

Tensions différentielles / courants vagabonds dans les exploitations d'élevage agricole

Signification, explications et évaluation

Comité technique Mises à la terre du CES

Lorsque les animaux d'élevage présentent des troubles de la santé, des changements de comportement et que les vaches produisent moins de lait pour une raison inconnue, les éleveurs, les vétérinaires et les conseillers émettent souvent l'hypothèse que ces troubles pourraient être liés aux courants vagabonds circulant dans les espaces où se tiennent les animaux.

Étant donné que la question des éventuels troubles des animaux d'élevage suscite depuis des années un grand sentiment d'insécurité dans les milieux concernés, le Comité technique Mises à la terre du CES a déjà publié un article à ce propos en 2014. [2]

Le présent rapport explique pourquoi, dans la plupart des cas, l'hypothèse d'effets indésirables sur les humains et les animaux n'est pas fondée. En outre, il explique pourquoi ce ne sont pas les courants vagabonds qui peuvent être perçus comme gênants par les humains ou les animaux, mais les tensions différentielles, et qu'il est facile de contrôler si les tensions de contact atteignent 1 V, soit la valeur limite à laquelle leur perception peut devenir possible. Un communiqué de l'ESTI et du CT Mises à la terre présente les mesures à prendre pour éviter de telles tensions de contact. [1]

Par « courant vagabond », on entend les courants présents dans le sol et dans les éléments conducteurs des bâtiments. Ces faibles courants de circulation peuvent être détectés dans tous les bâtiments équipés d'installations électriques. Ils sont raccordés par le biais de la mise à la terre de l'installation électrique (mise à la terre du conducteur PEN). Le conducteur PEN (abréviation de protective earth neutral) est un conducteur qui remplit à la fois les fonctions du conducteur de protection (PE) et du conducteur neutre (N). Il est raccordé à la terre (terre de fondation) par le biais de la ligne de mise à la terre.

Les courants vagabonds sont également créés par le biais du champ magnétique des câbles d'alimentation en service tout comme par celui présent dans le système de mise à la terre des bâtiments ainsi que dans les autres parties conductrices des bâtiments.

Les raisons de la formation de courants vagabonds sont décrites plus en détail dans l'annexe A. Il est souvent argumenté que les champs magnétiques qui génèrent les courants vagabonds pourraient avoir des effets néfastes. Un examen plus approfondi montre toutefois que les champs magnétiques ne peuvent pas non plus être tenus pour responsables des troubles au vu de leur faible ampleur.

Les tensions parasites en tant que perturbations significatives

En cas de liaison équipotentielle insuffisante (connexions métalliques de toutes les structures conductrices), des tensions différentielles peuvent survenir entre le sol et les pièces métalliques. Comme indiqué ci-dessous, l'apparition de différences de tension plus élevées est la seule chose susceptible de perturber les animaux d'élevage. Le seuil de perception est individuel ainsi que dépendant de la situation et commence à une valeur supérieure à 1 V (il s'agit ici de la valeur efficace qui peut également contenir des harmoniques, c'est-à-dire des composantes de fréquence plus élevées, qui sont prises en compte). Sur les voltmètres numériques, cette valeur efficace est affichée en tant que moyenne quadratique de la tension dans le temps avec une constante de temps d'adaptation d'environ 0,1 ... 1 s.)

C'est pour cette raison que la littérature spécialisée de langue anglaise qui traite des troubles des animaux d'élevage relatifs à l'électricité parle uniquement, et à juste titre, de tensions parasites et non de courants vagabonds. En Amérique du Nord, où des chutes de tension nettement plus élevées apparaissent dans le système de mise à la terre en raison de concepts d'alimentation électrique des exploitations agricoles différents, des études sont plus souvent réalisées à ce propos et il existe de nombreuses publications sur l'effet des tensions parasites et sur les réactions des animaux d'élevage à ces tensions. [3, 5, 6]

Si la liaison équipotentielle est conçue conformément à la NIBT [9], les tensions parasites atteignent des valeurs de quelques mV à quelques dizaines de mV. Les courants vagabonds circulent dans les systèmes de mises à la terre essentiellement par le biais des conducteurs métalliques, par ex. dans l'acier des barres d'armature (fers d'armature) qui y sont reliées (figure 1), raison pour laquelle seules de très petites chutes de tension peuvent se produire. Des tensions différentielles de l'ordre du volt ne peuvent survenir qu'en cas de liaison équipotentielle inexistante, interrompue ou insuffisante ou en cas de défaut à la terre. En raison de la résistance électrique relativement élevée du corps des humains et des animaux, les courants corporels générés lors d'un contact avec des pièces métalliques, et ce, même en présence de tensions de quelques volts, sont si faibles que personne ne les remarque.

Toutefois, dans les étables, les animaux d'élevage peuvent effectivement percevoir et réagir à des tensions différentielles plus faibles que ce n'est le cas pour les humains au quotidien. Ceci est dû au fait que les animaux captent les tensions entre les équipements métalliques tels que les mangeoires, les abreuvoirs, les machines à traire et les sols mouillés en béton avec des parties nues de leur corps. Les vaches, par exemple, touchent les éléments métalliques avec leur museau tout en se tenant debout, avec les sabots sur le sol mouillé de l'étable. Les deux points de contact présentent une faible résistance de contact entre les surfaces conductrices et le corps de telle sorte que le rapport entre la tension différentielle et le courant de contact est donné en premier lieu par la résistance corporelle des animaux (figure 1).

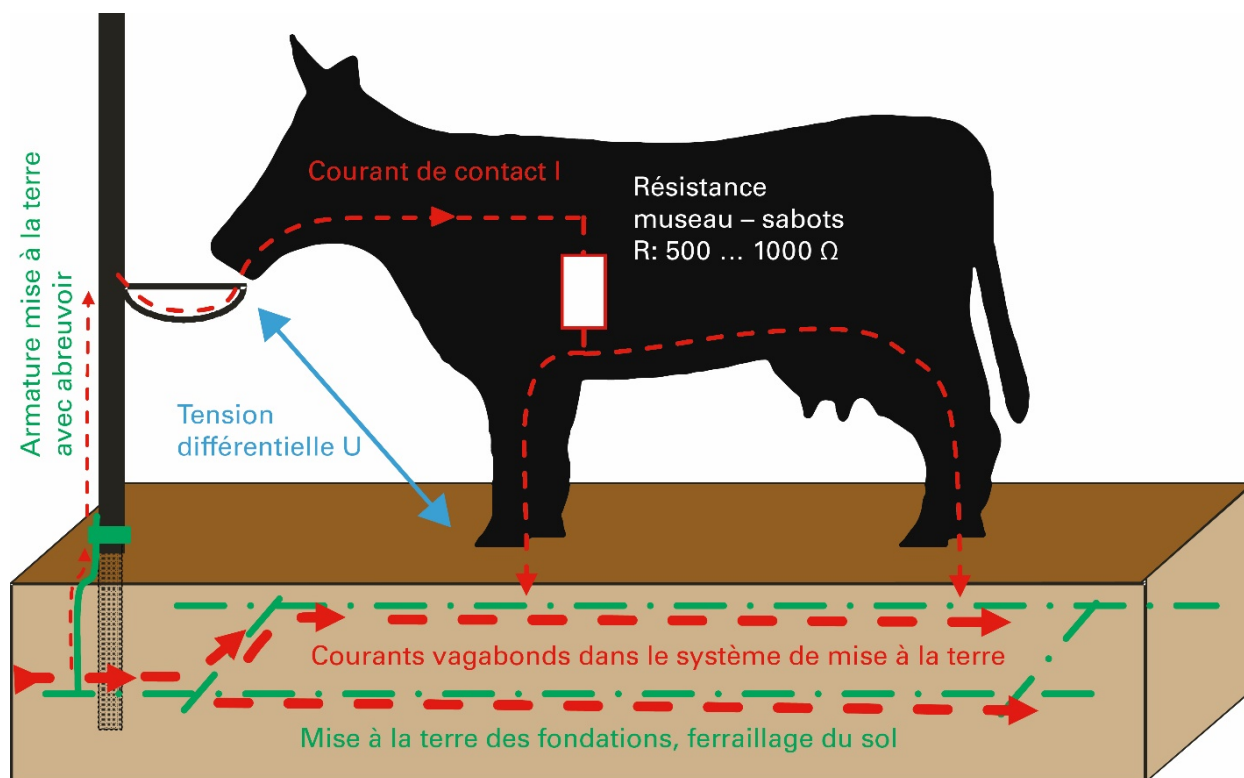


Figure 1 Schéma de principe de la tension de contact captée entre le museau et les sabots d'une vache.

Les différences de tension apparaissant entre des objets conducteurs pouvant être touchés telles que celles mentionnées ci-dessus, sont déterminantes pour l'évaluation d'un éventuel trouble.

Le courant I qui circule alors dans le corps de l'animal avec une résistance R est défini par la tension captée U selon la loi d'Ohm ($I = U/R$).

Études quantitatives pour l'évaluation des troubles des animaux d'élevage dus aux différences de tension

Un rapport [5] résumant de nombreux travaux de recherche donne les valeurs de courants corporels suivantes pour l'apparition de troubles du comportement chez des bovins particulièrement sensibles : 2 mA dans le cas d'un courant alternatif et 2,8 mA pour un courant continu (voir [3, 6]). En outre, on considère que la résistance corporelle d'une vache, mesurée entre les quatre sabots et le museau, s'élève à une valeur comprise entre 500 Ω et 1000 Ω [7]. Il en résulte une limite inférieure de tension de contact pour l'apparition d'éventuels troubles, soit dans le cas le plus défavorable 1 V pour une tension alternative et 1,4 V pour les tensions continues.

Des études approfondies d'exposition réalisées sur des bovins aux États-Unis et en France ont déterminé une plage de tensions différentielles s'étendant de 1 V à env. 5 V, à partir de laquelle on peut s'attendre à l'apparition de troubles chez les animaux [3, 4, 5]. Au cours de ces études, des animaux ont été exposés dans leur environnement habituel à des tensions de contact bien définies pendant des durées prolongées. Les effets néfastes susceptibles d'en découler en termes de comportement, d'alimentation, de production laitière ainsi que les conséquences d'un point de vue médical ont été analysés. En plus des différences individuelles, les effets d'accoutumance jouent également un rôle décisif lors d'essais sur des périodes aussi longues.

Il n'a pas été possible jusqu'à présent de déceler de signes de troubles chez les animaux exposés à des tensions alternatives inférieures à 1 V. Il est important de noter qu'au cours des études réalisées aux États-Unis [5] des effets médicaux (cliniques) reproductibles n'ont été constatés que lorsque les tensions dépassaient le seuil de la perception (c'est-à-dire une tension de contact supérieure à 1 V) et qu'à cette occasion des troubles du comportement survenaient.

Le seuil pour les premières réactions chez les vaches laitières particulièrement sensibles s'élève également à une valeur comprise entre 1 et 2 V dans l'IEEE Std 1695 [12].

En l'absence de défauts sur l'installation électrique ou sur le système de mise à la terre, les tensions de contact dans les étables sont nettement inférieures à 1 V. Par conséquent, c'est seulement dans des cas exceptionnels qu'il y a des risques de troubles chez les animaux d'élevage dus aux courants de circulation dans le corps (courants de contact supérieurs à 2 mA).

Apparition et effet des différences de tension continue

De légères différences de tension continue peuvent également survenir en l'absence de dispositifs électriques. Elles apparaissent sous la forme d'une tension électrochimique à la transition entre des métaux et le sol ou une construction en béton humide. Dans certains cas particulièrement défavorables, des différences de tensions supérieures à 1 V peuvent survenir entre différentes pièces métalliques. En raison du seuil de perception plus élevé pour le courant continu, au moins 1,4 V, un trouble dû à des tensions électrochimiques (tensions entre macroéléments) est toutefois également improbable.

Une influence significative des installations à courant continu, par ex. des systèmes ferroviaires à courant continu, n'est que très rarement probable en Suisse dans la mesure où des chutes de tension de l'ordre du volt ne peuvent survenir qu'en cas de courants de retour élevés, resp. de grandes résistances de terre.

Contrôle de la présence d'une tension de contact supérieure à 1 V

Lorsque l'on soupçonne la présence dans l'étable de tensions de contact exceptionnellement élevées, supérieures à 1 V, sur les équipements métalliques susceptibles d'être touchés, des mesures de contrôle peuvent être réalisées. La procédure à suivre est décrite ci-dessous.

Pour la sécurité des personnes et des animaux dans l'exploitation, il est tout d'abord indispensable que les contrôles des installations soient réalisés conformément à la NIBT [9] systématiquement après toute rénovation ou modification sur les installations à basse tension des exploitations d'élevage agricole, et ce, sans omettre le contrôle de l'efficacité de la liaison équipotentielle. L'OIBT [8], art. 35 + 36, exige un rapport de sécurité (contrôle d'installation).

Les alinéas suivants sont déterminants : 4.1.5.2 « Liaison équipotentielle de protection complémentaire » (exemple étable) et 7.05 « Établissements agricoles » (§ 7.05.4.1.5.23).

En cas de soupçon de défauts dans l'installation électrique, il est impératif de faire réaliser un contrôle de l'installation. Il est également recommandé de procéder à une mesure de la mise à la terre ainsi qu'à un contrôle des connexions de la liaison équipotentielle de la mise à la terre dans la zone où séjournent les animaux.

Les titulaires d'une autorisation de contrôler peuvent être consultés sous le lien suivant : <https://verzeichnisse.est.ch/fr/aikb.htm>

Mesure des éventuelles tensions parasites perturbatrices

Pour contrôler si des tensions différentielles supérieures à 1 V surviennent, il est possible d'effectuer des mesures de la tension alternative avec un multimètre usuel.

Les points suivants doivent être pris en considération lors de la mesure des tensions parasites :

- Pour contrôler l'influence sur les tensions de contact des installations d'appareils électriques de l'exploitation agricole (souffleur pour le foin, installations pour l'alimentation et pour la traite, etc.), ces dernières doivent, lors des mesures, être mises en marche dans les pièces où elles sont installées, et ce, au moins pour quelques mesures. Si des sources externes (installations d'alimentation électrique, lignes à haute tension, chemins de fer, etc.) sont susceptibles d'être à l'origine des tensions parasites, les mesures doivent être réalisées lorsque ces installations sont en service. Dans la mesure du possible, les données d'exploitation (notamment les courants d'exploitation) doivent être enregistrées pendant les mesures.
- Les mesures sont réalisées avec un voltmètre (plage de tension alternative d'un multimètre), les deux câbles de mesure étant mis en contact par le biais de deux éléments métalliques susceptibles d'être touchés ou d'un sol conducteur et d'un élément métallique. Lors des mesures, les distances sur lesquelles une tension peut être prélevée doivent correspondre à la longueur du corps des bovins (au maximum 3 m).
- Les sols naturels peuvent être mis en contact avec une plaque en acier d'environ 20 cm x 20 cm. Les sols durs conducteurs (béton) sont mis en contact avec la plaque par le biais d'un chiffon ou d'une éponge humide (figure 2).

- Les sols isolants, par exemple les surfaces en plastique ou en caoutchouc sur lesquels les animaux se tiennent debout ou se couchent, peuvent être contrôlés ponctuellement en cas de doutes concernant l'efficacité de l'isolation, par exemple en cas d'humidité élevée.
- L'affichage de la tension doit être observé pendant environ 5 secondes. La valeur indiquée après la stabilisation de l'affichage doit être consignée. En cas d'affichage instable, il peut être nécessaire d'allonger la durée de la mesure jusqu'à ce que plusieurs valeurs maximales puissent être observées. La valeur répétitive la plus élevée doit être consignée.
- Dans certains cas, des interférences capacitatives peuvent survenir et faire penser à tort à une tension de contact couplée galvaniquement de l'ordre du volt. Pour exclure une telle erreur, la norme IEEE 1695 – 2016 recommande l'utilisation d'une résistance de charge raccordée parallèlement au voltmètre qui reproduit la résistance corporelle des bovins. Des résistances de mesure de 3000 Ω prévues à cet effet sont disponibles dans le commerce en tant qu'accessoire pour multimètre. [12, 13] La valeur de résistance recommandée est supérieure à celle du corps et est ainsi adaptée pour la mesure des tensions de contact pour le cas le plus défavorable, soit une résistance corporelle très élevée.

En présence de tensions de contact ou de tensions différentielles supérieures à 1 V pouvant être captées par les animaux, leur origine doit être déterminée par un expert, un contrôleur électrique ou encore un conseiller en matière de sécurité par le biais de mesures complémentaires et doit être éliminée.

Le respect des normes d'installation correspondantes permet d'éviter efficacement les tensions différentielles (voir [1]).

Les modifications apportées aux installations basse tension sont des travaux d'installation. L'exécution de ces travaux nécessite l'autorisation correspondante de l'Inspection fédérale des installations à courant fort (SR 734.27 art. 6 à 16).



Figure 2 Mesure de la différence de tension alternative entre la surface où se tient un bovin et un abreuvoir métallique. Possibilité simple de mise en contact du sol en béton à l'aide d'une plaque métallique enveloppée dans un chiffon mouillé. Lors de cette mesure, la distance correspond environ à celle de l'abreuvoir jusqu'aux pattes avant.

Remarque: Des mesures de la tension continue avec des bornes de mesure métalliques ne sont pertinentes qu'entre deux parties métalliques. Sur des sols humides, du béton, etc., la mise en contact avec des électrodes métalliques fait survenir des tensions électrochimiques (inférieures à 1 V en règle générale), qui dépendent du dispositif de mesure et n'ont aucun rapport direct avec la tension de contact que les bovins perçoivent (voir également le paragraphe 4). Pour les mesures de tension continue sur des sols naturels et des sols en béton, des électrodes de référence normalisées (demi-cellules électrochimiques) doivent être utilisées afin de tenir compte correctement des tensions électrochimiques.

Références

- [1] « Les courants vagabonds dans les exploitations d'élevage : prévention des tensions différentielles perturbatrices dans les étables des animaux d'élevage », communiqué de l'Inspection fédérale des installations à courant fort et du Comité technique Mises à la terre du CES, Bulletin SEV/VSE 1|2/2019, pp. 63-65).
- [2] Reinhold Bräunlich, «Streuströme in landwirtschaftlichen Tierhaltungsbetrieben: Mechanismen und Auswirkungen», Bulletin SEV/VSE 3/2014, pp. 54-56.
- [3] F. Deschamps, L. Devaux, K. Rigalma, S. Roussel, C. Duvaux-Ponter, «Innovative approach of the potential impact of HV lines on their environment: the experimental farm», Cigré Session Paris 2010, Paper C3_113_2010.
- [4] «Mieux connaître les risques des courants électriques parasites dans les exploitations d'élevage», Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, EDF, Promelec, Assemblée Permanente des Chambres d'Agriculture, Groupama; RTE, 92068 Paris, www.rte-france.com.
- [5] Douglas J. Reinemann, «Literature review and synthesis of research findings on the impact of stray voltage on farm operations», Prepared for the Ontario Energy Board, 31 March 2008.
- [6] G. Dürrenberger, «Kriechströme, Stand des Wissens», Forschungsstiftung Strom und Mobilkommunikation, c/o ETH Zürich, 8092 Zürich.
- [7] G. Biegelmeier, D. Kieback, G. Kiefer, K.-H. Krefter, «Schutz in elektrischen Anlagen, Band 1, Gefahren durch den elektrischen Strom», VDE-Verlag, 2. Auflage, 2003.
- [8] Ordonnance sur les installations électriques à basse tension (OIBT SR 734.27).
- [9] Norme sur les installations à basse tension NIBT, SN 411000:2015.
- [10] SR 814.710, « Ordonnance du 23 décembre 1999 sur la protection contre le rayonnement non ionisant (ORNI) ».
- [11] SNG 483755 (SN Guideline), « 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 SR 734.2 », CES Comité technique Mises à la terre, groupe de travail 3755, juin 2015.
- [12] IEEE Std 1695 – 2016 «IEEE Guide to understanding, diagnosing, and mitigating stray and contact voltages».
- [13] Adaptateur de courant parasite, TL225-1, Fluke Switzerland GmbH, 8303 Bassersdorf.
- [14] SNR 464113, « Terres de fondation », 2015.

Annexe A : Formation des courants vagabonds

Dans le sol et dans le système de mise à la terre des bâtiments, les courants vagabonds se forment en tant que petite partie d'un courant de retour partiel qui retourne de la mise à la terre du bâtiment dans le réseau électrique. De faibles quantités de courant de retour des installations ferroviaires ou des parties des courants de terre de lignes aériennes avoisinantes peuvent aussi circuler depuis le sol via les systèmes de mise à la terre et les conducteurs de terre des raccordements de câbles. D'autre part, des courants vagabonds sont créés par induction en raison des champs magnétiques des installations électriques domestiques.

Les deux cas sont décrits plus en détail dans les deux figures suivantes :

La figure 3 montre le schéma d'une situation d'alimentation électrique habituelle pour une exploitation agricole alimentée par une sous-station [11]. Dans la mesure où les trois phases de la ligne basse tension ne sont généralement pas toutes chargées de la même manière, un courant de retour asymétrique est renvoyé à la sous-station par le biais du conducteur neutre relié à la terre (conducteur PEN). Pour des raisons de sécurité, le conducteur neutre est mis à la terre aussi bien au niveau de la sous-station qu'à celui du consommateur d'électricité (ici à l'étable). En raison de ce contact à la terre des deux côtés, une petite partie du courant de retour peut revenir sous forme de courant vagabond à travers les conducteurs du système de mise à la terre et le sol.

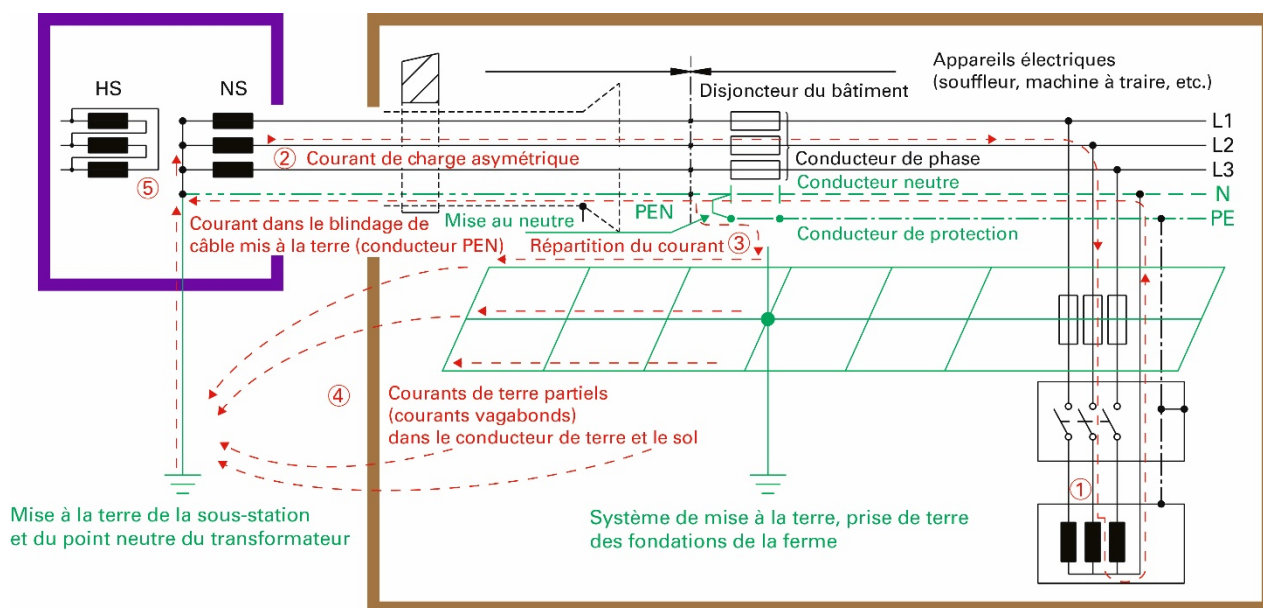


Figure 3 Schéma expliquant l'apparition de courants vagabonds en tant que courants partiels de circulation en dehors du conducteur de mise à la terre (conducteur PEN), selon [11] :

- ☞ Une charge asymétrique sur les trois conducteurs de ligne (conducteurs de phase) provoque un courant de retour asymétrique.
- ⚡ Ce courant de retour asymétrique circule vers la charge par le biais des trois conducteurs de ligne et revient par le biais du conducteur neutre au point de raccordement de la maison et continue jusqu'à la sous-station via le conducteur PEN.
- ✓ Une petite partie du courant de retour peut atteindre le système de mise à la terre du bâtiment par la mise à la terre du conducteur neutre (mise au neutre du point de raccordement du bâtiment).
- ✓ Celui-ci circule sous forme de courant vagabond à travers les conducteurs présents et à travers le sol pour retrouver finalement aussi au système de mise à la terre de la sous-station.
- ✗ Dans la sous-station, les parties de courant de retour reviennent par le biais du système de mise à la terre qui est raccordé au point neutre du transformateur.

La figure 4 montre le second mécanisme par lequel de petits courants vagabonds peuvent également être générés. Les câbles d'alimentation de l'installation électrique du bâtiment, les lignes aériennes et les câbles à proximité génèrent un champ magnétique. Si les lignes du champ magnétique traversent une boucle dans le système de mise à la terre, un faible courant circulaire est alors créé dans cette boucle. Ce dernier provoque également un champ magnétique opposé au champ magnétique qui l'a produit et l'affaiblit.

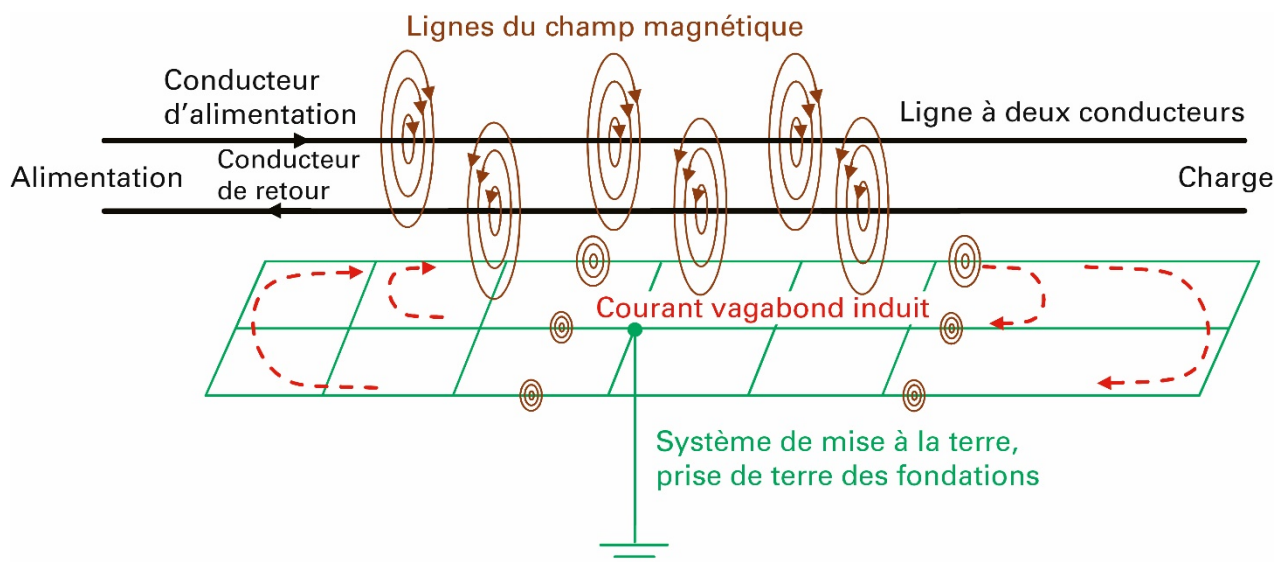


Figure 4 Couplage des courants vagabonds par induction via le champ magnétique. Ici avec l'exemple d'une ligne à deux conducteurs.

Les champs magnétiques des courants vagabonds sont faibles et inoffensifs, sauf en cas d'erreurs comme indiqué ci-dessous.

Un exemple particulièrement défavorable est celui d'un courant de 1 A circulant dans un seul conducteur de terre rectiligne. La densité de flux magnétique générée par le courant de 1 A dans ce conducteur diminue linéairement avec la distance et passe déjà à une valeur de $1 \mu\text{T}$ à une distance de 20 cm (dans le cas d'un courant I dans un seul conducteur rectiligne, la formule simple suivante s'applique pour la densité de flux magnétique B à la distance d : $B = 0,2 \times I/d$). Cette valeur correspond à la valeur limite de l'installation selon l'ORNI [10] pour les lieux à utilisation sensible pour les personnes. L'ORNI vise à protéger les personnes du rayonnement non ionisant nuisible et incommode. La valeur limite de l'installation de $1 \mu\text{T}$ doit être comprise comme une valeur moyenne sur l'ensemble du corps. Elle s'applique aux lieux où des personnes séjournent régulièrement pendant des périodes prolongées. Cette valeur n'est pas contraignante en ce qui concerne les étables dans la mesure où ces lieux ne comptent pas parmi les lieux à utilisation sensible et où la valeur limite de l'installation n'est pas valable pour les animaux.

Selon l'ORNI [10], les valeurs limites d'immissions dépendant de la fréquence doivent impérativement être respectées ($100 \mu\text{T}$ à 50 Hz) dans tous les lieux accessibles au public, dans les étables aussi. Cette valeur s'applique au champ magnétique des dispositifs des entreprises d'approvisionnement en électricité (par ex. les sous-station et les lignes aériennes et câbles passant à proximité). Dans la zone de séjour des animaux d'élevage dans les étables, on ne mesure cependant habituellement que des valeurs de $0,1 \mu\text{T}$ à quelques μT .

Les mesures effectuées à l'aide d'un appareil de mesure du champ magnétique peuvent rapidement fournir des informations sur les champs présents dans l'étable.

Par conséquent, il est peu probable que les champs magnétiques des courants vagabonds circulant dans les conducteurs de terre et les autres structures métalliques soient à l'origine de troubles chez les animaux d'élevage.

Les courants qui circulent dans le système de mise à la terre ne peuvent interagir avec les tissus biologiques des humains et des animaux que par le biais du champ magnétique. En raison de la faible conductivité du corps, ils y génèrent de faibles courants de Foucault. Comme expliqué ci-dessus, les champs magnétiques sont cependant inoffensifs. Un effet direct des courants vagabonds sur les animaux d'élevage et sur les humains ne peut donc pas être justifié.