

Commission Protection Cathodique et Revêtements Associés

**Recommandations pour la compatibilité entre mises à la terre
et protection cathodique**

AVERTISSEMENT : La présente recommandation a été établie par consensus par les membres de la commission Protection Cathodique et Revêtements Associés du CEFRACOR. Elle représente l'avis général de la profession et peut donc être à ce titre utilisée comme une base reflétant au mieux l'état de l'art au moment de sa publication. Elle ne saurait néanmoins engager de quelque façon que ce soit le CEFRACOR et les membres de la Commission d'étude qui l'ont établie.

SOMMAIRE

1) OBJECTIF	2
2) RÉFÉRENCES REGLEMENTAIRES, NORMATIVES ET PROFESSIONNELLES.....	2
2.1) DOCUMENTS DE REFERENCE FRANÇAIS	2
2.2) DOCUMENTS DE REFERENCE ETRANGERS	3
3) EXPOSÉ DES PROBLÈMES	3
3.1) DEFINITIONS.....	3
3.2) CIRCUIT DE TERRE	4
3.3) INFLUENCES ELECTRIQUES DUES AUX LIGNES HAUTE TENSION DE TRANSPORT D'ENERGIE ELECTRIQUE AERIENNES (SPECIFIQUES AUX PIPELINES)	4
3.4) L'INTERCONNEXION DES MASSES METALLIQUES	4
4) SOLUTIONS PRÉCONISÉES	5
4.1) SEPARATION DES CIRCUITS AVEC UN JOINT ISOLANT	6
4.2) STRUCTURES NON ISOLEES PAR DES JOINTS ISOLANTS	6
4.2.1) <i>Mise à la terre ayant un potentiel d'environ –1 V par rapport à Cu- CuSO₄ saturé (cas du câble en acier galvanisé).....</i>	6
4.2.2) <i>Cloisonnement des mises à la terre</i>	6
4.2.3) <i>Prise en compte des mises à la terre dans le dimensionnement de la protection cathodique.....</i>	7
5) MATERIELS D'ISOLEMENT ET DE PROTECTION.....	7
5.1) JOINTS ISOLANTS	7
5.2) PROTECTION DES JOINTS ISOLANTS.....	8
5.2.1) <i>Cellules de découplage en courant continu</i>	8
5.2.2) <i>Eclateur de ligne</i>	8
5.3) PROTECTION DES ALIMENTATIONS ELECTRIQUES DES EQUIPEMENTS.....	8
5.4) MISE A LA TERRE DE L'ALTERNATIF SANS AFFECTER LA PROTECTION CATHODIQUE ...	9
6) CAS DES EMPLACEMENTS A RISQUE D'EXPLOSION ET STATIONS SERVICE	10
7) CAS DES EMPLACEMENTS A RISQUE D'EXPLOSION ET STRUCTURES COMPLEXES ; STATION DE COMPRESSION, STOCKAGE SOUTERRAIN, POSTE D'INTERCONNEXIONS.....	10

ANNEXE 1 : CAS D'UN SITE INDUSTRIEL : STATION DE COMPRESSION, STOCKAGE, STATION D'INTERCONNEXION 12

1) OBJECTIF

L'objectif de ce document est de clarifier l'interaction entre les mises à la terre d'un ouvrage et sa protection cathodique et de trouver les meilleurs compromis pour assurer l'efficacité de celle-ci tout en respectant les impératifs réglementaires sur la protection des personnes vis-à-vis des risques électriques.

Note : Les contraintes spécifiques CEM (compatibilité électromagnétique) et les techniques qui permettent d'éviter leurs effets indésirables ne sont pas abordées dans ce document. Il reste à les prendre en compte avec l'évolution des techniques dans ce domaine.

2) RÉFÉRENCES REGLEMENTAIRES, NORMATIVES ET PROFESSIONNELLES

2.1) Documents de référence français

Décret N° 88 1056 du 14 Novembre 1988	1988	Protection des travailleurs dans les établissements qui mettent en œuvre des courants électriques.
Arrêté du 31 Mars 1980	1980	Réglementation des installations électriques des établissements réglementés au titre de la législation sur les installations classées et susceptibles de présenter des risques d'explosion.
Arrêté du 28 Janvier 1993	1993	Protection contre la foudre de certaines installations classées (SEVESO).
Arrêté du 28 Octobre 1993	1993	Circulaire d'application de l'arrêté du 28 Janvier 93
Arrêté du 17 Mai 2001	2001	Energie électrique - 'conditions techniques auxquelles doivent satisfaire les distributions d'énergie électrique
Arrêté du 15 janvier 2008	2008	Protection foudre abroge l'arrêté du 28 janvier 1993
Arrêté du 19 décembre	2008	Arrêté relatif aux prescriptions générales applicables aux installations classées soumises à déclaration sous la rubrique n° 1434 (Installation de remplissage ou de distribution de liquides inflammables)
Arrêté du 19 décembre	2008	Arrêté fixant les règles générales et prescriptions techniques applicables aux stations-service soumises à autorisation sous la rubrique n° 1434 (Installation de remplissage ou de distribution de liquides inflammables)
Arrêté du 22 décembre	2008	Arrêté relatif aux prescriptions générales applicables aux installations classées soumises à déclaration sous la rubrique n° 1432 (Stockage en réservoirs manufacturés de liquides inflammables)
NF C 15 100 du 13 Mai 1991	1991	Installations électriques à basse tension. Chapitres 44 Protection contre les surtensions, et 54 Mises à la terre et conducteurs de protection
NF C 15.106 du 26 Mai 1993	1993	Guide pratique- Section des conducteurs de protection, des conducteurs de terre et des conducteurs de liaisons équipotentielles.
NF C 17.102	1995	Protection des structures contre la foudre. Installation de paratonnerres à pointes ionisantes
NF A 05.613	1995	Protection électrochimique contre la corrosion. Protection cathodique des cuvelages de puits

NF C 17. 100	1997	Protection des structures contre la foudre. Installation de paratonnerres
NF EN 12954	2001	Protection cathodique des structures métalliques enterrées ou immergées. Principes généraux et application pour les canalisations.
NF EN 13636	2004	Protection cathodique des réservoirs métalliques enterrés et tuyauteries associées
NF EN 14505	2005	Protection cathodique des structures complexes
NF EN 15112	2006	Protection cathodique externe des cuvelages de puits
prEN 11636	2005	Influences électromagnétiques des voies ferrées sur les canalisations enterrées
prEN 50443	2009	Applications ferroviaires – Installations fixes - Effets des perturbations électromagnétiques causées par les lignes ferroviaires en courant alternatif sur les canalisations
UIC Cahier Technique 1991	1991	Recommandation pour la protection des installations industrielles contre les effets de la foudre et des surtensions
UIC Complément au Cahier Technique 1991	1993	Recommandation pour la protection des installations industrielles contre les effets de la foudre et des surtensions pour l'application de l'arrêté du 28 Janvier 1993 concernant la protection contre la foudre de certaines installations classées
UIC N° DT 67 Rapport GESIP N°94/02 version 2000	2000	Recommandation pour la protection des installations industrielles contre les effets de la foudre pour l'application de l'arrêté du 28 Janvier 1993 concernant la protection contre la foudre de certaines installations classées
GESIP 94-02	1994	Analyse du scénario « effet ZIP » sur les réservoirs de stockage atmosphérique

2.2) Documents de référence étrangers

NACE RP0177-2000	2000	Mitigation of alternating Current and Lightning Effects on Metallic Structures and Corrosion Control Systems
NACE RP0193-2001	2001	External Cathodic Protection of On-Grade Metallic Storage Tank Bottoms
NACE RP0286-2002	2002	Electrical Isolation of Cathodically Protected Pipelines
API RP 651	1997	Cathodic Protection of Aboveground Petroleum Storage Tanks

3) EXPOSÉ DES PROBLÈMES

3.1) Définitions

Mise à la terre (« earthing » en anglais)

Le terme de « mise à la terre » est utilisé quand on parle du contact d'un élément conducteur dans le sol pour en obtenir son potentiel local. Dans un premier temps, ce terme ne traite que de la sécurité des personnes évoluant sur le sol et susceptibles d'être en contact direct avec des masses métalliques portées sous tension. Il est l'équivalent de la "prise de terre".

Mise à la masse (« grounding » en anglais)

Le terme de « mise à la masse » est utilisé quand on parle de l'utilisation de ce potentiel de la terre, dite lointaine, comme par exemple au 3° étage d'un immeuble où il n'y a plus de terre. Il est l'équivalent de la "masse". Dans un premier temps, il ne traite que de la sécurité des personnes (tensions dangereuses) et des biens (courant de défaut des distributions électriques). C'est donc en principe seulement un potentiel de référence.

Ces deux termes sont parfois confondus, du fait que la mise à la terre joue souvent le rôle de mise à la masse. C'est le cas par exemple pour les réseaux maillés enterrés en cuivre nu dans les installations industrielles. Seule la mise à la terre à une incidence sur la protection cathodique.

3.2) Circuit de terre

Fondamentalement, le problème abordé dans ce document est basé sur l'incompatibilité qu'il y a entre, d'une part les normes en vigueur qui imposent une interconnexion de toutes les structures métalliques, et d'autre part la bonne application de la protection cathodique qui doit protéger les structures métalliques enterrées (canalisation acier de gaz). En effet, l'interconnexion des structures métalliques implique également une mise à la terre commune de toutes ces structures.

Les mises à la terre traditionnellement réalisées en cuivre nu (utilisé pour ses propriétés de stabilité dans le temps) posent les problèmes suivants au niveau de la protection cathodique :

- Un circuit de terre en cuivre relié à la structure sous protection cathodique peut consommer plus de 90% des courants de protection. En effet, dans le sol, le cuivre est nettement plus électropositif que l'acier, il lui faut beaucoup plus de courant que l'acier pour se polariser. Suivant la configuration, il peut être même impossible de polariser correctement la structure en acier.
- Si la protection cathodique n'est plus efficace, il y a un risque de corrosion des structures par couplage galvanique entre le cuivre et l'acier, au détriment de l'acier.
- L'effet du courant de protection cathodique peut entraîner un dépôt calcomagnésien à la surface du cuivre, ce qui peut, dans certain cas, selon la nature du sol, entraîner une augmentation de la résistance de terre.
- De nombreux autres inconvénients peuvent être listés (liste non exhaustive) : hétérogénéité de la protection cathodique difficile à régler en fonction des zones à proximité ou non des terres électriques (surprotection et sous protection se côtoyant), difficultés à effectuer des mesures fiables notamment à la coupure du courant de protection cathodique (le potentiel du cuivre masquant les autres), critère de protection cathodique des 100 mV non applicable, difficulté d'envisager une protection par anodes galvaniques, etc.

3.3) Influences électriques dues aux lignes haute tension de transport d'énergie électrique aériennes (spécifiques aux pipelines)

La présence d'une ligne haute tension (HTB) à proximité d'une canalisation peut être source d'influences électriques dangereuses pour cet ouvrage, aussi bien lors de l'exploitation normale de la ligne HT que lorsque des défauts se produisent sur la ligne.

Il existe en effet deux types d'influences du courant alternatif sur les structures enterrées :

- a) Influence de courte durée causée par la défaillance d'une ligne HTB en courant alternatif et par des changements opérationnels (effets conductifs et/ou inductifs). A proximité d'un pylône de réseau de transport d'énergie, lors d'un défaut d'isolement de la ligne HTB, la différence de potentiel entre le pipeline (au potentiel de la terre lointaine) et le sol local (mise à la terre du pylône) peut atteindre plusieurs kilovolts et peut se traduire par le percement de la canalisation et la transmission de tensions dangereuses le long de la canalisation. L'arrêté interministériel du 17 mai 2001 développe dans son article 75 les dispositions à mettre en œuvre au voisinage de lignes électriques et canalisations métalliques, tant pour les problèmes de conduction que d'induction.
- b) Influence de longue durée causée par induction lors du fonctionnement en régime normal de la ligne HTB (effets inductifs). Par exemple, la sécurité du personnel n'est plus assurée lorsque la tension entre la structure et le sol dépasse la valeur de la tension de sécurité (60 V alternatif par rapport à la terre lointaine pour les pipelines, arrêté du 17 mai 2001 et prEN 50443). La tension produite par induction permanente d'une ligne HTB sur une canalisation enterrée voisine peut dépasser cette valeur. De plus, des tensions alternatives permanentes de quelques volts peuvent induire des risques de corrosion au droit de « petits » défauts d'isolement sur une canalisation ayant un revêtement en très bon état.

3.4) L'interconnexion des masses métalliques

Les raisons motivant le choix de l'interconnexion des masses métalliques sont importantes. Il convient de bien les connaître afin d'envisager des solutions acceptables pouvant amener à concilier les

différentes incompatibilités entre les normes applicables à l'interconnexion et celles applicables à la protection cathodique.

Il faut bien séparer les risques dus à la foudre et aux phénomènes de surtension pouvant causer des dégâts aux appareils électriques, des risques d'électrisation ou d'électrocution des personnes et des moyens d'assurer leur protection.

Pour les risques foudre, on pourrait en théorie ne pas mettre de maillage de terre ; elle est inutile pour la notion d'équipotentialité évoquée ci-dessus avec l'interconnexion des masses métalliques. Par ailleurs, les résistances de terre des maillages de terre que l'on mesure à basse fréquence (50 Hz) n'ont rien à voir avec la valeur de leur impédance qui est à considérer à très haute fréquence (telle lors d'un coup de foudre). En fait, les mises à la terre ne sont d'aucune utilité pour l'évacuation des courants de foudre. Elles servent uniquement pour la protection des personnes contre les risques liés aux tensions à fréquence industrielle. Elles sont de ce fait rendues obligatoires par la législation en vigueur.

Pour assurer la protection des personnes, le principe consiste à éviter une différence de potentiel réputée dangereuse entre deux régions du corps humain. Dans le cas d'une prise de potentiel, par exemple, il faudra installer une mise à la terre à l'endroit où l'individu est susceptible de toucher un point à un potentiel différent de celui où ses pieds sont en contact avec le sol.

Une personne est susceptible également d'être exposée à une différence de potentiel si elle touche deux parties isolées électriquement l'une de l'autre (par exemple deux structures métalliques séparées par un joint isolant). C'est cette raison qui justifie l'interconnexion des structures métalliques.

A ce titre, l'article 543.3 de la norme C15100 « Liaisons équipotentielle fonctionnelles » précise :

« Si une liaison équipotentielle est réalisée pour des raisons fonctionnelles, elle inclut les écrans de câbles, les éléments métalliques de la construction, les éléments métalliques des canalisations électriques, les canalisations de liquides et de gaz ».

Par interconnexion des masses métalliques on entend donc l'interconnexion des structures (y compris le ferrailage de béton armé et les ceintures de terre « bâtiment »), les mises à la terre du site (sécurité du personnel) et les protections contre la foudre.

L'objectif essentiel est d'assurer un chemin de retour privilégié de moindre résistance pour les courants vers la terre. De plus, le gradient de potentiel créé à la surface du sol au passage du courant est diminué par rapport à ce qu'il serait sur des terres individuelles (protection du personnel). L'interconnexion permet également une redondance utile en cas de rupture d'un câble ou d'autre liaison.

A ce titre, l'article 424.12 de la norme C15100 précise que :

« Des liaisons équipotentielles doivent être réalisées entre les masses et les éléments conducteurs étrangers aux installations électriques (éléments métalliques de la construction, armatures du béton, canalisation métalliques, appareils non électrique, etc...). .../... »

Les liaisons métalliques sous protection cathodique et les enveloppes des matériels à sécurité intrinsèque peuvent ne pas être raccordés à la liaison équipotentielle. »

Pour la protection des appareils électriques contre la foudre, le principe consiste à réaliser une bonne équipotentialité des structures métalliques interconnectées pour permettre une évolution uniforme des potentiels (c'est la différence de potentiel entre les différents éléments d'un composant qui entraîne des dégradations). C'est pour cette raison que les longueurs des câbles ou autres liaisons (tresses par exemple) doivent être les plus courtes possibles au niveau des jonctions entre les zones qui doivent être équipotentielles.

Il est de toute façon illusoire de vouloir éviter les circulations de courant « élevés » sur des temps extrêmement courts.

4) SOLUTIONS PRÉCONISÉES

Toutes les solutions envisagées sur le plan électrique et qui conduisent à un équipement particulier sur la structure doivent rester compatibles avec la protection cathodique.

Les alternatives proposées et acceptées par les organismes de contrôle vont consister à contourner l'interconnexion effective des masses métalliques tout en apportant une réponse adéquate aux raisons pour lesquelles cette interconnexion est demandée.

4.1) Séparation des circuits avec un joint isolant

Le joint isolant sépare un ouvrage aérien mis à la terre de façon classique d'une canalisation enterrée mise sous protection cathodique, c'est-à-dire placée à un potentiel d'environ -1 V par rapport à une électrode de référence Cu-CuSO₄ saturée. Cette canalisation enterrée est considérée comme « isolée » par rapport au sol, surtout avec les revêtements modernes à fort isolement et peut subir des influences électriques (voir paragraphe 3.2). Pour ne pas rendre inefficace la protection cathodique, il ne faut pas relier directement cette canalisation à une mise à la terre classique en cuivre ; voir les solutions possibles au paragraphe suivant.

Les longues canalisations protégées par des revêtements de type « ancien » présentant une résistance de terre généralement plus faible que les revêtements modernes (pouvant être inférieure à 1 ohm) peuvent être considérées comme une « mise à la terre » ; d'ailleurs, les influences de lignes électriques haute tension exposées en 3.2 ne les concernent pas.

Un système de protection (cellule de polarisation ou autre, voir paragraphe 5) doit être installé en dérivation du joint isolant. La protection du personnel est assurée si la tension d'amorçage du dispositif de protection est faible. Si cette tension d'amorçage reste dangereuse pour l'homme (cas avéré avec un éclateur de ligne ou sans système de protection sur joint isolant non shunté), la protection contre le risque dû à la différence de potentiel de part et d'autre du joint isolant va consister à rendre impossible le contact simultané par une personne des deux cotés en rendant l'ensemble inaccessible (capotage isolant ou revêtement adapté sur une longueur suffisante, etc.).

4.2) Structures non isolées par des joints isolants

L'absence des joints isolants peut être volontaire (pose d'un shunt) ou accidentelle (défaut d'isolement du joint). Il faut alors éviter les inconvénients exposés en 4.1.

4.2.1) Mise à la terre ayant un potentiel d'environ -1 V par rapport à Cu-CuSO₄ saturé (cas du câble en acier galvanisé)

Pour les structures complexes pourvues d'une protection cathodique, il est recommandé de réaliser le réseau de terre en acier galvanisé au lieu de cuivre. La demande en courant est plus faible qu'avec le cuivre, les pertes sont donc amoindries et le couplage galvanique reste favorable à l'acier. Il reste bien entendu qu'il faut éviter de mixer les prises de terre cuivre et acier galvanisé dans une même zone géographique sur une même structure. Cette solution est donc possible pour une installation nouvelle ou en déconnectant l'ancienne installation de mise à la terre en cuivre pour une installation existante.

De la même façon, une solution de ce type est bien adaptée à une petite installation isolée, une chambre à vanne de ligne, une gare racleur. Au niveau du risque du toucher, la mise à la terre conventionnelle peut être remplacée par un caillebotis en acier galvanisé ou un ruban en zinc posé en spirale, enterré près de la surface du sol et situé au pied de la vanne et relié au pipeline. Cette installation entraîne moins de perte de courant au niveau de la protection cathodique mais risque, selon la position de l'électrode de référence, d'influencer les mesures de potentiel de l'ouvrage.

La mise à la terre de certaines petites structures (réservoir GPL petit vrac) peut être réalisée par les anodes galvaniques elles-mêmes. Les anodes galvaniques jouent en effet le rôle de prise de terre, et hormis leur dégradation dans le temps qui doit être surveillée, elles remplacent avantageusement les prises de terre. Il est parfois recommandé de leur adjoindre quelques piquets en acier galvanisé pour écouler des courants de défaut importants et sécuriser ainsi la prise de terre dans le temps si sa surveillance n'est pas jugée assez sûre.

4.2.2) Cloisonnement des mises à la terre

L'absence de mise à la terre pour les gros réservoirs enterrés se justifie car ils jouent eux-mêmes le rôle de prise de terre (Guide GESIP 94-02 / 6.1.3.1).

Pour une petite installation, une autre possibilité consiste en une mise à la terre ponctuelle et provisoire, effective uniquement lors de la présence de personnel avec toutes les sécurités pour que cette mise à la terre en acier galvanisé (et sa suppression après l'intervention du personnel) soit réalisée systématiquement avec l'ouverture/fermeture de la porte d'entrée de l'installation, par exemple. La protection cathodique reste efficace en dehors du temps d'intervention. Le risque de corrosion est donc très limité dans le temps ce qui est admissible.

Cependant, ce système doit être accompagné de sécurité adapté pour éviter l'ouverture/fermeture intempestive de la porte d'entrée pendant une opération de mesurage ou de maintenance qui pourrait être dangereuse pour l'opérateur.

La mise en place des cellules de découplage en courant continu permet de maintenir une protection cathodique efficace et de mettre à la terre l'installation.

Pour des raisons liées à l'environnement, de plus en plus de membranes étanches, qui sont d'excellents diélectriques, sont installées autour de structures de stockage enterrées (par exemple fonds de bacs). Ces membranes permettent de diminuer considérablement voire d'annuler les problèmes de compatibilité avec les mises à la terre, car le système de protection cathodique (anodes) est alors confiné entre la membrane et la structure à protéger, tandis que les mises à la terre sont à l'extérieur de cette membrane.

De manière similaire, on peut profiter des installations nouvelles réalisées dans une enceinte close (par exemple sarcophage béton) pour recouvrir les parois de cette enceinte par une isolation électrique du type polyane ou autre (paramètre très important pour les études de protection cathodique).

4.2.3) Prise en compte des mises à la terre dans le dimensionnement de la protection cathodique

Cette alternative consiste à prendre en compte toutes les surfaces métalliques annexes (terre, tuyauteries...) et à surdimensionner l'installation de protection cathodique (« protection cathodique globale ou intégrale »).

Ce schéma est conventionnellement appelé « protection cathodique de structures complexes ».

Le surcoût de l'installation de protection cathodique est donc en partie compensé par les économies réalisées sur la simplification de l'isolation électrique. Par ailleurs, la maintenance est réduite, car il n'est plus nécessaire de suivre l'efficacité des joints isolants, d'arrêter une production éventuellement pour les changer, de vérifier les appareillages d'isolation (éclateur, cellule...) ou de faire de coûteuses et parfois complexes recherches de mise à la terre lors de travaux périodiques pouvant amener des modifications électriques (capteurs supplémentaires, nouveaux branchements, etc.).

Ce type d'installation a comme inconvénient de perturber les mesures de protection cathodique à l'approche de ces équipements et de rendre très difficile la détection de défauts de revêtement de canalisation (méthode DCVG ou autre).

Pour une installation neuve, on peut envisager une protection cathodique locale avec des anodes implantées judicieusement dans des zones bien localisées, avec une étude approfondie du système de mise à la terre et de positionnement des prises de terre.

Il est recommandé de prévoir un éloignement important des prises de terre par rapport à la structure pour éviter leur rôle d'écran au courant de protection, en préconisant l'utilisation de câbles en cuivre gainés pour les liaisons de l'ouvrage aux prises de terre, et d'utiliser au maximum toutes les autres solutions mentionnées précédemment (prise de terre en acier galvanisé, membrane isolante autour de la structure).

5) MATERIELS D'ISOLEMENT ET DE PROTECTION

5.1) Joints isolants

a) Kit isolant : ensemble constitué par un joint de brides (réalisé dans un matériau étanche aux fluides transportés dans les conditions d'exploitation), les canons et les rondelles adaptées à la boulonnerie de serrage. L'ensemble est réalisé avec des éléments conférant à l'ensemble monté une résistance supérieure à 100 MΩ pour une tension a.c. d'utilisation d'au plus 1 kV.

b) Raccord isolant monobloc de type Haute Tension. La tension d'essai en usine est de 10 kV alternatif dans le cas où il faut se prémunir des montées en tensions induites par phénomène d'induction mutuelle. La contrainte électrique appliquée à une conduite d'hydrocarbures ne doit pas dépasser 5 kV (arrêté interministériel du 17 mai 2001).

5.2) Protection des joints isolants

Pour éviter d'amorcer un arc dans le joint isolant par des courants de défaut ou la foudre, il faut pouvoir écouler quelques milliers d'ampères pendant un temps bref à travers un dispositif installé en dérivation du joint isolant.

5.2.1) Cellules de découplage en courant continu

Une première catégorie de dispositifs bloque les courants continus jusqu'à un certain seuil (différence de potentiel entre l'entrée et la sortie du dispositif). Au delà de ce seuil, le dispositif est passant avec une très faible résistance (mΩ). Ce seuil est supérieur aux tensions de protection cathodique, mais reste inférieur aux tensions dangereuses pour l'homme. Ces dispositifs écoulent aussi les courants alternatifs qui pourraient éventuellement créer un danger pour l'homme et des risques de corrosion. Citons :

- a) Les cellules de polarisation ou « cellules humides », constituées de plaques en nickel plongées dans un électrolyte liquide de potasse et qui fonctionnent suivant des principes électrochimiques. Ces cellules de polarisation nécessitent une maintenance pour compléter l'électrolyte ainsi qu'une protection contre le gel.
- b) D'autres dispositifs composés d'éléments électroniques souvent associées entre eux (diodes, condensateurs, éclateurs..) et de calibres adaptés.

Ces dispositifs peuvent être conformes ATEX (matériel utilisable en ATmosphère EXplosive) ou intégrés dans un boîtier conforme ATEX.

5.2.2) Eclateur de ligne

L'éclateur de ligne bloque les courants (continus et alternatifs) jusqu'à une tension d'amorçage. Il permet alors d'écouler un courant de décharge de plusieurs kA et une intensité de courant de foudre encore plus élevée pendant quelques microsecondes.

Il est donc nécessaire d'évaluer les courants de défaut (phase / terre, les risques atmosphériques,...) pour définir le calibre des éclateurs à utiliser et les protections à mettre en œuvre (3 à 100 KA).

Il permet typiquement de protéger un joint isolant en évitant de le détruire sur un choc de foudre mais sa tension d'amorçage est supérieure à la tension de sécurité pour l'homme (cf. valeurs suivant la nature de la tension dans la NF C 15 100).

Un éclateur est constitué d'une enveloppe contenant un gaz rare, neutre et isolant ou par un ensemble de composants électroniques. Les deux types peuvent être conformes ATEX.

Remarques importantes :

- Les liaisons de raccordement électriques constituant cet équipement ne doivent pas être ni modifiées ni rallongées.
- Les mêmes dispositifs peuvent servir à protéger deux structures métalliques voisines qui doivent rester isolées l'une de l'autre en limitant les risques de « claquage de l'isolant » (ex : entre un pipeline sous voies ferrées et son fourreau métallique).

5.3) Protection des alimentations électriques des équipements

Des équipements électroniques et/ou électriques peuvent être reliés électriquement à la canalisation. Ils sont généralement alimentés par le réseau électrique. Pour protéger ces équipements contre les surtensions dues à la foudre ou aux courants de défaut, il existe des parafoudres et des parasurtenseurs. Ces composants s'installent sur le circuit primaire d'alimentation électrique et /ou sur le circuit secondaire d'un redresseur, ou de tout autre appareil électrique.

Un parafoudre correspond en général à une technologie de type éclateur (à gaz, à étincelle, ...) avec de fort pouvoir d'écoulement du courant de choc de foudre, mais avec un niveau de protection en tension assez élevé (tension de choc d'amorçage $\leq \sim 3,5$ kV).

Pour les parasurtenseurs, d'autres technologies sont utilisées pour ramener le niveau de protection en tension sous 1 kV.

- a) Des varistances (elles peuvent se dégrader dans le temps, donc préférer des équipements avec voyant lumineux ou index),

- b) Des diodes Zener (surtout sur le secondaire, typiquement pont moulé de tension inverse 1600 V).

On peut également coupler un parafoudre et différents types de parasurtenseurs pour avoir des effets complémentaires.

Les caractéristiques spécifiques de ce type d'équipement sont surtout données par la capacité d'écoulement (courant nominal et maximal), le niveau de protection en tension et par le temps de montée. Le choix dépend du type de protection voulue : foudre (temps court, intensité de pointe forte) ou retour de courant (intensité plus faible mais temps plus long).

Dans tous les cas, l'efficacité d'un parasurtenseur dépend de sa capacité à limiter une surtension et accessoirement à évacuer du courant.

Certains parasurtenseurs ne possédant pas de dispositif de déconnexion thermique, ils provoquent, lors de la mise en court-circuit, la coupure du circuit d'alimentation électrique par l'ouverture de l'organe de sécurité.

Il existe notamment sur le marché un parafoudre spécifique à la protection cathodique. Il se comporte comme un gros condensateur HF jusqu'à 6 Volts puis comme un écrêteur rapide (seuil de diodes) pour soutenir le courant de foudre sous une tension de 15 Volts. Il revient à son état initial ensuite. Au-delà de 100 kA, il se met en court-circuit de sécurité.

Pour augmenter l'efficacité de ces produits, il faut, dans tous les cas, des liaisons les plus courtes possibles pour limiter les temps de réaction dus aux inductances amenées par les câbles.

Certains équipements peuvent amplifier les nuisances CEM (compatibilité électromagnétique) et d'autres au contraire les réduire.

Le choix et l'installation de tels équipements sont complexes et nécessitent souvent l'apport de sociétés spécialisées.

5.4) Mise à la terre de l'alternatif sans affecter la protection cathodique

Pour un courant induit par une ligne électrique HTB (courant alternatif de quelques ampères maximum), des mises à la terre en interposant de simples condensateurs électrochimiques de très fortes valeurs (par exemple 10 μ F) conviennent. En effet, un condensateur laisse passer un courant alternatif mais bloque le courant continu. Il n'a donc aucune influence sur la protection cathodique. Ce composant électronique ne supporte pas des tensions élevées, ni des courants élevés. En cas de surcharge, il se détériore habituellement en « circuit ouvert » comme un fusible.

D'autres solutions peuvent convenir, telle la mise à la terre polarisées par anodes galvaniques des canalisations revêtues par un revêtement très isolant comme le polyéthylène, le polypropylène, l'époxy poudre.

REMARQUES IMPORTANTES

Prise de potentiel : pour limiter le risque de contact avec le câble de la liaison d'une prise de potentiel, équiper son extrémité d'une fiche isolante IEC 1010 DN 4 mm. D'autre part, les appareils de mesure utilisés doivent être conformes à la législation.

Protection contre la foudre des appareils : la mise à la terre proprement dite n'a que peu d'influence comme il a été mentionné précédemment. A partir du moment où l'équipotentialité est respectée avec des câbles de liaison très courts, la protection des appareils est assurée. On peut donc se contenter d'intercaler un appareil du type parafoudre approprié, dans un boîtier de connexion, entre tous les câbles de mise à la terre des appareils ou composants concernés (superstructure, instrumentation, feuillards des câbles blindés etc..) et la terre commune du site.

Il convient par contre de s'assurer que tous ces équipements (éclateurs, cellules de polarisations, parasurtenseurs...) soient passants en cas de défaillance, afin d'assurer une liaison électrique synonyme de sécurité et de respect de la législation.

Dimensionnement des câbles : un câble (mise à la terre, liaison équipotentielle, protection contre la foudre) est calculé pour des conditions données (dissipation d'énergie, c'est-à-dire intensité maximum pendant un temps donné) ; il faut une note de calcul (outil de conception) avec les valeurs des paramètres prises en compte.

L'exploitant doit prévoir un programme de maintenance de tous ces équipements adapté à leur mode de défaillance. Un contrôle après un orage est souvent pratiqué. Pour des raisons de sécurité évidentes il faut arrêter tout travail sur ces équipements pendant un orage (éclair visible et/ou tonnerre audible).

6) Cas des emplacements à risque d'explosion et stations service

Il est précisé dans l'article 424.12 de la norme NF C 15100 que « *Les éléments métalliques sous protection cathodique et les enveloppes des matériels à sécurité intrinsèque peuvent ne pas être raccordés à la liaison équipotentielle* ».

Il n'est donc pas impératif de mettre à l'équipotentielle les joints isolants dans ces zones selon la NF C 15100. Cependant, il faut vérifier que les impératifs liés aux ICPE soient respectés.

Trois nouveaux arrêtés pris en décembre 2008 (cf. § 2.1), concernant les stations service, et les installations classées soumises à déclaration sous la rubrique n°1434 et 1432, mettent en avant les impératifs électriques avant la mise à l'équipotentielle.

Les textes reprennent ce même paragraphe:

« 3.7. *Mise à la terre des équipements*

Les équipements métalliques (réservoirs, cuves, canalisations) sont mis à la terre conformément aux règlements et aux normes applicables, compte tenu notamment de la nature explosive ou inflammable des produits.

Sous réserve des impératifs techniques qui peuvent résulter de la mise en place de dispositifs de protection cathodique, les installations fixes de transfert de liquides inflammables ainsi que les charpentes et enveloppes métalliques seront reliées électriquement entre elles ainsi qu'à une prise de terre unique. La continuité des liaisons devra présenter une résistance inférieure à 1 ohm et la résistance de la prise de terre sera inférieure à 10 ohms. »

D'un point de vue purement réglementaire, il est possible de ne pas mettre certains équipements à la terre selon les conditions d'exploitation. L'exploitant a alors le choix de la mise en place d'équipements de protection des hommes et/ou du matériel, du type cellule de découplage en courant continu ou éclateur en respectant parfaitement la législation en vigueur.

7) Cas des emplacements à risque d'explosion et structures complexes ; station de compression, stockage souterrain, poste d'interconnexions.

Dans un autre mode d'ingénierie, des raccords isolants aux entrées et sorties des structures complexes, qui doivent séparer deux systèmes de protection cathodique (réseaux et site industriel), peuvent être shuntés par construction par les mises à la terre présentes sur les robinets ou accessoires. En effet, ces derniers sont équipés de liaisons équipotentielles mises en place pour la protection contre les effets indirects de la foudre.

A ce titre, l'article n°424.12 de la norme C15100 précise que :

« *Des liaisons équipotentielles doivent être réalisées entre les masses et les éléments conducteurs étrangers aux installations électriques (éléments métalliques de la construction, armatures du béton, canalisation métalliques, appareils non électriques, etc.).*

Les liaisons entre les masses peuvent être réalisées par leurs conducteurs de mise à la terre, si le cheminement de ces conducteurs est proche de la plus courte distance entre les masses.

Les éléments métalliques sous protection cathodique et les enveloppes des matériels à sécurité intrinsèque peuvent ne pas être raccordés à la liaison équipotentielle. »

Dans le cadre de l'arrêté foudre du 15 janvier 2008 qui abroge l'arrêté du 28 janvier 1993, il est demandé à des cabinets d'expert de faire :

- une analyse des risques foudre,
- de réaliser une étude technique,
- de rédiger la documentation relative aux procédures d'exploitation, de vérification et de maintenance.

Les canalisations qui alimentent ces sites industriels (station de compression, stockage souterrain, poste d'interconnexions), outre des phénomènes liés à la foudre, peuvent favoriser le transit de courant de court-circuit ou être soumises à des phénomènes liés aux lignes électriques HTB (cf. § 3.2).

Nota : Art 75 de l'arrêté du 17 mai 2001 :

En cas de voisinage entre une ligne électrique HTB et une canalisation métallique de transport de gaz combustible, d'hydrocarbures liquides ou liquéfiés ou d'autres fluides, des dispositions sont à prendre pour éviter, lors de défauts dissymétriques à la terre :

- a) De détériorer les raccords isolants assurant l'isolement de la canalisation à l'entrée des installations présentant des risques tels qu'explosion ou incendie,
- b) De laisser se propager dans les installations, au-delà des raccords isolants, des tensions présentant des dangers pour les personnes ou risquant de provoquer des explosions ou incendies.

De plus, il est spécifié en commentaire de l'article 75 qu'« il est nécessaire de vérifier par calcul que, lors d'un défaut, le cumul de la contrainte électrique appliquée à la canalisation par suite d'un passage du courant de court-circuit et de celle due au phénomène d'induction est inférieur à 5 kV ».

Ainsi, ces investigations sont vouées à garantir un niveau de sécurité face aux incendies ou aux explosions lors de l'apparition d'un phénomène lié à la foudre.

Ainsi des cellules à découplage (cf. § 7.2) en courant continu peuvent être envisageables si les conditions de l'article 75 de l'arrêté du 17 mai 2001 et de la norme C15-100 art 424.12 sont vérifiées :

- une étude particulière est à réaliser pour montrer que le système mis en place obtient une impédance compatible pour le domaine de fréquence traité et permet d'écouler les contraintes électriques sans dangers pour les personnes et sans risques d'explosions ni d'incendies.
- La différence de potentiel aux bornes du matériel doit être inférieure à la tension de sécurité admissible pour les personnes en régime normal et lors de l'apparition du phénomène foudre ou de défaut HTB.
- Le calcul doit montrer que les dispositions constructives et le tracé d'une canalisation transport de gaz par rapport à son environnement électrique permet de protéger le raccord isolant et de limiter les contraintes électriques à une valeur de 5 kV.

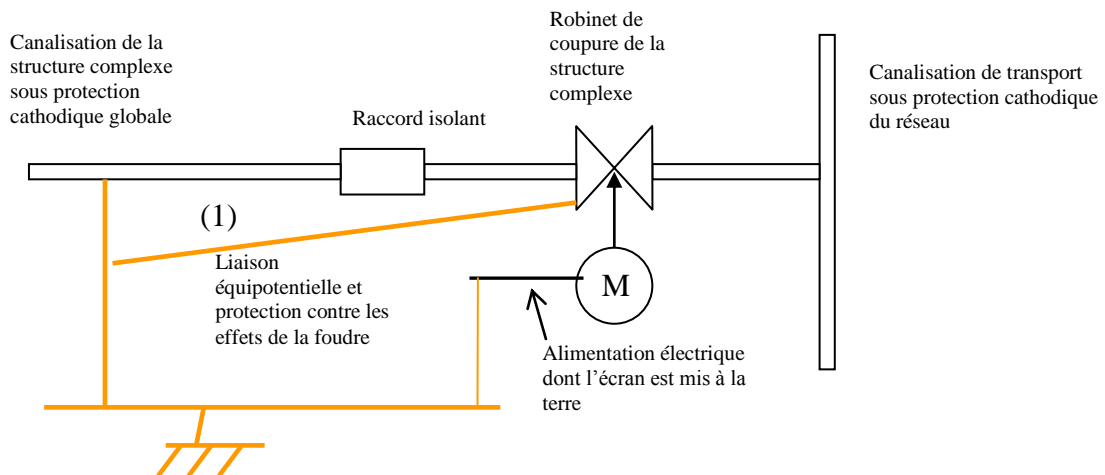
Toutefois, même si l'utilisation de la cellule permet de ne pas détériorer les raccords isolants, l'écoulement du défaut se réalisera sur le site industrielle dont le maillage de très faible résistance a été étudié et validé pour limiter la montée en potentiel et assurer la protection des personnes et des biens. L'article 75 de l'arrêté du 17 mai 2001 est donc bien respecté.

L'annexe 1 reprend un modèle de conception de protection du raccord isolant.

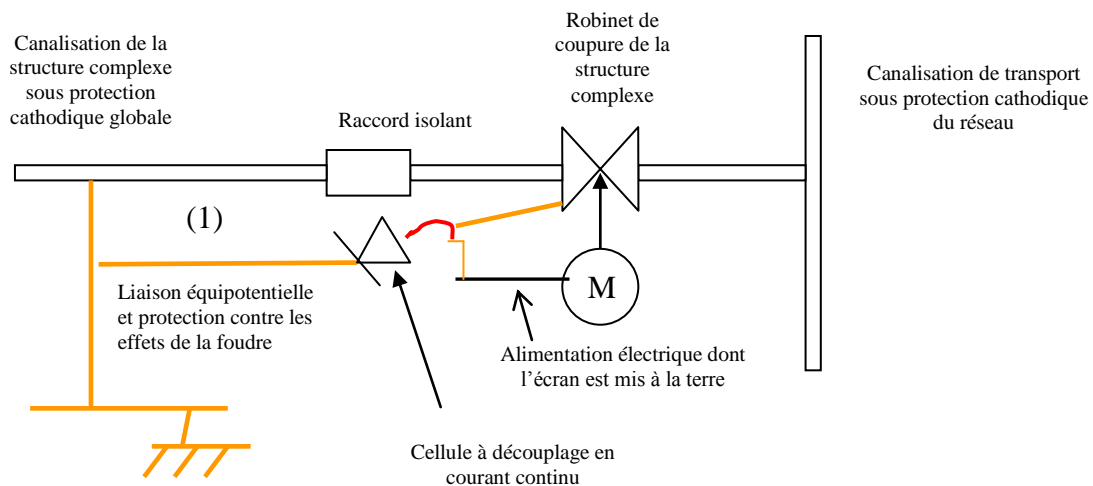
ANNEXE 1 : Cas d'un site industriel : station de compression, stockage, station d'interconnexion

Situation 1 : Le raccord isolant est shunté par la liaison équipotentielle sur le robinet de mise à la terre 1. Par conséquent, les protections cathodiques réseau et globale sont interconnectées alors qu'ils doivent être séparées.

SCHEMA DE PRINCIPE



Situation 2 : La cellule de découplage en courant continu est une solution pour séparer les deux protections cathodiques en situation normale mais permet d'écouler à la terre en cas de nécessité un courant de défaut à haute ou basse fréquence sur le réseau sans risque d'incendie comme le prévoit l'article 75 de l'arrêté du 17 mai 2001.



Situation 3 : Cas des réservoirs GPL en station service

Les réservoirs de GPL enterrés doivent être mis sous protection cathodique. Or les équipements annexes sont souvent alimentés en courant alternatif 230 V et devraient être mis à la terre.

Nous rappelons ci après les exigences de la norme EN 13636 et notamment ses annexes qui permettront d'obtenir une protection cathodique efficace et le respect des textes réglementaires.

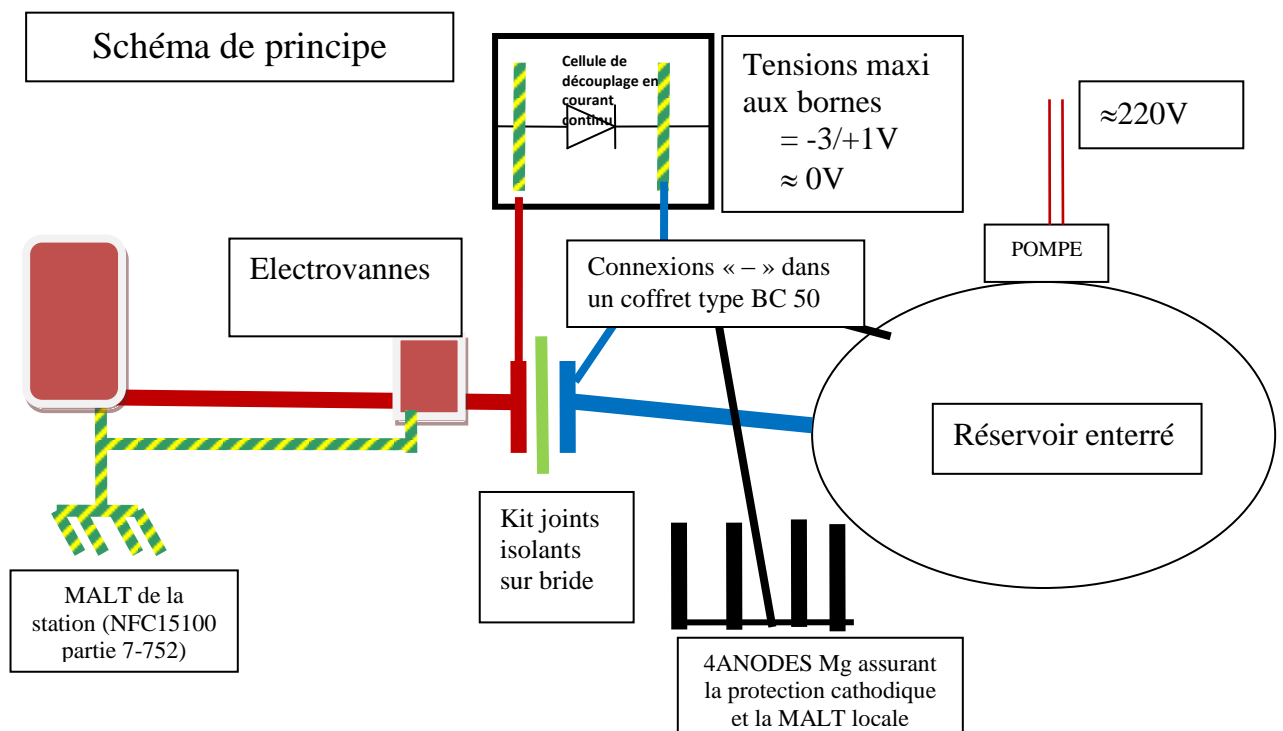
L'installation des cellules de découplage en courant continu repose sur le principe de la terre locale formée par les anodes galvaniques assurant la protection cathodique. La mise en place de la cellule de polarisation assure quant à elle une fonction de protection des personnels, en évitant une éventuelle surtension aux bornes des joints isolants en cas de défaillance de l'isolement de la pompe de GPL. Elle assure donc aussi la protection des joints isolants.

Actuellement, les cellules de polarisation disponibles sont à placer en zone 2, c'est-à-dire environ 1 à 2 m des organes type soupape de sécurité.

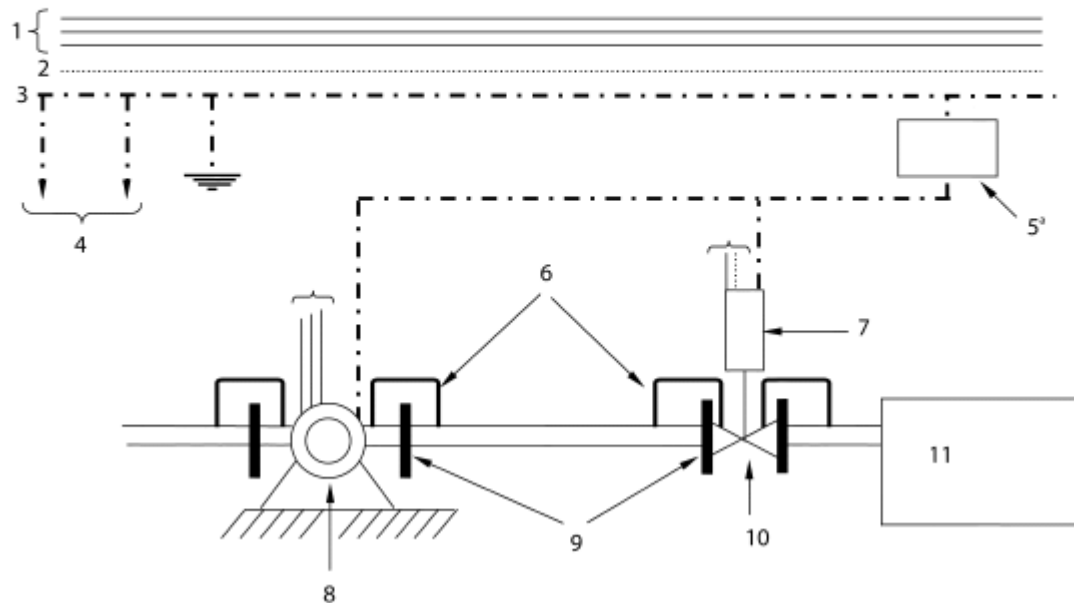
Cette contrainte limite donc leur efficacité en cas de coup de foudre, la montée en tension dans les câbles de liaison (16 mm²) peut réduire leur efficacité.

Cependant, dans le cas des stations service, la probabilité d'un coup de foudre sur le réservoir enterré plutôt que sur la station service, et sa mise à la terre spécifique, est probablement très limitée.

Dans le cas où une MALT locale doit être installée, le câble sera en acier galvanisé d'une section minimale de 50 mm² (NF C 15100 p. 271 - § 542.3.1).



A.5 Exemple avec dispositif de découplage en courant continu



Légende

- 1 Phases
- 2 Neutre
- 3 Câble de protection, mise à la terre générale
- 4 Renfort en structure en béton et métallique sans protection cathodique, système de liaison équipotentielle
- 5 Dispositif de découplage en courant continu ^{a)}
- 6 Câble de liaison
- 7 Moteur
- 8 Pompe électrique ^{b)}
- 9 Bride
- 10 Vanne électrique ^{b)}
- 11 Réservoir

a) Pour des raisons de sécurité, il est essentiel que le dispositif de découplage en courant continu assure la circulation du courant aux terres en cas de défaillance.

b) La pompe, le moteur et la vanne électrique doivent être isolés du ferrailage à béton et de toutes les structures connectées au système de terre générale

Figure A.5 — Réservoir et tuyauteries associées avec protection cathodique —
Exemple avec dispositif de découplage en courant continu