

Calculs et mesures de champs électromagnétiques

Autor(en): **Michaud, Serge**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **83 (1992)**

Heft 11

PDF erstellt am: **11.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-902836>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Calculs et mesures de champs électromagnétiques

Serge Michaud

Dans cet article, on présente quelques exemples de calculs de champs électromagnétiques effectués par l'Inspection des installations à courant fort. On compare les valeurs obtenues pour deux types de pylônes avec diverses dispositions des phases. On présente ensuite le résultat de deux campagnes de mesures effectuées sur une ligne 380 kV et une ligne à 220 kV et compare ces résultats aux valeurs calculées. Le dernier chapitre rappelle les valeurs limites recommandées par l'IRPA.

In diesem Artikel werden einige vom Starkstrominspektorat durchgeführte Berechnungen elektromagnetischer Felder von Starkstromleitungen beschrieben; im Zentrum steht dabei der Vergleich der Rechenresultate für zwei spezifische Masttypen mit verschiedenen Phasenlagen. Danach stellt der Autor Messungen an einer 380-kV- und einer 220-kV-Leitung vor und vergleicht sie mit den Berechnungen. Schliesslich werden die von der IRPA empfohlenen Grenzwerte für elektromagnetische Felder in Erinnerung gerufen.

Adresse de l'auteur

Serge Michaud, Inspection des installations à courant fort, Inspection Suisse Romande, Ch. de Mornex 3, 1003 Lausanne.

La production, le transport, la transformation et la distribution d'énergie électrique, tout comme son utilisation, génèrent des champs électromagnétiques. Ce phénomène physique est connu depuis fort longtemps. Cependant, depuis quelques années, avec l'augmentation de la consommation d'électricité, nécessitant l'utilisation de tensions et de courants toujours plus élevés, le grand public se préoccupe de la présence de ces champs, notamment au voisinage des installations à courant fort. L'Inspection des installations à courant fort est de plus en plus confrontée à ce problème, en particulier dans le cadre de l'étude et de l'approbation des lignes à très haute tension.

Dans ce domaine, il faut distinguer trois aspects du problème:

- Les effets que pourraient avoir les champs électromagnétiques sur les personnes, les animaux ou les plantes.
- La détermination des valeurs limites acceptables pour les champs électrique et magnétique dans des conditions données.
- La détermination du niveau de ces champs.

Le but de cet article est de présenter les études effectuées par l'Inspection des installations à courant fort relatives à ce troisième aspect du problème.

Programme de calcul

Le programme de calcul tourne sur ordinateur personnel compatible IBM (MS-DOS). Il s'agit d'un programme spécial pour le calcul des champs électromagnétiques aux environs de lignes à haute tension et des grandeurs associées à l'effet couronne en tension alternative, soit:

- champ magnétique H et B dans l'espace
- champ électrique E dans l'espace
- gradients superficiels E sur les conducteurs
- pertes par effet couronne
- champ perturbateur radioélectrique NP ou bruit électrique
- bruit acoustique.

Le programme est dimensionné pour 50 faisceaux et/ou conducteurs linéaires (inducteurs) et 200 positions de champs à calculer ou capteurs (induits). Les méthodes de calculs des champs, des gradients superficiels et des paramètres de l'effet couronne sont essentiellement tirées de l'ouvrage de la Collection de la Direction des Etudes et Recherches d'Electricité de France, intitulé «L'effet de couronne en tension alternative» [1]. Les hypothèses de calculs sont les suivantes:

- Les positions des conducteurs et des champs sont données selon le système d'axes x , y , z . Les champs sont calculés par rapport au plan de sol qui peut être incliné selon les axes x et z .
- Les champs sont calculés dans un plan orthogonal (perpendiculaire) aux conducteurs et au sol.
- Les champs ne sont pas déformés par des éléments étrangers (pylônes, objets métalliques, chaînes d'isolateurs, bâtiments, etc.).
- On admet un diélectrique homogène (ϵ_r constante).
- On admet une résistance du sol nulle pour le calcul des champs électriques.
- On admet une résistivité du sol quasi infinie pour le calcul des champs magnétiques. Dans ce cas, la profondeur de pénétration des courants de retour est beaucoup plus grande que la hauteur des conducteurs au-

dessus du sol. Ceci est vérifié aux fréquences industrielles. On néglige ainsi les conducteurs images.

- Les tensions et courants de crête homologues sont en phase dans un système multicircuits, et sont en phase dans la première alternance d'un système multifréquences. On calcule ainsi les champs dans les conditions les plus sévères avec superposition des valeurs de crête.

Calculs effectués

Des calculs ont été effectués pour des lignes aériennes à divers niveaux de tension, entre 16 et 380 kV. Nous présentons ici deux exemples de calculs pour des lignes 380 kV. Les calculs ont été effectués pour les conditions suivantes:

- $U = 400$ kV
- $I = 2900$ A
- distance au sol des conducteurs inférieurs: 10 m
- calculs à mi-portée (pas d'influence des pylônes)
- calculs pour des points situés à un mètre du sol et à une distance, perpendiculaire à l'axe, comprise entre -30 et $+30$ m.

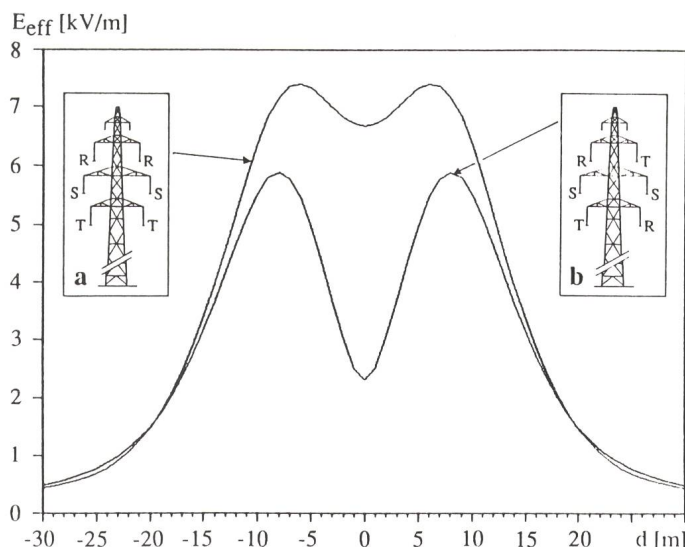
Les graphiques suivants représentent les valeurs efficaces des champs électrique et magnétique en fonction de la distance à l'axe de la ligne.

Pylône sapin 2×380 kV + 1×132 kV (CFF)

Les figures 1 et 2 représentent des résultats de calculs pour une ligne

Figure 1
Champs électriques d'une ligne 380 kV

Résultats de calcul pour pylône sapin
 a disposition symétrique
 b disposition circulaire
 E_{eff} champ électrique (valeurs efficaces)
 d distance à l'axe de la ligne



2×380 kV + 1×132 kV (CFF) avec pylônes sapin.

Des calculs ont été effectués pour les quatre autres dispositions possibles des phases. L'étude montre que dans le cas présent du pylône sapin, la disposition circulaire des phases est la plus favorable en regard des champs électrique et magnétique (diminution rapide lorsqu'on s'éloigne de l'axe de la ligne).

Lors de l'étude de projets de nouvelles lignes ou de modifications de lignes existantes, l'Inspection des installations à courant fort pourra exiger une disposition des phases favorables en regard des champs électromagnétiques. Cependant, d'autres critères tels que l'impact visuel ou les contraintes géométriques doivent être pris en con-

sidération. C'est le cas en particulier lors de dérivations à partir de lignes existantes ou pour les entrées dans les postes.

Pylône Danube 2×380 kV

Les figures 4 et 5 représentent des résultats de calculs pour une ligne 2×380 kV avec pylônes Danube (figure 3).

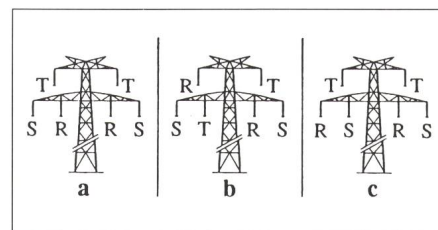


Figure 3 Pylône Danube: dispositions possibles des phases
 a disposition symétrique
 b disposition circulaire
 c disposition TRSRST

Les trois autres dispositions possibles ont également été étudiées. Il est intéressant de remarquer que si la disposition circulaire est favorable tant pour le champ électrique que pour le champ magnétique, la disposition TRSRST (voir figures 3-5) présente certains avantages, avec en particulier des champs très faibles directement sous la ligne.

Appareillage de mesures

Comme cité plus haut, les calculs ont été effectués dans des conditions homogènes, en négligeant les influen-

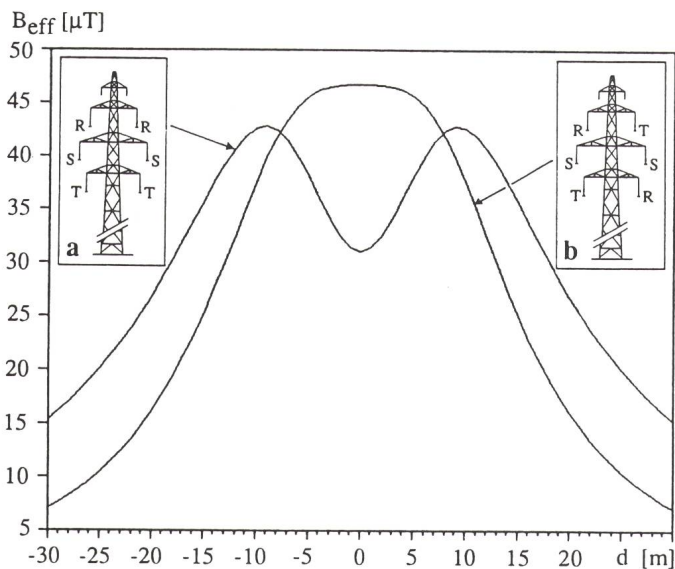


Figure 2
Champs magnétiques d'une ligne 380 kV

Résultats de calcul pour pylône sapin
 a disposition symétrique
 b disposition circulaire
 B_{eff} champ magnétique (valeurs efficaces)
 d distance à l'axe de la ligne

ces des éléments étrangers tels que pylônes, constructions, arbres et configuration du terrain. Dans la réalité, les champs électromagnétiques seront modifiés par ces éléments. Ce sera particulièrement le cas pour le champ électrique.

Il est donc intéressant d'effectuer un certain nombre de comparaisons entre les valeurs calculées et les valeurs réellement mesurables sur le site. Différents appareils de mesure ont été testés. Nous présenterons ici deux d'entre eux:

Holiday Industries, modèle HI-3600-02: mesure de champs électrique et magnétique; sensibilité: champ électrique 1 V/m-199 kV/m, champ magnétique 12 nT-2.5 mT; fréquence 50 Hz-1 kHz; lecture digitale; alimentation: accumulateurs.

Emdex II: actuellement seulement pour le champ magnétique; sensibilité 10 nT-0.3 mT; fréquence 40 Hz-800 Hz; lecture digitale; alimentation: accumulateurs. L'appareil permet la mémorisation de 20 groupes de mesures. Il est livré avec un logiciel permettant la lecture, l'évaluation et la représentation graphique des résultats sur ordinateur personnel (MS-DOS).

Mesures

Diverses campagnes de mesures conduites au voisinage de lignes 380 kV et 220 kV ont montré que les résultats des calculs peuvent être considérés comme satisfaisants. C'est le cas en particulier lorsqu'on se trouve en terrain plat et dénudé d'obstacle. En revanche, en terrain accidenté, dans des zones bâties ou lorsqu'on est en présence d'obstacles naturels, les valeurs mesurées s'écartent, parfois fortement (50-100%) des valeurs calculées. Mais dans la majorité des cas étudiés à ce jour, les valeurs calculées sont supérieures aux valeurs mesurées. Voici deux exemples de mesures comparatives effectuées dans des conditions favorables.

Ligne 1x380 kV Mettlen-Lavorgo (CKW)

Les spécifications de cette ligne les plus importantes sont:

- Pylône TW. Conducteurs en nappe.
- Conducteurs inférieurs à environ 14 m du sol.
- Condition d'exploitation: $U_r = 402$ kV; $I_r = 1055$ A; $U_s = 399$ kV; $I_s = 1085$ A; $U_t = 390$ kV; $I_t = 1070$ A.

Figure 4
Champs électriques d'une ligne 380 kV
Résultats de calcul pour pylône Danube
a disposition symétrique
b disposition circulaire
c disposition TRSRST
 E_{eff} champ électrique (valeurs efficaces)
d distance à l'axe de la ligne

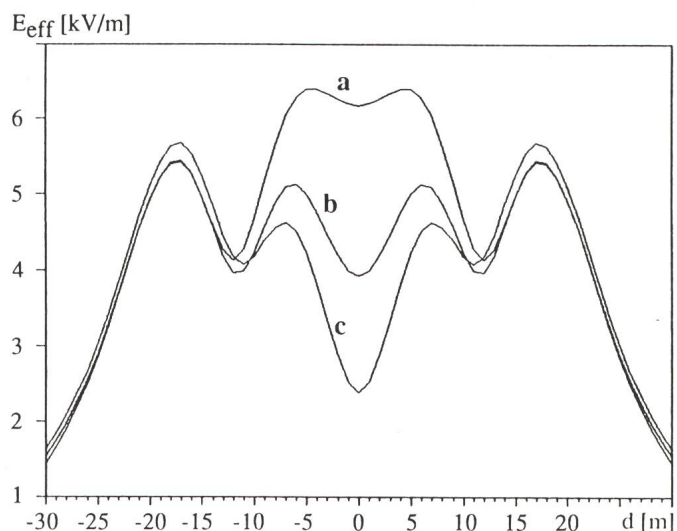


Figure 5
Champs magnétiques d'une ligne 380 kV
Résultats de calcul pour pylône Danube
a disposition symétrique
b disposition circulaire
c disposition TRSRST
 B_{eff} champ magnétique (valeurs efficaces)
d distance à l'axe de la ligne

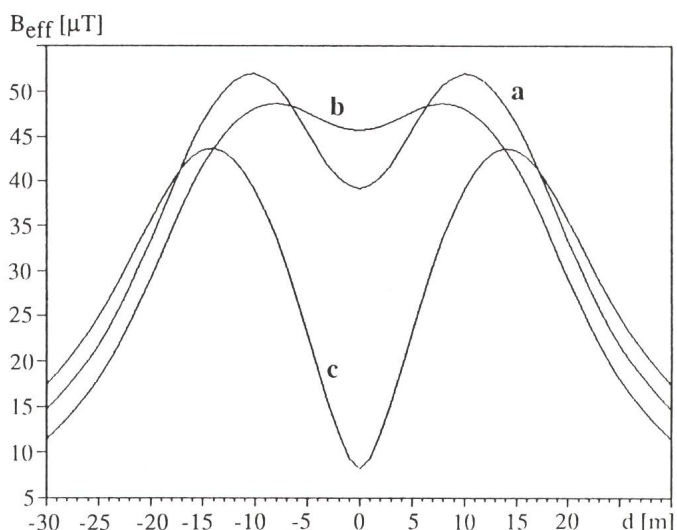
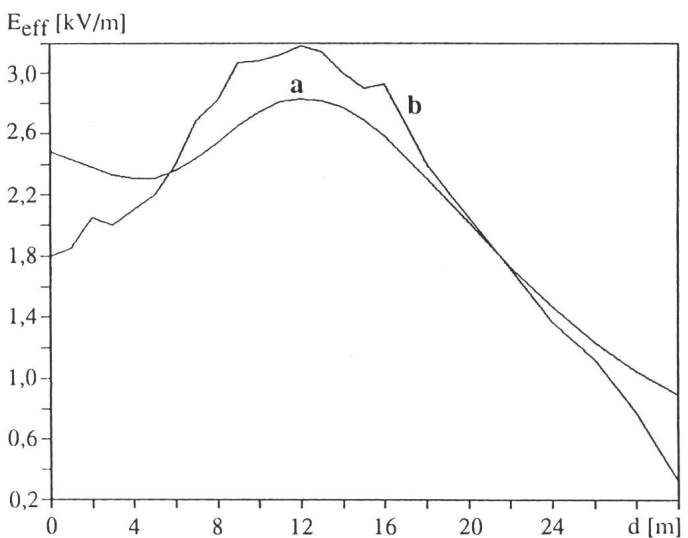


Figure 6
Champs électriques de la ligne 380 kV Lavorgo
Conducteurs en nappe (STR) à 14 m
a valeurs calculées
b valeurs mesurées (Holiday)
 E_{eff} champ électrique (valeurs efficaces)
d distance à l'axe de la ligne



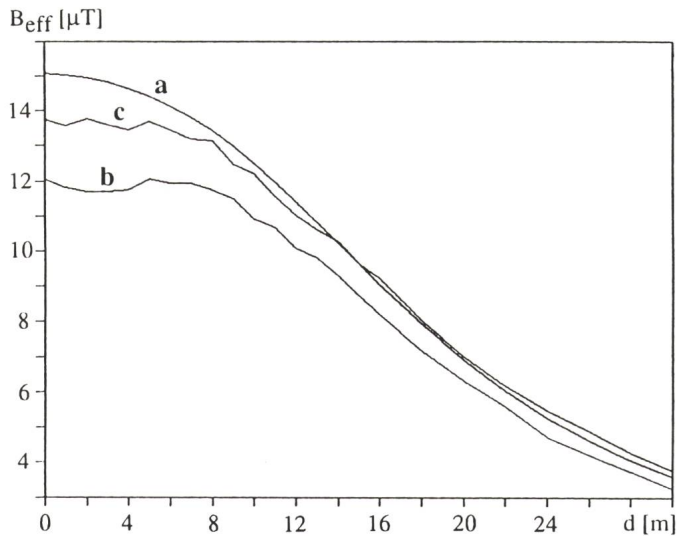


Figure 7
Champs magnétiques de la ligne 380 kV Lavorgo
 Conducteurs en nappe (STR) à 14 m
 a valeurs calculées
 b valeurs mesurées (Holaday)
 c valeurs mesurées (Emdex)
 B_{eff} champ magnétique (valeurs efficaces)
 d distance à l'axe de la ligne

- Caractéristiques des conducteurs: diamètre des conducteurs 38 mm; diamètre des faisceaux 400 mm; faisceaux composé de 2 conducteurs simples.
- Caractéristiques du terrain: terrain plat entre 0 et 30 m de l'axe. De l'autre côté, à partir d'environ 10 m de l'axe, le terrain monte en pente raide, rendant la mesure impossible.

Les résultats de calcul et de mesure sont comparés dans les figures 6 et 7.

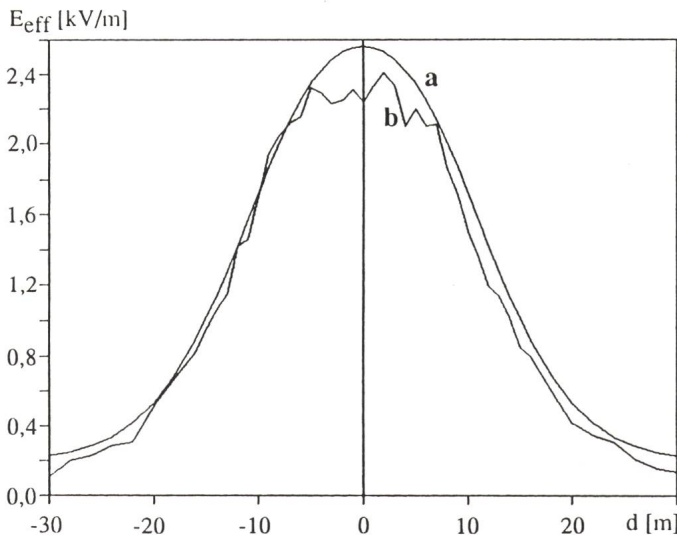


Figure 9
Champs électriques de la ligne 220 kV Romanel-Foretaille (EOS)
 Pylône porteur SAE (figure 8); conducteurs inférieurs à env. 10 m du sol
 a valeurs calculées
 b valeurs mesurées (Holaday)
 E_{eff} champ électrique (valeurs efficaces)
 d distance à l'axe de la ligne

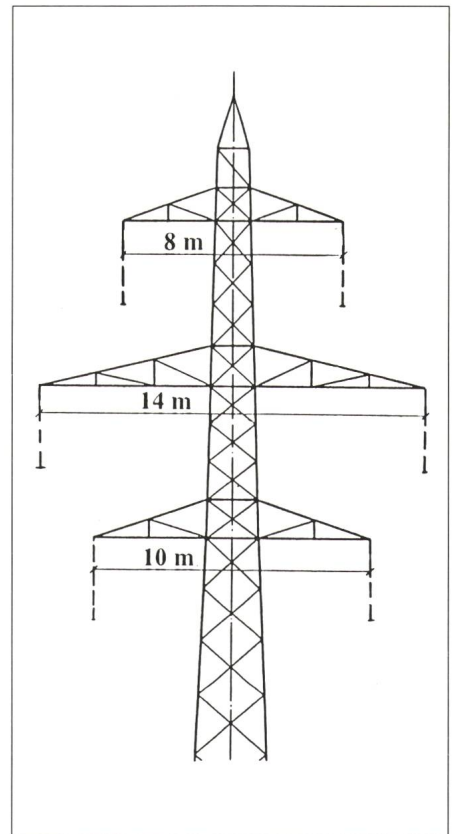


Figure 8 Pylône porteur SAE
 Pylône de la ligne 220 kV Romanel-Foretaille (EOS)

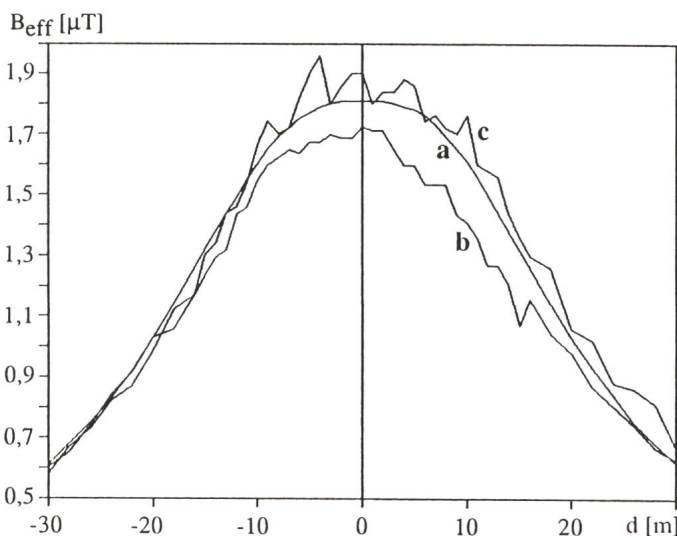


Figure 10
Champs magnétiques de la ligne 220 kV Romanel-Foretaille (EOS)
 a valeurs calculées
 b valeurs mesurées (Holaday)
 c valeurs mesurées (Emdex)
 B_{eff} champ magnétique (valeurs efficaces)
 d distance à l'axe de la ligne

Ligne 220 kV Romanel-Foretaille (EOS)

Les spécifications essentielles de cette ligne sont:

- Pylône porteur SAE (figure 8).
- Conducteur inférieur à environ 10 m du sol.
- Conditions d'exploitation: terne côté lac (à droite): $U = 230 \text{ kV}$, $I = 200 \text{ A}$; terne côté Jura (à gauche): $U = 230 \text{ kV}$, $I = 197 \text{ A}$.
- Caractéristiques des conducteurs: diamètre de chaque conducteur 29,4 mm, diamètre du faisceau 400 mm; faisceaux composés de 2 conducteurs simples.

Pylône porteur SAE (figure 8); conducteurs inférieurs à env. 10 m du sol

– Caractéristique du terrain: plat de part et d'autre de la ligne.

Les résultats de calcul et de mesure sont comparés dans les figures 9 et 10.

Valeurs limites

La base légale applicable au domaine des champs électromagnétiques est la loi sur la protection de l'environnement (LPE, RS 814.01) du 7 octobre 1983. Actuellement, aucune valeur limite n'a été fixée en Suisse. Cependant, dans les milieux compétents de la CE, du Cenelec et de la Confédération, on s'accorde à penser que les valeurs limites provisoires de l'IRPA (Association Internationale de Radioprotection) pour les champs électromagnétiques à 50 Hz pourront être adoptées à titre de recommandations (voir figure 11). Divers groupes de travail, en Suisse et en Europe, étudient ce problème.

Conclusion

Sur la base des expériences décrites, on constate que l'évaluation des champs électromagnétiques générés par les lignes à haute tension est possible. Les résultats obtenus par calcul doivent être interprétés de manière prudente en tenant compte des facteurs externes qui n'ont pas été pris en considération.

L'exécution des mesures est une tâche délicate qui demande une bonne préparation et une certaine expérience. L'appareillage doit être régulièrement contrôlé et étalonné.

Type d'exposition	Champ électrique		Champ magnétique	
	E_{eff} [kV/m]	FS	B_{eff} [mT]	FS
<i>Professionnel</i>				
Journée de travail	10	3	0,5	10
Court terme	30 ^a	1	5 ^b	1
Membres	–		25	0,2
<i>Public</i>				
Permanent ^c	5	6	0,1	50
Quelques heures par jour ^d	10	3	1	5

Figure 11 Limites pour champs électromagnétiques

Limites provisoires recommandées par l'IRPA pour l'exposition aux champs électriques et magnétiques à 50/60 Hz

- a* La durée d'exposition à des champs compris entre 10 et 30 kV peut être calculé par la formule $t \leq 80/E$, où t est exprimé en heures par jour et E en kV/m
- b* Exposition maximum de 2 heures par jour
- c* Cette restriction s'applique au public général pouvant séjourner une partie substantielle de la journée dans des espaces libres tels que zones récréatives, terrains de réunions, etc.
- d* Les valeurs peuvent être excédées pendant quelques minutes par jour, à condition que des précautions soient prises pour éviter des effets de couplages indirects
- FS Facteur de sécurité

L'Inspection des installations à courant fort a établi un catalogue des calculs des champs au voisinage des lignes à haute tension, pour diverses dispositions des conducteurs et diverses tensions, par exemple:

- sapin 2×380 kV + 1×132 kV (CFF),
- Danube 2×380 kV,
- Danube 2×380 kV + 2×125 kV,
- sapin 2×380 kV + 2×220 kV,
- sapin 2×220 kV, etc.

Pour chaque cas, l'influence de la disposition des phases a été étudiée, permettant de déterminer la disposition optimale du point de vue des

champs électromagnétiques. Plus de renseignements sur ce catalogue et sur les possibilités de calcul et de mesure de l'Inspection des installations à courant fort peuvent être obtenus auprès de l'auteur du présent article.

Références

- [1] G. Gary et M. Moreau: L'effet de couronne en tension alternative. Edition Eyrolles, 1976.
- [2] P.-A. Chamorel: Programme CHAMP pour le calcul des champs électromagnétiques aux environs des lignes HT, avril 1991.
- [3] E. Joye: Champs électromagnétiques produits par les installations à courant fort. Journée d'information de l'ASE du 25 juin 1991 à Lausanne.
- [4] Interim guidelines on limits of exposure to 50/60 Hz electric and magnetic fields. Health Physics 58(1990)1, p. 113–122.