



Électrolyse industrielle

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

L'électrolyse est un procédé qui permet de réaliser des réactions chimiques grâce à une activation électrique. C'est le processus de conversion de l'énergie électrique en énergie chimique. L'électrolyse est utilisée dans divers procédés industriels, tels que la production d'hydrogène par électrolyse de l'eau, la production d'aluminium ou de chlore, ou encore pour

le traitement de surface par chromage, galvanoplastie...

La matière à décomposer ou à transférer est dissoute dans un solvant approprié, ou fondue de sorte que ses ions constitutifs soient disponibles dans la solution. Une différence de potentiel est appliquée entre deux électrodes immergées dans cette solution. Lors du passage d'un courant électrique continu, les électrodes attirent à elles les ions de charge opposée.

Il existe en France environ 1 100 cuves d'électrolyse industrielle.

CARACTÉRISTIQUES ÉLECTROMAGNÉTIQUES DES ÉQUIPEMENTS

Le courant qui alimente les cuves d'électrolyse est un courant continu. Il existe également, à proximité de ce type d'application, des courants électriques à 50 Hz générés par les transformateurs d'alimentation et des courants aux fréquences harmoniques, de 100 à 300 Hz pour les principales, générés par

les systèmes de redressement. Ces courants peuvent créer d'importants champs magnétiques dans l'environnement de ces installations. Les champs électriques liés aux tensions utilisées sont très faibles, de l'ordre de quelques dizaines de V/m.

VALEURS LIMITES D'EXPOSITION, VALEURS DÉCLENCHANT L'ACTION

Le Code du travail définit des valeurs limites d'exposition (VLE) pour l'induction magnétique statique (art. R. 4453-3, voir *tableau 1*) et des valeurs déclenchant l'action (VA) pour des inductions dont les fréquences sont comprises entre 1 Hz et 10 MHz (art. R. 4453-4, voir *tableaux 1 et 2*). Dans le cas d'une induction magnétique entre 0 et 1 Hz, le corps humain ne perturbant pas le champ, VLE et VA sont confondues. En cas de dépassement, il convient de mettre en œuvre un plan d'action destiné à réduire l'exposition en dessous de ces valeurs.

RISQUES

Exposition aux champs magnétiques statiques

La VLE relative aux effets sur la santé (*tableau 1, ligne 2*) est applicable dans des conditions de travail contrôlées, à titre temporaire, au cours d'une période de travail, lorsque cela est justifié par la pratique ou le procédé. Dans ce cas, des mesures préventives telles que le contrôle des mouvements et l'information des travailleurs doivent avoir été adoptées.

Exposition aux champs magnétiques de basses fréquences

Les effets consécutifs à une exposition aux champs magnétiques de basses fréquences sont décrits dans la fiche ED 4203. Il s'agit essentiellement de stimulation nerveuse et d'effets sensoriels tels que phosphènes rétinien ou modifications passagères mineures de l'activité cérébrale si l'exposition de la tête dépasse la VA(basse).

Travailleurs à risques particuliers

Une attention particulière doit être prêtée aux personnes portant un dispositif médical actif ou passif, implanté ou porté à même le corps. Il existe en effet un risque d'incompatibilité électromagnétique chez les sujets porteurs de dispositifs médicaux de type stimulateurs cardiaques, défibrillateurs, pompes à insuline... Ce risque peut se traduire par des perturbations et des dysfonctionnements (voir la fiche INRS ED 4206). Un risque d'interférence (déplacement...) existe pour les broches, stents, valves...

Travailleurs sans risques particuliers VLE (ou VA) pour une induction magnétique entre 0 et 1 Hz (art. R. 4453-3 du Code du travail)	
Effets sensoriels pour l'exposition de la tête (conditions de travail normales)	2 T
Effets sur la santé pour l'exposition de l'ensemble du corps (conditions de travail contrôlées)	8 T
Exposition localisée des membres	8 T
Risques particuliers VA pour une induction magnétique entre 0 et 1 Hz (art. R. 4453-4 du Code du travail)	
Risque d'attraction et de projection d'objets métalliques pour une source supérieure à 100 mT	3 mT
Risque d'interférence avec des dispositifs actifs médicaux implantés*	0,5 mT
Femme enceinte (décret 2002-775)	40 mT

* Notons que, pour certains types d'implants, le respect de cette valeur limite ne suffit pas à prévenir tous les risques de dysfonctionnement. Il convient dans tous les cas de consulter au préalable la notice fournie par le fabricant de l'implant.

Tableau 1. VLE et VA pour une exposition à des champs magnétiques statiques ou de fréquence inférieure à 1 Hz

Valeurs déclenchant l'action pour une induction magnétique comprise entre 1 Hz et 10 MHz (art. R. 4453-4 du Code du travail)			
Gamme de fréquences	VA (basse) ^{tête et tronc} (induction magnétique) (μ T)	VA(haute) ^{tête et tronc} (induction magnétique) (μ T)	VA _{membres} (induction magnétique) pour une exposition des membres à un champ magnétique localisé (μ T) (Rms)
1 Hz \leq f < 8 Hz	$2 \cdot 10^5 / f^2$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
8 Hz \leq f < 25 Hz	$2,5 \cdot 10^4 / f$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
25 Hz \leq f < 300 Hz	1 000	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
300 Hz \leq f < 3 kHz	$3,0 \times 10^5 / f$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
3 kHz \leq f \leq 10 MHz	100	100	300

f est la fréquence en Hz.

Tableau 2. VA pour une exposition à des champs magnétiques compris entre 1 Hz et 10 MHz

Concernant les femmes enceintes exposées dans leur emploi à des champs électromagnétiques, leur exposition est maintenue à un niveau aussi faible qu'il est raisonnablement possible d'atteindre en tenant compte des recommandations de bonnes pratiques existantes, et en tout état de cause à un niveau inférieur aux VLE du décret 2002-775.

Autres risques

Des courants importants sont nécessaires pour la réalisation d'une électrolyse. Dans les postes de transformation, les valeurs d'induction magnétique les plus élevées sont en général mesurées à proximité des câbles de sortie basse tension et du tableau de distribution. Elles sont variables et dépendent du courant fourni (nombre de machines en fonctionnement) au moment de la mesure.

L'accès aux postes de transformation est interdit ou réglementé car le risque d'électrification est réel.

ÉVALUATION DES RISQUES

Pour les postes de travail éloignés des redresseurs, seul le champ statique est à prendre en compte pour l'évaluation des risques. La valeur de l'induction magnétique mesurée doit dans ce cas être comparée aux valeurs limites données dans le *tableau 1*.

Si, lors de l'évaluation des risques, on prend en compte le rayonnement multifréquentiel, le signal électromagnétique résultant sera composé d'un champ statique et de nombreux harmoniques, multiples de la fréquence 50 Hz. Les VA pour des fréquences supérieures à 1 sont données dans le *tableau 2*.

Concernant le champ statique, l'indice d'exposition R est donné par le ratio du champ magnétique mesuré sur la VA associée. Pour des fréquences supérieures ou égales à 1 Hz, en considérant Bm(f) comme étant la valeur maximale de l'induction magnétique à la fréquence f, l'indice d'exposition selon la règle des fréquences multiples (RFM) est donnée par :

$$R = \sum_{f > 1 \text{ Hz}}^{f < 100 \text{ kHz}} \left(\frac{B_m(f)}{VA_{\text{(basse)}}(f)} \times \frac{1}{\sqrt{2}} \right)$$

Il est important de noter que la technique RFM donne des valeurs de R plus prudentes que la méthode des crêtes pondérées (voir Guide non contraignant). Elle est néanmoins plus simple à appliquer.

Pour être conforme aux exigences du Code du travail, cet indice d'exposition doit rester inférieur à 1.

Pour les travailleurs à risques particuliers, il est nécessaire de procéder à une évaluation plus poussée.

EXPOSITION

Une campagne de mesure menée par les Carsat, la Cramif et l'INRS sur différents sites utilisant des cuves d'électrolyse a permis de montrer un dépassement possible de l'indice d'exposition relatif au champ variable, notamment à proximité des transformateurs. Aucun dépassement de l'indice d'exposition relatif au champ magnétique statique pour un travailleur sans risque particulier n'a été observé. Concernant les porteurs d'implants ou les femmes enceintes, l'indice d'exposition relatif au champ statique est susceptible d'être dépassé.

Dans le cas de personnes porteuses d'un dispositif médical actif, le respect de la VA ne garantit pas l'absence d'interférence. Des mesures de prévention sont à mettre en place, notamment lors de la reprise du travail.

MESURES ET MOYENS DE PRÉVENTION

Si l'indice d'exposition est supérieur à 1, une recherche de solutions techniques et organisationnelles efficaces devra être menée. Dans tous les cas, on cherchera, compte tenu de l'état des techniques, à réduire l'exposition au niveau le plus bas possible, notamment en :

- mettant en œuvre d'autres procédés de travail ;
- choisissant des équipements de travail appropriés émettant, compte tenu du travail à effectuer, des champs électromagnétiques moins intenses ;
- mettant en œuvre des moyens techniques

visant à réduire l'émission de champs électromagnétiques par les équipements de travail ;

- modifiant la conception et l'aménagement des lieux et postes de travail.

Conception des locaux de travail

On diminuera la valeur de l'exposition aux champs magnétiques au niveau des postes de travail ou des voies de circulation en évitant de les placer à proximité des sources notamment des postes de transformation ou des conducteurs d'alimentation des équipements. Éloigner les opérateurs est une action de prévention efficace car la valeur du champ décroît proportionnellement avec la distance.

Formation et information

L'employeur doit veiller à ce que les travailleurs susceptibles d'être exposés à un risque lié à des champs électromagnétiques reçoivent toute l'information nécessaire et une formation en rapport avec les résultats de l'évaluation des risques.

Le port d'objets métalliques (tenue de travail, EPI, outillages...) est à déconseiller à proximité de ces installations pour éviter le risque d'attraction ou de projection.

Signalisation

Les zones où des personnes sont susceptibles d'être exposées à des champs magnétiques élevés seront matérialisées par un marquage au sol ou signalées par un affichage de pictogrammes (figure 1).



Figure 1. Signalisation à mettre en place à proximité des installations émettant des champs électromagnétiques importants

POUR EN SAVOIR PLUS

Les documents INRS sont disponibles sous forme papier dans les Carsat/ Cramif et CGSS et en format pdf sur le site www.inrs.fr.

- Directive européenne 2013/35/UE du Parlement européen et du Conseil du 26 juin 2013 concernant les prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques physiques (champs électromagnétiques).

- *Exposition des travailleurs aux risques dus aux champs électromagnétiques. Guide d'évaluation des risques*, INRS, ED 6136.

- *Guide pour l'établissement de limites d'exposition aux champs électriques, magnétiques et électromagnétiques. Champs alternatifs (de fréquence variable dans le temps, jusqu'à 300 GHz)*, INRS, ND 2143.

- Site www.inrs.fr, en particulier le dossier « Champs électromagnétiques ».

- Articles R. 4453-1 et suivants du Code du travail.

- Guides non contraignants de bonnes pratiques pour la mise en œuvre de la directive 2013/35/UE « Champs électromagnétiques » : Disponibles sur www.ec.europa.eu/social.
Volume 1 : Guide pratique.
Volume 2 : Étude de cas.
Volume 3 : Guide à l'intention des PME.

- Fiches « Champs électromagnétiques » de l'INRS, ED 4200 à 4219.

- Outil OSERAY (outil simplifié d'évaluation des risques dus aux rayonnements électromagnétiques). Disponible sur inrs.fr.

