



Fiche Champs électromagnétiques | ED 4210

Équipements et installations de transport et de distribution d'électricité

Les réseaux de transport et de distribution d'énergie électrique (lignes aériennes, câbles souterrains, postes de transformation) permettent d'acheminer l'électricité fournie par les installations de production (centrales nucléaires, centrales hydroélectriques, éoliennes, etc.) aux utilisateurs. Le passage de l'électricité dans les lignes à haute tension et les postes de transformation génère, dans leur voisinage immédiat, des champs électriques et magnétiques. Cette fiche traite de l'exposition des travailleurs aux champs électromagnétiques générés par les équipements et les installations de transport et de distribution d'électricité à la fréquence du réseau électrique, soit 50 hertz (Hz).

En France, les entreprises sont généralement alimentées avec des tensions inférieures ou égales à 20 kilovolts (kV). Cependant, certains sites industriels nécessitant de fortes puissances peuvent être alimentés avec des tensions allant jusqu'à 400 kV.

Le réseau est composé d'environ 100 000 kilomètres de lignes aériennes, 5 000 kilomètres de câbles souterrains, 2 700 postes de transformation et 50 liaisons transfrontalières. Les installations électriques sont classées en quatre domaines en fonction de la plus grande des tensions nominales

existant, soit entre deux quelconques de leurs conducteurs, soit entre l'un d'entre eux et la terre (voir Tableau 1).

La tension nominale (U_n) est définie normativement comme la valeur de la tension par laquelle l'installation électrique ou une partie de l'installation électrique est désignée et identifiée. Pour les courants alternatifs, les valeurs de tensions correspondent à des valeurs de tensions efficaces.

Il est à noter que l'utilisation du courant continu est moins répandue que celle du courant alternatif. On le retrouve notamment dans certaines applications telles que l'électrolyse industrielle, la

traction électrique ferroviaire ou les électroaimants.

Les lignes aériennes à haute tension

Les lignes aériennes à haute tension génèrent essentiellement un champ électrique qui s'exprime en volt/mètre (V/m). Le champ électrique est d'autant plus élevé que la tension est forte et que l'on se situe à proximité de la ligne. Au niveau du sol, le champ électrique est d'environ 5 000 V/m à la verticale du câble pour une ligne HTB de 400 kV

Domaine de tension	Courant alternatif	Courant continu
Très basse tension (TBT)	$U_n \leq 50 \text{ V}$	$U_n \leq 120 \text{ V}$
Basse tension (BT)	$50 \text{ V} < U_n \leq 1\,000 \text{ V}$	$120 \text{ V} < U_n \leq 1\,500 \text{ V}$
Haute tension A (HTA)	$1\,000 \text{ V} < U_n \leq 50\,000 \text{ V}$	$1\,500 \text{ V} < U_n \leq 75\,000 \text{ V}$
Haute tension B (HTB)	$U_n > 50\,000 \text{ V}$	$U_n > 75\,000 \text{ V}$

■ Tableau 1. Domaines de tension.

(voir Figure 1). Il décroît rapidement avec la distance par rapport à la ligne. À l'intérieur des constructions, il est fortement atténué.

Il existe également, au niveau du sol, une induction magnétique, qui s'exprime en microtesla (μT) (voir Figure 2).

Les lignes enterrées

Les canalisations utilisées dans les lignes enterrées sont isolées électriquement par une gaine et munies d'un blindage raccordé à la terre. Ainsi, le champ électrique résiduel est faible.

Concernant le champ magnétique généré par une ligne enterrée, il est généralement moins élevé que pour une ligne aérienne. Toutefois, les lignes souterraines étant le plus souvent rassemblées en faisceau pour limiter leur emprise au sol, il en résulte, à l'aplomb, un champ magnétique renforcé qui peut alors être plus élevé à la surface du sol.

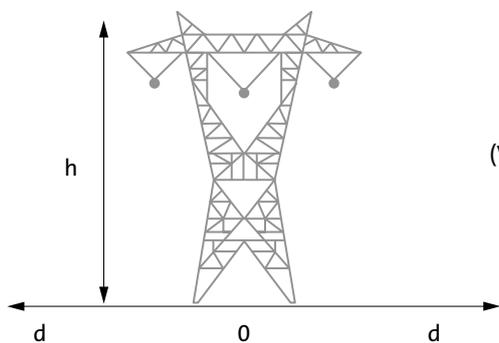
Les postes de transformation

Les postes de transformation sont composés de transformateurs qui permettent d'élever ou de diminuer la tension. En sortie d'une installation de production d'électricité, la tension est généralement comprise entre 10 kV et 30 kV. Pour transporter l'énergie, un transformateur élève la tension à des valeurs de 63 kV, 90 kV, 225 kV ou 400 kV afin de limiter les pertes par effet Joule dues à la résistance électrique des conducteurs.

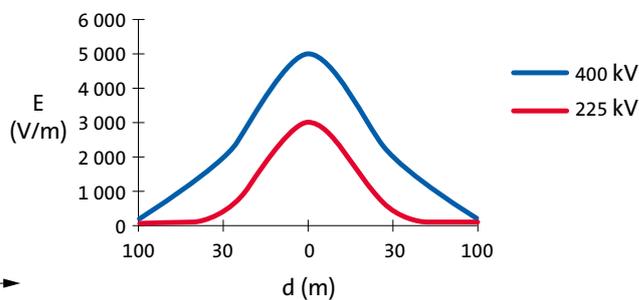
Pour permettre la distribution de l'énergie, des transformateurs haute tension (par exemple, 63 kV/20 kV) vont progressivement diminuer la tension au niveau requis pour le consommateur. En France, les tensions nominales d'usage sont généralement de 230 V en monophasé et de 230V/400V en triphasé.



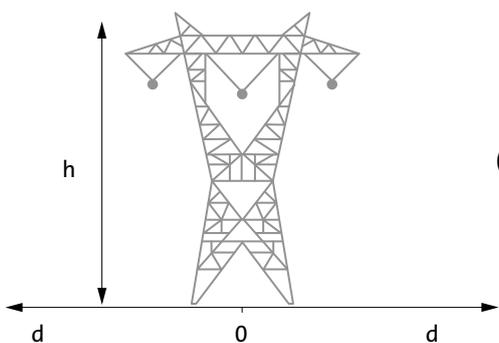
■ Transformateur à haute tension/basse tension.



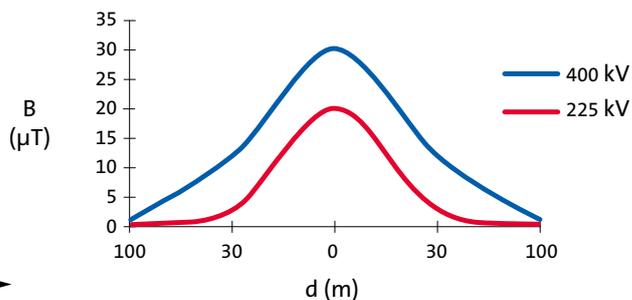
$h \approx$ de 35 à 54 m en 400 kV
de 25 à 42 m en 225 kV



■ Figure 1. Exemple de répartition du champ électrique moyen (E) au niveau du sol en fonction de la distance (d) à la ligne.



$h \approx$ de 35 à 54 m en 400 kV
de 25 à 42 m en 225 kV



■ Figure 2. Exemple de répartition de l'induction magnétique (B) au niveau du sol. Elle est variable en fonction du courant circulant dans la ligne et reste faible, au maximum de l'ordre de 30 μT .

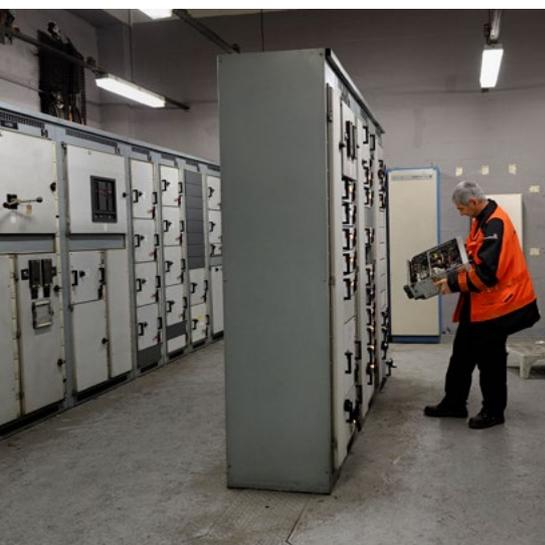
Les câbles parcourus par de fortes intensités (quelques centaines d'am-pères) peuvent générer dans leur voisinage des champs magnétiques importants. Cependant, un transformateur est conçu de façon à concentrer le champ magnétique à l'intérieur de son circuit. Ainsi, l'intensité du champ magnétique aux alentours des postes de transformation est relativement faible (en moyenne de 20 à 30 μT).

Les valeurs d'induction magnétique les plus élevées sont mesurées à proximité des câbles de sortie à basse tension des transformateurs et des tableaux de distribution. Elles sont très variables et dépendent du courant fourni (nombre d'installations en service).

Le champ électrique mesuré à proximité des postes de transformation est généralement très faible, de l'ordre de quelques dizaines de V/m. Cependant, il peut être plus important au niveau des câbles à haute tension non blindés. L'accès aux postes de transformation est interdit ou réglementé, car le risque d'électrisation ou d'électrocution est prépondérant.

Distribution d'électricité aux installations

La distribution d'électricité aux installations est réalisée par un ensemble d'appareillages électriques permettant de répartir et de distribuer l'électricité au sein de tout ou partie d'un lieu de travail.



■ Armoire électrique.

Ces appareillages électriques sont regroupés sous la forme d'un simple coffret, d'une armoire ou d'un ensemble d'armoires. Selon l'importance de l'établissement, ces coffrets et armoires peuvent être répartis dans plusieurs locaux.

Risques liés à l'exposition aux champs électromagnétiques

Effets directs

Effets à court terme

Les effets des champs électromagnétiques sur le corps dépendent de la fréquence et de l'intensité du champ. Pour les basses fréquences, dont celle de 50 Hz, il existe deux catégories d'effets à court terme sur l'organisme. La première concerne les effets sensoriels qui se manifestent par l'apparition de magnétophosphènes⁽¹⁾ et de modifications mineures passagères de certaines fonctions cérébrales, liés à une exposition de la tête. La seconde concerne les effets sur la santé qui se caractérisent par la stimulation des tissus excitables (muscles, nerfs, etc.) dans l'ensemble du corps. Ces différents effets sont réversibles et ne peuvent apparaître qu'à partir d'un certain niveau d'intensité de champ. Le respect des valeurs limites d'exposition (VLE) fixées par le Code du travail garantit l'absence d'effets. Pour plus d'informations, se référer à la fiche Champs électromagnétiques *Les ondes électromagnétiques. Actions et effets sur le corps humain*. INRS, ED 4350.

Effets à long terme

La directive 2013/35/UE dont est issue la réglementation française concernant l'exposition professionnelle aux champs électromagnétiques précise qu'elle ne traite pas des effets à long terme. En effet, il n'existe actuellement pas d'éléments scientifiques suffisamment probants permettant d'établir un lien de causalité avec certains effets

avancés sur la santé. Toutefois, le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) a classé les champs magnétiques d'« *extrêmement basses fréquences* » (catégorie de fréquences à laquelle appartient celle de 50 Hz) comme possiblement cancérogènes pour l'homme (catégorie 2B). Ce classement a été établi sur la base de résultats d'études épidémiologiques mettant en évidence un risque accru de leucémie chez des enfants résidant à proximité de lignes à haute tension. Cependant, les résultats d'autres études sont contradictoires et aucun mécanisme biophysique permettant de démontrer un possible lien n'a pu être mis en évidence.

Effets indirects

Courants de contact

Les courants de contact sont des effets indirects des champs électriques et magnétiques. Ils peuvent se manifester lorsqu'une personne entre en contact avec un objet conducteur et que cette personne ou cet objet sont soumis à un champ électrique ou magnétique. Les mécanismes qui conduisent à l'apparition de ces courants de contact dépendent de la nature du champ et de l'isolement de la personne et de l'objet par rapport à la terre.

À 50 Hz, le seuil de perception cutanée du courant est de 0,5 milliampère (mA), et une valeur déclenchant l'action de 1 mA a été définie dans le Code du travail afin de se prémunir contre les effets néfastes liés aux courants de contact. Le risque de dépassement de cette valeur déclenchant l'action peut être maîtrisé en s'assurant que les objets conducteurs avec lesquels un contact peut être établi sont correctement reliés à la terre.

Interaction avec les dispositifs médicaux

Il existe un risque de dysfonctionnement des dispositifs médicaux actifs implantés ou portés à même le corps tels que les stimulateurs cardiaques, les défibrillateurs, les prothèses auditives, les pompes à insuline et les valves cérébrales (voir la fiche Champs électromagnétiques *Dispositifs médicaux implantables*. INRS, ED 4267).

1. Tâches lumineuses dans le champ visuel liées à l'exposition au champ magnétique.

Réglementation

Protection du public

La protection du public contre les effets liés à l'exposition aux champs électromagnétiques repose sur le respect de valeurs limites d'exposition spécifiques.

L'implantation des ouvrages électriques est réglementée⁽²⁾ et prévoit, pour les réseaux électriques en courant alternatif, que la position des ouvrages par rapport aux lieux normalement accessibles aux tiers soit telle que le champ électrique résultant en ces lieux n'excède pas 5 kV/m et que le champ magnétique associé n'excède pas 100 µT dans les conditions de fonctionnement en régime de service permanent. Le respect de ces niveaux d'exposition permet de garantir la non-apparition des effets directs décrits dans le paragraphe précédent.

Le décret n° 2011-1697 du 1^{er} décembre 2011 relatif aux ouvrages des réseaux publics d'électricité et des autres réseaux d'électricité et au dispositif de surveillance et de contrôle des ondes électromagnétiques, impose au gestionnaire du réseau public de transport d'électricité, sous certaines conditions, un contrôle des champs électromagnétiques induits par les lignes dont la tension est supérieure à 50 kV. Les résultats des mesures réalisées lors d'un contrôle sont transmis à l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) et sont accessibles sur www.cem-mesures.fr.

2. L'arrêté du 17 mai 2001 fixe les conditions techniques auxquelles doivent satisfaire les distributions d'énergie électrique.

L'ensemble des valeurs limites d'exposition du public est défini dans le décret 2002-775 du 3 mai 2002.

Protection des travailleurs

Travailleurs sans risques particuliers

Le Code du travail (articles R. 4453-3 et R. 4453-4) fixe des valeurs limites d'exposition (VLE) ainsi que des valeurs déclenchant l'action (VA) visant à limiter les risques liés à l'exposition des travailleurs sans risques particuliers aux champs électromagnétiques.

Les VLE représentent des seuils à ne pas dépasser à l'intérieur du corps. Les VA constituent, quant à elles, des niveaux de champs externes. Le non-dépassement de la VA basse permet de respecter la VLE relative aux effets sensoriels pour une exposition localisée de la tête. Le non-dépassement de la VA haute et de la VA membres permet de respecter la VLE relative aux effets sur la santé pour l'ensemble du corps. La VA relative aux courants de contact permet de garantir la non-apparition d'effets néfastes liés au passage du courant à travers le corps. Les niveaux de champs électromagnétiques et de courant mesurés ou calculés sont directement comparables aux VA.

Travailleurs à risques particuliers (femmes enceintes, porteurs de dispositifs médicaux implantés actifs ou passifs)

Afin de protéger l'enfant à naître, l'exposition de la femme enceinte doit être maintenue à un niveau aussi faible qu'il est raisonnablement possible d'atteindre en tenant compte des recommandations de bonnes pratiques

existantes. En tout état de cause, son exposition doit être inférieure aux valeurs limites d'exposition du public aux champs électromagnétiques.

Concernant les personnes porteuses d'implants passifs, il existe peu de données susceptibles de servir de base à l'évaluation des risques. Cependant, il est considéré que le respect des valeurs limites d'exposition du public assure normalement une protection adéquate.

La réglementation impose aux fabricants de dispositifs médicaux implantés actifs d'assurer une protection de leurs produits vis-à-vis des champs électromagnétiques associés à des conditions d'environnement raisonnablement prévisibles. En pratique, les fabricants se reposent sur des normes harmonisées afin de s'assurer du respect de cette exigence. Les niveaux d'immunité décrits dans ces normes découlent des valeurs limites d'exposition du public. Ainsi, les intensités de champ inférieures aux valeurs limites d'exposition du public ne devraient pas entraîner de dysfonctionnement de ces dispositifs. Toutefois, il est recommandé de demander au fabricant le niveau d'immunité précis du dispositif médical implantable actif pour la fréquence considérée, et de le comparer au niveau d'exposition du salarié porteur pour faire l'évaluation du risque.

Synthèse

Les VA applicables aux travailleurs sans risques particuliers et les niveaux de référence applicables au public pour une fréquence de 50 Hz sont indiqués dans le tableau 2.

Type d'effet	Grandeur	Niveau de référence à 50 Hz (public)	VA à 50 Hz (travailleurs sans risques particuliers)
Stimulation des tissus excitables	Champ électrique	5 000 V/m	20 000 V/m
	Induction magnétique	100 µT	VA basse : 1 mT VA haute : 6 mT VA membres : 18 mT
Courant de contact	Courant de contact	0,5 mA	1 mA
Décharge d'étincelle	Champ électrique	-	10 000 V/m

■ Tableau 2. VA applicables aux travailleurs sans risques particuliers et niveaux de référence applicables au public pour une fréquence de 50 Hz.

Évaluation des risques

En premier lieu, l'évaluation des risques est menée à partir de données documentaires accessibles.

Lorsque l'analyse des données documentaires ne permet pas de conclure à l'absence de risque de dépassement des VA ou des VLE, alors il est nécessaire de réaliser une analyse approfondie.

Le guide d'aide à la mise en œuvre de la directive 2013/35/UE fournit une liste de sources de champs électromagnétiques pour lesquelles une évaluation approfondie est nécessaire. L'INRS a développé un outil en ligne reposant sur ce guide qui permet d'accompagner l'employeur dans sa démarche d'évaluation⁽³⁾.

Champ électrique

Une évaluation approfondie des risques liés à l'exposition au champ électrique est nécessaire pour les lieux de travail situés en dessous de conducteurs nus aériens d'une tension nominale supérieure à 100 kV, ou d'une ligne aérienne d'une tension supérieure à 150 kV.

Il est à noter que les circuits de câbles souterrains ou de conducteurs isolés ne nécessitent pas d'évaluation approfondie et ce, quelle que soit leur tension nominale.

3. Oseray (Outil simplifié d'évaluation des risques dus aux rayonnements électromagnétiques) : <https://www.inrs.fr/publications/outils/osera/calculateur.html>

Champ magnétique

En ce qui concerne l'exposition au champ magnétique, il est recommandé de réaliser une évaluation approfondie lorsque l'intensité du courant nominal dans un conducteur dépasse 100 A. Cette recommandation est valable pour tout circuit électrique (câble, dispositif de commutation, transformateur, etc.). En effet, à ce niveau d'intensité, le champ magnétique généré à 20 cm par un conducteur unique de très grande longueur est susceptible de dépasser la limite de 100 µT applicable au public pour une fréquence de 50 Hz. La formule simplifiée permettant d'aboutir à ce résultat est la suivante :

$$d(m) = 0,2 \cdot \frac{I(A)}{B(\mu T)}$$

avec :

d(m) : distance par rapport au conducteur (en mètre).

I(A) : intensité du courant qui circule dans le conducteur (en ampère).

B(µT) : niveau de champ magnétique à ne pas dépasser (en microtesla).

Moyens de prévention

Le moyen de prévention de l'exposition aux champs électriques et magnétiques applicable dans toutes les situations est l'éloignement.

La formule de calcul précédente permet d'identifier l'intensité à partir de laquelle, à une distance donnée, il existe un risque de dépassement d'un niveau de champ magnétique.

Elle permet également de déterminer, pour une intensité de courant donnée, la distance à partir de laquelle un niveau de champ magnétique est susceptible d'être atteint.

Le tableau 3 utilise cette formule de calcul afin de donner, pour différents niveaux d'intensité, les distances à respecter afin de ne pas dépasser le niveau de référence pour le public et la VA basse pour l'exposition de la tête des travailleurs sans risques particuliers.

Il est à noter que cette approche est valable lorsque la distance entre le travailleur et le conducteur est petite devant la longueur de ce dernier. En effet, cette condition est protectrice, car elle surestime le niveau de champ réel. Dans certains cas particuliers, seuls des mesurages dans les conditions réelles de fonctionnement permettent de définir précisément les distances de sécurité. Parmi ces cas particuliers, on retrouve notamment les environnements de travail au sein desquels plusieurs sources sont à distance comparable des travailleurs ou encore la présence de circuits constituant des boucles et des bobines.

La prévention repose également sur la signalisation des zones à risques en adéquation avec ces distances de sécurité ainsi que sur la formation et l'information des travailleurs. Pour plus d'informations sur les moyens de prévention, consultez la fiche *Champs électromagnétiques : moyens de prévention*. INRS, ED 4214.

Concernant les installations électriques à haute tension, le respect des distances indiquées pour le risque d'électrisation, soit 3 m en HTA ou 5 m

Courant de phase (A)	Distance en m Respect du niveau de référence 50 Hz (public) (100 µT)	Distance en m Respect de la VA _{basse} 50 Hz (travailleurs sans risques particuliers) (1 mT ou 1000 µT)
50	0,1	0,01
100	0,2	0,02
200	0,4	0,04
500	1	0,1
1 000	2	0,2
1 500	3	0,3
2 000	4	0,4

■ Tableau 3. Distances à respecter pour ne pas dépasser le niveau de référence pour le public et la VA basse pour l'exposition de la tête des travailleurs sans risques particuliers.

en HTB, garanti, en règle générale, que la valeur déclenchant l'action de 20000 V/m ne sera pas dépassée.

N.B. : les interventions au plus près des conducteurs doivent être effectuées par du personnel habilité et une évaluation des risques tant électriques qu'électromagnétiques doit être réalisée.

Fiche INRS élaborée par
Romain Mouillseaux et
le groupe RNI Carsat-Cramif-INRS

Pour en savoir plus

Documents INRS téléchargeables sur www.inrs.fr :

- Fiches Champs électromagnétiques :
 - Généralités sur les champs électromagnétiques jusqu'à 300 GHz, **ED 4201**
 - Champs électromagnétiques : moyens de prévention, **ED 4214**
 - Les ondes électromagnétiques. Actions et effets sur le corps humain, **ED 4350**
 - Dispositifs médicaux implantables, **ED 4267**
- L'électricité, **ED 6345**

Autres documents :

- Articles R. 4453-1 à R. 4453-34 du Code du travail (<https://www.legifrance.gouv.fr/>)
- Norme fondamentale pour l'évaluation de l'exposition des travailleurs aux champs électriques et magnétiques produits par les équipements et installations de production, transport et distribution d'électricité, NF EN 50647 (<https://m.boutique.afnor.org/>)
- Guide non contraignant de bonnes pratiques pour la mise en œuvre de la directive 2013/35/UE « Champs électromagnétiques » (volume I : Guide pratique ; volume II : Étude de cas ; Guide à l'intention des PME) (<https://op.europa.eu/fr/home>)



Institut national de recherche et de sécurité
pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles
65, boulevard Richard-Lenoir 75011 Paris • 01 40 44 30 00 • info@inrs.fr

Édition INRS ED 4210

2^e édition | mars 2022 | ISBN 978-2-7389-2741-5 | Disponible uniquement au format web
Mise en page : Valérie Latchague-Causse

L'INRS est financé par la Sécurité sociale
Assurance maladie - Risques professionnels