

## Contrôle par magnétoscopie Démagnétisation

### PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

#### Magnétoscopie

Le contrôle par magnétoscopie est une méthode de contrôle non destructif pour la détection des défauts en surface (défauts dits « débouchants ») ou sous-jacents (jusqu'à quelques millimètres de la surface) dans les matériaux ferromagnétiques.

Il consiste à aimanter la pièce à contrôler à l'aide d'un champ magnétique intense. En présence d'un défaut, les lignes de champ subissent une distorsion qui génère un « champ de fuite ». La visualisation de ce dernier est obtenue grâce à un liquide révélateur ferromagnétique appliqué sur la surface à examiner, soit pendant l'aimantation, soit après celle-ci. Le révélateur coloré et/ou fluorescent est attiré au droit du défaut par les forces magnétiques. Il forme alors des figures observables soit

en lumière blanche (lumière du jour ou lumière artificielle), soit sous rayonnement ultraviolet (UVA).

La magnétoscopie est un procédé largement utilisé dans les secteurs tels que la construction mécanique, la forge, la chaudronnerie, etc. Elle permet de contrôler des pièces de géométrie simple ou complexe. L'opération, relativement rapide, s'effectue aussi bien sur des pièces de petite taille (vis de dix millimètres de longueur) que sur des

pièces de grandes dimensions (vilebrequins de navire, trains d'atterrissage d'avions...).

Les défauts sont d'autant mieux détectés qu'ils se situent dans un plan perpendiculaire au champ magnétique. C'est pourquoi le contrôle est réalisé généralement en effectuant deux aimantations orthogonales l'une par rapport à l'autre.

Il existe deux modes de magnétisation de la pièce à contrôler (fig. 1 et 2) :

■ **magnétisation transversale** : elle met en évidence les discontinuités longitudinales (jusqu'à  $\pm 45^\circ$  par rapport à l'axe transversal). Elle est obtenue soit par passage direct d'un courant électrique dans la pièce, soit par passage du courant dans un conducteur auxiliaire (barre en cuivre généralement) dans le cas des pièces creuses ;

■ **magnétisation longitudinale** : elle met en évidence les discontinuités transversales (jusqu'à  $\pm 45^\circ$  par rapport à l'axe longitudinal). Elle est obtenue soit par un électroaimant, soit par une bobine.

Les inducteurs utilisés pour générer le champ magnétique peuvent être de différents types : portatifs ou sur bancs, avec ou sans contact avec la pièce. En 2009, on estimait le parc français à environ 10 000 inducteurs portatifs et 1 000 bancs (étude du cabinet Erdyn pour l'INRS).

*Remarque* : Certains bancs de contrôle par magnétoscopie utilisent la technologie des champs tournants. Ces bancs génèrent dans la pièce contrôlée, simultanément et de manière déphasée, un champ longitudinal et un champ transversal, permettant d'obtenir un vecteur d'aimantation résultant tournant.

La **puissance électrique des générateurs utilisés varie** de quelques kilowatts à plusieurs centaines de kilowatts. Le **courant produit par le générateur** est :

■ soit un courant alternatif non redressé, généralement utilisé pour la détection des défauts débouchants ;

■ soit un courant continu ou courant redressé (1 ou 2 alternances), pour la détection des défauts sous-jacents. Plus la composante continue du courant redressé est importante, plus la détection des défauts profonds est possible.

L'**intensité** du courant peut varier de quelques ampères à plus de 10 000 A. La fréquence de la composante alternative est généralement de 50 Hz, avec des harmoniques à 150 Hz et 250 Hz de moindre intensité.

Compte tenu de la tension électrique très basse utilisée pour ce type d'application, le risque électrique est négligeable au poste de travail.



Figure 1. Magnétisation transversale avec un inducteur portatif



Figure 2. Inducteur sur banc de magnétoscopie



Figure 3. Démagnétisation des pièces tenues à la main



Figure 4. Démagnétisation des pièces sur convoyeur

## Démagnétisation

Il peut être nécessaire de démagnétiser des pièces métalliques en fin de fabrication, suite à des opérations d'usinage, de soudage ou suite au contrôle par magnétoscopie pour les rendre magnétiquement neutres.

La démagnétisation des pièces est effectuée à l'aide d'un démagnétiseur. Le modèle industriel le plus courant est constitué d'une bobine d'induction magnétique (fig. 3 et 4) alimentée par un courant à 50 Hz. La démagnétisation est obtenue par passage de la pièce à l'intérieur de la bobine ou inversement.

## VALEURS DÉCLENCHANT L'ACTION

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) afin de limiter les risques liés à l'exposition des travailleurs aux champs électromagnétiques. Pour une vue d'ensemble sur ces VLE et VA, consulter la fiche INRS ED 4204 *La réglementation en milieu professionnel*.

La majorité des équipements fonctionnent à 50 Hz. À cette fréquence, les VA concernant l'exposition à l'induction magnétique sont :

■ VA basse pour une exposition localisée de la tête : 1 000  $\mu\text{T}$  (1 mT) ;

■ VA haute pour l'ensemble du corps : 6 000  $\mu\text{T}$  (6 mT) ;

■ VA pour une exposition des membres à un champ magnétique localisé : 18 000  $\mu\text{T}$  (18 mT).

Pour les équipements fonctionnant en courant continu, le champ émis est statique. Dans ce cas, la VLE et la VA sont identiques, du fait que le corps humain ne modifie pas l'intensité du champ magnétique. Les VLE concernant l'exposition au champ magnétique statique sont :

■ pour les effets sensoriels :

– exposition localisée de la tête : 2 T,

– exposition localisée des membres : 8 T ;

■ pour les effets sur la santé : exposition de l'ensemble du corps : 8 T.

Pour éviter les risques d'attraction, les porteurs de dispositifs médicaux implantables ne doivent pas être exposés à un champ supérieur à 3 mT dans le cas d'une source de champ statique supérieure à 100 mT.

Pour éviter le risque d'interférence avec des dispositifs médicaux actifs, la valeur déclenchant l'action est fixée à 0,5 mT pour le champ magnétique statique.

## RISQUES

### Exposition aux champs électromagnétiques

Les effets consécutifs à une exposition à des champs magnétiques de basses fréquences sont décrits dans la fiche INRS ED 4350. On distingue :

### Pour les champs à 50 Hz :

- des effets sensoriels transitoires et non nocifs pour la santé tels que des phosphènes rétinien, des modifications mineures de certaines fonctions cérébrales... Ces effets sont perceptibles à partir d'un certain niveau d'exposition de la tête ;
- des effets sur la santé qui apparaissent pour des expositions plus importantes, ceux-ci sont liés à la stimulation électrique du système nerveux central et périphérique.

### Pour les champs statiques :

- des effets sensoriels tels que vertiges, nausée et sensation de goût métallique dans la bouche, qui peuvent apparaître lors d'une exposition de la tête associée à des mouvements ;
- des effets de modification de l'ECG.

Ces effets sont immédiats, ne dépendent pas de la durée d'exposition et ne peuvent apparaître que pour une exposition au-delà des VLE.

Les mesures effectuées par l'INRS et les CMP des Carsat sur une grande variété d'équipements de magnétoscopie ou de démagnétisation montrent qu'une proportion significative d'entre eux est susceptible d'exposer les travailleurs au-delà des VA.

Si un travailleur signale ressentir un effet indésirable ou inattendu ou si une exposition au-delà des VLE a été détectée, le travailleur doit bénéficier d'un examen médical complémentaire prescrit ou réalisé par le médecin du travail.

### Compatibilité électromagnétique avec les dispositifs médicaux actifs

Il existe un risque de perturbation électromagnétique des dispositifs médicaux actifs, en particulier les stimulateurs cardiaques et les défibrillateurs. Ce risque peut se traduire par des dysfonctionnements (voir la fiche INRS ED 4267, *Les dispositifs médicaux implantables*).

À noter que les dispositifs médicaux actifs non implantés et portés près du corps (pompe à insuline...) sont aussi sensibles aux champs électromagnétiques.

### Cas des femmes enceintes

Concernant les femmes enceintes, leur niveau d'exposition doit être maintenu 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 limites fixées pour le public, précisées dans le décret 2002-775.

### Cas des jeunes travailleurs

Il est interdit d'affecter un jeune travailleur de moins de 18 ans à des travaux susceptibles de l'exposer au-delà des VLE.

### Autres risques

La magnétoscopie présente également d'autres risques tels que le risque chimique lié à l'usage des révélateurs et/ou l'exposition aux rayonnements ultraviolets. Ces risques ne sont pas traités dans cette fiche (informations disponibles sur le site de l'INRS).

## MOYENS DE PRÉVENTION

Conformément aux dispositions du Code du travail, l'employeur doit évaluer les risques résultant de l'exposition des travailleurs à des champs électromagnétiques. Cette évaluation peut être réalisée par des mesurages dont les résultats sont comparés aux VA définies pour la tête, les membres (mains) et le corps.

Si ces VA sont dépassées, une recherche de solutions techniques et organisationnelles 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.

En fonction du type d'équipement et de l'organisation du travail, plusieurs solutions de prévention existent et pourront être mises en place pour diminuer les intensités de champ électromagnétique au poste de travail.

### Réduction à la source

Ce type de solution doit être privilégié quand cela est possible.

Lors de nouvelles acquisitions, le choix d'équipements moins émissifs sera privilégié. Les réglages pour limiter l'émission seront optimisés.

### Éloignement du poste de travail

Des aménagements permettant d'éloigner l'opérateur ou sa main par un moyen technique approprié seront étudiés et mis en place. Ceux-ci peuvent consister à :

- déporter la commande ;
- automatiser le processus ou rallonger la canne d'aspersion du liquide révélateur ;
- confectionner une poignée rallonge maintenant la sonde de mesure du champ magnétique tangentiel ;
- automatiser le passage des pièces à l'intérieur de la bobine de démagnétisation (convoyeur).

### Signalisation

Les zones où des travailleurs sont susceptibles d'être exposés à des niveaux de champs électromagnétiques supérieurs aux VA seront signalisées par un marquage au sol et/ou par un affichage de pictogrammes (fig. 5).

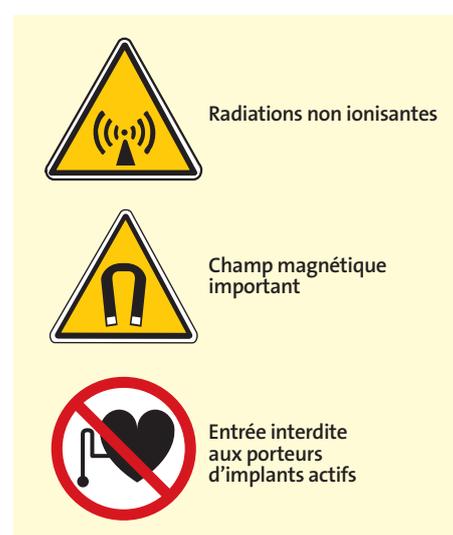


Figure 5. Signalisation à mettre en place à proximité des installations émettant des champs électromagnétiques importants

## INFORMATION ET FORMATION

En cas d'exposition au-delà des limites fixées pour le public, les travailleurs concernés doivent recevoir une information et une formation sur les effets potentiels en lien avec leur exposition, les moyens de protection mis en place et les précautions à prendre. De plus, si l'exposition dépasse les VA, une notice de poste doit être rédigée et contenir les informations en rapport avec les risques, les dispositions prises pour les éviter et les règles de sécurité applicables.

## POUR EN SAVOIR PLUS

■ Fiches de la collection « Champs électromagnétiques », INRS, ED 4200 à 4219, ED 4266, ED 4267, ED 4350.

■ Étude de cas de la revue *HST* de l'INRS, hors-série *Rayonnements optiques et électromagnétiques au travail*, décembre 2016 : « Le contrôle par magnétoscopie », A. Becker.

■ Code du travail, articles R. 4453-1 à R. 4453-34.  
Consultables sur [www.legifrance.gouv.fr](http://www.legifrance.gouv.fr).

■ 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](http://www.ec.europa.eu/social).  
Volume 1 : Guide pratique  
Volume 2 : Études de cas  
Volume 3 : Guide à l'intention des PME

■ Décret n° 2002-775 du 3 mai 2002 relatif aux valeurs limites d'exposition du public aux champs électromagnétiques émis par les équipements utilisés dans les réseaux de télécommunication ou par les installations radioélectriques.

■ Outil OSERAY (outil simplifié d'évaluation des risques dus aux rayonnements électromagnétiques).  
Disponible sur [www.inrs.fr](http://www.inrs.fr).

Référents : Groupe RNI Carsat-Cramif/INRS

C. Bissériex, Carsat Auvergne ■ P. Laurent, Carsat Centre-Ouest ■  
A. Deleau, Carsat Languedoc-Roussillon ■ J. Fortuné, Carsat Centre ■  
L. Hainoz, Cram Île-de-France ■ G. Le Berre, Carsat Bretagne ■  
S. Tirlmont, Carsat Nord-Picardie ■ N. Morais, Carsat Midi-Pyrénées ■  
B. Gallin, Carsat Nord-Est ■ M. Bouldi, A. Bourdieu, M. Donati,  
L. Hammen, P. Moureaux, INRS

Contacts : L. Hammen, INRS

P. Moureaux, INRS

Services Prévention des Carsat, Cramif et CGSS



Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles  
65, boulevard Richard-Lenoir 75011 Paris • Tél. 01 40 44 30 00 • [www.inrs.fr](http://www.inrs.fr) • [info@inrs.fr](mailto:info@inrs.fr)