Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 79 (1988)

Heft: 22

Artikel: Effets perturbateurs des champs électromagnétiques à basses et moyennes fréquences

Autor: Ianoz, M.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-904109

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 08.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Effets perturbateurs des champs électromagnétiques à basses et moyennes fréquences

M. Ianoz

Après une analyse de la production de champs électromagnétiques, on présente les méthodes pour calculer ou mesurer ces champs et leurs effets électriques. Sans tirer une conclusion sur les effets biologiques, on souligne le fait que jusqu'à présent aucune relation de cause à effet entre l'exposition de personnes aux champs à valeur élevée sous les lignes à très haute tension ou dans les postes de couplage, et des maladies graves n'a pu être mise en évidence.

Nach einer Analyse der Entstehung elektromagnetischer Felder werden Methoden zur Berechnung und Messung dieser Felder und ihrer elektrischen Wirkungen vorgestellt. Ohne Schlussfolgerungen über die biologischen Wirkungen zu ziehen, wird doch die Tatsache unterstrichen, dass bis heute keinerlei Ursache–Wirkungs-Zusammenhang zwischen der Exposition von Personen auf starke Felder unter Höchstspannungsleitungen sowie in Schaltanlagen und schweren Krankheiten nachgewiesen werden konnte.

Exposé présenté à la Journée de discussion de l'UCS à Lausanne, le 16 juin 1988

Adresse de l'auteur

M. Ianoz, Dr. ès sc.techn., Laboratoire de réseaux d'énergie électrique (LRE), Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, 1015 Lausanne.

1. Introduction

Des phénomènes naturels tels que la foudre ainsi que l'utilisation intensive de l'électricité par l'homme génèrent des champs électromagnétiques qui peuvent avoir des effets perturbateurs tant sur l'environnement biologique (personnes, animaux, végétaux) que technologique (autres appareils, installations, systèmes) [1].

Les champs à basses et moyennes fréquences sont dus essentiellement à la foudre, aux installations de transport d'énergie électrique (lignes électriques, sous-stations, réseaux de distribution à basse tension) et aux appareils électrodomestiques. L'existence de ces champs électromagnétiques pose plusieurs genres de problèmes à des niveaux différents, qui doivent être abordés et résolus par des spécialistes de formations différentes:

- Déterminer les intensités des champs produits par différents phénomènes naturels ou artificiels et les courants induits dans différents objets ou organismes vivants plongés dans ces champs. Ceci représente un problème technique de mesure ou de calcul et peut être résolu par l'ingénieur électricien.
- Déterminer l'action de ces champs sur les organismes vivants. Ceci représente un problème biologique ou médical et il est du ressort des médecins ou des spécialistes en biologie.
- Enfin, sur la base des éléments apportés par les scientifiques de différentes formations cités plus haut, le législateur est amené à traduire ces conclusions dans des règles, des recommandations ou des lois.

Dans ce qui suit, nous nous limiterons aux problèmes posés par la production des champs électromagnétiques, la mesure ou le calcul de ces champs ainsi que leurs effets électriques (courants ou tensions induits).

2. Production des champs électromagnétiques

Tout conducteur parcouru par un courant électrique génère autour de lui un champ électrique et un champ magnétique [2]. La répartition de ces champs dans le temps et dans l'espace peut être calculée à l'aide des équations de Maxwell.

En assimilant la décharge de foudre à un canal conducteur parcouru par une impulsion de courant, cette approche est tout à fait générale et peut s'appliquer aussi bien au phénomène naturel de la foudre qu'aux courants créés par l'homme dans différentes applications.

Afin de donner une idée des ordres de grandeur des champs générés par les courants électriques, le tableau I présente les valeurs des champs électrique et magnétique sous un jeu de barres triphasées [3]. Par une règle de trois, on peut aisément déduire des valeurs de champ au voisinage d'autres types d'installations.

3. Couplage par champ électromagnétique

Les modes de couplage entre une source de perturbation quelconque et une victime potentielle sont représentés dans la figure 1.

Le couplage par champ électromagnétique peut se faire soit par effet capacitif ou inductif si la longueur d'onde du phénomène est beaucoup plus grande que les dimensions physiques qui entrent en jeu (distance source–victime, dimensions de la victime), soit par rayonnement si la longueur d'onde du phénomène et du même ordre de grandeur que les distances à l'objet ou ses dimensions.

Pour fixer les idées, il est clair qu'un appareil électrodomestique, où les courants sont de l'ordre de quelques ampères ou dizaines d'ampères à une

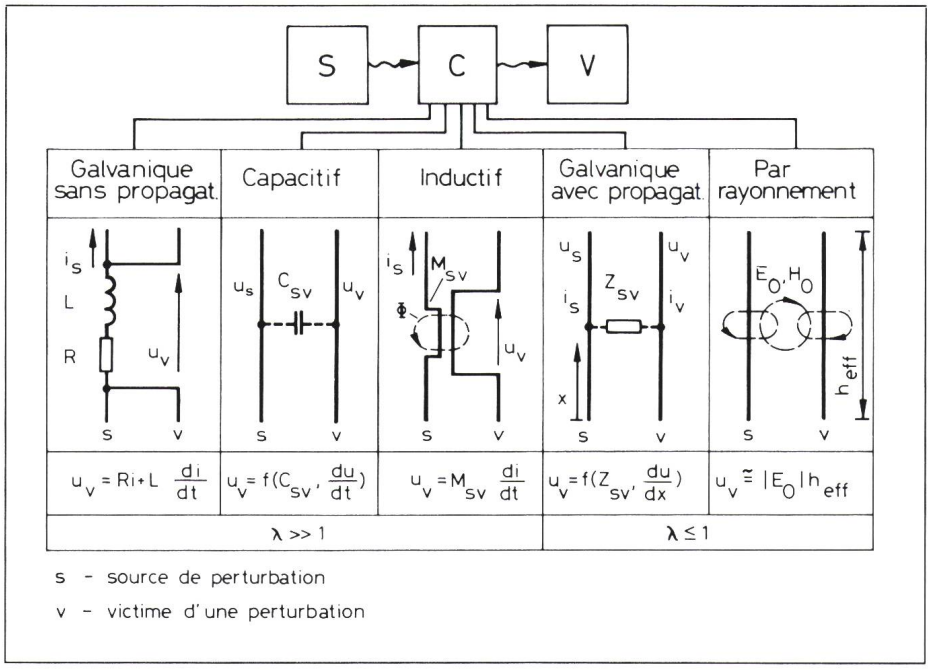


Figure 1 Classification des modes de couplage

fréquence de 50 Hz, agira plutôt par effet inductif, tandis que les effets électromagnétiques d'un coup de foudre, où la valeur de crête du courant est de quelques dizaines de kA et où l'on doit prendre en considération des fréquences jusqu'à quelques MHz, se manifestent aussi bien par induction que par rayonnement.

Dans ce qui suit, nous nous proposons d'examiner les principales causes d'apparitions des champs à basse et moyenne fréquences et de présenter des résultats de mesures et de calculs de courants et de tensions induits dans des objets ou des organismes vivants par ces effets électromagnétiques.

4. Effets perturbateurs de la foudre

Une décharge de foudre peut avoir des effets directs par injection de courant dans un système, un objet ou un organisme vivant et des effets indirects à travers le champ électromagnétique généré par le courant de la décharge. S'agissant d'effets perturbateurs des champs, cette étude ne prendra en considération que les effets indirects.

Le fait que le trajet d'une décharge orageuse de foudre est aléatoire rend l'étude de ses effets particulièrement difficile. Des mesures systématiques poursuivies pendant plusieurs années dans différents endroits du monde par des équipes de chercheurs ont permis d'établir une statistique de courants de foudre [3] et de champs électromagnétiques générés par ce phénomène [4] (fig. 2 et tab. II).

Ces dernières années, des méthodes de déclenchement artificiels de coups de foudre ont été mises au point afin d'amener le courant de foudre dans un endroit déterminé à l'avance et ainsi pouvoir le mesurer [5]. Conjointement, des mesures de courants et tensions induits sur un câble téléphonique aérien situé à 150 m du point d'impact ont été effectuées par le Laboratoire de réseaux d'énergie électrique de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne. Ces mesures montrent que des courants d'environ 50 A de crête sont induits sur la gaine du câble par un coup de foudre d'amplitude 15 kA (fig. 3 et 4).

Afin de prévoir à l'avance les effets électromagnétiques des coups de foudre sur des lignes de télécommunication ou sur des circuits électroniques, des modèles de la décharge orageuse [6,7] ainsi que du couplage entre le champ et une ligne aérienne [8] ont été mis au point. Plusieurs centres travaillent actuellement dans ce domaine parmi lesquels le Laboratoire de réseaux d'énergie électrique de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne. L'aboutissement de ces travaux permettra de prendre des mesures préventives de compatibilité électromagnétique sur des installations exposées aux champs générés par des coups de foudre.

Champs	Distance verticale au conducteur central (m)							
	0,5	1	2	3	4	5	6	7
H(kA/m)	0,096	0,049	0,025	0,017	0,012	0,009	0,007	0,005
E(kV/m)	62,7	29,9	12,6	6,7	4,5	2,8	2,0	1,8

Tableau I Champs magnétiques et électriques sous un jeu de barres triphasées 220 kV, en nappe, en régime nominal (I = 300 A), hauteur moyenne 7 m, distance entre phases 4 m, diamètre des conducteurs 25 mm [3].

d(m)	200	3000	12 000	55 000
E(V/m)	4000–7000	70–90	26	5,8

Tableau II Valeurs moyennes d'intensités de champ électrique mesurées, en fonction de la distance du point d'impact de la décharge de foudre [4].

5. Champ électromagnétique des lignes de transport de l'énergie électrique

Afin d'estimer l'effet perturbateur des lignes électriques, il est nécessaire de connaître le champ électromagnétique existant dans leur environnement. Des méthodes de calculs ont été mises au point et des mesures permettent de vérifier la validité des résultats numériques.

5.1 Méthodes pour déterminer l'intensité du champ électrique

La méthode de calcul numérique la mieux adaptée pour les lignes aériennes est la méthode des charges fictives [9]. En utilisant cette approche, les courbes de variation de l'intensité du champ électrique au-dessous d'un

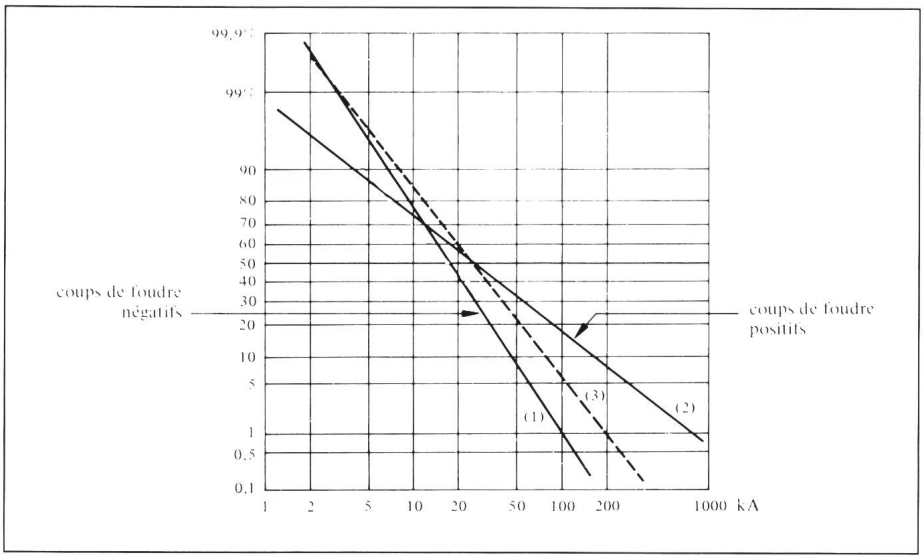


Figure 2 Distribution des amplitudes des courants de foudre positifs et négatifs et distribution globale: (1), (2) résultats obtenus au Mont San Salvatore (Tessin, Suisse); (3) courbes récapitulative des données mondiales.

pylône, pour différents niveaux de tension, ont pu être calculées et sont représentées dans les figures 5 [10] et 6 [11].

La mesure de l'intensité du champ électrique peut être effectué à l'aide de différents instruments de mesure. Parmi les plus connus, on peut citer le moulin à champ électrique (jusqu'à 1 kHz), la sonde capacitive (20–50 Hz), des capteurs passifs ou actifs reliés par transmission optique à des oscilloscopes à mémoire ou digitaliseurs.

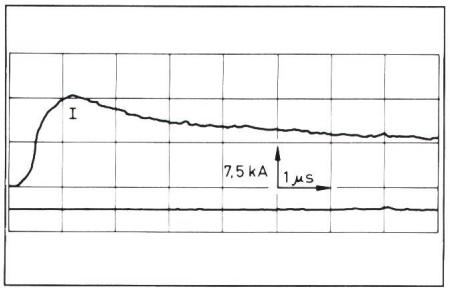


Figure 3 Courant de foudre déclenchée artificiellement, mesurée sur le site de St. Privat d'Allier. Tir 8602, campagne de mesures été 1986.

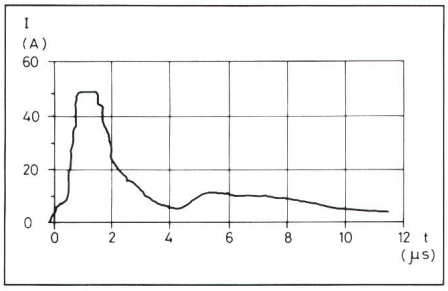


Figure 4 Courant induit mesuré sur la gaine d'un cable téléphonique de 200 m de longueur situé à 150 m de distance du point d'impact coup de foudre de la fig. 3.

5.2 Méthodes pour déterminer l'intensité du champ magnétique

Le calcul de l'intensité du champ magnétique à une certaine distance d'un conducteur parcouru par un courant se fait en utilisant la relation

$$H(t) = i(t)/2\pi r \qquad (1)$$

où r est la distance entre le conducteur et le point où l'on calcule le champ et $i(t)$ le courant qui parcourt le conducteur.

Dans le cas d'une ligne triphasée pour le transport de l'énergie électrique, le champ total dû aux trois phases s'obtient par superposition (fig. 7).

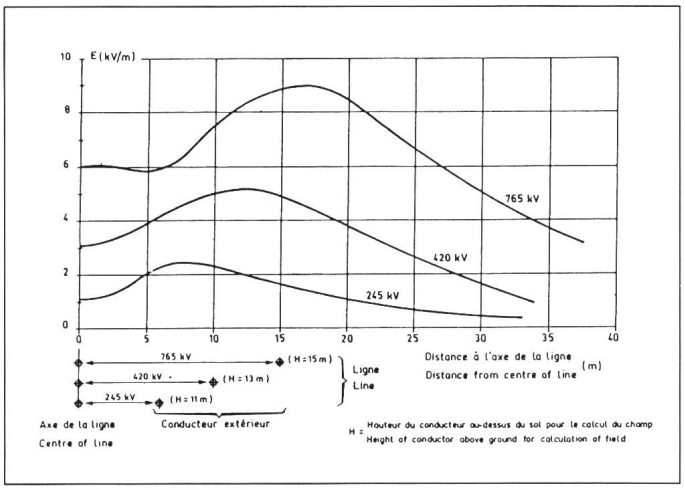
Des valeurs calculées de champs magnétiques au-dessous de lignes à haute tension 400 kV et 765 kV sont présentées respectivement dans les figures 10 [12] et 11 [13]. En ce qui concerne la mesure du champ magnétique, elle peut être faite en utilisant des antennes en boucle, des antennes en ferrite ou des capteurs [14].

5.3 Comparaison entre les valeurs des champs générés par les lignes de transport de l'énergie électrique et les appareils électrodomestiques

Des valeurs de champs électriques et magnétiques créées dans un environnement domestique sont résumés respectivement dans les tableaux III et IV [13]. Ces valeurs peuvent être comparées directement avec les valeurs calculées sous une ligne électrique (fig. 5 et 6). Pour la comparaison des valeurs du champ magnétique entre le tableau IV et les figures 8 et 9, il est nécessaire de noter que 1 microT correspond à 800 A/m.

On constate qu'à partir d'une distance d'environ 30 m de l'axe d'un pylône d'une ligne à haute tension 400 kV, les valeurs des champs électriques et magnétiques deviennent comparables à celles produites par différents appareils électrodomestiques.

Figure 5 Profil du champ électrique calculé en milieu de portée pour des lignes électriques à trois tensions différentes.



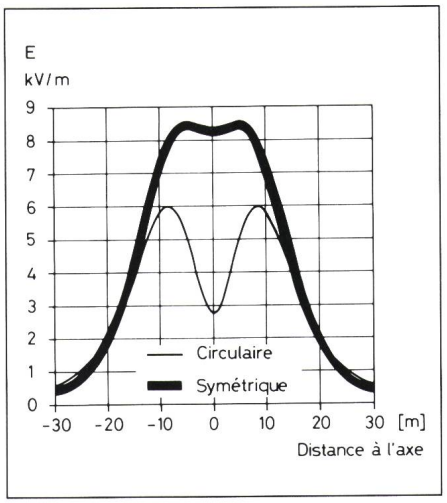


Figure 6 Profil du champ électrique calculé pour une ligne 400 kV et pour deux dispositions des conducteurs de phase, circulaire et symétrique.

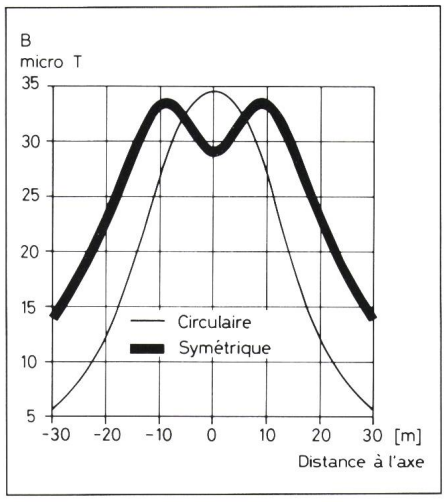


Figure 8 Profil du champ magnétique calculé à mi-portée et à une hauteur de 1 m du sol pour un courant dans une phase de 2000 A et pour deux dispositions des conducteurs de phase, circulaire et symétrique.

6. Effets électriques des champs électromagnétiques générés par les lignes de transport de l'énergie électrique

Si un objet est placé dans un champ créé par un courant continu ou alternatif, à l'intérieur de celui-ci a lieu un déplacement de charges positives et négatives et l'apparition d'un courant électrique appelé courant d'influence. Ce courant dépend de:

- l'intensité du champ appliqué;
- la forme de l'objet, car celui-ci déforme le champ, qui devient non-uniforme sur la surface de l'objet (fig. 10) [10].

Ce champ non-uniforme est la cause d'une distribution non-uniforme de la densité de courant sur la surface de l'objet plongé dans le champ (fig. 11) [13].

L'expérience montre aussi que le courant est indépendant de la résistivité du matériau jusqu'à une valeur de $10^5\ \Omega$m. Cela permet d'effectuer le même calcul pour les objets métalliques que pour les organismes vivants.

6.1 Calcul des courants et des tensions induits dans des objets

Deux cas doivent être distingués lorsqu'on veut calculer les effets d'un champ perturbateur sur un objet placé dans ce champ: objet mis à la terre ou isolé par rapport au sol.

Dans le cas d'objets mis à la terre, on calcule le courant induit à l'aide de la relation (fig. 12) [10]:

	V/m
Blanchisserie	0,8
Cuisine	2,6
Chambre à coucher	2,4–7,8
à 30 cm de la source:	
Coussin électrique	250
Appareil stéréo	90
Frigo	60
TV couleur	30
Ampoule électrique	2

Tableau III Valeurs de champ *E* mesuré dans un environnement domestique (source: Environmental Health Criteria - World Health Organisation - Geneva 1984).

	A/m
Sèche-cheveux	800–2000
Lampe fluorescente	400–800
TV couleur	80–400

Tableau IV Valeurs de champ *H* mesuré dans un environnement domestique (source: Environmental Health Criteria - World Health Organisation - Geneva1984).

$$i_0 = -j\omega_0 Q = -j\omega(V_1 C_{10} + V_2 C_{20} + V_3 C_{30}) \qquad (2)$$

où V_1, V_2 et V_3 sont les potentiels des trois phases de la ligne de transport d'électricité à un moment quelconque t et C_{10}, C_{20} et C_{30} sont les capacités partielles des trois phases par rapport à l'objet.

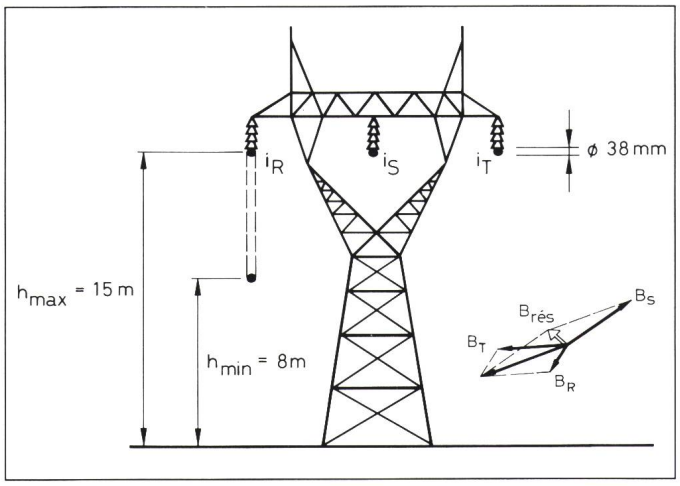


Figure 7 Principe du calcul du champ magnétique résultant à un instant quelconque sous une ligne électrique à courant alternatif.

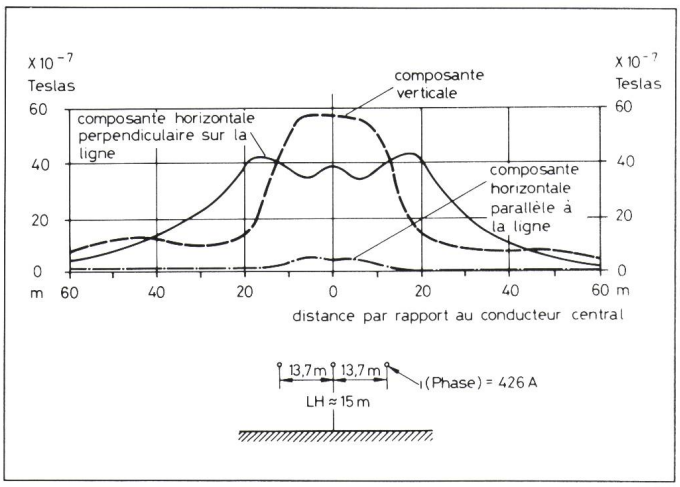


Figure 9 Profil de trois composantes du champ magnétique calculées à une hauteur de 1,5 m du sol pour un courant dans une phase de 426 A.

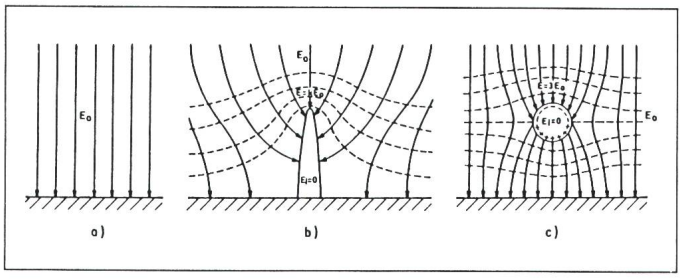


Figure 10 Perturbation du champ en présence d'objets conducteurs;
a) champ non perturbé;
b) objet;
c) objet à potentiel flottant.

Dans le cas d'objets isolés du sol, on calcule la tension induite en multipliant le courant de court-circuit calculé avec (2) par la réactance capacitive de la capacité objet-terre, C_0 (fig. 13):

$$V_0 = \frac{i_0}{j\omega C_0} \qquad (3)$$

6.2 Calcul des courants induits dans le corps humain

6.2.1 Personne sans contact avec des objets métalliques

Si une personne sans contact avec un objet voisin métallique se trouve placée dans un champ électrique, les lignes de force du champ se renferment dans le corps de la manière présentée dans la figure 14.

Des études théoriques et des mesures expérimentales effectuées à l'Electricité de France [15] ont permis la construction d'un modèle de charge du corps humain tel celui de la figure 15. Les deux charges, dans le corps et dans la tête de la personne, peuvent être approximées à l'aide des formules:

$$q_1 = 2\pi\varepsilon_0 \frac{8}{9} E_0 h_1^2 \qquad (4)$$

$$q_2 = 2\pi\varepsilon_0 \frac{4}{9} E_0 h_1^2 \qquad (5)$$

Ces relations permettent de calculer:

Courant dans le tronc:

$$i_1 = \omega q_1 \approx 10\ \mu A/kV/m \qquad (6)$$

Courant de tête (passant par le cou):

$$i_2 = \omega q_2 \approx 5\ \mu A/kV/m \qquad (7)$$

Courant total pénétrant par les pieds:

$$i_t = i_1 + i_2 = 15\mu\ A/kV/m \qquad (8)$$

Champ maximum au sommet du crâne:

$$E_{max} = 16 E_0 \qquad (9)$$

Ainsi sous une ligne à 400 kV, où l'on peut admettre un champ uniforme maximum d'environ $E_0 \approx 7$ kV/m, on trouve un courant total pénétrant par les pieds $i_t \approx 100\ \mu A$ et un champ maximum au sommet du crâne $E_{max} \approx 112$ V/m.

6.2.2 Personne en contact avec une structure métallique mise à la terre

Si la personne est mal isolée, ce contact n'a aucun effet, par contre si elle est isolée par des bottes en caoutchouc par exemple, elle sera traversée par un courant du même ordre de grandeur que celui qui parcourt une personne sans contact avec des objets.

6.2.3 Personne en contact avec une structure métallique isolée de la terre

La structure métalliqe étant isolée du sol, toute la charge accumulée sur celle-ci s'écoulera à la terre à travers la personne qui la touche et le courant peut atteindre plusieurs dizaines de milliampères, ce qui représente un réel danger. Par conséquent, toutes les masses métalliques situées au voisinage immédiat des lignes à haute tension doivent être mises systématiquement à la terre.

6.3 Courants induits dans des véhicules

Le tableau V présente des résultats de mesure à 50 Hz de courants induits par unité de champ électrique pour différents types de véhicules [10].

En admettant des valeurs de champ de l'ordre de 10 kV/m, qui sont un maximum pour les lignes à 400 kV (voir fig. 8), on constate qu'une valeur maximale de 2,5 mA peut traverser une personne qui toucherait un tel véhicule. Cette valeur de courant est en dessous de la limite dangereuse pour l'homme, fixée à environ 10 mA.

6.4 Courants induits dans des clôtures ou des rangs de vigne

Des courants peuvent être induits par effet capacitif dans des clôtures ou des rangs de vigne parallèles sur de grandes longueurs à des lignes à haute tension. Ce courant sera égal à [10]:

$$i_0 = j\omega\ V_0\ C_0\ L \qquad (10)$$

où

$$V_0 = Eh \text{ et } C_0 = \frac{2\pi\varepsilon_0}{\ln \frac{2h}{r}}$$

Ainsi, pour une clôture de 200 m de longueur située à une hauteur de 2 m,

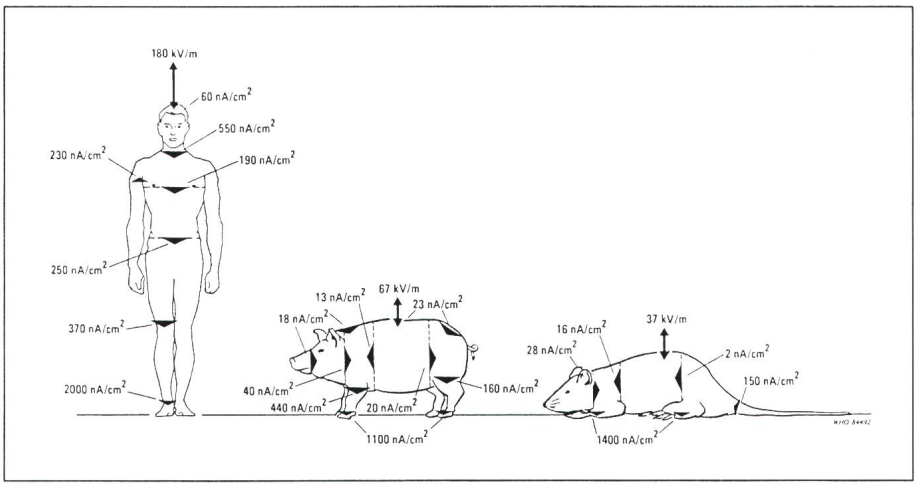


Figure 11 Répartition non-uniforme de la densité de courant superficiel induit chez l'homme, le cochon et le rat (échelles différentes) exposés à un champ électrique vertical de 10 kV/m, 60 Hz.

Petite voiture particulière	0,05 mA/kV/m
Grosse voiture particulière	0,1 mA/kV/m
Camion 2000 kg	0,2 mA/kV/m
Car, gros véhicule	0,25 mA/kV/m

Tableau V Valeurs typiques de courants induits sur divers types de véhicules se trouvant sous des lignes à haute tension, 50 Hz.

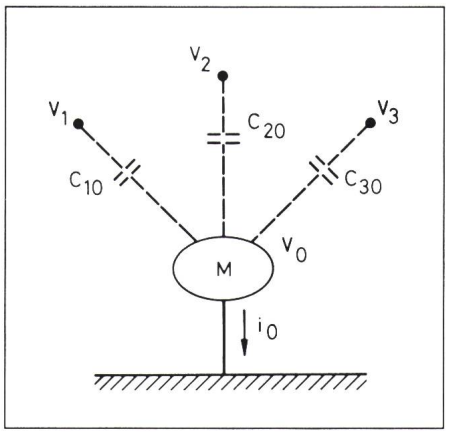


Figure 12 Schéma équivalent d'un objet mis à la terre placé sous une ligne électrique triphasée en voûte.

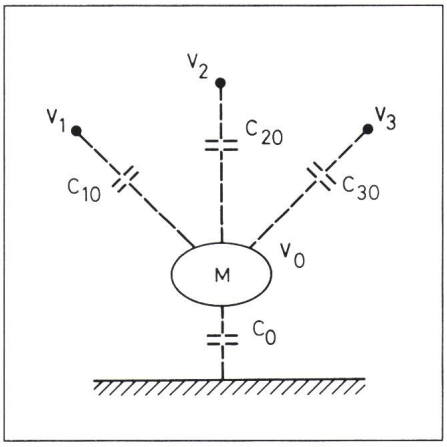


Figure 13 Schéma équivalent d'un objet isolé du sol placé sous une ligne triphasée en voûte.

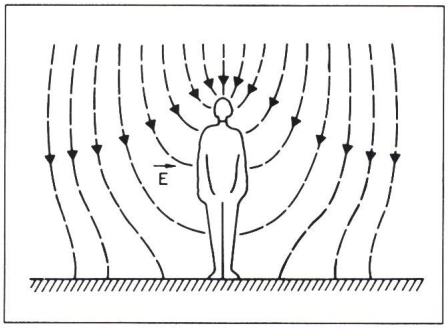


Figure 14 Lignes de force d'un champ électrique déformé par la présence d'une personne. On remarque une concentration du champ au niveau de la tête.

construite avec un fil métallique de 2 mm de rayon et se trouvant dans un champ de 10 kV/m, on obtient un courant de 9,2 mA qui effectivement pourrait être dangereux pour une personne.

Lorsque plusieurs fils sont tendus les uns au-dessus des autres à des hauteurs différentes et reliés électriquement entre eux, on peut, en négligeant en première approximation le couplage mutuel entre les fils superposer simplement les effets de chaque conducteur pris séparément, ce qui donne:

$$i_0 = j\,\omega\, L \sum_n V_{0i} C_{0i} \qquad (11)$$

6.5 Inflammation de mélanges air-vapeurs d'hydrocarbures

Lorsqu'une personne est chargée à un potentiel de 1 kV, l'énergie correspondante est de 1 mJ [16]. Comme l'énergie minimum d'inflammation de la benzine est de 0,25 mJ, on peut déduire qu'une personne qui se charge dans le champ d'une ligne à haute tension risque de provoquer l'inflammation d'un mélange air-vapeur d'hydrocarbures. Il est donc impératif de ne pas installer une station-service sous une ligne à haute tension ou, si l'on n'a pas d'autre solution, de prévoir un écran qui réduit le risque de charge.

6.6 Régimes transitoires de décharge

Lorsqu'on établit un contact entre un objet ou une personne chargée et la terre, la décharge se produit par une étincelle suivie d'un régime transitoire similaire à la décharge d'un condensateur sur un circuit R,L,C (fig. 16) [17].

C'est ce processus qui a lieu, par exemple, lorsqu'une personne isolée (bottes de caoutchouc) se trouvant dans un champ électromagnétique touche une structure métallique mise à la terre. Dans ce cas, la personne sera chargée à un potentiel qui, après (2) et (3), est égal à:

$$V_0 = \frac{V_1 C_{10} + V_2 C_{20} + V_3 C_{30}}{C_0} \qquad (12)$$

Afin d'avoir une idée de l'ordre de grandeur de cette tension de décharge, on peut simplifier le problème en prenant en considération (par excès) une seule phase, ce qui donne:

$$V_0 = \frac{V_1 C_{10}}{C_0} \qquad (13)$$

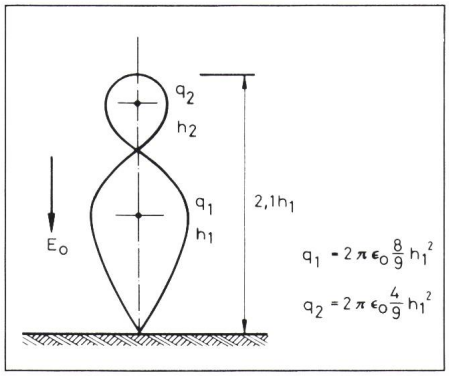


Figure 15 Modèle d'une personne debout placée dans un champ électrique.

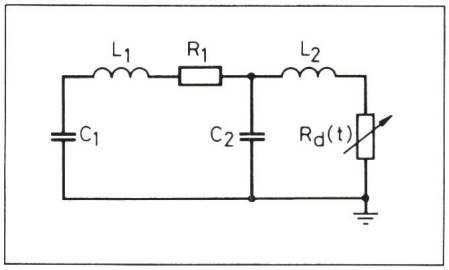


Figure 16 Schéma équivalent de la décharge d'une personne isolée qui touche un objet mis à la terre. C_1 - capacité équivalente du corps humain (~ 105 pF); C_2 - capacité de fuites (quelques pF); R_1 - résistance superficielle de la peau (quelques kΩ); L_1 - inductance équivalente (~ 1 μH); $R_d(t)$ - résistance non-linéaire de l'arc.

Pour une ligne à 380 kV, on aura $V_1 = 380\,\text{kV} \cdot \sqrt{2} / \sqrt{3} = 310\,\text{kV}$. En admettant une capacité partielle entre la phase et une personne se trouvant sur le sol d'environ $C_{10} \approx 9$ pF et une capacité d'une personne par rapport à la terre d'environ $C_0 \approx 150$ pF [16], on trouve $V_0 = 18{,}6$ kV.

Cette valeur est comparable au potentiel atteint par une personne qui se charge en marchant sur une moquette [16]. Ce processus ne présente donc pas un danger d'électrocution, mais la sensation désagréable lors de la décharge peut provoquer des gestes incontrôlés et par conséquent des accidents.

6.7 Perception directe du champ électrique par l'être humain

Ce phénomène ne concerne que des personnes qui travaillent dans des champs de valeur assez élevée, c'est-à-dire au-dessus de 10 kV/m, par exemple dans les postes à haute tension.

Les causes de la perception du champ par l'être humain sont [18]:

- Des forces électrostatiques à la surface du corps. Dans un champ alter-

natif, ces forces provoquent une vibration des poils et des cheveux à partir d'une tension d'environ 12 kV. Cette vibration donne une sensation de chatouillement, qui dépend de la sensibilité de chaque sujet et du développement de son système pileux. Ainsi, des expériences faites dans les laboratoires de l'EDF sur des souris ont montré que la vibration des moustaches d'un animal soumis à un champ électrique de 50 kV/m atteint des amplitudes de 1 cm crête à crête [18].

- Des microdécharges entre les vêtements et la peau à partir de 12 à 15 kV/m.

Ces deux phénomènes ne représentent pas un danger, car comme il a été montré au chapitre 6.2.1, la valeur maximum des courants induits reste de beaucoup inférieure aux valeurs limites de fibrillation cardiaque (~ 15 mA), mais provoquent des sensations désagréables et par conséquent un état d'énervement du sujet soumis à des champs dépassant 10 kV/m.

6.8 Effets sur les stimulateurs cardiaques

Des mesures effectuées en laboratoire ont démontré qu'à partir de valeurs de courants induits dans le corps humain de 26 μA, un changement du mode de fonctionnement des stimulateurs cardiaques se produit, ceux-ci passant de l'état de fonctionnement «à la demande» dans un état «imposé» et revenant à un fonctionnement normal dès que l'action du champ perturbateur cesse [19]. Comme calculé au chapitre 6.2.1, les courants induits dans le corps d'une personne se trouvant sous un ouvrage à haute tension peuvent atteindre 100 μA, ce qui impose des précautions pour les personnes porteuses de tels appareils au voisinage des lignes de transport de l'énergie électrique. Pour relativiser ce danger, il faut cependant remarquer que la limite de 26 μA est inférieure à certains courants de fuite d'appareils portatifs utilisés dans la vie de tous les jours.

7. Conclusion

Les effets perturbateurs de la foudre et des lignes électriques sur l'appareillage électronique sensible sont connus et peuvent être prévus par la mesure ou par la modélisation, et une prise de conscience dans ce domaine est en train de se produire. Des méthodes de protection existent mais un grand effort doit encore être fait pour l'introduction des mesures de compatibilité électromagnétique au stade de la conception et pour la mise au point de normes.

Les effets électromagnétiques des lignes et ouvrages à haute tension sur les organismes vivants ont suscité beaucoup de discussions ces dernières années. Des instances gouvernementales et des organismes internationaux comme la CIGRE ou l'Organisation mondiale de la santé se sont penchés sur ce problème.

Sans entrer dans le domaine biologique, qui n'est pas du ressort de l'ingénieur électricien, il convient quand même de citer deux conclusions tirées par des experts sur la base de données mesurées et calculées par des spécialistes de l'électricité.

L'une d'elles se trouve dans un rapport de synthèse transmis par le gouvernement français qui conclut que: «les intensités de champ existant aujourd'hui en Europe de l'Ouest (niveau 400 kV) ne sauraient en aucune manière inquiéter le public» [20].

Une deuxième opinion peut être extraite d'un rapport préparé par l'Organisation mondiale de la santé, qui arrive à la conclusion que: «dans l'état actuel des connaissances, il n'est pas possible d'affirmer qu'une exposition de longue durée à des champs électriques sinusoïdaux compris entre 1 et 10 kV/m est dangereuse pour un organisme vivant. Les études qui prétendent mettre en évidence une corrélation entre des cas de cancer et l'exposition aux champs électriques et magnétiques manquent de données épidémiologiques convainquantes. L'OMS recommande donc de s'assurer que les couches les plus larges de la population ne soient exposées qu'aux niveaux les plus bas possibles et ne limite l'accès qu'à des régions où le champ électrique dépasse 10 kV/m» [13].

Bibliographie

[1] *Y. Rollier:* Les effets des champs électromagnétiques dans le voisinage des lignes et postes à hautes tensions, Rapport EOS/SAP, Lausanne, 15 mars 1988.

[2] *M. Aguet* et *J-J. Morf:* Energie Electrique, Traité d'Electricité de l'EPFL, vol. XII, Editions Giorgi, St-Saphorin, 1981.

[3] *M. Aguet* et *M. Ianoz:* Haute Tension, Traité d'Electricité, d'Electronique et d'Electrotechnique, vol. XXII, Dunod, Paris, 1987.

[4] *J. Hamelin* et al.: Electromagnetic Field Resulting from a Lightning Discharge. Surges induced on Overhead Lines. Mathematical Model, Proc. 3rd Symp. and Techn. Exh. on EMC, Rotterdam, May 1-3, 1979, paper 83M8.

[5] *C. Gary, A. Cimador, R. Fieux:* Connaissance actuelle de la foudre et méthode de calcul de la protection des lignes de transport. Rev. Gén. El., tome 84, No. 1, 1975.

[6] *Y.T. Lin, M.A. Uman, R.B. Standler:* Lightning Return Stroke Models. J. of Geophys. Res., vol. 85, 1980, pp. 1571... 1583.

[7] *C.-A. Nucci, C. Mazzetti, F. Rachidi, M. Ianoz:* On Lightning Return Stroke Models for LEMP Calculations. Proc. 19th Int. Conf. on Lightning Prot., Graz, April 22-25, 1988.

[8] *A. Zeddam, R. Leray, P. Degauque:* Calcul des signaux induits sur une ligne de télécommunication par un coup de foudre proche. Comparaison avec les résultats expérimentaux obtenus à St-Privat-d'Allier, 4e Colloque et Exp. sur la CEM, Limoges, 23-25 juin 1987, papier E2-2.

[9] *H. Singer, H. Steinbigler, P. Weiss:* A Charge Simulation Method for the Calculation of High Voltage Fields. IEEE Trans. Power App. Syst., vol. PAS-93, 1974, pp. 1660... 1668.

[10] *C. Gary:* Effets perturbateurs des lignes électriques. Ch. 7 dans «Compatibilité Electromagnétique», textes rassemblés par *M. Ianovici* et *J-J. Morf*, Presses Polytechniques Romandes, Lausanne, 1985.

[11] *P.-A. Chamorel:* Ligne 400 kV. Etudes des champs électriques. Rapport pour S.A. l'Energie de l'Ouest-Suisse, février 1988.

[12] *P.-A. Chamorel:* Ligne 400 kV. Etudes des champs magnétiques. Rapport pour S.A. l'Energie de l'Ouest-Suisse, novembre 1987.

[13] OMS, ONU, IRPA: Extremely Low Frequency (ELF) Fields. Environmental Health Criteria 35, Genève, 1984.

[14] *D.R.J. White:* Handbook on Electromagnetic Interference and Compatibility, vol. 4, sect. 3.22, D. White Cons., Gainsville, 1980.

[15] *C. Gary:* Effets biologiques d'un champ électrique. Que peut faire l'électricien à ce sujet? Rev. Gén. El., Numéro spécial, juillet 1976.

[16] *M. Aguet, J. Bertuchoz, M. Ianovici:* Perturbations électromagnétiques dues aux décharges statiques et aux impulsions électromagnétiques d'origine nucléaire. Ch. 5, Compatibilité Electromagnétique, textes rassemblés par *M. Ianovici* et *J-J. Morf*, Presses Polytechniques Romandes, Lausanne, 1985.

[17] *B. Daout, H. Ryser, A. Germond, P. Zweiacker:* The Correlation of Rising Slope and Speed of Approach in ESD Tests. Proc. 7th Int. Zurich Symp. and Techn. Exh. on EMC, 3-5 March, 1987, paper 84N1.

[18] *J. Cabanes, C. Gary:* La perception directe du champ électrique. Rapp. CIGRE 233-08, 1981.

[19] *J. Cabanes* et al.: Recherches sur les effets biologiques des champs à fréquence industrielle, Rapp. CIGRE 36-08, 1986.

[20] NN: Effets biologiques du champ électromagnétique des lignes à très haute tensions. Rapport de synthèse transmis par le Gouvernement français, septembre 1987.