534
- [13] Mousa A. M. ; « The soil ionization gradient associated with discharge if high currents into concentrated electrodes » ; IEEE Transaction on Power Delivery, vol. 9, n° 3, (1994), p. 1669 à 1677
- [14] Nor N. M., Haddad A., Griffiths H. ; « Determination of threshold electric field EC of soil under high impulse currents » ; IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 20, n° 3, p. 2108 à 2113, Juillet 2005
- [15] Nixon K. J., Jandrell I. R., Philips A. J. ; « A simplified model of the lightning performance of a driven rod earth electrode in multi-layer soil that includes the effect of soil ionisation » ; Conference Record of the IEEE Industry Applications Conference on the occasion of the 41st IAS Annual Meeting ; 2006, p. 1821 à 1825
- [16] Sprecher E. ; « Untersuchungen über den Erdungswiderstand verschiedener Bodenarten und die Vorausberechnung der Elektroden » ; Bull. ASE vol. 25, cahier 15, 1934
- [17] SN EN 50443 : 2012-08 ; « Effets des perturbations électromagnétiques sur les canalisations causées par les systèmes de traction électrique ferroviaire en courant alternatif et/ou par les réseaux électriques H.T. en courant alternatif »

Auteurs :

ESTI : Günther Storf, Daniel Otti
ERI : Roger Bächtiger, Stephan Messerschmid
SSIGE : Matthias Hafner, Tobias Mühle

Axpo : Toni Wunderlin
FKH : Reinhold Bräunlich, Philipp Alff
SKG : Markus Büchler