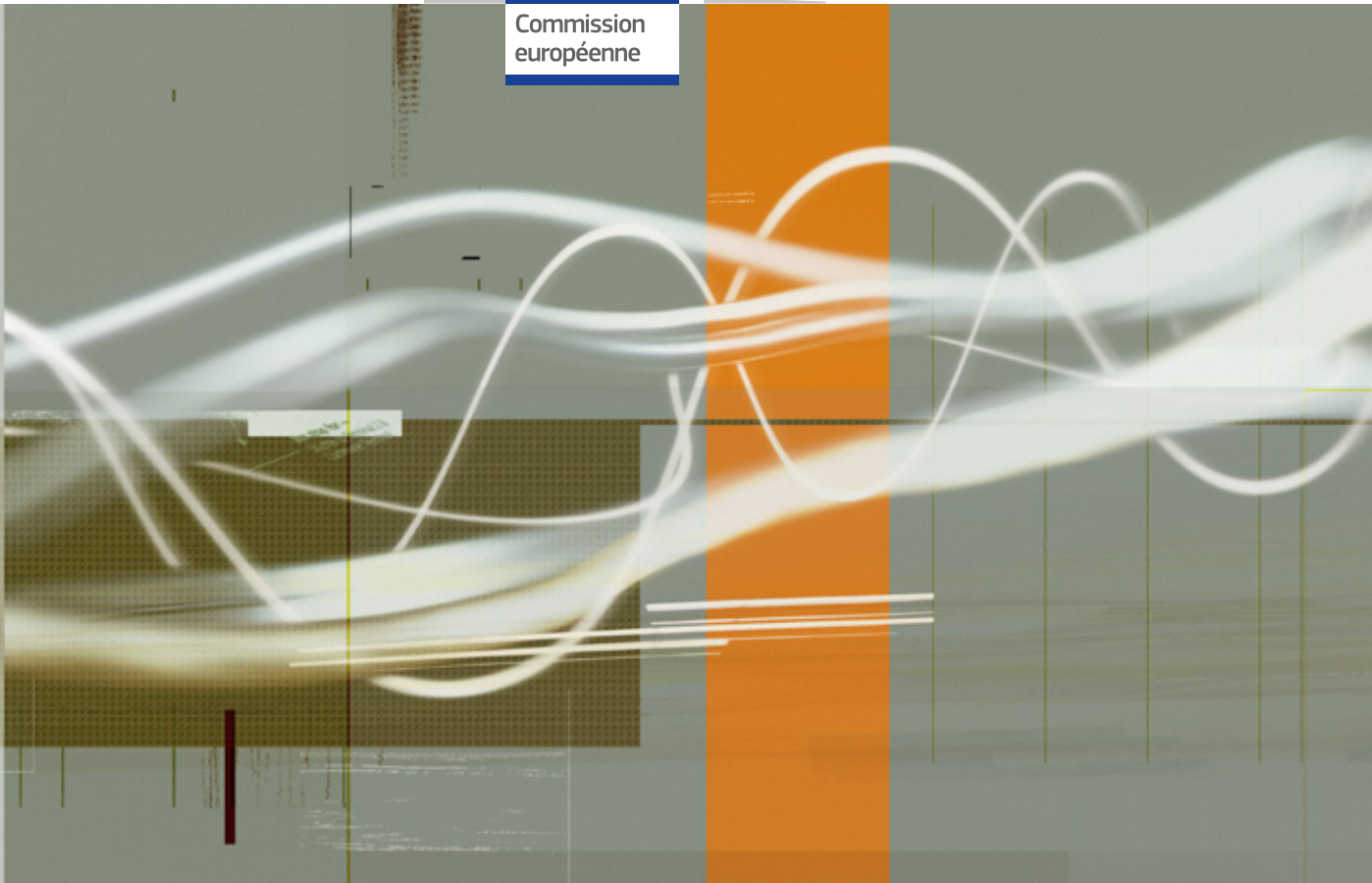




Commission
européenne



Guide non contraignant
de bonnes pratiques
pour la mise en œuvre
de la directive 2013/35/UE

«Champs électromagnétiques»

Volume 2 — Études de cas

Cette publication a reçu le soutien financier du programme de l'Union européenne pour l'emploi et l'innovation sociale «EaSI» (2014-2020).

Pour de plus amples informations, veuillez consulter la page internet <http://ec.europa.eu/social/easi>

Guide non contraignant
de bonnes pratiques
pour la mise en œuvre
de la directive 2013/35/UE

«Champs électromagnétiques»

Volume 2 — Études de cas

Commission européenne
Direction générale de l'emploi,
des affaires sociales et de l'inclusion
Unité B3

Manuscrit achevé en novembre 2014

Ni la Commission européenne ni aucune personne agissant au nom de la Commission ne sont responsables de l'usage qui pourrait être fait des informations contenues dans cette publication.

Les liens contenus dans la présente publication étaient corrects au moment de l'achèvement du manuscrit.

Photo de couverture : © Corbis

Pour les photos non protégées par les droits d'auteur de l'Union européenne, il convient de demander directement l'autorisation aux détenteurs desdits droits d'auteur pour toute utilisation ou reproduction.

Europe Direct est un service destiné à vous aider à trouver des réponses
aux questions que vous vous posez sur l'Union européenne.

Un numéro unique gratuit (*):

00 800 6 7 8 9 10 11

(*) Les informations sont fournies à titre gracieux, et les appels sont généralement gratuits (sauf certains opérateurs, hôtels ou cabines téléphoniques).

De nombreuses autres informations sur l'Union européenne sont disponibles sur l'internet (<http://europa.eu>).

Luxembourg: Office des publications de l'Union européenne, 2015

ISBN 978-92-79-45921-4

doi:10.2767/094960

© Union européenne, 2015

Reproduction autorisée, moyennant mention de la source

TABLE DES MATIÈRES

Études de cas.....	7
1. Bureau.....	9
1.1. Lieu de travail.....	9
1.2. Nature du travail.....	9
1.3. Méthode d'évaluation.....	10
1.4. Résultats de l'évaluation.....	10
1.5. Évaluation des risques.....	10
1.6. Mesures de précaution déjà mises en œuvre.....	11
1.7. Mesures de précaution supplémentaires découlant de l'évaluation.....	11
2. Spectromètre de résonance magnétique nucléaire.....	12
2.1. Lieu de travail.....	12
2.2. Nature du travail.....	12
2.3. Informations sur les équipements générant des CEM.....	12
2.4. Méthode d'évaluation de l'exposition.....	13
2.5. Résultats de l'évaluation de l'exposition.....	14
2.6. Évaluation des risques.....	14
2.7. Mesures de précaution déjà mises en œuvre.....	15
2.8. Mesures de précaution supplémentaires découlant de l'évaluation.....	16
3. Électrolyse.....	17
3.1. Lieu de travail.....	17
3.2. Nature du travail.....	17
3.3. Informations sur les équipements générant des CEM.....	17
3.3.1. Salle d'électrolyse.....	17
3.3.2. Compartiment de redresseur.....	18
3.4. Utilisation des équipements.....	20
3.5. Méthode d'évaluation de l'exposition.....	20
3.5.1. Salle d'électrolyse.....	21
3.5.2. Compartiment de redresseur.....	21
3.6. Résultats de l'évaluation de l'exposition.....	22
3.6.1. Salle d'électrolyse.....	23
3.6.2. Compartiment de redresseur.....	27
3.7. Évaluation des risques.....	29
3.8. Mesures de précaution déjà mises en œuvre.....	31
3.9. Mesures de précaution supplémentaires découlant de l'évaluation.....	31
3.10. Sources d'informations supplémentaires.....	31
4. Domaine médical.....	32
4.1. Lieu de travail.....	32
4.2. Nature du travail.....	32
4.3. Informations sur les équipements générant des CEM.....	32
4.3.1. Appareils d'électrochirurgie.....	32
4.3.2. Stimulation magnétique transcrânienne.....	33
4.3.3. Diathermie à ondes courtes.....	34
4.4. Utilisation des équipements.....	34
4.4.1. Appareils d'électrochirurgie.....	34

4.4.2.	Stimulation magnétique transcrânienne.....	34
4.4.3.	Diathermie à ondes courtes.....	35
4.5.	Méthode d'évaluation de l'exposition.....	35
4.6.	Résultats de l'évaluation de l'exposition.....	36
4.6.1.	Appareil d'électrochirurgie.....	36
4.6.2.	Dispositif de SMT.....	39
4.6.3.	Diathermie à ondes courtes.....	43
4.7.	Évaluation des risques.....	43
4.7.1.	Appareil d'électrochirurgie.....	43
4.7.2.	Dispositif de SMT.....	43
4.8.	Mesures de précaution déjà mises en œuvre.....	46
4.9.	Mesures de précaution supplémentaires découlant de l'évaluation.....	46
4.9.1.	Appareil d'électrochirurgie.....	46
4.9.2.	Dispositif de SMT.....	46
4.9.3.	Diathermie à ondes courtes.....	47
5.	Atelier de construction mécanique.....	48
5.1.	Lieu de travail.....	48
5.2.	Nature du travail.....	48
5.3.	Utilisation des équipements.....	48
5.3.1.	Contrôle magnétoscopique.....	48
5.3.2.	Démagnétiseur.....	49
5.3.3.	Rectifieuse plane.....	50
5.3.4.	Autres outils utilisés dans l'atelier.....	50
5.4.	Informations sur les équipements générant des CEM.....	51
5.5.	Méthode d'évaluation de l'exposition.....	51
5.6.	Résultats de l'évaluation de l'exposition.....	51
5.6.1.	Contrôle magnétoscopique.....	51
5.6.2.	Démagnétiseur.....	52
5.6.3.	Rectifieuse plane.....	54
5.6.4.	Autres outils utilisés dans l'atelier.....	54
5.7.	Évaluation des risques.....	55
5.8.	Mesures de précaution déjà mises en œuvre.....	59
5.9.	Mesures de précaution supplémentaires découlant de l'évaluation.....	59
5.10.	Référence aux sources d'informations supplémentaires.....	61
6.	Automobile.....	63
6.1.	Lieu de travail.....	63
6.2.	Nature du travail.....	63
6.3.	Utilisation des équipements.....	63
6.4.	Informations sur les équipements générant des CEM.....	65
6.5.	Méthode d'évaluation de l'exposition.....	67
6.6.	Résultats de l'évaluation de l'exposition.....	68
6.6.1.	Résultats de l'évaluation de l'exposition pour des postes de soudage par points d'atelier de réparation.....	69
6.6.2.	Résultats de l'évaluation de l'exposition pour des postes de chauffage par induction utilisés dans un atelier de carrosserie.....	71
6.7.	Conclusions des évaluations de l'exposition.....	72
6.8.	Évaluation des risques.....	74
6.9.	Mesures de précaution déjà mises en œuvre.....	74
6.10.	Mesures de précaution supplémentaires découlant de l'évaluation.....	75
6.11.	Postes de soudage par points dans la fabrication de véhicules.....	76
6.11.1.	Examen de postes de soudage par points d'usine.....	76
6.11.2.	Résultats des mesures de postes de soudage par points d'usine.....	78
6.11.3.	Résultats des mesures de postes de soudage par points d'usine par rapport aux VA.....	80
6.11.4.	Résultats des mesures de postes de soudage par points d'usine par rapport aux VLE.....	80

7. Soudage	83
7.1. Lieu de travail	83
7.2. Nature du travail	83
7.3. Informations sur les équipements générant des CEM	83
7.3.1. Postes de soudage par points	83
7.3.2. Machine à souder à galets	84
7.4. Utilisation des équipements	85
7.5. Méthode d'évaluation de l'exposition	85
7.6. Résultats de l'évaluation de l'exposition	86
7.6.1. Poste de soudage par points d'établi	86
7.6.2. Poste de soudage par points mobile suspendu	87
7.6.3. Machine à souder à galets	89
7.7. Évaluation des risques	90
7.8. Mesures de précaution déjà mises en œuvre	94
7.9. Mesures de précaution supplémentaires découlant de l'évaluation	94
7.10. Référence à d'autres sources d'informations	95
7.10.1. Poste de soudage par points d'établi	95
7.10.2. Poste de soudage par points mobile suspendu	96
7.10.3. Machine à souder à galets	96
8. Métallurgie	98
8.1. Lieu de travail	98
8.2. Nature du travail	98
8.3. Informations sur les équipements générant des CEM et leur utilisation	98
8.3.1. Installation produisant un petit volume d'alliage	98
8.3.2. Installation de production de ferrotitane	99
8.3.3. Grande installation électrique de fonte	99
8.3.4. Installation avec des fours à arc	100
8.3.5. Laboratoire d'analyses	100
8.4. Méthode d'évaluation de l'exposition	101
8.4.1. Installation produisant un petit volume d'alliage	101
8.4.2. Installation de production de ferrotitane	101
8.4.3. Grande installation électrique de fonte	101
8.4.4. Installation avec des fours à arc	102
8.4.5. Laboratoire d'analyses	102
8.5. Résultats de l'évaluation de l'exposition	102
8.5.1. Évaluation initiale de l'exposition	102
8.5.2. Évaluation détaillée de l'exposition pour le four à induction de l'installation produisant un petit volume d'alliage	104
8.6. Évaluation des risques	106
8.7. Mesures de précaution déjà mises en œuvre	108
8.8. Mesures de précaution supplémentaires découlant de l'évaluation	108
8.9. Référence à des sources d'informations supplémentaires	109
9. Dispositifs à plasma radiofréquence (RF)	112
9.1. Nature du travail	112
9.2. Informations sur les équipements générant des CEM	112
9.3. Utilisation des équipements	113
9.4. Méthode d'évaluation de l'exposition	113
9.5. Résultats de l'évaluation de l'exposition	115
9.6. Évaluation des risques	116
9.7. Mesures de précaution déjà mises en œuvre	117
9.8. Mesures de précaution supplémentaires découlant de l'évaluation	118
9.9. Informations complémentaires	119

10. Antennes de toit.....	120
10.1. Lieu de travail.....	120
10.2. Nature du travail.....	120
10.3. Informations sur les équipements générant des CEM.....	121
10.4. Utilisation des équipements.....	123
10.5. Méthode d'évaluation de l'exposition.....	123
10.6. Résultats de l'évaluation de l'exposition.....	124
10.7. Évaluation des risques.....	125
10.8. Mesures de précaution déjà mises en œuvre.....	126
10.9. Mesures de précaution supplémentaires découlant de l'évaluation.....	127
11. Émetteurs-récepteurs portatifs.....	128
11.1. Lieu de travail.....	128
11.2. Nature du travail.....	128
11.3. Utilisation des équipements.....	130
11.4. Méthode d'évaluation de l'exposition.....	130
11.5. Résultats de l'évaluation de l'exposition.....	130
11.6. Évaluation des risques.....	130
11.7. Mesures de précaution déjà mises en œuvre.....	131
11.8. Mesures de précaution supplémentaires découlant de l'évaluation.....	131
12. Aéroports.....	132
12.1. Lieu de travail.....	132
12.2. Nature du travail.....	132
12.2.1. Radar.....	132
12.2.2. Radiophare non directionnel.....	132
12.2.3. Dispositif de mesure de distance.....	133
12.3. Informations sur les équipements générant des CEM.....	133
12.3.1. Radar.....	133
12.3.2. Radiophare non directionnel.....	134
12.3.3. Dispositif de mesure de distance.....	134
12.4. Utilisation des équipements.....	134
12.5. Méthode d'évaluation de l'exposition.....	134
12.5.1. Radar.....	134
12.5.2. Radiophare non directionnel.....	136
12.5.3. Dispositif de mesure de distance.....	136
12.6. Résultats de l'évaluation de l'exposition.....	136
12.6.1. Radar.....	137
12.6.2. Radiophare non directionnel.....	137
12.6.3. Dispositif de mesure de distance.....	138
12.7. Évaluation des risques.....	138
12.8. Mesures de précaution déjà mises en œuvre.....	141
12.8.1. Radar.....	141
12.8.2. Radiophare non directionnel.....	142
12.8.3. Dispositif de mesure de distance.....	142
12.9. Mesures de précaution supplémentaires découlant de l'évaluation.....	142
12.9.1. Radar.....	142
12.9.2. Radiophare non directionnel.....	143
12.9.3. Dispositif de mesure de distance.....	143

ÉTUDES DE CAS

Le présent recueil d'études de cas constitue le volume 2 du *Guide non contraignant de bonnes pratiques pour la mise en œuvre de la directive 2013/35/UE* — «Champs électromagnétiques». Il doit être lu en combinaison avec la partie principale du guide qui fait l'objet du volume 1.

Les études de cas présentées dans la suite de ce document portent sur un éventail de secteurs professionnels différents et concernent principalement les travailleurs de petites ou moyennes entreprises. Elles reposent sur des évaluations réelles dans des situations concrètes de la vie. Toutefois, étant donné la complexité de certaines de ces évaluations, elles ont été simplifiées ou synthétisées afin d'être plus utiles au lecteur et de limiter la longueur totale de ce volume. Elles ont pour objectif d'illustrer une variété d'approches pratiques susceptibles d'être adoptées par des employeurs afin de gérer les risques associés à l'exposition à des champs électromagnétiques. Elles présentent également des exemples de bonnes pratiques.

Certaines études de cas contiennent des tracés de contours destinés à illustrer schématiquement (dans une vue en plan) les niveaux d'exposition mesurés (ou calculés) autour des équipements présentés.

Plusieurs études de cas fournissent les résultats de modélisations informatiques représentées par des schémas de répartition du champ électrique maximal induit ou du débit d'absorption spécifique de l'énergie dans les voxels de 2 mm^3 qui composent le modèle humain. Leur finalité est d'illustrer schématiquement l'endroit où le champ est absorbé dans le corps humain, et non de fournir des informations précises quant à l'ampleur de ces champs. Dans les schémas concernant les basses fréquences, ce sont les champs électriques maximaux induits qui sont présentés, et non les champs électriques induits du 99^e centile [utilisés pour la comparaison avec les valeurs limites d'exposition (VLE)].

Les études de cas figurant dans le présent volume sont les suivantes:

1. **Bureau**
2. **Spectromètre de résonance magnétique nucléaire**
3. **Électrolyse**
4. **Domaine médical**
5. **Atelier de construction mécanique**
6. **Automobile**
7. **Soudage**
8. **Métallurgie**
9. **Dispositifs à plasma radiofréquence (RF)**
10. **Antennes de toit**
11. **Émetteurs-récepteurs portatifs**
12. **Aéroports**

1. BUREAU

1.1. Lieu de travail

La présente étude de cas porte sur un ensemble de bureaux situés dans une entreprise d'ingénierie de taille moyenne. Ces bureaux contiennent des équipements de bureau électriques courants alimentés par le réseau électrique. Le matériel informatique comprend les éléments suivants: des ordinateurs de bureau reliés au réseau local (LAN) et des ordinateurs portables utilisant un système Wi-Fi et un serveur de réseau. Les travailleurs disposent également d'une petite cuisine. Les équipements électriques présents dans la cuisine incluent une bouilloire, un réfrigérateur et un four à micro-ondes. Un plus grand serveur de réseau central est installé dans une pièce séparée. L'espace de bureaux est sécurisé par un système de contrôle d'accès au moyen de l'identification par radiofréquence (RFID), pour lequel chaque travailleur possède un badge d'accès. Le responsable de bureau a décidé de revoir l'évaluation des risques des locaux après avoir appris l'existence, par l'intermédiaire de collègues, de la nouvelle législation transposant la directive relative aux champs électromagnétiques (directive CEM).

1.2. Nature du travail

Les employés travaillant dans les bureaux consacrent une grande partie de leur temps à travailler sur des ordinateurs et à passer des appels téléphoniques à l'aide de téléphones sans fil (DECT) et portables. Des badges d'accès attachés à des cordons permettent l'accès aux bureaux lorsqu'ils sont présentés à proximité des dispositifs de verrouillage des portes utilisant la RFID. Certaines de ces sources de champs électromagnétiques sont représentées à l'illustration 1.1. Tous les travailleurs peuvent se rendre dans la cuisine pour préparer des boissons chaudes et réchauffer des repas dans le four à micro-ondes.

Illustration 1.1 — Sources de champs électromagnétiques dans les bureaux



1.3. Méthode d'évaluation

Le responsable de bureau a fait le tour de l'espace de bureaux en vue de dresser la liste des équipements fonctionnant à l'électricité, y compris ceux qui génèrent des champs électromagnétiques, et s'est adressé aux travailleurs afin de s'assurer de n'oublier aucun élément. Après avoir lu la première section du *Guide non contraignant de bonnes pratiques pour la mise en œuvre de la directive 2013/35/UE — «Champs électromagnétiques»*, le responsable s'est rendu compte que la meilleure manière d'évaluer les risques consistait à vérifier si les équipements recensés étaient mentionnés dans le tableau 3.2 qui figure dans le volume 1 du guide. Si des équipements n'étaient pas cités dans ce tableau, une évaluation plus approfondie pouvait s'avérer nécessaire.

1.4. Résultats de l'évaluation

Le responsable de bureau a dressé la liste de tous les équipements électriques (tableau 1.1) et a précisé s'ils étaient mentionnés dans le tableau 3.2 du volume 1 du guide.

Tableau 1.1 — Liste des équipements électriques présents dans l'espace de bureaux

Équipements	Risque faible pour tout travailleur (tableau 3.2 du chapitre 3)	Évaluation nécessaire pour les travailleurs porteurs d'un DMIA ou d'un dispositif médical porté à même le corps (tableau 3.2 du chapitre 3)	Commentaires
Ordinateurs	✓		
Serveur de réseau avec câblage pour une alimentation sans interruption et câblage réseau	✓		La puissance de sortie de l'alimentation sans interruption sera similaire à celle de l'alimentation électrique normale.
Ordinateurs portables (disposant d'une connexion Wi-Fi)		✓	
Téléphones sans fil (DECT)		✓	
Câblage électrique	✓		
Téléphones portables		✓	
Photocopieuse	✓		
Points d'accès Wi-Fi		✓	
Bouilloire	✓		
Réfrigérateur	✓		
Four à micro-ondes	✓		Le four doit être entretenu correctement.
Accès sécurisé RFID		✓	

1.5. Évaluation des risques

Les résultats de l'évaluation indiquent que l'utilisation d'équipements de bureau figurant dans le tableau 3.2 du volume 1 du guide n'entraînera pas le dépassement des valeurs limites d'exposition (VLE) pertinentes relatives aux effets sur la santé mentionnées dans la

directive CEM. Cependant, il est possible que d'autres équipements cités dans le tableau 3.2 donnent lieu à des interférences avec des dispositifs médicaux implantés actifs (DMIA) ou des dispositifs médicaux portés à même le corps des travailleurs. L'évaluation des risques spécifiques aux CEM présentée dans le tableau 1.2 complète l'évaluation générale des risques dans les bureaux.

1.6. Mesures de précaution déjà mises en œuvre

Des contrôles périodiques de l'état général du four à micro-ondes sont effectués lors des enquêtes de sécurité de routine menées dans les bureaux.

1.7. Mesures de précaution supplémentaires découlant de l'évaluation

Le responsable de bureau met en place quelques mesures simples:

- tout nouvel équipement d'un autre type doit être examiné au regard de la directive CEM afin de vérifier s'il modifie les résultats de l'évaluation des risques;
- lorsque des travailleurs signalent qu'ils sont exposés à un risque particulier en raison du port d'un dispositif médical implanté actif, le responsable de bureau étudie avec eux les informations que leur a fournies le médecin qui les prend en charge.

Tableau 1.2 — Précisions spécifiques relatives aux champs électromagnétiques complétant l'évaluation des risques généraux dans les bureaux

Dangers	Mesures de prévention et de précaution existantes	Personnes à risques	Gravité			Probabilité			Évaluation des risques	Nouvelles mesures de prévention et de précaution
			Mineure	Élevée	Fatale	Improbable	Possible	Probable		
Émission de CEM par un four à micro-ondes	Contrôles périodiques de l'état général du four, y compris les dégâts présents sur les joints de la porte, le grillage de la fenêtre et le fonctionnement des dispositifs d'interverrouillage	Tous les travailleurs	✓			✓			Faibles	Aucune mesure requise
Interférences avec des dispositifs médicaux implantés actifs ou des dispositifs médicaux portés à même le corps, dues à l'émission de CEM	Aucune	Travailleurs à risques particuliers		✓		✓			Faibles	S'assurer que tous les travailleurs porteurs d'un équipement ou dispositif médical électrique font l'objet d'une évaluation individuelle des risques à leur retour au travail, dans les cas où il est possible de définir et d'appliquer des mesures de précaution recommandées par leur médecin référent. Tout nouvel équipement nécessitera une évaluation.

2. SPECTROMÈTRE DE RÉSONANCE MAGNÉTIQUE NUCLÉAIRE

2.1. Lieu de travail

Les spectromètres de résonance magnétique nucléaire (RMN) peuvent présenter un danger en raison de champs magnétiques statiques puissants. Ces appareils servent à rechercher les propriétés de matériaux, par exemple dans les industries manufacturières pour l'analyse de composés chimiques. La présente étude de cas concerne une société pharmaceutique où les appareils de RMN se trouvent dans un laboratoire spécialement réservé à la spectroscopie. L'achat d'un nouvel appareil était à l'étude, et le responsable de la sécurité a souhaité revoir l'évaluation des risques avant d'élaborer un plan d'action.

2.2. Nature du travail

De petits échantillons du matériau à analyser sont placés dans le cylindre vertical de l'appareil de RMN (illustration 2.1), soit séparément à la main, soit automatiquement par lots à l'aide d'un passeur d'échantillons.

Illustration 2.1 — Appareil de RMN, équipé d'un passeur d'échantillons et d'une plate-forme de chargement



2.3. Informations sur les équipements générant des CEM

Dans le but de préparer l'évaluation, le responsable de la sécurité a rassemblé des informations générales sur les appareils de RMN et a constaté que :

- l'électroaimant génère un champ magnétique statique puissant (0 Hz), les densités de flux variant approximativement de 0,5 à 20 T selon l'appareil. Les petits appareils de bureau sont généralement équipés d'aimants permanents aux terres rares, tandis que

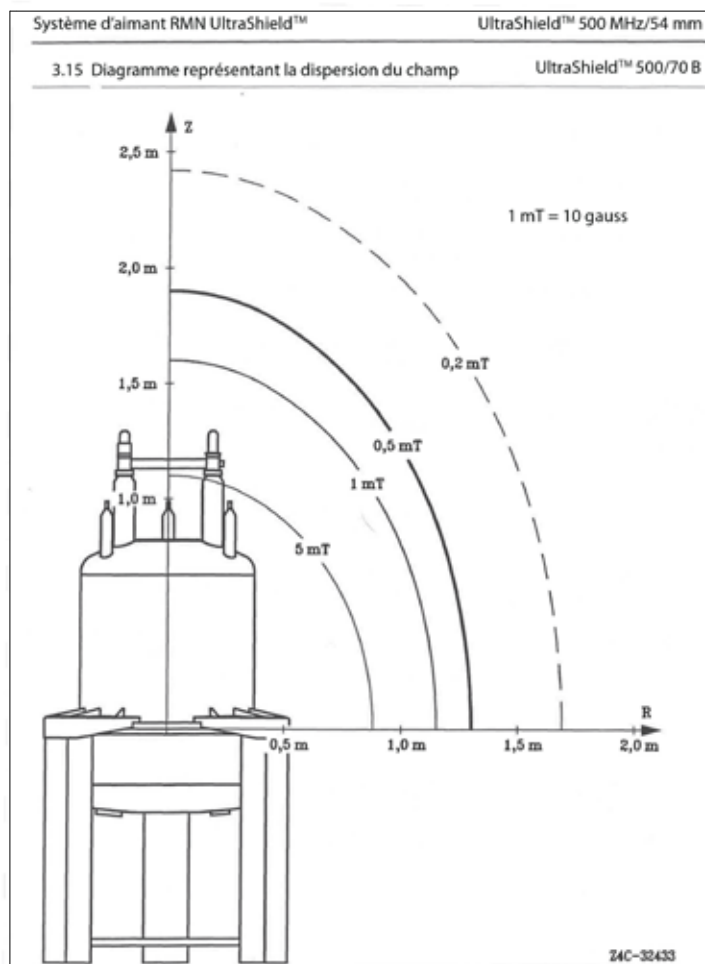
les plus grands appareils autonomes disposent d'aimants supraconducteurs. Les aimants restent complètement chargés d'énergie durant de longues périodes afin d'assurer une meilleure stabilité du champ, et il est impossible de réduire la force de celui-ci lorsque des travailleurs s'approchent des appareils;

- les fabricants ont progressivement amélioré la conception de leurs appareils en y intégrant des blindages passifs et actifs destinés à réduire la puissance des champs magnétiques statiques auxquels les travailleurs peuvent être exposés. Il est donc possible de confiner presque complètement le champ magnétique dangereux au sein du cryostat. Les appareils plus anciens, qui sont moins bien protégés, peuvent émettre des champs magnétiques dangereux jusqu'à quelques mètres dans la zone de travail;
- des structures en acier (par exemple, des poutres) présentes dans le bâtiment ont tendance à déformer et à canaliser ces champs magnétiques externes.

2.4. Méthode d'évaluation de l'exposition

Le responsable de la sécurité savait que le fabricant du nouvel appareil était en mesure de fournir des informations sur la puissance du champ magnétique statique auquel les travailleurs peuvent être exposés. Mais surtout, le fabricant pouvait décrire l'ampleur de tout risque lié à des effets indirects, tels que le risque de projection d'objets ferromagnétiques ou d'interférences avec des équipements ou des dispositifs médicaux électroniques. Conformément aux bonnes pratiques, le fabricant a pu fournir un diagramme représentant la dispersion du champ magnétique statique autour de l'appareil (schéma 2.2).

Schéma 2.2 — Diagramme représentant la dispersion du champ magnétique statique autour de l'appareil de RMN



Le responsable de la sécurité savait qu'il était également possible d'évaluer la puissance du champ magnétique statique autour de l'appareil à l'aide d'un magnétomètre approprié et qu'il serait bien plus aisé d'obtenir un résultat fiable en utilisant une sonde isotrope (à trois axes) au lieu d'une sonde à axe unique. Toutefois, cette méthode aurait nécessité d'investir du temps et de l'argent et d'examiner les risques liés à la réalisation de ces mesures, en particulier si l'instrument était recouvert de métal. Dans son évaluation, le responsable de la sécurité a écarté la prise de mesures étant donné que le fabricant fournissait des informations correctes.

Le responsable de la sécurité a également examiné quels groupes de travailleurs avaient accès au laboratoire de RMN et quelles tâches ceux-ci étaient susceptibles d'exercer. Il a constaté que les ingénieurs d'entretien travaillant pour les fabricants des appareils de RMN disposaient d'un accès occasionnel et qu'ils accédaient à des zones où la force du champ est élevée (par exemple, la base du cryostat) en vue d'effectuer des opérations de réglage du spectromètre. Cependant, il a observé que son entreprise exigeait que ces ingénieurs rédigent une évaluation des risques et des procédures de sécurité concernant leur travail et qu'ils apportent la preuve de leurs compétences (par exemple, la preuve d'une formation appropriée et d'une expérience pratique) avant leur visite. Par conséquent, il a estimé que les risques liés à leur travail étaient faibles. Il a aussi noté que le personnel de sociétés de nettoyage externes n'avait pas accès au laboratoire.

2.5. Résultats de l'évaluation de l'exposition

D'après l'évaluation des appareils présents dans le laboratoire de RMN, le responsable de la sécurité a constaté que les distances représentant un risque varient considérablement en fonction de la conception et plus particulièrement du blindage des appareils: dans le cas d'appareils plus anciens qui ne disposent pas de protection et qui émettent un champ puissant, la distance dangereuse peut être de plusieurs mètres, alors que, pour les appareils modernes qui sont bien protégés, cette distance peut être pratiquement nulle. Toutefois, la puissance du champ ne devrait pas dépasser les valeurs limites d'exposition (VLE) relatives aux effets directs dans les lieux accessibles aux travailleurs de l'entreprise. Bien que la puissance de sortie de l'amplificateur de radiofréquence soit élevée, le champ de radiofréquence devrait rester totalement confiné à l'intérieur de l'appareil et ne devrait pas atteindre les travailleurs.

Les informations fournies par le fabricant (schéma 2.2) ont permis au responsable de la sécurité de se rendre compte que les valeurs déclenchant l'action (VA) relatives aux effets indirects seraient probablement dépassées dans un rayon de 1,3 m autour du cryostat.

2.6. Évaluation des risques

Le responsable de la sécurité connaissait l'existence d'un dossier d'évaluation des risques concernant le laboratoire de RMN et a remarqué qu'il avait été établi en suivant la méthodologie suggérée par l'OIRA [la plate-forme pour l'évaluation interactive des risques en ligne de l'Agence européenne pour la sécurité et la santé au travail (EU-OSHA)]. Celle-ci permet d'évaluer tous les risques concernant les travailleurs qui ont accès au laboratoire, y compris les risques liés:

- au travail en hauteur lors du chargement des échantillons;
- aux liquides cryogéniques et au refroidissement des aimants supraconducteurs;
- à l'atmosphère asphyxiante provoquée par l'azote dans les espaces clos sous le cryostat, tels que les collecteurs d'échantillons;
- aux objets ferromagnétiques transformés en projectiles (par exemple, des outils ou des instruments);
- aux interférences avec des équipements et des dispositifs médicaux électroniques.

Par conséquent, il serait judicieux d'intégrer le nouveau plan d'action découlant de l'étude actuelle dans l'évaluation des risques existante. Un exemple d'évaluation des risques spécifiques aux champs électromagnétiques concernant le laboratoire de RMN est présenté dans le tableau 2.1.

2.7. Mesures de précaution déjà mises en œuvre

Le responsable de la sécurité a constaté qu'un ensemble de mesures organisationnelles ont été adoptées dans le laboratoire de RMN afin de prévenir ou de limiter l'exposition. La première de ces mesures résidait dans le choix d'appareils de RMN équipés d'un blindage passif ou actif à la pointe de la technologie. D'autres bonnes pratiques ont consisté:

- à installer des appareils de RMN dans un laboratoire spécialement réservé à cet effet et équipé d'un système de contrôle d'accès physique sous la forme d'un pavé numérique;
- à afficher des avis d'avertissement et d'interdiction conformes à la directive 92/58/CEE sur la porte d'entrée du laboratoire (illustration 2.3), y compris des avis destinés aux personnes portant un équipement médical électronique;
- à éviter d'apporter des outils et autres objets ferromagnétiques dans le laboratoire;
- à éloigner les appareils de RMN d'autres équipements et postes de travail présents dans le laboratoire;
- à placer un grillage de protection et à apposer un marquage au sol, à la limite de 0,5 mT, afin d'éviter l'accès à l'appareil (illustration 2.4);
- à fournir des informations, des instructions et des formations aux personnes qui travaillent dans le laboratoire et à assurer une surveillance adéquate;
- à demander à des ingénieurs d'entretien de remettre des documents écrits relatifs à la sécurité et de prouver leurs compétences avant leur visite.

Illustration 2.3 — Avis d'avertissement et d'interdiction affichés sur la porte d'entrée du laboratoire de RMN



Illustration 2.4 — Délimitation de la zone interdite par un grillage de protection et un marquage au sol



Tableau 2.1 — Évaluation des risques spécifiques aux champs électromagnétiques pour le laboratoire de RMN

Dangers	Mesures de prévention et de précaution existantes	Personnes à risques	Gravité			Probabilité			Évaluation des risques	Nouvelles mesures de prévention et de précaution
			Mineure	Élevée	Fatale	Improbable	Possible	Probable		
Effets directs des champs magnétiques statiques	Laboratoire spécialisé, équipé d'un système de contrôle d'accès physique	Travailleurs du laboratoire	✓			✓			Faibles	
	Avis d'avertissement et d'interdiction									
	Informations, instructions et formations									Actualiser les formations Inclure un article dans le bulletin relatif à la sécurité
	Fourniture obligatoire de documents de sécurité écrits et de la preuve des compétences	Techniciens d'entretien	✓			✓			Faibles	
	Accès non autorisé au personnel de nettoyage	Personnel de nettoyage	✓			✓			Faibles	Veiller à informer le personnel de nettoyage
Effets indirects des champs magnétiques statiques (interférences avec des dispositifs médicaux implantés, risque de projection)	Éviter d'apporter des objets ferromagnétiques	Toutes les personnes susmentionnées		✓		✓			Faibles	Veiller à informer le personnel de maintenance
	Voir ci-dessus	Travailleurs à risques particuliers		✓		✓			Faibles	Voir ci-dessus
Champ de radiofréquences	Totalement confiné à l'intérieur de l'appareil et ne pouvant atteindre les travailleurs	Toutes les personnes susmentionnées	✓			✓			Faibles	Aucune

2.8. Mesures de précaution supplémentaires découlant de l'évaluation

Le responsable de la sécurité était globalement satisfait de la révision de l'évaluation des risques et de l'étude des dangers liés au nouvel appareil. Les mesures organisationnelles ont été considérées comme suffisantes, même si cinq années s'étaient écoulées depuis que les travailleurs avaient reçu leur dernière formation à propos des dangers et des mesures de précaution concernant le laboratoire de RMN. Par conséquent, le responsable de la sécurité a élaboré un plan d'action destiné :

- à actualiser la formation du personnel travaillant dans le laboratoire en proposant une série de courtes séances de sensibilisation, la priorité étant accordée aux personnes engagées récemment;
- à veiller à ce que le personnel de maintenance connaisse les risques, en particulier les dangers liés aux objets ferromagnétiques «volants»;
- à confirmer que le personnel des sociétés de nettoyage externes sait qu'il lui est interdit d'entrer dans le laboratoire;
- à insérer un article sur les dangers liés au laboratoire dans le prochain bulletin de l'entreprise consacré à la sécurité.

3. ÉLECTROLYSE

Les sources d'exposition aux CEM faisant l'objet de la présente étude de cas sont les suivantes:

- électrolyseurs,
- redresseurs thyristor,
- barres collectrices,
- transformateurs.

3.1. Lieu de travail

L'équipement a été installé dans un grand site de production de chlore. Les lieux de travail présentant un intérêt étaient les suivants:

- la salle d'électrolyse,
- les compartiments de redresseur.

3.2. Nature du travail

La plupart des travaux avec l'équipement étaient réalisés par des ingénieurs qualifiés et expérimentés pouvant être tenus de travailler sur tout équipement associé au site de production de chlore. Les tâches pouvaient comprendre le démontage et l'entretien périodiques d'un électrolyseur pendant que des électrolyseurs adjacents fonctionnaient.

Le site était relativement récent et la sécurité par rapport aux CEM a été prise en considération durant la phase de conception. La présente étude de cas est dès lors un exemple de bonne pratique et démontre qu'il importe de tenir compte de l'exposition aux CEM lors des étapes de planification d'un projet majeur.

3.3. Informations sur les équipements générant des CEM

3.3.1. Salle d'électrolyse

La salle d'électrolyse contient 20 électrolyseurs produisant du chlore en faisant passer un courant électrique dans de la saumure par le procédé d'électrolyse à membrane cellulaire. Un courant électrique de 450 V et 16,5 kA est appliqué dans chaque électrolyseur. Une protection en plexiglas a été installée autour des électrolyseurs pour empêcher l'accès aux conducteurs électriques sous tension.

Avec la protection, chaque électrolyseur mesure 17,2 m de long et 4,4 m de large et contient 138 cellules réparties en deux «paquets» de 69 cellules, reliées en séries. Les électrolyseurs sont séparés par une distance d'environ 1,1 m. L'illustration 3.1 présente la disposition des électrolyseurs.

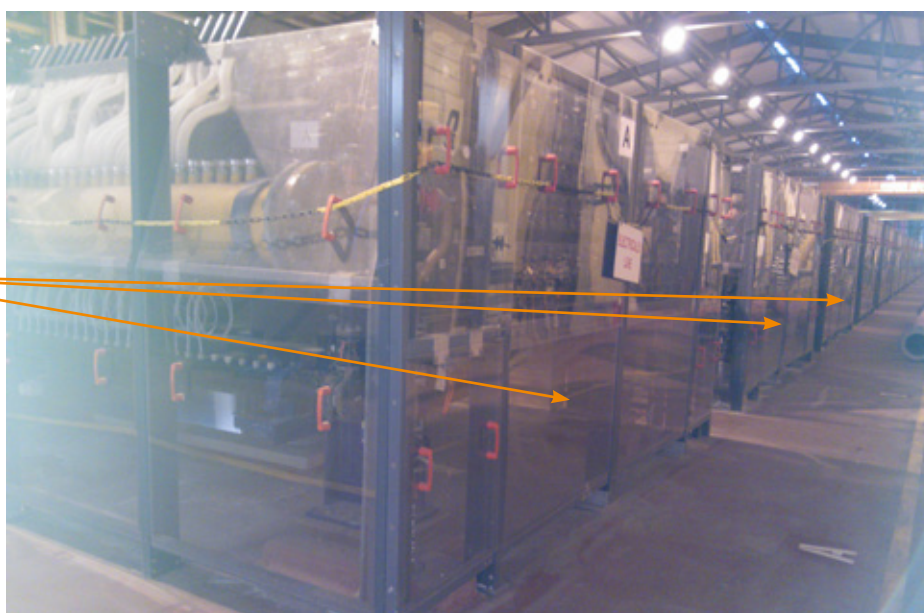
Une évaluation par modélisation théorique fondée sur le calcul des champs magnétiques entourant les parties de l'installation conductrices de courant avait été réalisée durant la phase de conception pour veiller à réduire le plus possible l'exposition aux CEM.

Illustration 3.1 — Électrolyseurs dans la salle d'électrolyse

**Un électrolyseur,
présenté sur toute
la longueur**



**Plusieurs
électrolyseurs**



3.3.2. Compartiment de redresseur

Chaque compartiment de redresseur (illustration 3.2) contient un redresseur thyristor alimentant deux électrolyseurs en courant continu. En haut, des barres collectrices alimentant les électrolyseurs sont placées à environ 4,2 m du sol. Les compartiments sont clôturés pour empêcher l'accès depuis l'extérieur du bâtiment, et la porte de chaque compartiment est verrouillée et un avis d'avertissement est affiché à côté de celle-ci (illustration 3.3). L'accès aux compartiments est normalement interdit lorsque les électrolyseurs fonctionnent.

Les transformateurs alimentant la salle d'électrolyse sont situés en dehors des compartiments de redresseur, de l'autre côté du mur par rapport aux redresseurs. Les compartiments du transformateur sont également clôturés pour empêcher l'accès (illustration 3.4).

Illustration 3.2 — Un compartiment de redresseur

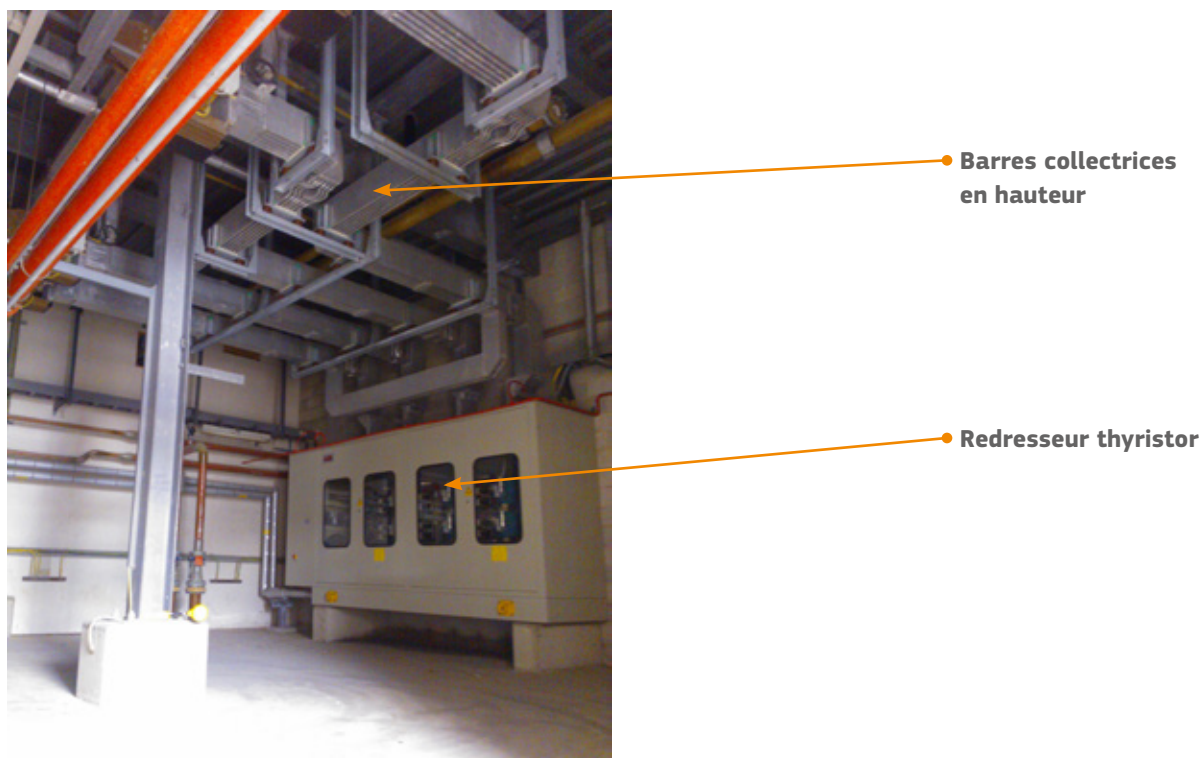


Illustration 3.3 — Restriction de l'accès à un compartiment de redresseur



Illustration 3.4 — Les compartiments du transformateur



3.4. Utilisation des équipements

Le processus de production du chlore est automatisé et commandé à distance depuis une salle de contrôle située dans un bâtiment voisin.

3.5. Méthode d'évaluation de l'exposition

La mesure des niveaux d'exposition a été réalisée par un expert-conseil au moyen d'instruments spécialisés. La sécurité par rapport aux CEM ayant été prise en compte lors de la conception du site et une évaluation par modélisation théorique fondée sur la mesure des champs magnétiques entourant les parties de l'installation conductrices de courant ayant été réalisée durant la phase de conception, les mesures visaient à confirmer que les mesures de protection et de prévention en place limitaient efficacement l'exposition aux CEM.

Des mesures de l'induction magnétique statique ont été réalisées eu égard au courant direct fourni aux électrolyseurs, et des mesures de l'induction magnétique variant dans le temps ont été réalisées eu égard au fait que le courant direct est produit par le redressement d'une alimentation en courant alternatif; une ondulation du courant direct fourni aux électrolyseurs était donc attendue. La fréquence de l'ondulation a également été confirmée lors de l'évaluation de l'exposition.

En outre, l'expert-conseil a réalisé une «étude des temps et mouvements» avant de procéder aux mesures pour vérifier si ces dernières avaient été effectuées dans des lieux représentatifs des postes de travail normaux. Les mesures ont été réalisées lorsque les électrolyseurs fonctionnaient à charge constante.

Les résultats des mesures ont été comparés aux valeurs limites d'exposition (VLE) et aux valeurs déclenchant l'action (VA) appropriées relatives aux effets directs ainsi qu'aux VA relatives aux effets indirects des champs magnétiques statiques (interférence avec des dispositifs médicaux implantés actifs et risque d'attraction et de projection dans le champ de dispersion de sources de champs d'intensité élevée).

Lors de l'évaluation de l'exposition des travailleurs à risques particuliers, une comparaison a été effectuée avec les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE du Conseil (voir l'annexe E du volume 1 du guide).

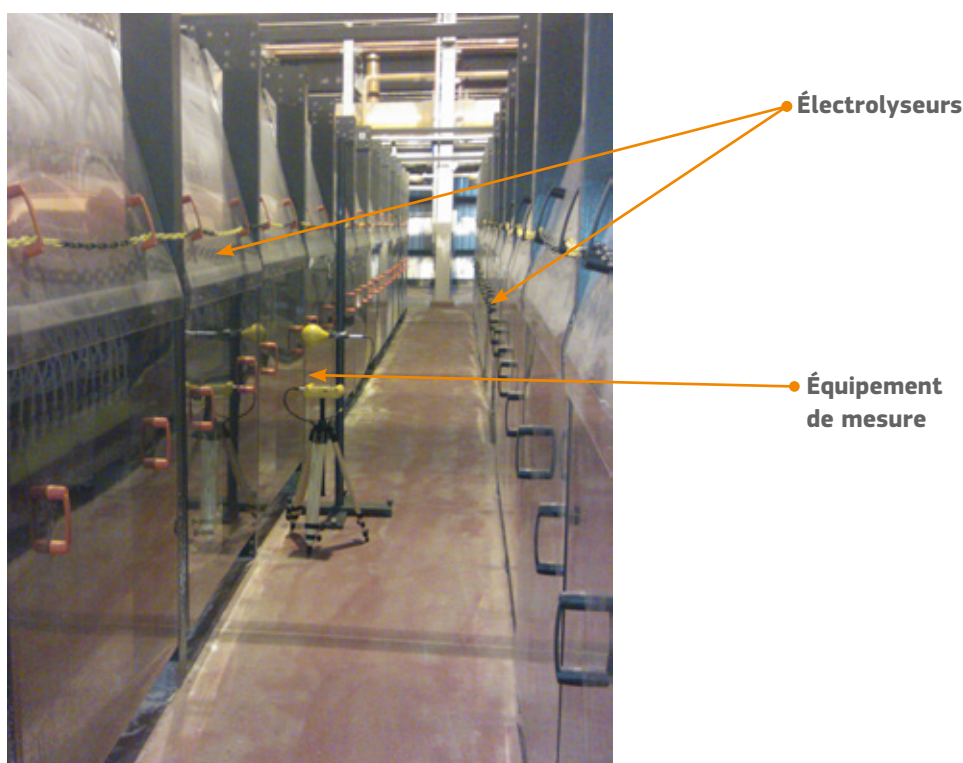
3.5.1. Salle d'électrolyse

Des mesures de l'induction magnétique variant dans le temps et de l'induction magnétique statique ont été réalisées entre deux électrolyseurs (illustration 3.5). Il a été procédé à trois séries de mesures:

- à des intervalles de distance entre les deux électrolyseurs;
- à des intervalles de distance sur toute la longueur du centre de l'espace s'étendant d'un bout à l'autre des électrolyseurs;
- dans le plan vertical jouxtant un des électrolyseurs.

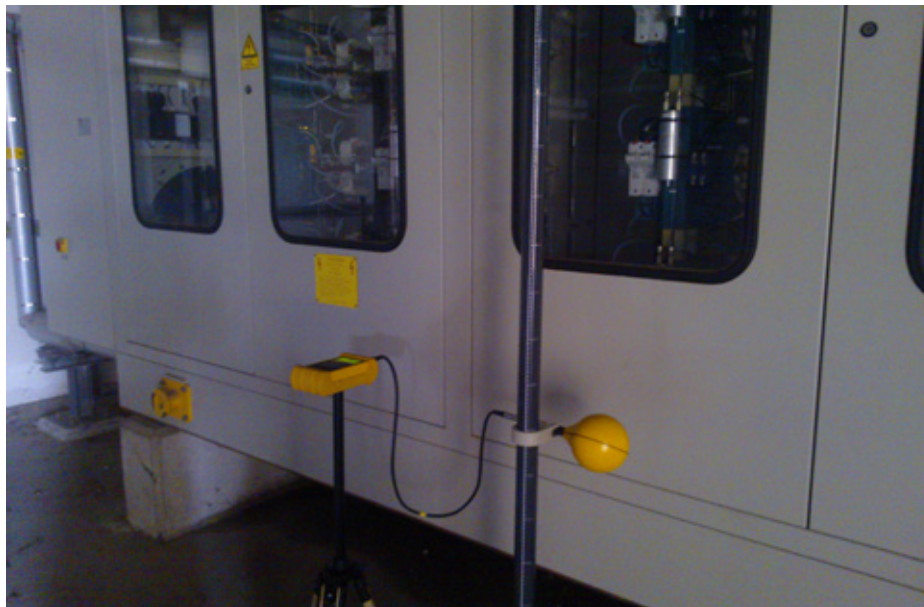
Ces mesures représentent le niveau d'exposition d'un travailleur marchant entre les électrolyseurs de la salle d'électrolyse, scénario considéré comme correspondant au niveau d'exposition maximale.

Illustration 3.5 — Mesures réalisées entre deux électrolyseurs



3.5.2. Compartiment de redresseur

Des mesures de l'induction magnétique variant dans le temps et de l'induction magnétique statique ont été réalisées autour d'un redresseur thyristor (illustration 3.6), sous les barres collectrices et à proximité du mur entre le redresseur et le transformateur.

Illustration 3.6 — Mesures réalisées à proximité d'un redresseur thyristor

3.6. Résultats de l'évaluation de l'exposition

Les résultats des mesures des niveaux d'exposition ont été comparés avec les VLE et les VA appropriées. Dans le cas de l'électrolyse, les valeurs importantes avec lesquelles les résultats doivent être comparés sont les suivantes:

- concernant les champs magnétiques statiques:
 - les VLE pour l'induction magnétique des champs magnétiques statiques (conditions de travail normales),
 - les VA pour l'induction magnétique des champs magnétiques statiques (interférence avec des dispositifs médicaux implantés actifs tels que les stimulateurs cardiaques),
 - les VA pour l'induction magnétique des champs magnétiques statiques (risque d'attraction et de projection dans le champ de dispersion de sources de champs d'intensité élevée);
- concernant les champs magnétiques variant dans le temps:
 - les VA pour l'induction magnétique des champs magnétiques variant dans le temps,
 - les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE concernant les champs magnétiques variant dans le temps (pour les travailleurs à risques particuliers).

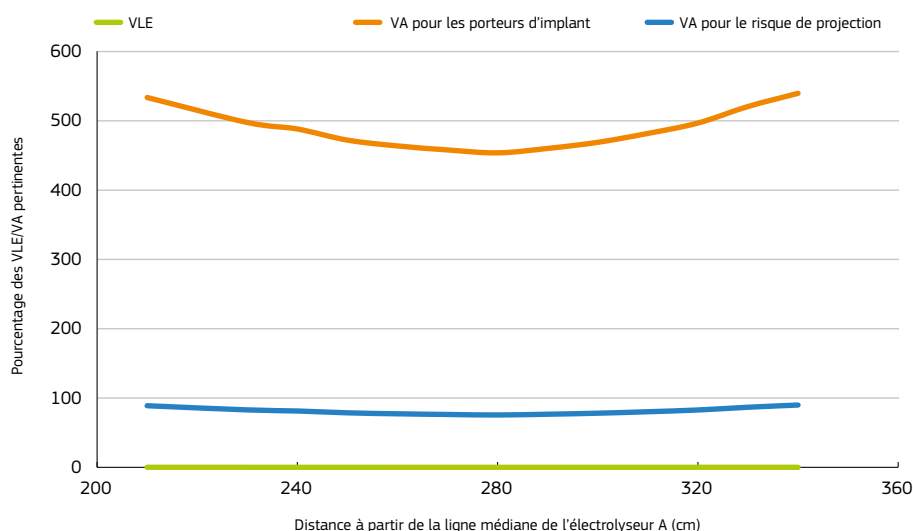
Les principaux résultats de l'évaluation de l'exposition ainsi que des exemples de diagrammes élaborés lors de l'évaluation par modélisation théorique sont présentés aux illustrations 3.7 à 3.17.

Il convient de noter que les résultats de l'évaluation de l'exposition ne peuvent être comparés directement à ceux de l'évaluation par modélisation étant donné que cette dernière a été réalisée avant la publication de la directive CEM et se fondait sur les niveaux de référence associés à l'exposition professionnelle du CIPRNI, plus restrictifs que les VA de la directive CEM.

3.6.1. Salle d'électrolyse

Les graphiques suivants montrent la variation de l'induction magnétique par rapport aux VLE et VA applicables décrites ci-dessus. Il a été confirmé que l'alimentation en courant continu présente une ondulation d'une fréquence de 300 Hz. Des harmoniques compris entre 600 Hz et 900 Hz ont également été détectés par l'équipement de mesure. Leur contribution à l'exposition totale n'était cependant pas significative.

Graphique 3.7 — Variation de l'induction magnétique statique dans l'intervalle séparant les deux électrolyseurs



NB: Les mesures ont été réalisées à une hauteur de 120 cm du sol.

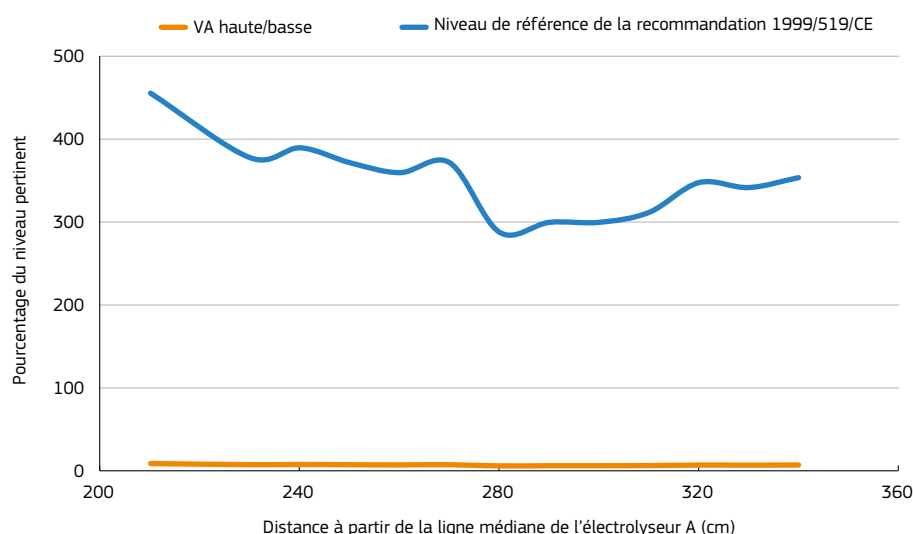
VLE (conditions de travail normales): 2 T

VA pour les porteurs d'implant: 0,5 mT

VA pour le risque de projection: 3 mT

L'incertitude des mesures a été estimée à $\pm 5\%$ et, conformément à l'approche axée sur le «partage des risques» (voir l'annexe D.5 du volume 1 du guide), les résultats sont exprimés en pourcentages directs des VLE/VA.

Graphique 3.8 — Variation de l'induction magnétique variant dans le temps de 300 Hz dans l'intervalle séparant les deux électrolyseurs



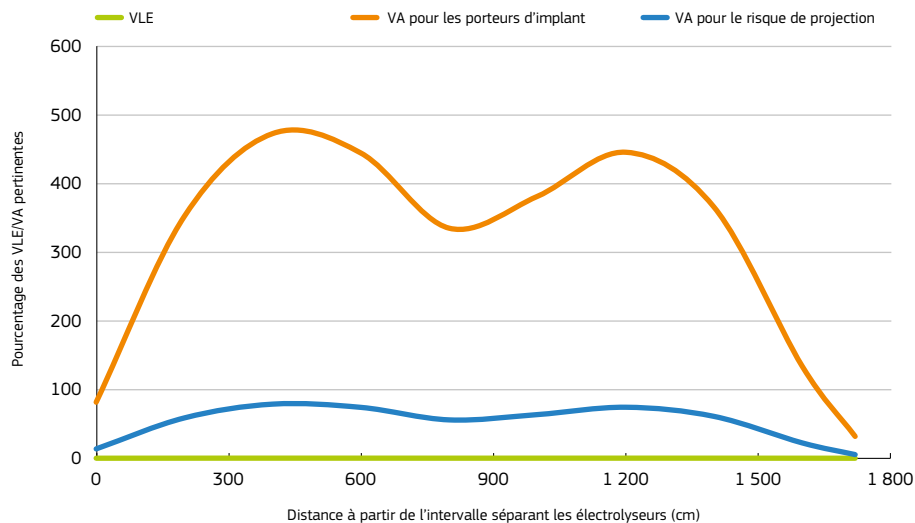
NB: Les mesures ont été réalisées à une hauteur de 120 cm du sol.

VA haute et basse pour un champ magnétique de 300 Hz: 1 000 μ T

Niveau de référence (NR) de la recommandation 1999/519/CE pour un champ magnétique de 300 Hz: 16,7 μ T

L'incertitude des mesures a été estimée à $\pm 10\%$ et, conformément à l'approche axée sur le «partage des risques» (voir l'annexe D.5 du volume 1 du guide), les résultats sont exprimés en pourcentages directs des VA/NR.

Graphique 3.9 — Variation de l'induction magnétique statique le long de l'intervalle séparant les deux électrolyseurs



NB: Les mesures ont été réalisées à une hauteur de 120 cm du sol.

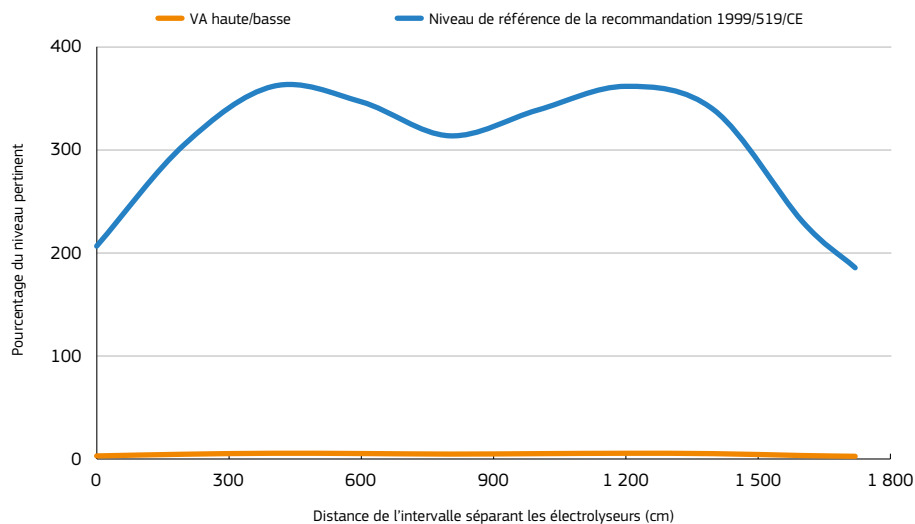
VLE (conditions de travail normales): 2 T

VA pour les porteurs d'implant: 0,5 mT

VA pour le risque de projection: 3 mT

L'incertitude des mesures a été estimée à $\pm 5\%$ et, conformément à l'approche axée sur le «partage des risques» (voir l'annexe D.5 du volume 1 du guide), les résultats sont exprimés en pourcentages directs des VLE/VA.

Graphique 3.10 — Variation de l'induction magnétique variant dans le temps de 300 Hz sur la longueur de l'intervalle séparant les deux électrolyseurs



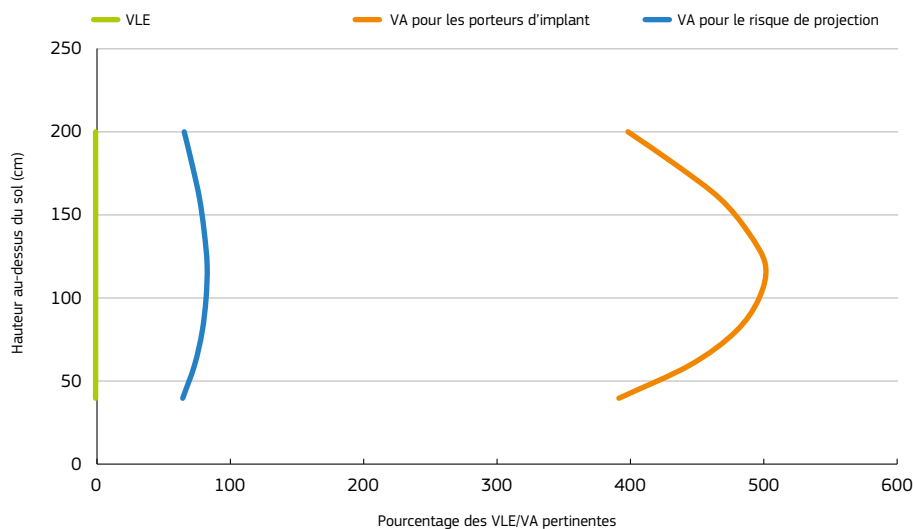
NB: Les mesures ont été réalisées à une hauteur de 120 cm du sol.

VA haute et basse pour un champ magnétique de 300 Hz: 1 000 μ T

Niveau de référence de la recommandation 1999/519/CE pour un champ magnétique de 300 Hz: 16,7 μ T

L'incertitude des mesures a été estimée à $\pm 10\%$ et, conformément à l'approche axée sur le «partage des risques» (voir l'annexe D.5 du volume 1 du guide), les résultats sont exprimés en pourcentages directs des VA/NR.

Graphique 3.11 — Variation de l'induction magnétique statique en fonction de la hauteur le long d'un des électrolyseurs



NB: Les mesures ont été réalisées à une distance de 230 cm de la ligne médiane d'un des électrolyseurs.

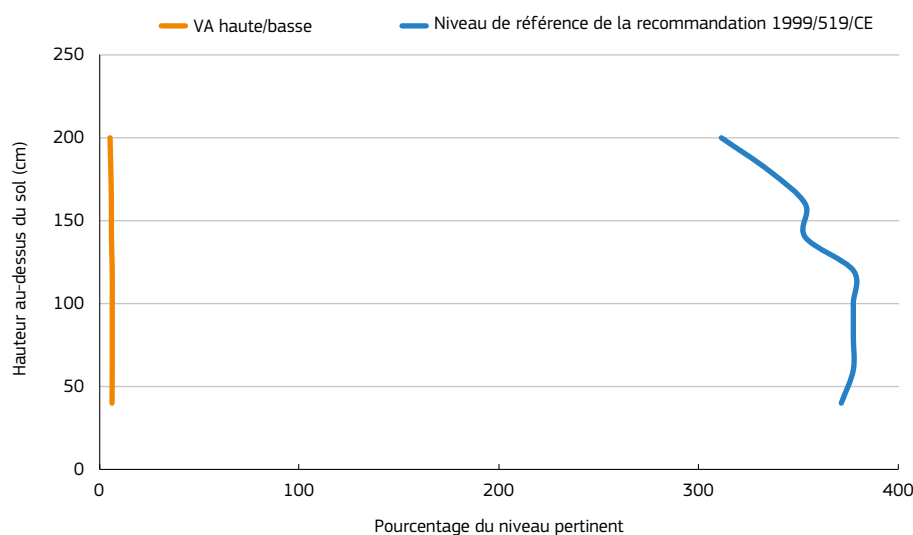
VLE (conditions de travail normales): 2 T

VA pour les porteurs d'implant: 0,5 mT

VA pour le risque de projection: 3 mT

L'incertitude des mesures a été estimée à $\pm 5\%$ et, conformément à l'approche axée sur le «partage des risques» (voir l'annexe D.5 du volume 1 du guide), les résultats sont exprimés en pourcentages directs des VLE/VA.

Graphique 3.12 — Variation de l'induction magnétique variant dans le temps de 300 Hz en fonction de la hauteur le long d'un des électrolyseurs



NB: Les mesures ont été réalisées à une distance de 230 cm de la ligne médiane d'un des électrolyseurs.

VA haute et basse pour un champ magnétique de 300 Hz: 1 000 μ T

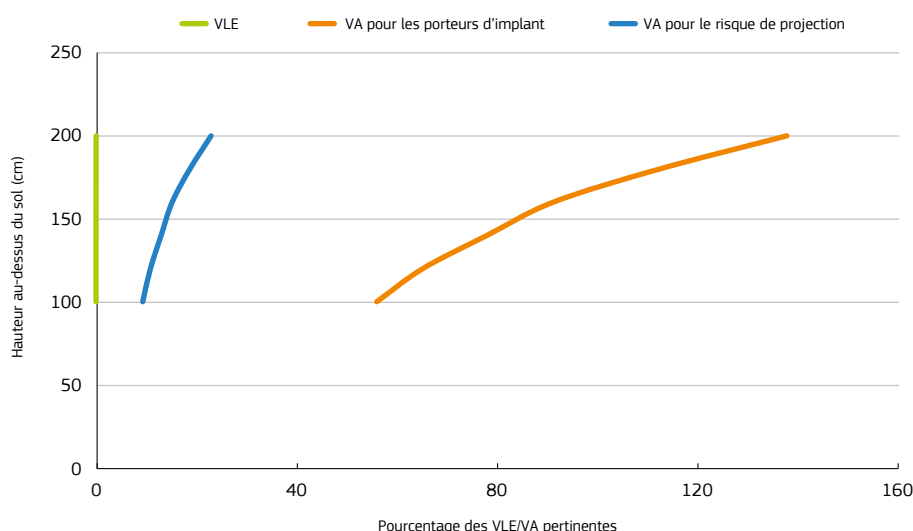
Niveau de référence de la recommandation 1999/519/CE pour un champ magnétique de 300 Hz: 16,7 μ T

L'incertitude des mesures a été estimée à $\pm 10\%$ et, conformément à l'approche axée sur le «partage des risques» (voir l'annexe D.5 du volume 1 du guide), les résultats sont exprimés en pourcentages directs des VA/NR.

3.6.2. Compartiment de redresseur

Les graphiques suivants montrent la variation de l'induction magnétique par rapport aux VLE et VA applicables décrites ci-dessus. Il a été confirmé que l'alimentation en courant continu présente une ondulation d'une fréquence de 300 Hz. En outre, des champs de 50 Hz ont été détectés en provenance du transformateur extérieur.

Graphique 3.14 — Variation de l'induction magnétique statique en fonction de la hauteur sous l'isolateur des barres collectrices à courant continu



NB: L'isolateur des barres collectrices à courant continu se trouvait à environ 420 cm du sol.

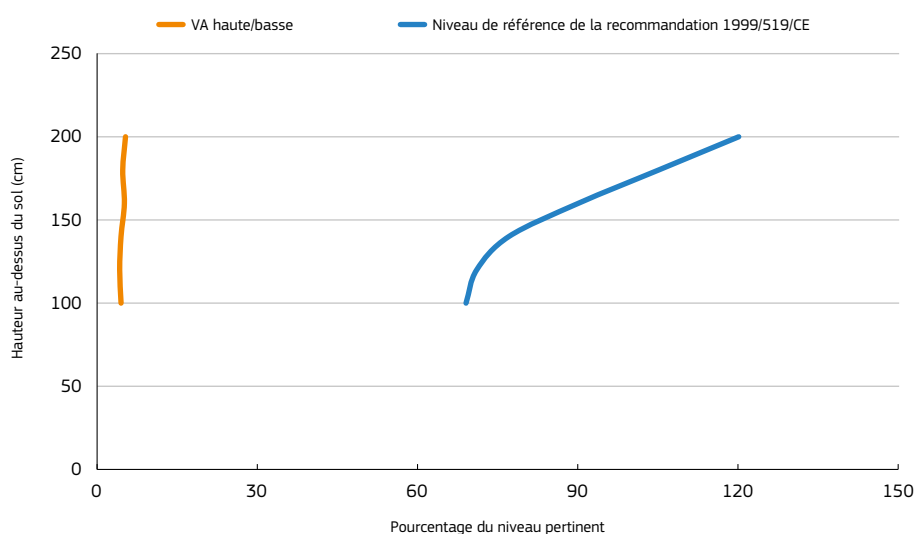
VLE (conditions de travail normales): 2 T

VA pour les porteurs d'implant: 0,5 mT

VA pour le risque de projection: 3 mT

L'incertitude des mesures a été estimée à $\pm 5\%$ et, conformément à l'approche axée sur le «partage des risques» (voir l'annexe D.5 du volume 1 du guide), les résultats sont exprimés en pourcentages directs des VLE/VA.

Graphique 3.15 — Variation de l'induction magnétique variant dans le temps de 300 Hz en fonction de la hauteur sous l'isolateur des barres collectrices à courant continu



NB: L'isolateur des barres collectrices à courant continu se trouvait à environ 420 cm du sol.

VA haute et basse pour un champ magnétique de 300 Hz: 1 000 μ T

Niveau de référence de la recommandation 1999/519/CE pour un champ magnétique de 300 Hz: 16,7 μ T

L'incertitude des mesures a été estimée à $\pm 10\%$ et, conformément à l'approche axée sur le «partage des risques» (voir l'annexe D.5 du volume 1 du guide), les résultats sont exprimés en pourcentages directs des VA/NR.

Isolateur à courant continu avec le plateau et les cabines



Distance du mur (cm)	VA basse (%)	VA haute (%)
25	130	70
40	110	60
50	95	50
75	75	38
100	60	30
125	45	25

NB: Les mesures ont été réalisées à une hauteur de 120 cm du sol.
 VA basse pour un champ magnétique de 50 Hz: 1 000 μ T
 VA haute pour un champ magnétique de 50 Hz: 6 000 μ T
 L'incertitude des mesures a été estimée à $\pm 10\%$ et, conformément à l'approche axée sur le «partage des risques» (voir l'annexe D.5 du volume 1 du guide), les résultats sont exprimés en pourcentages directs des VA/NR.

Les résultats de l'évaluation de l'exposition dans le compartiment de redresseur ont permis à l'entreprise d'obtenir les informations suivantes:

- l'exposition aux champs magnétiques des barres collectrices et des redresseurs thyristor est inférieure aux VA relatives aux effets directs au niveau du sol;
- l'exposition aux champs magnétiques variant dans le temps provenant du transformateur situé de l'autre côté du mur derrière le redresseur est supérieure à la VA basse en ce qui concerne l'induction magnétique variant dans le temps jusqu'à une distance de 37 cm de la surface du mur à l'intérieur du compartiment de redresseur;
- l'exposition aux champs magnétiques variant dans le temps provenant du transformateur est inférieure à la VA haute en ce qui concerne l'induction magnétique variant dans le temps dans le compartiment de redresseur;
- les champs magnétiques statiques présents partout dans les compartiments de redresseur peuvent constituer un danger pour les personnes portant un dispositif médical implanté actif. Cependant, les avis d'avertissement et les consignes de sécurité du site ont été jugés appropriés;
- les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE ont été dépassés en ce qui concerne les champs magnétiques variant dans le temps. Il est toutefois peu probable que les compartiments de redresseur soient occupés par des travailleurs à risques particuliers.

3.7. Évaluation des risques

Sur la base de l'évaluation de l'exposition réalisée par l'expert-conseil, l'entreprise a soumis le site de production de chlore à une évaluation des risques d'exposition aux CEM. Cette évaluation des risques, conforme à la méthodologie proposée par la plate-forme OIRA, a abouti aux conclusions suivantes:

- les travailleurs à risques particuliers sont exposés à un risque à proximité des électrolyseurs;
- les travailleurs, y compris les travailleurs à risques particuliers, sont exposés à un risque dans les compartiments de redresseur du fait d'une exposition aux champs magnétiques.

Le tableau 3.1 présente un exemple d'évaluation des risques d'exposition spécifiques aux CEM réalisée dans le site de production de chlore.

Tableau 3.1 — Évaluation des risques d'exposition spécifiques aux CEM dans le site de production de chlore

Dangers	Mesures de prévention et de précaution existantes	Personnes à risques	Gravité			Probabilité			Évaluation des risques	Nouvelles mesures de prévention et de précaution
			Mineure	Élevée	Fatale	Improbable	Possible	Probable		
Effets directs des champs magnétiques	Conception judicieuse du site de production de chlore en vue de réduire le plus possible l'intensité des champs magnétiques	Ingénieurs	✓				✓		Faibles	Aucune mesure requise
	Restriction de l'accès aux compartiments de redresseur Avis d'avertissement appropriés affichés dans des emplacements bien visibles Formation des travailleurs	Travailleurs à risques particuliers (y compris les travailleuses enceintes)	✓				✓		Faibles	
Effets indirects des champs magnétiques (interférence avec des implants médicaux)	Interdiction d'accès au site de production de chlore aux travailleurs porteurs d'un implant médical	Travailleurs à risques particuliers	✓				✓		Faibles	Aucune mesure requise
	Avis d'avertissement appropriés affichés dans des emplacements bien visibles Formation des travailleurs									

3.8. Mesures de précaution déjà mises en œuvre

Dès les premières étapes de la conception de l'installation, la sécurité par rapport aux CEM a constitué une priorité majeure. Plusieurs mesures de protection et de prévention ont dès lors été intégrées, notamment:

- l'intensité des champs magnétiques variant dans le temps susceptibles d'être générés par l'ondulation du courant continu fourni aux électrolyseurs a été réduite en utilisant, par exemple, douze redresseurs pulsés au lieu de six;
- le site présente une superficie suffisante pour que les zones des champs magnétiques puissants soient facilement isolées des travailleurs;
- des avis d'avertissement appropriés concernant la présence de champs magnétiques puissants sont clairement affichés autour du site;
- les travailleurs sont informés des conséquences potentielles de l'exposition aux CEM et ont reçu l'instruction d'informer leur employeur s'ils portent un implant médical.

3.9. Mesures de précaution supplémentaires découlant de l'évaluation

L'évaluation de l'exposition a confirmé que le site a été conçu correctement en ce qui concerne l'exposition aux CEM. Aucune précaution supplémentaire ne doit dès lors être prise à la suite de l'évaluation de l'exposition.

3.10. Sources d'informations supplémentaires

Euro Chlor Publication, *Electromagnetic Fields in the Chlorine Electrolysis Units. Health Effects, Recommended Limits, Measurement Methods and Possible Prevention Actions*, 2014.

4. DOMAINE MÉDICAL

4.1. Lieu de travail

Il a été demandé au département de physique médicale d'un hôpital d'analyser la façon dont l'application de la directive CEM peut influencer sur les travaux réalisés à l'hôpital.

4.2. Nature du travail

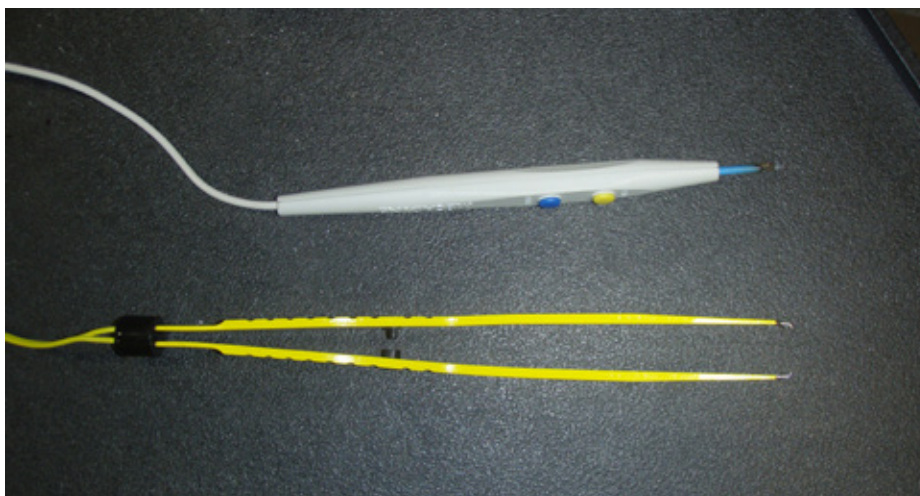
De nombreux appareils électriques sont utilisés dans le traitement, le suivi et le diagnostic des patients. L'équipe de physique médicale a commencé son évaluation en recensant les équipements pouvant générer des champs électromagnétiques puissants. Elle a dressé l'inventaire de l'équipement de l'hôpital et a relevé trois pièces d'équipement dont elle savait qu'elles génèrent des champs électromagnétiques puissants: les appareils d'électrochirurgie, les dispositifs de stimulation magnétique transcrânienne (SMT) ainsi que les appareils de diathermie à ondes courtes. Bien que l'hôpital n'utilise pas l'équipement de diathermie à ondes courtes, celui-ci a été soumis à l'évaluation. L'équipe souhaitait également examiner l'incidence potentielle des interférences électromagnétiques sur les appareils de contrôle des patients sensibles, notamment l'équipement pouvant être utilisé à proximité des appareils générant des champs électromagnétiques puissants. Elle a établi que l'équipement le plus sensible aux interférences électromagnétiques était l'équipement médical sensible utilisé lors des procédures d'électrochirurgie (les ventilateurs et les dispositifs électrocardiographiques, par exemple).

4.3. Informations sur les équipements générant des CEM

4.3.1. Appareils d'électrochirurgie

L'hôpital utilise des dispositifs d'électrochirurgie pour un grand nombre d'interventions chirurgicales en vue de sectionner ou de coaguler des tissus humains. Ces appareils font passer un courant électrique à haute tension à travers le tissu soumis à l'opération. Les appareils d'électrochirurgie fonctionnent généralement dans la gamme de fréquences intermédiaires comprises approximativement entre 300 kHz et 1 MHz et utilisent des puissances comprises entre 50 et 300 W. Un appareil d'électrochirurgie se compose d'une électrode active, d'un générateur, de câbles reliant le générateur à l'électrode active et de l'électrode de retour ou plaque de terre placée sur le corps du patient (illustration 4.1). L'énergie électrique est fournie à l'électrode active (sonde électrochirurgicale) par des câbles blindés ou non blindés. Le courant passe à travers le tissu du patient et est renvoyé vers l'appareil d'électrochirurgie par l'intermédiaire de l'électrode de retour.

Illustration 4.1 — Électrode active et électrode de retour et câbles associés



4.3.2. Stimulation magnétique transcrânienne

Les dispositifs de stimulation magnétique transcrânienne (SMT) sont utilisés pour créer des impulsions de champs électromagnétiques permettant de produire des courants par induction dans le cerveau. Ils peuvent être utilisés dans un certain nombre d'applications (diagnostic de maladies et de lésions cérébrales, traitement de la dépression et, plus récemment, de la migraine, par exemple). Les dispositifs de SMT sont généralement composés d'une unité principale produisant une impulsion à haute intensité et d'une bobine de stimulation manuelle (illustration 4.2). Dans les dispositifs disponibles sur le marché, l'énergie est stockée dans de grands condensateurs à haute tension. Ces condensateurs sont déchargés dans la bobine en utilisant un thyristor, pouvant commuter d'importants courants électriques en quelques secondes. Deux types de bobines sont largement répandus et utilisés dans l'hôpital: la bobine circulaire et la bobine «en forme de huit» (bien que d'autres types de bobine existent).

Illustration 4.2 — Bobine de SMT «en forme de huit»



4.3.3. Diathermie à ondes courtes

Les dispositifs de diathermie à ondes courtes émettent généralement un rayonnement de radiofréquences (RF) de 27,1 MHz. Ils sont utilisés par les physiothérapeutes pour le traitement thérapeutique des muscles et des articulations, selon deux méthodes: la méthode capacitive, où le patient est positionné dans le champ de RF entre deux électrodes à plaque (illustration 4.3), et la méthode inductive, par laquelle le champ électromagnétique est appliqué à l'aide d'une bobine.

Illustration 4.3 — Diathermie à ondes courtes capacitive



4.4. Utilisation des équipements

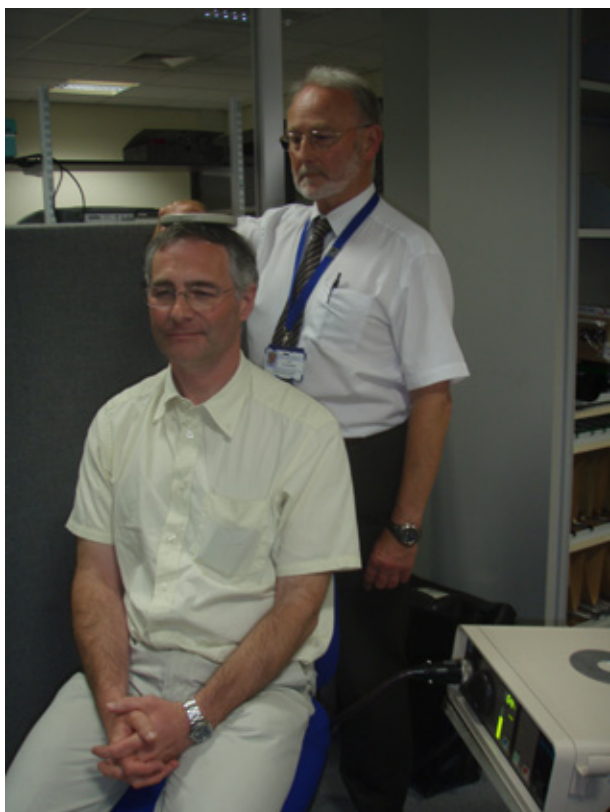
4.4.1. Appareils d'électrochirurgie

Le chirurgien place généralement la sonde de traitement à proximité de la partie supérieure du corps du patient. Les câbles peuvent être placés à proximité du personnel de la salle d'opération, et particulièrement près de la main et du bras du chirurgien.

4.4.2. Stimulation magnétique transcrânienne

La bobine est placée à proximité de la tête du patient, et une impulsion ou une série d'impulsions électromagnétiques est générée pour produire des courants par induction dans le cerveau du patient. La sonde peut être fixée ou maintenue en position par le médecin hospitalier (illustration 4.4).

Illustration 4.4 — Bobine de SMT circulaire en cours d'utilisation



4.4.3. Diathermie à ondes courtes

L'équipe a été informée du fait que la diathermie à ondes courtes n'était pas utilisée à l'hôpital, bien qu'elle ait déjà été utilisée dans le passé par des physiothérapeutes. Elle n'était pas pleinement au fait des procédures de travail utilisées pour cet équipement à l'époque, mais a décidé de soumettre ce dernier à l'évaluation, au cas où l'hôpital prévoirait de le réutiliser à l'avenir.

4.5. Méthode d'évaluation de l'exposition

L'équipe de physique médicale savait que les trois dispositifs médicaux recensés génèrent des champs électromagnétiques puissants. Cependant, elle n'était pas certaine que la puissance des champs générés constituait un dépassement des valeurs limites d'exposition (VLE) pour le personnel. L'équipe en a conclu qu'il convenait de procéder à une évaluation approfondie et à des mesures des champs électromagnétiques. Elle a choisi deux pièces d'équipement à mesurer: un appareil d'électrochirurgie ConMed 5000 et un dispositif de SMT 200 MAGSTIM. Elle a décidé de ne pas réaliser de mesures sur un appareil de diathermie à ondes courtes pour cette fois.

Le département de physique médicale dispose d'une variété de sondes de mesure pour contrôler les champs électromagnétiques. Pour procéder aux mesures, l'équipe a utilisé une sonde isotrope (mesure de trois axes). Différentes sondes ont dû être utilisées pour chaque pièce d'équipement en raison de la différence de fréquence des champs électromagnétiques générés.

4.6. Résultats de l'évaluation de l'exposition

4.6.1. Appareil d'électrochirurgie

L'appareil d'électrochirurgie ConMed 5000 fonctionnait en mode monopolaire. Il peut fonctionner en mode «section» ou «coagulation». Cependant, les mesures préliminaires ayant révélé que les champs électromagnétiques produits en mode «section» étaient plus puissants que les champs générés en mode «coagulation», la plupart des mesures ont été réalisées en mode «section». La fréquence du champ a été évaluée à 391 kHz sur la base des mesures et de l'affichage de la forme d'onde par un oscilloscope. La puissance appliquée était d'environ 200 W.

Les mesures des champs électriques et magnétiques ont été réalisées autour des câbles de traitement et de retour. En ce qui concerne la comparaison du champ mesuré avec les valeurs déclenchant l'action (VA), tant les VA relatives aux effets thermiques que les VA relatives aux effets non thermiques sont applicables en raison du champ à fréquence intermédiaire.

Les résultats des mesures présentés dans le tableau 4.1 montrent l'intensité du champ magnétique à plusieurs distances horizontales au milieu du câble de traitement. L'équipe a déduit de ces résultats que le champ magnétique est généré dans un rayon de 1 cm du câble et a calculé qu'il s'élevait à 7 % de la VA pour une exposition des membres.

L'évaluation du champ magnétique entourant l'équipement a démontré à l'équipe que l'exposition du chirurgien ou des autres membres du personnel médical dans la salle d'opération ne dépasse pas les VA définies dans la directive CEM ni les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE.

Tableau 4.1 — Intensité du champ magnétique à différentes distances du câble de traitement, exprimée en pourcentage des VA et des niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE

Distance du câble (cm)	Intensité du champ magnétique (Am ⁻¹)	Induction magnétique (μT)	Effets non thermiques		Effets thermiques	
			Pourcentage des VA haute/basse (%) ⁽¹⁾	Pourcentage des VA pour une exposition des membres (%) ⁽²⁾	Pourcentage de la VA (%) ⁽³⁾	Pourcentage des niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE (%) ⁽⁴⁾
10	0,64	0,81	0,81	0,27	16	34
20	0,53	0,67	0,67	0,22	13	29
50	0,26	0,33	0,33	0,11	6,4	14
100	0,09	0,11	0,11	0,04	2,1	4,7
150	0,04	0,05	0,05	0,02	1,0	2,1

⁽¹⁾ VA haute/basse pour une induction magnétique à une fréquence de 391 kHz: 100 μT

⁽²⁾ VA pour l'exposition des membres pour une induction magnétique à une fréquence de 391 kHz: 300 μT

⁽³⁾ VA pour une induction magnétique à une fréquence de 391 kHz: 5,12 μT

⁽⁴⁾ Niveau de référence de la recommandation 1999/519/CE sur l'induction magnétique à une fréquence de 391 kHz: 2,35 μT

NB: L'incertitude des mesures a été estimée à ± 2,7 dB et, conformément à l'approche axée sur le «partage des risques» (voir l'annexe D.5 du volume 1 du guide), les résultats ont été directement comparés aux VA/NR.

Le champ électrique a été mesuré dans une zone occupée par le câble de traitement et le câble de retour. Il a été constaté que le champ électrique produit par le câble de retour était beaucoup plus élevé que celui produit par le câble de traitement, ce qui indiquait que le câble de traitement était blindé. L'intensité du champ électrique en fonction de la distance jusqu'au câble de retour est présentée de manière détaillée dans le tableau 4.2. Ces mesures correspondent à différentes distances horizontales au milieu du câble. Le champ mesuré le plus puissant, situé à 10 cm du câble, est inférieur aux VA. Cependant, les résultats montrent que les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE peuvent être dépassés à moins de 20 cm de ce câble environ.

Tableau 4.2 — Intensité du champ électrique à différentes distances du câble de retour, exprimée en pourcentage des VA et des niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE

Distance du câble (cm)	Intensité du champ électrique (Vm ⁻¹)	Effets non thermiques		Effets thermiques	
		Pourcentage de la VA basse (%) ⁽¹⁾	Pourcentage de la VA haute (%) ⁽²⁾	Pourcentage de la VA (%) ⁽³⁾	Pourcentage des niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE (%) ⁽⁴⁾
10	116	68,2	19,0	19,0	133
20	92,5	54,4	15,2	15,2	106
30	66,8	39,3	11,0	11,0	76,8
50	48,5	28,6	8,0	8,0	55,8
100	11,9	7,0	2,0	2,0	13,7
150	6,55	3,9	1,1	1,1	7,5

⁽¹⁾ VA basse pour l'intensité du champ électrique à des fréquences comprises entre 3 kHz et 10 MHz: 170 Vm⁻¹.

⁽²⁾ VA haute pour l'intensité du champ électrique à des fréquences comprises entre 3 kHz et 10 MHz: 610 Vm⁻¹.

⁽³⁾ VA haute pour l'intensité du champ électrique à des fréquences comprises entre 3 kHz et 10 MHz: 610 Vm⁻¹.

⁽⁴⁾ Niveau de référence de la recommandation 1999/519/CE pour l'intensité du champ électrique à des fréquences comprises entre 150 kHz et 1 MHz: 87 Vm⁻¹.

NB: L'incertitude des mesures a été estimée à $\pm 0,8$ dB et, conformément à l'approche axée sur le «partage des risques» (voir l'annexe D.5 du volume 1 du guide), les résultats ont été comparés directement aux VA/NR.

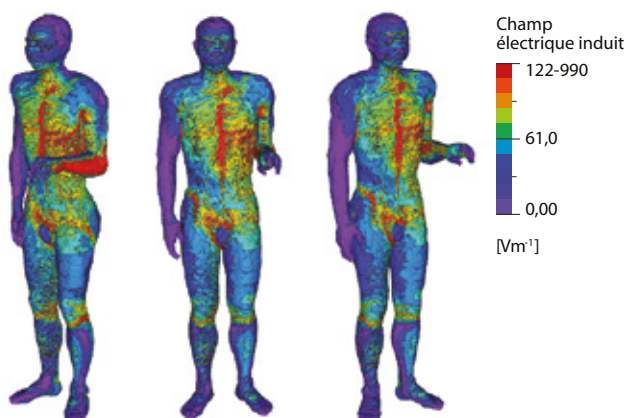
Par souci d'exhaustivité, l'équipe a ensuite utilisé son logiciel de modélisation pour estimer l'exposition des patients et l'a reconfiguré pour modéliser l'exposition du chirurgien par rapport aux VLE. Ont été calculés les champs électriques induits et les valeurs de DAS d'une situation d'exposition où le dispositif d'électrochirurgie est utilisé et les câbles longent le bras du chirurgien à une distance de 1 cm.

Le champ électrique induit dans différents tissus a été calculé (tableau 4.3). La valeur la plus élevée de 628 mVm⁻¹ a été obtenue dans l'os, ce qui correspond à 0,6 % des VLE relatives aux effets sur la santé — données confirmant à l'équipe que les VLE relatives aux effets non thermiques ne seraient pas dépassées pour le chirurgien. L'illustration 4.5 montre la répartition du champ électrique induit dans un modèle humain. Bien entendu, il est également possible que les câbles de l'appareil d'électrochirurgie se trouvent à moins de 1 cm du chirurgien, voire qu'ils soient en contact avec ce dernier. Cependant, l'équipe a conclu des faibles valeurs du champ électrique induit que les VLE relatives aux effets sur la santé ne seraient pas dépassées autour de l'appareil concerné.

Tableau 4.3 — Champ électrique induit exprimé en pourcentage des VLE relatives aux effets sur la santé

Tissu	Champ électrique induit (mVm^{-1}) ⁽¹⁾	Pourcentage des VLE relatives aux effets sur la santé
Os	628	0,60 %
Graisse	493	0,47 %
Peau	461	0,44 %
Cerveau	146	0,14 %
Moelle épinière	275	0,26 %
Rétine	103	0,10 %

(¹) VLE relatives aux effets sur la santé pour l'intensité du champ électrique interne à des fréquences comprises entre 3 kHz et 10 MHz: 105 Vm^{-1} (valeurs moyennes quadratiques).

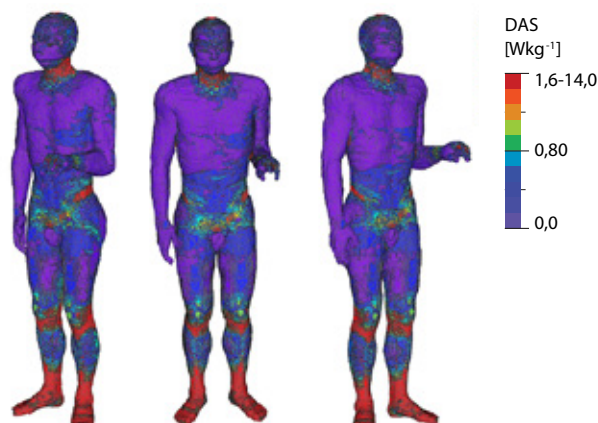
Illustration 4.5 — Répartition du champ électrique induit dans le modèle humain liée à une exposition au câble électrochirurgical de 391 kHz

Les valeurs de débit d'absorption spécifique (DAS) ont été calculées localement et pour le corps entier (tableau 4.4). Elles montrent que les VLE ne seront pas dépassées dans la position occupée par le chirurgien. L'illustration 4.6 montre la répartition du DAS dans un modèle humain.

Tableau 4.4 — Valeurs de DAS les plus élevées pour la situation d'exposition examinée et comparaison avec les VLE

Situation	DAS (Wkg^{-1})	VLE (Wkg^{-1})	% des VLE
DAS «moyenne sur le corps entier»	0,0338	0,4	8,4
DAS de crête localisé de 10 g dans la tête et le tronc	0,780	10	7,8
DAS de crête localisé de 10 g dans les membres	1,75	20	8,7

Illustration 4.6 — Répartition du DAS de l'énergie dans le modèle humain liée à l'exposition au champ de 391 kHz produit par l'appareil d'électrochirurgie



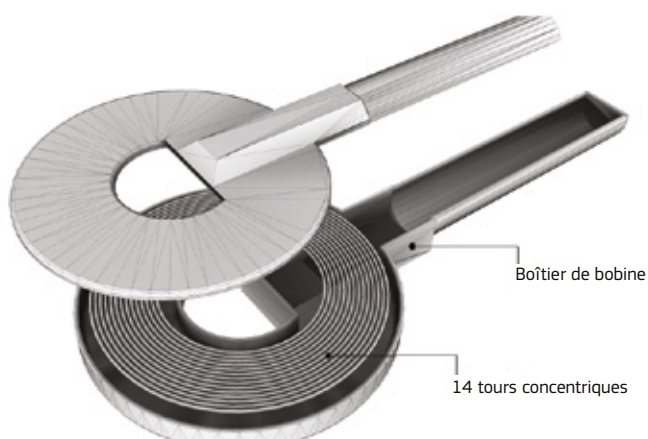
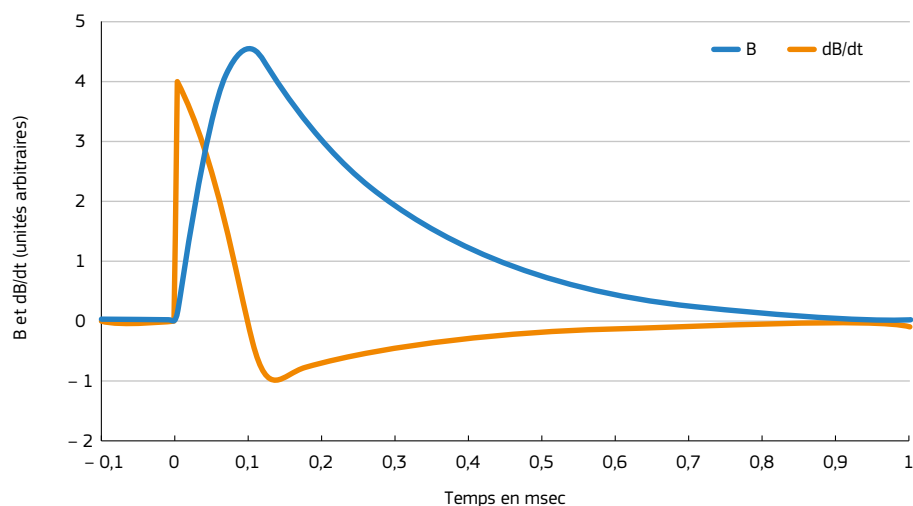
L'évaluation a permis à l'équipe de savoir qu'il est improbable que le chirurgien ou d'autres membres du personnel de l'hôpital soient exposés à des champs dépassant les VLE. Elle a cependant reconnu que le patient peut être exposé à des champs dépassant les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE, particulièrement s'il se trouve à proximité de l'emplacement de l'électrode de retour. Cette exposition n'est généralement pas considérée comme un problème étant donné qu'elle se justifie dans le cadre de la chirurgie. Néanmoins, il convient de lui prêter attention si le patient est porteur d'un dispositif médical implanté actif (DMIA). Il a également été établi que les interférences électromagnétiques avec les dispositifs médicaux sensibles dans la salle d'opération constituent un risque potentiel; l'équipe est consciente du fait que ce scénario s'est produit lorsque la sonde de traitement était positionnée à proximité des dispositifs concernés.

4.6.2. Dispositif de SMT

Le dispositif de SMT «200 MAGSTIM» est composé de deux pièces à main: une pièce comprenant une bobine circulaire et une autre comprenant deux bobines circulaires «en forme de huit». Le débit du générateur est fixé par le médecin hospitalier en termes de pourcentage de son débit maximal. Il peut être réglé pour produire une seule impulsion ou une série d'impulsions.

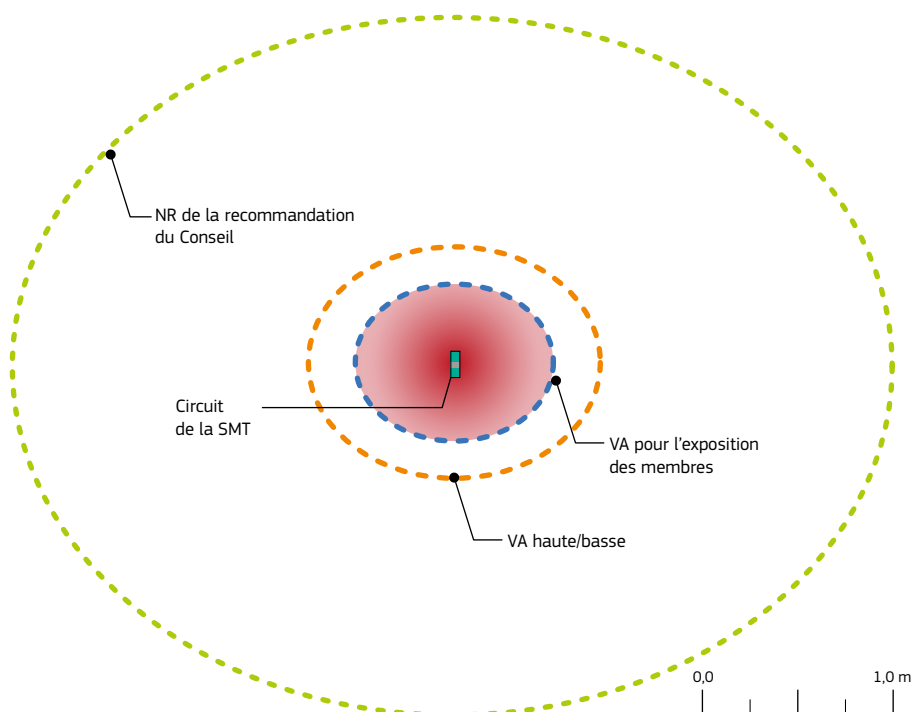
Des mesures préliminaires ont révélé que la bobine circulaire produisait les niveaux les plus élevés de champs magnétiques. Cette bobine (illustration 4.7) est logée dans une boîte en plastique et ses enroulements sont en cuivre, matière choisie pour sa faible résistance électrique et sa haute conductivité thermique. La bobine est composée de 14 enroulements concentriques de 70 à 122 mm de diamètre.

L'équipe a procédé à des mesures en utilisant la bobine circulaire. Le générateur était réglé à 100 % de son débit maximal, en mode d'impulsion unique. Le fabricant a fourni des données sur les caractéristiques de l'impulsion (graphique 4.8).

Illustration 4.7 — La bobine circulaire de SMT**Graphique 4.8 — Données du fabricant relatives aux caractéristiques de l'impulsion unique**

Comme prévu, les champs les plus puissants ont été mesurés juste en face de la bobine et au centre de celle-ci. Le schéma 4.9 montre les zones dans lesquelles les VA et les niveaux de référence de la recommandation 1999/519/CE pourraient être dépassés. Dans la position habituelle de la main de l'opérateur (tenant la pièce à main à 11 cm sous le centre de la bobine), l'induction magnétique s'élevait à 5 600 % de la VA pour une exposition des membres.

Schéma 4.9 — Présentation des contours des zones dans lesquelles la VA pour une exposition des membres (en bleu), les VA hautes/basses (en rouge) et les niveaux de référence de la recommandation 1999/519/CE (en vert) pourraient être dépassés autour du dispositif de SMT



NB: L'incertitude des mesures a été estimée à $\pm 10\%$ et, conformément à l'approche axée sur le «partage des risques» (voir l'annexe D.5 du volume 1 du guide), les résultats ont été directement comparés aux VA/NR lors de l'évaluation des distances susmentionnées.

L'équipe a compris qu'il était fort probable que l'exposition du médecin hospitalier dépasse les VA. Elle a de nouveau procédé à une modélisation informatique de l'exposition potentielle du médecin hospitalier par rapport aux VLE. La modélisation a été réalisée pour deux positions du médecin hospitalier: la première avec la bobine tenue à 30 cm du corps et la seconde avec la bobine tenue à 15 cm du torse. La modélisation a révélé que les VLE pouvaient être dépassées de 35 700 % (tableau 4.5). Les illustrations 4.10 et 4.11 présentent la répartition du champ électrique induit dans un modèle humain pour les deux positions.

Tableau 4.5 — Valeurs modélisées par ordinateur du champ électrique induit et comparaison avec les VLE

Point de mesure	Champ électrique induit (Vm^{-1})	Pourcentage des VLE relatives aux effets sur la santé ⁽¹⁾
Bobine tenue à 30 cm du corps	265 (os)	24 100 %
Bobine tenue à 15 cm du torse	393 (os)	35 700 %

⁽¹⁾ VLE relatives aux effets sur la santé pour l'intensité du champ électrique interne à des fréquences comprises entre 1 Hz et 3 kHz: $1,1 \text{ Vm}^{-1}$ (crête).

Illustration 4.10 — Répartition du champ électrique induit dans le modèle humain liée à l'exposition à la bobine de SMT lorsque la bobine est tenue à 30 cm du corps

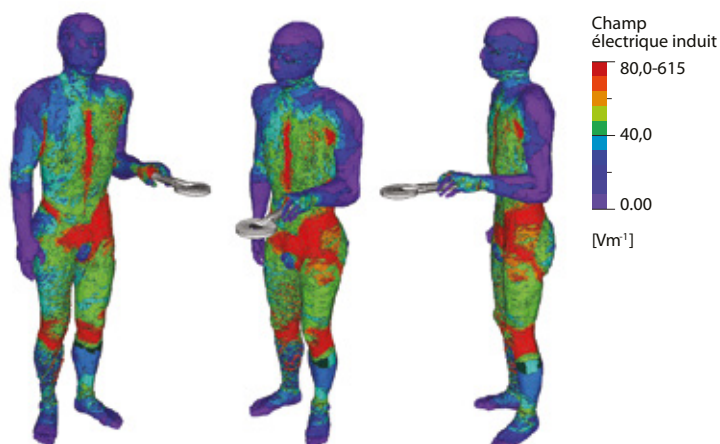
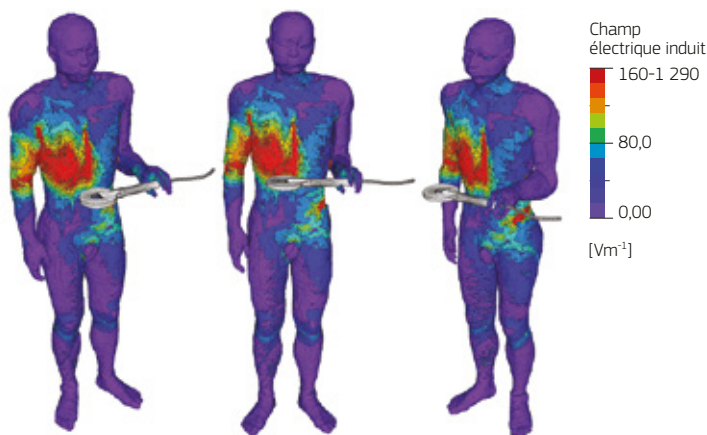


Illustration 4.11 — Répartition du champ électrique induit dans le modèle humain liée à l'exposition à la bobine de SMT lorsque la bobine est tenue à 15 cm du corps



L'équipe a conclu que si le médecin hospitalier tient la sonde en position, les VLE relatives aux effets sur la santé sont presque certainement dépassées. L'interférence avec les DMIA constitue également un risque potentiel. Par rapport à l'interférence avec l'appareil d'électrochirurgie, toutefois, l'interférence avec d'autres appareils utilisés à l'hôpital est considérée comme un problème moins important étant donné que ces équipements ne sont généralement pas utilisés dans des zones contenant des dispositifs médicaux sensibles.

4.6.3. Diathermie à ondes courtes

Bien que l'équipe n'ait pas analysé d'unité de diathermie à ondes courtes à l'hôpital, elle est consciente du fait que ces unités peuvent engendrer d'importantes expositions du physiothérapeute, voire également d'autres membres du personnel. Des mesures réalisées dans d'autres établissements sur des dispositifs analogues ont révélé que les VA peuvent être dépassées à environ 2 m des dispositifs de diathermie capacitive à ondes courtes et à 1 m des dispositifs de diathermie inductive à ondes courtes. L'équipe a décidé qu'il conviendrait de procéder à une évaluation plus approfondie de cet équipement s'il était réutilisé dans son hôpital pour pouvoir conseiller les physiothérapeutes sur les mesures de sécurité à prendre au travail (distances de sécurité à respecter, par exemple) et établir si les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE sont susceptibles d'être dépassés dans les zones dans lesquelles les travailleurs à risques particuliers peuvent pénétrer.

4.7. Évaluation des risques

L'hôpital a procédé à une évaluation des risques liés à l'utilisation d'un appareil d'électrochirurgie (tableau 4.6) et d'un dispositif de SMT (tableau 4.7) sur la base de mesures réalisées par l'équipe de physique médicale conformément à la méthodologie proposée par la plate-forme OIRA. L'évaluation des risques a abouti aux conclusions exposées ci-après.

4.7.1. Appareil d'électrochirurgie

Il est peu probable que l'utilisation de cet appareil mène à un dépassement des VLE pour le chirurgien ou les autres membres du personnel de l'hôpital.

Des interférences électromagnétiques peuvent avoir lieu avec les DMIA et autres dispositifs médicaux sensibles présents dans la même salle.

4.7.2. Dispositif de SMT

Il est probable que l'utilisation de ce dispositif mène à un dépassement (éventuellement significatif) des VLE pour le médecin hospitalier, voire également pour les autres membres du personnel de l'hôpital.

Des interférences électromagnétiques peuvent avoir lieu avec les DMIA.

Des interférences électromagnétiques sont peu probables avec des dispositifs médicaux sensibles étant donné que ces derniers ne sont pas utilisés à proximité des dispositifs concernés.

L'hôpital a élaboré un plan d'action documenté sur la base de l'évaluation des risques.

Tableau 4.6.— Évaluation spécifique des risques d'exposition aux CEM concernant l'appareil d'électrochirurgie

Dangers	Mesures de prévention et de précaution existantes	Personnes à risques	Gravité			Probabilité			Évaluation des risques	Nouvelles mesures de prévention et de précaution
			Mineure	Élevée	Fatale	Improbable	Possible	Probable		
Effets directs des CEM	La modélisation a démontré que les VLE ne sont pas dépassées pour le personnel	Chirurgien et autres membres de l'équipe de chirurgie	✓			✓			Faibles	Aucune mesure requise
Effets indirects des CEM (effet sur les DMIA et autres dispositifs médicaux sensibles)	Aucune	Chirurgien et autres membres de l'équipe de chirurgie		✓			✓		Faibles	Conseils au personnel sur les risques d'interférence avec les dispositifs médicaux sensibles.
		Patients								Demander au personnel de signaler à l'équipe de physique médicale toute interférence constatée avec des dispositifs médicaux.
										L'équipe de physique médicale doit envisager de conseiller les chirurgiens sur les distances de sécurité minimales à respecter entre la sonde et les câbles de traitement et les DMIA et autres dispositifs médicaux sensibles.

Tableau 4.7 — Évaluation des risques d'exposition spécifiques aux CEM concernant le dispositif de stimulation magnétique transcrânienne (SMT)

Dangers	Mesures de prévention et de précaution existantes	Personnes à risques	Gravité			Probabilité			Évaluation des risques	Nouvelles mesures de prévention et de précaution
			Mineure	Élevée	Fatale	Improbable	Possible	Probable		
Effets directs des CEM:	Aucune	Médecin hospitalier		✓				✓	Moyens	Interdiction aux travailleuses enceintes d'utiliser l'équipement ou de rester dans la salle lors de l'utilisation de l'équipement
Les VLE relatives aux effets sur la santé peuvent être dépassées pour le médecin hospitalier utilisant l'équipement.		Travailleurs à risques particuliers (travailleuses enceintes)								Affichage d'avis d'avertissement sur l'équipement
Les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE peuvent être dépassés jusqu'à 235 cm de la sonde.										Si possible, montage de la sonde sur un support
Effets indirects des CEM (effet sur les DMIA):	Aucune	Travailleurs à risques particuliers		✓			✓		Moyens	Information du personnel sur les risques encourus
Les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE peuvent être dépassés jusqu'à 235 cm des électrodes.										Interdiction aux membres du personnel porteurs d'un DMIA d'utiliser l'équipement ou de rester dans la salle lors de l'utilisation de l'équipement
										Non-utilisation de ce dispositif pour traiter les patients porteurs d'un DMIA
										Affichage d'avis d'avertissement et d'interdiction sur l'équipement

4.8. Mesures de précaution déjà mises en œuvre

Avant l'évaluation des mesures, aucune précaution particulière n'était mise en œuvre pour limiter l'exposition aux CEM.

4.9. Mesures de précaution supplémentaires découlant de l'évaluation

À la suite de l'évaluation par mesure et d'une analyse des dangers associés à l'équipement, l'hôpital a élaboré un plan d'action et a décidé d'adopter les mesures de précaution supplémentaires exposées ci-après.

4.9.1. Appareil d'électrochirurgie

Concernant l'appareil d'électrochirurgie:

- conseiller le personnel sur les risques d'interférence avec les dispositifs médicaux sensibles;
- demander au personnel de signaler à l'équipe de physique médicale toute interférence constatée avec des dispositifs médicaux;
- l'équipe de physique médicale doit envisager de conseiller les médecins hospitaliers sur les distances de sécurité minimales à respecter entre la sonde et les câbles de traitement et les DMIA et autres dispositifs médicaux sensibles.

4.9.2. Dispositif de SMT

Concernant le dispositif de SMT:

- interdire aux travailleuses enceintes et aux travailleurs porteurs d'un DMIA d'utiliser l'équipement ou de rester dans la salle lors du traitement;
- ne pas procéder au traitement des patients porteurs d'un DMIA;
- afficher des avis d'avertissement relatifs à la présence de champs magnétiques puissants ainsi que des avis d'interdiction à l'attention des porteurs de DMIA (illustration 4.12);
- monter si possible la sonde sur un manipulateur de précision pour permettre au médecin hospitalier de se tenir plus loin de la sonde lors du traitement;
- si nécessaire, l'équipe de physique médicale peut envisager de concevoir un dispositif de manipulation à distance pour permettre au médecin hospitalier de se tenir à distance de la sonde lors du traitement.

Illustration 4.12 — Exemples d'avis d'avertissement relatifs à la présence de champs magnétiques puissants et illustration du symbole d'interdiction à l'attention des porteurs de DMIA



4.9.3. Diathermie à ondes courtes

Concernant la diathermie à ondes courtes:

- l'équipe de physique médicale doit fournir des conseils et des informations aux physiothérapeutes de l'hôpital avant qu'ils ne procèdent aux traitements de diathermie à ondes courtes, afin qu'une évaluation des risques d'exposition aux CEM puisse être réalisée et que des mesures de contrôle appropriées puissent être mises en œuvre si nécessaire.

5. ATELIER DE CONSTRUCTION MÉCANIQUE

5.1. Lieu de travail

Une société d'ingénierie a souhaité évaluer la façon dont l'application de la directive CEM influencerait ses activités. Elle dispose de divers équipements électriques dans son atelier de construction mécanique, dont:

- une unité de contrôle magnétoscopique,
- un démagnétiseur,
- une rectifieuse plane,
- une guillotine pour tôle,
- une scie à ruban,
- une scie alternative électrique,
- une scie circulaire,
- une fraiseuse (à moteur),
- une perceuse à socle,
- une plieuse à fil chaud,
- des tours,
- une perceuse à main,
- une meule.

5.2. Nature du travail

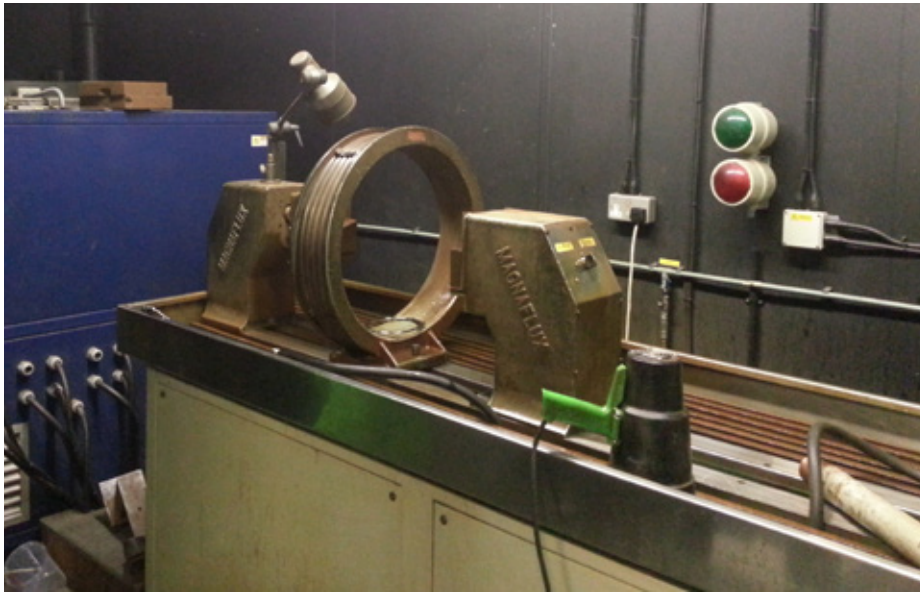
La société savait que certains de ses appareils, tels que l'unité de contrôle magnétoscopique, utilisée pour réaliser des essais non destructifs, et le démagnétiseur, utilisé pour démagnétiser les composants, sont des sources de champs électromagnétiques. Mais elle souhaitait également déterminer si d'autres outils utilisés pouvaient émettre des niveaux significatifs de champs électromagnétiques.

5.3. Utilisation des équipements

5.3.1. Contrôle magnétoscopique

Le contrôle par magnétoscopie (illustration 5.1) est utilisé pour réaliser des essais non destructifs sur des composants métalliques. Ce contrôle consiste à transmettre un courant à la pièce pour la magnétiser. Les défauts de surface de la pièce perturbent le champ magnétique produit par le courant. Un colorant ferromagnétique appliqué à la surface de la pièce permet, sous une source lumineuse appropriée, d'observer tous les défauts de la pièce. Le travailleur procédant au contrôle de la pièce est généralement positionné à proximité immédiate de l'équipement concerné.

Illustration 5.1 — Unité de contrôle magnétoscopique



5.3.2. Démagnétiseur

La société utilise un démagnétiseur (illustration 5.2) pour démagnétiser les composants métalliques après la procédure de contrôle magnétoscopique. Les composants sont chargés manuellement sur un système de rail et de chariot passant par le centre de la bobine du démagnétiseur. L'opérateur pousse manuellement le composant sur le chariot à travers le démagnétiseur. Le composant est ensuite déchargé du chariot de l'autre côté du magnétiseur.

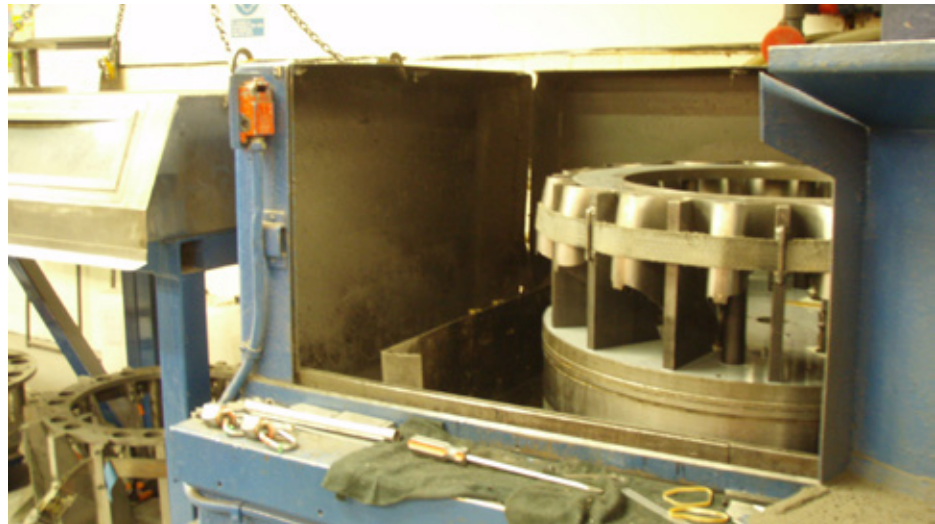
Illustration 5.2 — Démagnétiseur avec chariot coulissant



5.3.3. Rectifieuse plane

La rectifieuse plane (illustration 5.3) comprend une table rotative dotée d'un dispositif de serrage magnétique à champ statique sur laquelle les composants à meuler sont fixés. Le dispositif de serrage magnétique peut être activé par l'opérateur lorsque les panneaux de la meuleuse sont ouverts.

Illustration 5.3 — Rectifieuse plane



5.3.4. Autres outils utilisés dans l'atelier

Les autres outils de la société énumérés ci-dessous sont régulièrement utilisés par les travailleurs:

- guillotine pour tôle,
- scie à ruban,
- scie alternative électrique,
- scie circulaire,
- fraiseuse (à moteur),
- perceuse à socle,
- plieuse à fil chaud,
- tours,
- perceuse à main,
- meule.

5.4. Informations sur les équipements générant des CEM

Les fabricants lui ayant fourni des informations selon lesquelles l'équipement peut avoir des incidences sur les stimulateurs cardiaques, la société savait que l'unité de contrôle magnétoscopique et le démagnétiseur peuvent représenter un danger lié aux CEM. Cependant, aucune autre explication n'avait été fournie concernant ce danger. La société n'était pas parvenue à trouver d'informations sur la sécurité en matière de CEM et ses autres outils de production. Elle a dès lors consulté les listes d'équipements présentées dans le tableau 3.2 du volume 1 du guide. Sur cette base, elle a pu conclure que la majorité des outils électriques à main et du petit équipement électrique étaient peu susceptibles de poser problème en termes d'exposition aux CEM.

5.5. Méthode d'évaluation de l'exposition

En raison du manque d'informations disponibles sur les dangers de l'exposition aux CEM associés au contrôle magnétoscopique et au démagnétiseur, la société a décidé de désigner un expert-conseil pour qu'il procède à une analyse approfondie. La société était désireuse de comprendre et de déterminer la mesure dans laquelle des dangers pouvaient provenir de l'équipement concerné.

L'expert a réalisé des mesures de l'induction magnétique variant dans le temps autour de l'équipement. Il a utilisé un instrument doté d'un filtre électronique intégré présentant un résultat sous forme de pourcentage sur la base de l'approche de crête pondérée dans le domaine temporel, ce qui a permis une comparaison directe avec les valeurs déclenchant l'action (VA). Concernant les champs magnétiques statiques, l'expert a utilisé un magnétomètre à trois axes à effet Hall mesurant l'intensité du champ magnétique.

5.6. Résultats de l'évaluation de l'exposition

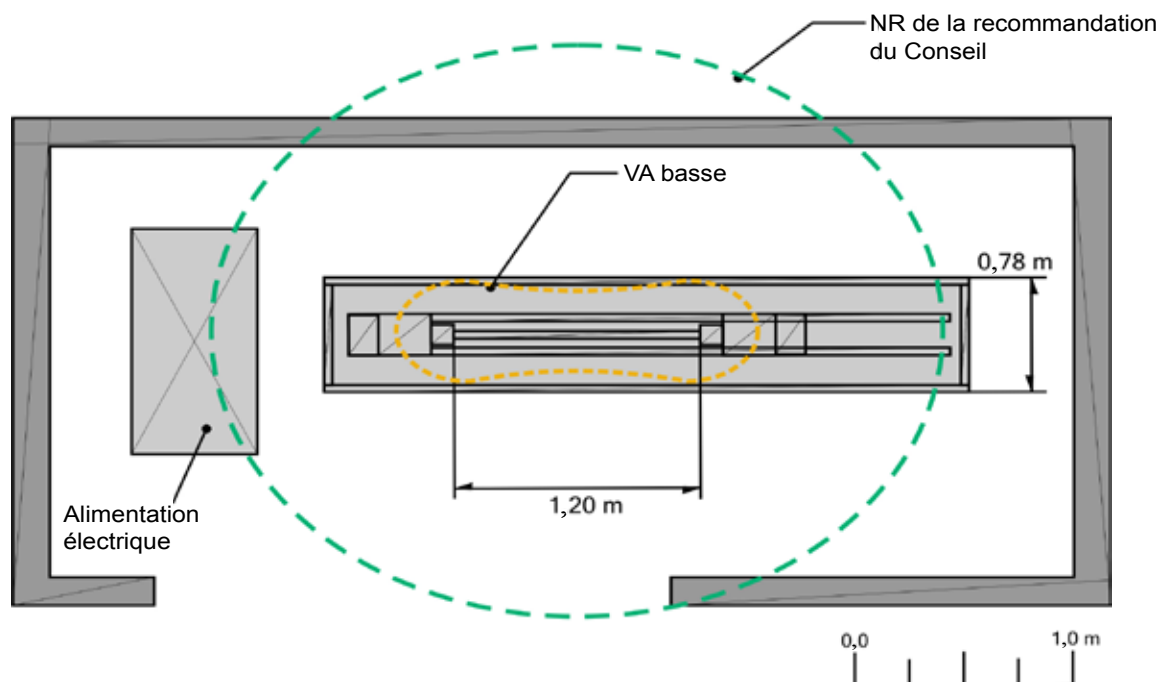
5.6.1. Contrôle magnétoscopique

L'unité de contrôle magnétoscopique fonctionne généralement à une intensité comprise entre 1 et 4 kA. Les mesures de l'induction magnétique ont été effectuées à l'aide d'un équipement fonctionnant à une intensité maximale de 10 kA. L'équipement a été réglé en mode de magnétisation radiale, par lequel le courant est transmis directement dans la pièce. Lors du contrôle, il a été observé que l'opérateur se tenait à une distance de 60 cm de la pièce. Les mesures ont donc été réalisées à ce point de mesure. La VA basse n'a pas été dépassée à ce point de mesure.

Des mesures ont également été réalisées à divers autres points autour de l'équipement. Les résultats ont été comparés avec les VA et les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE. Ces niveaux peuvent être utilisés comme indice au sens large de l'exposition des travailleurs à risques particuliers (voir l'annexe E du volume 1 du guide).

Le schéma 5.4 illustre les zones dans lesquelles les VA et les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE peuvent être dépassés. La courbe de niveau de la VA basse est entièrement située dans le banc de la machine, tandis que la courbe relative aux niveaux de référence de la recommandation 1999/519/CE s'étend jusqu'à 1,5 m environ de la pièce et à 0,4 m dans les zones adjacentes à la cabine de contrôle magnétoscopique.

Schéma 5.4 — Vue en plan présentant les courbes de niveau dans lesquelles la VA basse (en jaune) et les niveaux de référence de la recommandation 1999/519/CE (en vert) peuvent être dépassés



5.6.2. Démagnétiseur

L'expert a procédé aux mesures des champs magnétiques entourant le démagnétiseur, présentées dans le tableau 5.1. Il a été constaté que l'induction magnétique tombait à un niveau inférieur à la VA basse à 40 cm du centre de l'alésage de l'aimant et dépassait légèrement la VA haute au niveau précis de la face plane de l'aimant. Les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE ont été dépassés dans un rayon de 1 m de l'alésage de l'aimant.

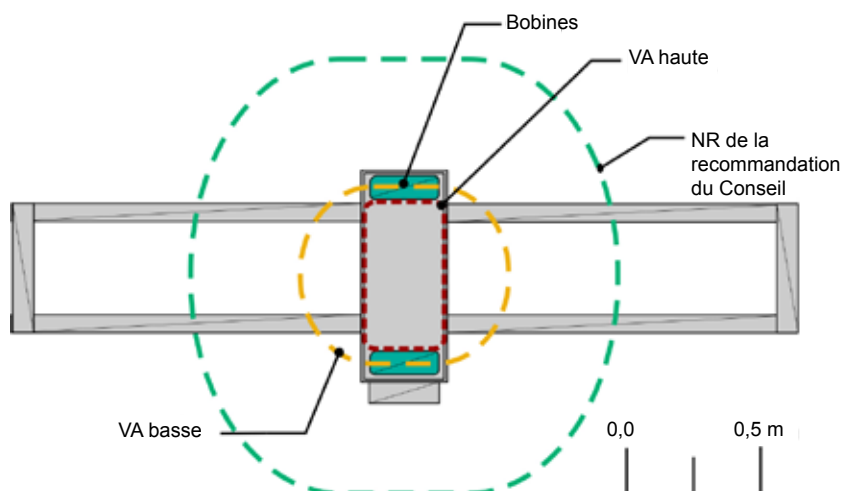
Le schéma 5.5 présente les zones dans lesquelles les VA et les niveaux de référence de la recommandation 1999/519/CE peuvent être dépassés.

Tableau 5.1 — Induction magnétique mesurée autour du démagnétiseur, exprimée en pourcentage des VA définies dans la directive CEM

Point de mesure	Grandeur mesurée		Exposition conformément à la directive CEM				
	Fréquence (Hz)	Induction magnétique (μT)	VA basse (μT)	Exposition (%)	VA haute (μT)	Exposition (%)	VA pour une exposition des membres (μT)
Rail de chariot, côté opérateur							
• Proximité du côté droit du tableau de commande	50	590	1 000	59 %	6 000	10 %	18 000
• Bord du rail jouxtant l'aimant	50	1 400	1 000	140%	6 000	23 %	18 000
• 40 cm du centre de l'alsésage de l'aimant	50	600	1 000	60 %	6 000	10 %	18 000
1 m du centre de l'alsésage de l'aimant (par rapport au côté du démagnétiseur)							
• Extrémité ouverte	50	70	1 000	7,0 %	6 000	1,2 %	18 000
• Extrémité fermée	50	70	1 000	7,0 %	6 000	1,2 %	18 000
Côté éloigné du rail du chariot (côté opposé au tableau de commande)							
• 25 cm du centre de l'alsésage de l'aimant	50	3 200	1 000	320 %	6 000	53 %	18 000
• 40 cm du centre de l'alsésage de l'aimant	50	600	1 000	60 %	6 000	10 %	18 000
• 30 cm du boîtier de l'aimant (côté de l'interrupteur de révision)	50	250	1 000	25 %	6 000	4,2 %	18 000
Dessus du rail du chariot sur l'axe de l'alsésage de l'aimant							
• Niveau précis de la face plane de l'aimant (extrémité ouverte)	50	6 700	1 000	670 %	6 000	110 %	18 000
• Niveau précis de la face plane de l'aimant (extrémité fermée)	50	6 700	1 000	600 %	6 000	100 %	18 000

NB: Les mesures ont été réalisées à l'aide de l'instrument en mode d'intensité de champ indiquant que la forme d'onde était toujours dominée par la fréquence fondamentale de 50 Hz. L'incertitude des mesures a été estimée à ± 10 % et, conformément à l'approche axée sur le «partage des risques» (voir l'annexe D.5 du volume 1 du guide), les résultats ont été directement comparés aux VA.

Schéma 5.5 — Vue en plan présentant les contours des zones dans lesquelles la VA haute (en rouge), la VA basse (en jaune) et les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE (en vert) peuvent être dépassés autour du démagnétiseur



5.6.3. Rectifieuse plane

Des mesures ont été réalisées autour de la rectifieuse plane, qui est équipée d'un dispositif de serrage magnétique pour maintenir la pièce en place.

Les mesures réalisées autour de l'unité ont révélé que les valeurs limites d'exposition concernant l'exposition aux champs magnétiques statiques n'étaient dépassées à aucun point de mesure. Cependant, les VA pour une exposition aux dispositifs médicaux implantés actifs pourraient être dépassées à proximité immédiate du dispositif de serrage magnétique (tableau 5.2).

Tableau 5.2 — Distance à laquelle l'induction magnétique se rapproche de la VA pour une exposition aux dispositifs médicaux implantés actifs (0,5 mT)

Équipement	Distance du bord latéral de la table	Distance du bord supérieur de la table
Rectifieuse plane Lumsden	15 cm	15 cm

NB: L'incertitude des mesures a été estimée à $\pm 5\%$ et, conformément à l'approche axée sur le «partage des risques» (voir l'annexe D.5 du volume 1 du guide), les résultats ont été directement comparés aux VA lors de l'évaluation des distances susmentionnées.

5.6.4. Autres outils utilisés dans l'atelier

Des mesures de l'induction magnétique ont été réalisées autour des autres outils électriques de l'atelier, et les VA n'ont été dépassées autour d'aucun de ceux-ci.

Concernant les outils énumérés dans le tableau 5.3, l'induction magnétique ne dépassait ni les VA ni les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE, à aucun point de mesure. Concernant les outils énumérés dans le tableau 5.4, l'induction magnétique dépassait les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE à certains points de mesure proches de l'équipement.

Tableau 5.3 — Outils ne présentant aucun risque d'exposition aux CEM

Équipement	Pourcentage des niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE
Guillotine pour tôle	33 %
Scie à ruban	< 1 %
Scie alternative électrique	< 1 %
Fraiseuse	50 %
Perceuse à socle	20 %
Plieuse à fil chaud	20 %
Meule	20 %
Tour	< 2 %

Tableau 5.4 — Outils autour desquels l'induction magnétique dépasse les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE

Équipement	Commentaires
Scie circulaire	280 % à la surface de l'équipement 100 % à 15 cm du moteur 20 % à l'endroit où se trouve l'opérateur
Rectifieuse/polisseuse	350 % à la surface de l'équipement 100 % à 10 cm de l'équipement
Perceuse à main	700 % à la surface de l'équipement 300 % en position habituelle (à 7 cm de la partie arrière de la mèche) 100 % à 15 cm de la partie arrière de la mèche

5.7. Évaluation des risques

La société a soumis son équipement à une évaluation des risques d'exposition aux CEM sur la base des mesures réalisées par l'expert (tableaux 5.5 à 5.9). Cette évaluation des risques, conforme à la méthodologie proposée par la plate-forme OIRA, a abouti aux conclusions suivantes:

- unité de contrôle magnétoscopique: les VA ne sont pas dépassées à la position habituelle de l'opérateur. Les travailleurs à risques particuliers sont exposés à un danger dans un rayon d'approximativement 1,5 m de la pièce;
- démagnétiseur: la VA basse peut être dépassée pour les travailleurs se tenant à proximité de l'aimant. Les travailleurs à risques particuliers sont exposés à un danger dans un rayon d'approximativement 1 m de l'aimant;
- rectifieuse plane: les travailleurs à risques particuliers sont exposés à un danger dans un rayon d'approximativement 15 cm du dispositif de serrage magnétique. Il est toutefois jugé peu probable qu'un travailleur se positionne si près de l'aimant;
- perceuse à main: les travailleurs à risques particuliers sont exposés à un danger en utilisant cet outil;
- autres outils: des champs dépassant les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE ont été mesurés autour de certains outils. Les champs étant très circonscrits, il a toutefois été conclu que les dangers auxquels les travailleurs à risques particuliers étaient exposés étaient faibles.

La société a élaboré un plan d'action documenté sur la base de l'évaluation des risques.

Tableau 5.5 — Évaluation des risques d'exposition aux CEM concernant l'unité de contrôle magnétoscopique

Dangers	Mesures de prévention et de précaution existantes	Personnes à risques	Gravité			Probabilité			Évaluation des risques	Nouvelles mesures de prévention et de précaution
			Mineure	Élevée	Fatale	Improbable	Possible	Probable		
Effets directs des CEM: La VA basse peut être dépassée dans le banc de la machine. Les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE peuvent être dépassés jusqu'à 1,5 m de la pièce.	L'opérateur étant habituellement positionné à 60 cm de la pièce, la VA basse ne devrait pas être dépassée à ce point de mesure. L'équipement est utilisé dans une cabine.	Opérateurs Autres travailleurs Travailleurs à risques particuliers (travailleuses enceintes)	✓				✓		Faibles	Information et formation des opérateurs et autres travailleurs Affichage d'avis d'avertissement sur l'équipement Utilisation de l'équipement et accès à la cabine interdits aux travailleuses enceintes lors de l'utilisation de l'équipement Affichage d'avis d'avertissement et d'interdiction appropriés à l'entrée de la cabine
Effets indirects des CEM (effet sur les dispositifs médicaux implantés actifs): Les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE peuvent être dépassés jusqu'à 1,5 m de la pièce	Utilisation de l'équipement interdite aux travailleurs porteurs d'un dispositif médical implanté actif	Travailleurs à risques particuliers	✓			✓			Faibles	Information de tous les travailleurs concernant les risques encourus Publication d'avertissements dans les consignes de sécurité du site Affichage d'avis d'avertissement et d'interdiction appropriés à l'entrée de la cabine

Tableau 5.6 — Évaluation des risques d'exposition aux CEM concernant le démagnétiseur

Dangers	Mesures de prévention et de précaution existantes	Personnes à risques	Gravité			Probabilité			Évaluation des risques	Nouvelles mesures de prévention et de précaution
			Mineure	Élevée	Fatale	Improbable	Possible	Probable		
Effets directs des CEM:	Aucune	Opérateurs	✓				✓		Faibles	Sauf si ces mesures posent problème pour l'utilisation de l'équipement, installation d'un dispositif de protection empêchant le dépassement de la VA basse pour les travailleurs et automatisation des opérations de démagnétisation plus répétitives
La VA basse peut être dépassée jusqu'à 40 cm de l'aimant		Travailleurs à risques particuliers (travailleuses enceintes)								Information et formation des opérateurs et autres travailleurs
Les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE peuvent être dépassés jusqu'à 1 m de l'aimant.										Affichage d'avis d'avertissement
										Délimitation de la zone dans laquelle les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE sont dépassés
										Interdiction d'accès à la zone délimitée aux travailleuses enceintes
										Affichage d'avis d'avertissement et d'interdiction appropriés à l'entrée de la zone délimitée
Effets indirects des CEM (effet sur les dispositifs médicaux implantés actifs):	Utilisation de l'équipement interdite aux travailleurs porteurs d'un dispositif médical implanté actif	Travailleurs à risques particuliers	✓			✓			Faibles	Information de tous les travailleurs concernant les risques encourus
Les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE peuvent être dépassés jusqu'à 1 m de l'aimant.										Publication d'avertissements dans les consignes de sécurité du site
										Affichage d'avis d'avertissement et d'interdiction appropriés à l'entrée de la zone délimitée

Tableau 5.7 — Évaluation des risques d'exposition aux CEM concernant la rectifieuse plane

Dangers	Mesures de prévention et de précaution existantes	Personnes à risques	Gravité			Probabilité			Évaluation des risques	Nouvelles mesures de prévention et de précaution
			Mineure	Élevée	Fatale	Improbable	Possible	Probable		
Effets directs du champ magnétique statique	Aucune. Les VLE ne sont dépassées à aucun point de mesure	Opérateurs	✓			✓			Faibles	Aucune mesure requise
Effets indirects du champ magnétique statique (effet sur les dispositifs médicaux implantés actifs): La VA concernant l'exposition des dispositifs médicaux implantés actifs peut être dépassée jusqu'à environ 15 cm des dispositifs de serrage magnétique.	Aucune	Travailleurs à risques particuliers		✓		✓			Faibles. Il est peu probable qu'un travailleur soit positionné si près d'un dispositif de serrage magnétique.	Information des opérateurs de l'équipement concernant les risques encourus Interdiction d'utiliser la machine pour les personnes porteuses d'un dispositif médical implanté actif lorsque les panneaux sont ouverts Affichage d'avis d'avertissement et d'interdiction appropriés sur l'équipement

Tableau 5.8 — Évaluation des risques d'exposition aux CEM concernant la perceuse à main

Dangers	Mesures de prévention et de précaution existantes	Personnes à risques	Gravité			Probabilité			Évaluation des risques	Nouvelles mesures de prévention et de précaution
			Mineure	Élevée	Fatale	Improbable	Possible	Probable		
Effets directs des CEM: Les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE peuvent être dépassés jusqu'à 15 cm de la partie arrière de la mèche.	Aucune	Opérateurs Travailleurs à risques particuliers (travailleuses enceintes)	✓				✓		Faibles	Interdiction d'utiliser la perceuse à main pour les travailleuses enceintes Information des travailleurs sur les risques encourus
Effets indirects des CEM (effet sur les dispositifs médicaux implantés actifs): Les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE peuvent être dépassés jusqu'à 15 cm de la partie arrière de la mèche.	Aucune	Travailleurs à risques particuliers		✓		✓			Faibles	Interdiction d'utiliser l'équipement pour les personnes porteuses d'un dispositif médical implanté actif Information des travailleurs sur les risques encourus

Tableau 5.9 — Évaluation des risques d'exposition aux CEM concernant les autres outils électriques

Dangers	Mesures de prévention et de précaution existantes	Personnes à risques	Gravité			Probabilité			Évaluation des risques	Nouvelles mesures de prévention et de précaution
			Mineure	Élevée	Fatale	Improbable	Possible	Probable		
Effets directs des CEM:	Aucune	Opérateurs	✓			✓			Faibles. Il est très peu probable qu'un travailleur soit positionné si près de l'équipement.	Aucune mesure requise
Les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE peuvent être dépassés dans des zones très circonscrites à proximité de l'équipement.		Travailleurs à risques particuliers (travailleuses enceintes)								
Effets indirects des CEM (effet sur les dispositifs médicaux implantés actifs):	Aucune	Travailleurs à risques particuliers		✓		✓			Faibles. Il est très peu probable qu'un travailleur soit positionné si près de l'équipement.	Aucune mesure requise
Les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE peuvent être dépassés dans des zones très circonscrites à proximité de l'équipement.										

5.8. Mesures de précaution déjà mises en œuvre

Avant l'évaluation réalisée par l'expert, très peu de mesures de précaution étaient mises en œuvre. Ces mesures se limitaient à l'interdiction imposée aux travailleurs porteurs d'un dispositif médical implanté actif d'utiliser l'unité de contrôle magnétoscopique ou le démagnétiseur.

5.9. Mesures de précaution supplémentaires découlant de l'évaluation

À la suite des mesures et d'une analyse des dangers associés à l'équipement, la société a élaboré un plan d'action et a décidé d'adopter les mesures suivantes:

- installer quatre écrans non métalliques (feuilles en acrylique), relativement petits, de chaque côté de l'alésage de l'aimant sur le démagnétiseur. Les écrans doivent être orientés vers l'intérieur pour éviter de provoquer une obstruction significative, mais doivent se situer à chaque point à environ 40 cm de l'ouverture de l'alésage de l'aimant;

- automatiser certaines des opérations de démagnétisation plus répétitives en recourant pour certaines étapes à la manutention robotique et en utilisant des bandes transporteuses (illustration 5.6). Cette mesure présenterait des avantages supplémentaires en ce qui concerne les opérations de manutention manuelle conformes aux exigences de la directive européenne 90/269/CEE;
- afficher des avis d'avertissement et d'interdiction sur l'équipement et à l'entrée des zones dans lesquelles les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE peuvent être dépassés, le cas échéant. L'illustration 5.7 présente des exemples d'avis d'avertissement;
- dispenser aux opérateurs des formations de sensibilisation et veiller à ce qu'ils connaissent bien les résultats de l'évaluation des risques et les mesures de protection et de prévention appropriées;
- mettre au point des procédures appropriées pour que tous les travailleurs, y compris les visiteurs et les sous-traitants, aient conscience des problèmes potentiels auxquels les travailleurs à risques particuliers sont exposés (voir l'annexe E du volume 1 du guide).

Illustration 5.6 — Démagnétiseur automatisé avec bande transporteuse dans une cellule de manutention robotique

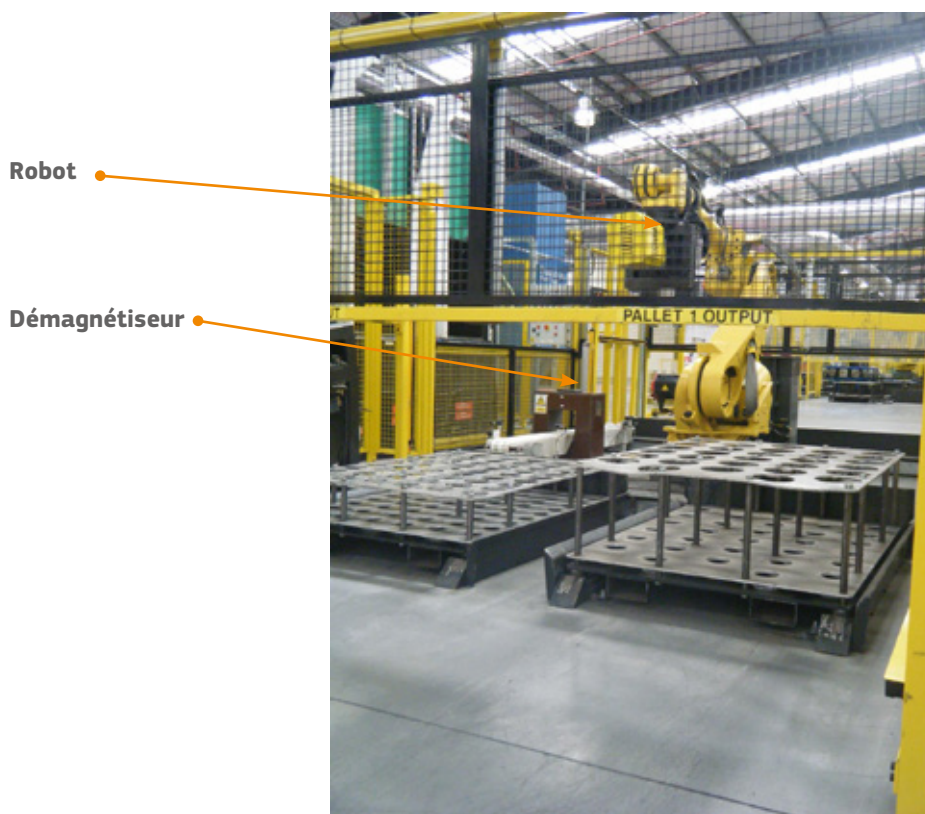


Illustration 5.7 — Exemple d'avis d'avertissement et d'interdiction



Attention!
L'équipement génère des
champs magnétiques
puissants lors de son
fonctionnement.



Il est interdit aux membres
du personnel porteurs d'un
dispositif médical implanté
actif d'utiliser cet équipement.

5.10. Référence aux sources d'informations supplémentaires

La modélisation informatique fondée sur les résultats des mesures prises autour du démagnétiseur indique qu'en dépit du fait que les VA ont été dépassées, les champs électriques induits étaient conformes aux VLE. Les champs électriques induits des trois situations d'exposition énumérées ci-dessous variaient de 5 à 54 % de la VLE basse:

- debout dans la position 1, à 25 cm de l'alésage de l'aimant (illustration 5.8.a);
- agenouillé dans la position 1, à 25 cm de l'alésage de l'aimant (illustration 5.8.b);
- penché dans la position 2, au niveau précis de l'alésage de l'aimant (illustration 5.8.c).

Illustration 5.8.a — Répartition du champ électrique induit dans le modèle humain liée à l'exposition au démagnétiseur, debout dans la position 1, à 25 cm de l'alésage de l'aimant

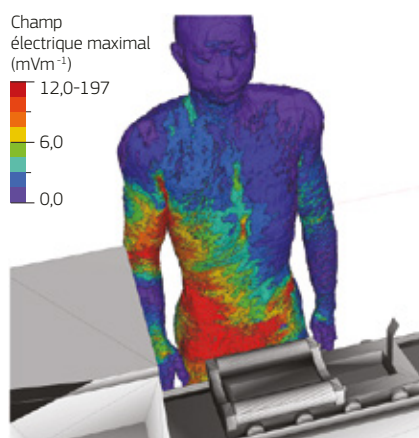


Illustration 5.8.b — Répartition du champ électrique induit dans le modèle humain liée à l'exposition au démagnétiseur, agenouillé dans la position 1, à 25 cm de l'alésage de l'aimant

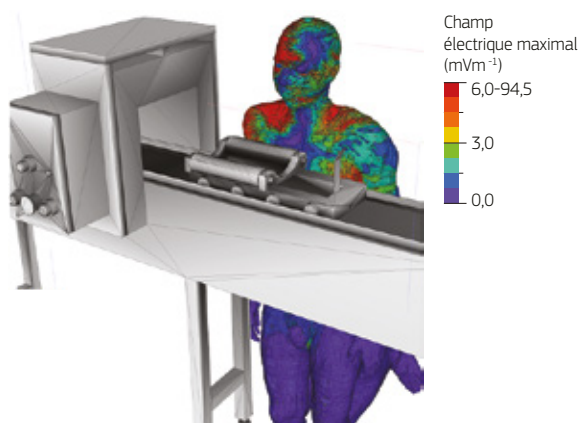
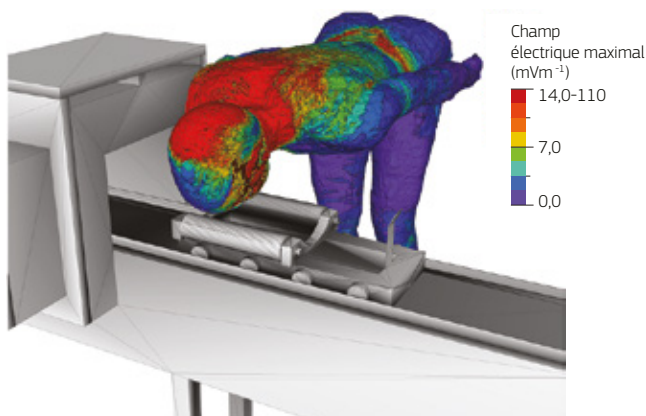


Illustration 5.8.c — Répartition du champ électrique induit dans le modèle humain liée à l'exposition au démagnétiseur, penché dans la position 2, au niveau précis de l'alésage de l'aimant



6. AUTOMOBILE

6.1. Lieu de travail

La présente étude de cas concerne des postes mobiles de soudage par points et des postes de chauffage par induction utilisés dans un atelier de carrosserie. Le point 6.1.1 aborde également l'utilisation de postes de soudage par points par un important constructeur automobile international, même s'il ne s'agit pas d'une petite ou moyenne entreprise.

6.2. Nature du travail

Les postes mobiles de soudage par points (illustration 6.1) et les postes de chauffage par induction (illustration 6.3) peuvent présenter un risque du fait des champs magnétiques puissants variant dans le temps que produit l'important courant électrique qu'ils utilisent pour souder ou chauffer le métal. La présente étude de cas examine deux postes de soudage par points et trois postes de chauffage par induction qu'utilisent généralement les ateliers de carrosserie.

Illustration 6.1 — Un poste mobile de soudage par points utilisé pour fixer un nouveau panneau



6.3. Utilisation des équipements

Les véhicules les plus modernes sont fabriqués en assemblant, par soudage, des panneaux en vue de créer une seule carcasse sur laquelle les principaux composants sont ensuite fixés. Les soudures sont, dans la plupart des cas, effectuées à l'aide de postes de soudage par points. Le poste mobile de soudage par points se compose d'un pistolet de soudage relié à une boîte de commande qui contient les systèmes électriques et de refroidissement.

Le pistolet utilise deux électrodes en alliage de cuivre pour produire la soudure par points. La taille des électrodes varie en fonction de l'emplacement du point sur la carrosserie à souder. Un exemple de poste de soudage d'atelier de carrosserie est présenté à l'illustration 6.2.

Illustration 6.2 — Un poste mobile de soudage par points normal d'atelier de carrosserie. Le système est mobile, la boîte de commande étant équipée de roulettes. Les câbles d'alimentation électrique et de refroidissement partent de l'avant de la boîte de commande et arrivent à l'arrière du pistolet de soudage, qui se trouve dans son support à gauche de la boîte de commande.



Au cours de l'entretien ou de la réparation de véhicules, les travailleurs doivent souvent, généralement du fait de la corrosion, chauffer des pièces métalliques afin de pouvoir les enlever. Le poste de chauffage par induction se compose d'une bobine électromagnétique dans laquelle passe un courant alternatif à basse fréquence. Le champ magnétique généré autour de la bobine crée des courants électriques, appelés «courants de Foucault», dans l'objet cible, et la résistance à ces courants provoque l'échauffement de l'objet. Un exemple de poste de chauffage est présenté à l'illustration 6.3.

Illustration 6.3 — Un poste mobile de chauffage par induction de 1 kW utilisé pour chauffer un boulon grippé



6.4. Informations sur les équipements générant des CEM

Sur les deux postes de soudage examinés dans l'atelier de carrosserie, le premier utilisait un pistolet de «type C», qui pouvait être équipé de bras de 160 mm ou de 550 mm, et le second, un pistolet de «type X» doté d'électrodes de 160 mm ou de 550 mm. Les différents types de pistolet sont présentés aux illustrations 6.4 et 6.5. Les deux postes de soudage utilisaient des courants de 7 500 à 12 000 A et fonctionnaient à une fréquence de 2 kHz. Toutefois, si le pistolet de «type C» utilisait un transformateur éloigné pour fournir le courant de soudage, le pistolet de «type X» utilisait quant à lui un transformateur miniaturisé intégré. Par conséquent, dans ce dernier, c'est l'alimentation électrique de 50/60 Hz qui parcourt le câble reliant la boîte de commande au pistolet, et non le courant de soudage bien plus intense. L'importance de ce fait sera abordée plus loin dans cette étude de cas.

Illustration 6.4 — Pistolet de soudage d'atelier de réparation de «type C», équipé du bras de 160 mm. La partie principale du pistolet (en dessous de la main de l'opérateur) contient le piston qui pousse une électrode contre l'autre. Le courant de soudage est fourni par la boîte de commande par le biais des câbles à gauche de l'image.

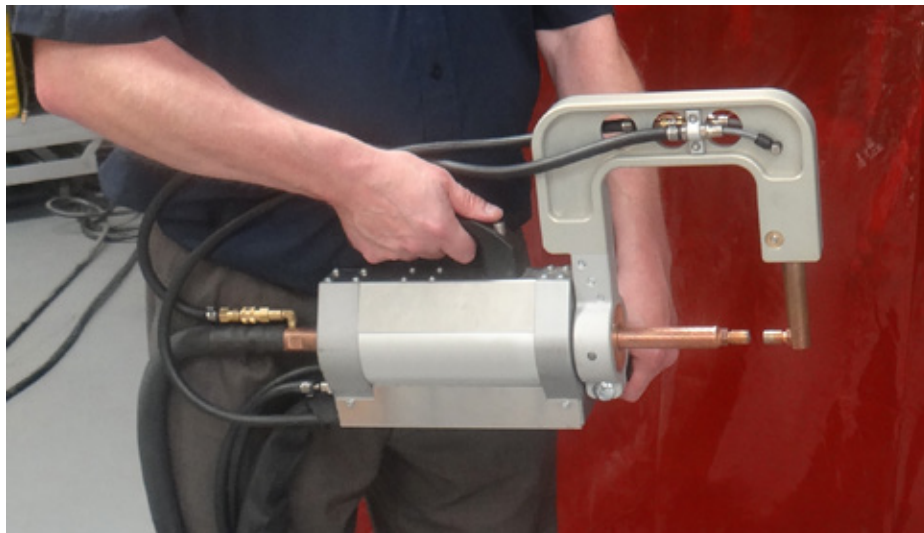


Illustration 6.5 — Pistolet de soudage d'atelier de réparation de «type X», équipé d'électrodes de 550 mm. Les deux électrodes sont poussées l'une vers l'autre dans un mouvement de tenailles par un piston situé dans la partie principale du pistolet (entre les mains de l'opérateur), qui contient également le transformateur qui fournit le courant de soudage.



Les trois postes de chauffage par induction examinés présentaient différentes puissances: 1 kW, 4 kW et 10 kW. Le poste de 1 kW fonctionnait à une fréquence de 15 kHz et les postes de 4 et 10 kW, à une fréquence comprise entre 17 et 40 kHz. La fréquence utilisée par les postes de chauffage de 4 et 10 kW varie parce qu'ils sont capables de syntoniser automatiquement la fréquence du courant appliqué pour garantir un couplage maximal avec l'objet chauffé.

Le poste de 1 kW se composait d'un élément mobile unique combinant le transformateur et l'élément chauffant en une seule unité et ne possédait aucun système de refroidissement actif (illustration 6.3). Les postes de 4 et 10 kW se composaient d'un système d'alimentation séparé et d'un élément chauffant mobile et étaient dotés d'un système de refroidissement actif (illustration 6.6).

Illustration 6.6 — Postes de chauffage par induction de 4 kW (à gauche) et de 10 kW (à droite) utilisés pour chauffer des pièces métalliques dans l'atelier de réparation. Dans ces cas, le transformateur se trouve dans une alimentation électrique séparée (à gauche sur les photos), et des câbles d'alimentation électrique et de refroidissement relient l'unité d'alimentation à l'élément chauffant (tenu par l'opérateur dans les deux cas). Ils diffèrent du poste de chauffage par induction de 1 kW plus simple de l'illustration 6.3.



6.5. Méthode d'évaluation de l'exposition

Un organisme de représentation de l'industrie automobile s'inquiétait des implications de la directive CEM sur ses membres, dont certains fournissent du matériel électrique de soudage et de chauffage. Il estimait que les postes de soudage par points et les postes de chauffage par induction qu'utilisent généralement les ateliers de réparation pouvaient générer une exposition pour les travailleurs dépassant les VA correspondantes prévues à l'article 3, paragraphe 2, de la directive CEM, étant donné que les postes de soudage par points et les postes de chauffage par induction utilisent des courants puissants et que les opérateurs

les tiennent souvent près de leur corps pendant leur utilisation, comme le montrent les illustrations 6.1, 6.4, 6.5 et 6.6.

L'organisme a dès lors fait appel aux services d'un expert qui avait participé à un projet européen en vue d'élaborer des orientations sur les expositions des travailleurs aux champs électromagnétiques. L'expert a ensuite effectué des mesures pour procéder à une évaluation d'une série d'équipements présents dans un atelier de réparation situé dans un établissement de formation en mécanique automobile.

Il a mesuré l'induction magnétique variant dans le temps autour des postes de soudage et des postes de chauffage décrits plus haut en utilisant une sonde isotrope (triaxiale) (illustration 6.7). L'instrument était doté d'un filtre électronique intégré qui donnait un résultat, en pourcentage, obtenu en utilisant l'approche de crête pondérée dans le domaine temporel et permettait ensuite une comparaison directe avec les VA de la directive CEM. L'instrument était également équipé d'un analyseur de spectre intégré permettant l'analyse du contenu harmonique de la forme d'onde.

Illustration 6.7 — Mesures autour du poste de soudage par points d'atelier de réparation, équipé d'un pistolet de «type C» et d'un bras de 160 mm. Le poste de soudage de «type X» est visible à l'arrière-plan.



6.6. Résultats de l'évaluation de l'exposition

Les mesures obtenues par l'expert sont présentées dans les schémas et le tableau ci-après. Dans tous les cas, les mesures ont été effectuées pendant une utilisation normale du poste de soudage ou de chauffage dans un atelier de réparation dans le but d'établir l'étendue de la zone autour de chaque pistolet de soudage et poste de chauffage par induction où:

- les VA de la directive CEM sont dépassées;
- il peut y avoir un problème de sécurité pour les travailleurs à risques particuliers. Cet élément fait l'objet d'une évaluation par rapport aux niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE (voir l'annexe E du volume 1 du guide).

Les postes de soudage par points et les postes de chauffage par induction fonctionnaient à une fréquence comprise entre 2 et 36 kHz. Dans cette gamme de fréquences, les VA haute et basse de la directive CEM sont identiques. Ainsi, lorsqu'une mesure de l'intensité du champ magnétique est affichée en pourcentage de la VA, elle représente le pourcentage des VA haute et basse. Le cas échéant, des mesures sont également données en pourcentage de la VA pour une exposition des membres de la directive CEM.

6.6.1. Résultats de l'évaluation de l'exposition pour des postes de soudage par points d'atelier de réparation

Les schémas 6.8 à 6.11 montrent l'étendue des zones autour de chaque pistolet de soudage où la VA pour une exposition des membres ou les VA haute et basse de la directive CEM sont dépassées. Le schéma 6.11 montre également l'étendue de la zone autour du pistolet de «type X» équipé d'électrodes de 550 mm où les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE sont dépassés. Dans tous les cas, les courbes de niveau autour du pistolet correspondent à 100 % de la valeur correspondante: la VA pour une exposition des membres en bleu, les VA haute et basse en rouge et les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE en vert. En outre, le tableau 6.1 montre l'étendue des zones où les VA correspondantes sont dépassées autour du câble du pistolet de soudage de «type C».

Schéma 6.8 — Vue en plan des contours des zones dans lesquelles la VA pour une exposition des membres (en bleu) et les VA haute/basse (en rouge) peuvent être dépassées autour du pistolet d'atelier de réparation de «type C», équipé d'un bras de 160 mm

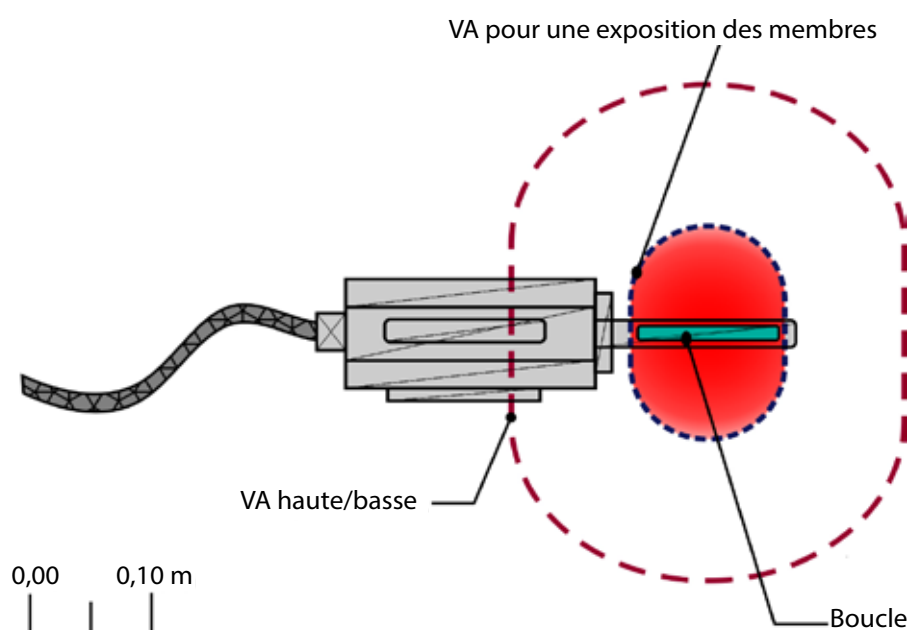


Schéma 6.9 — Vue en plan des contours des zones dans lesquelles la VA pour une exposition des membres (en bleu) et les VA haute/basse (en rouge) peuvent être dépassées autour du pistolet de «type C», équipé d'un bras de 550 mm

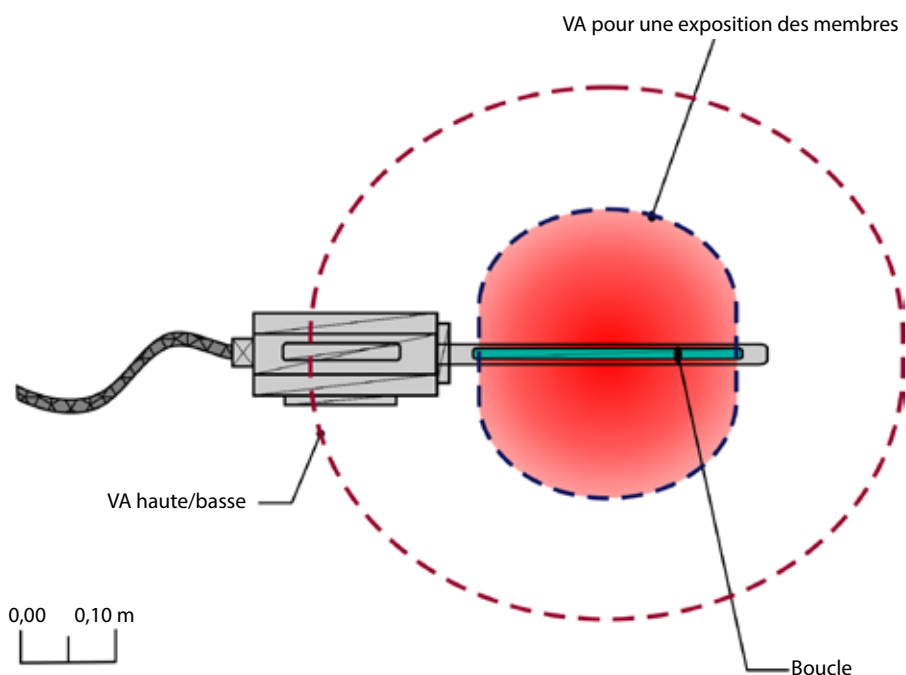


Schéma 6.10 — Vue en plan des contours des zones dans lesquelles les VA haute/basse (en rouge) peuvent être dépassées autour du pistolet de «type X», équipé d'électrodes de 160 mm

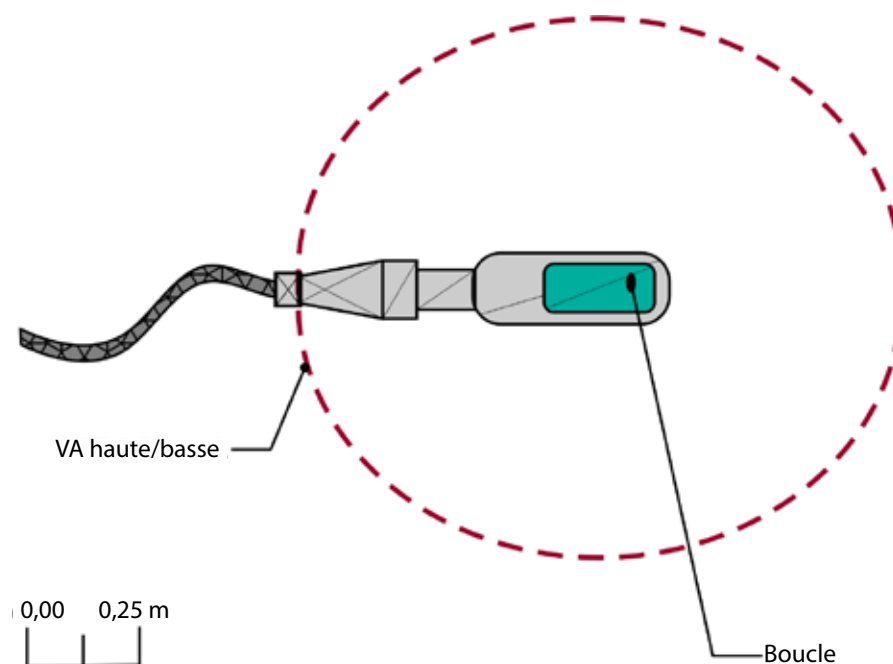


Schéma 6.11 — Vue en plan des contours des zones dans lesquelles la VA pour une exposition des membres (en bleu), les VA haute/basse (en rouge) et les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE (en vert) peuvent être dépassés autour du pistolet d'atelier de réparation de «type X», équipé d'électrodes de 550 mm

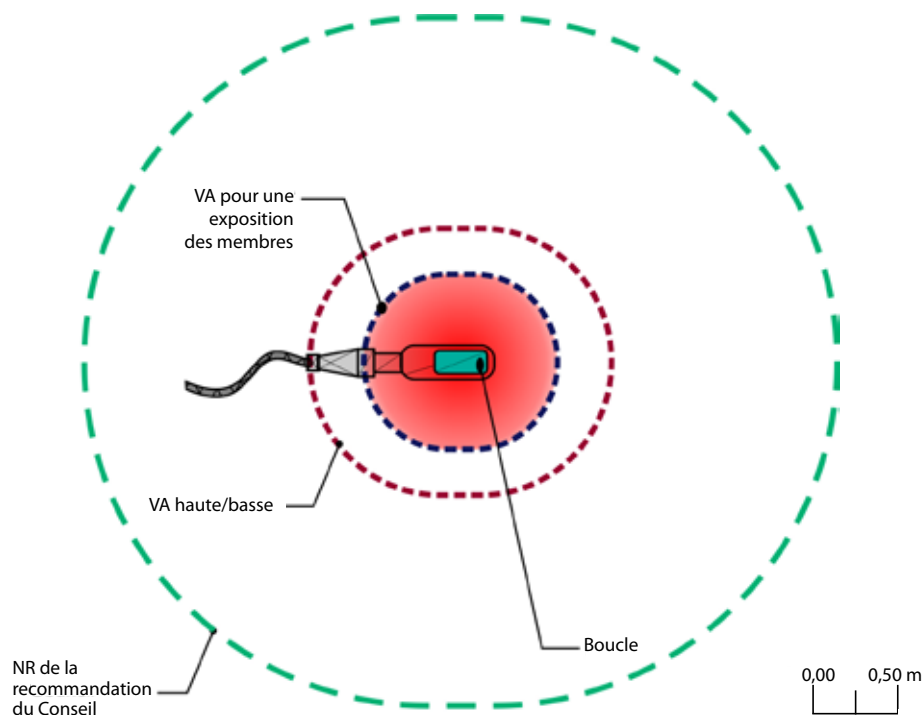


Tableau 6.1 — Résultats des mesures sur un câble reliant un pistolet de soudage de «type C» à une boîte de commande

Type de pince	Courant (A)	Pourcentage de la VA haute/basse ⁽¹⁾ à 10 cm du câble	Pourcentage de la VA haute/basse ⁽¹⁾ à 12 cm du câble	Pourcentage de la VA pour une exposition des membres ⁽²⁾ à 8 cm du câble
160 mm «type C»	8 000	180	100	100

⁽¹⁾ VA haute et basse pour l'induction magnétique à une fréquence de 2 kHz: 150 μ T

⁽²⁾ VA pour une exposition des membres pour l'induction magnétique à une fréquence de 2 kHz: 450 μ T

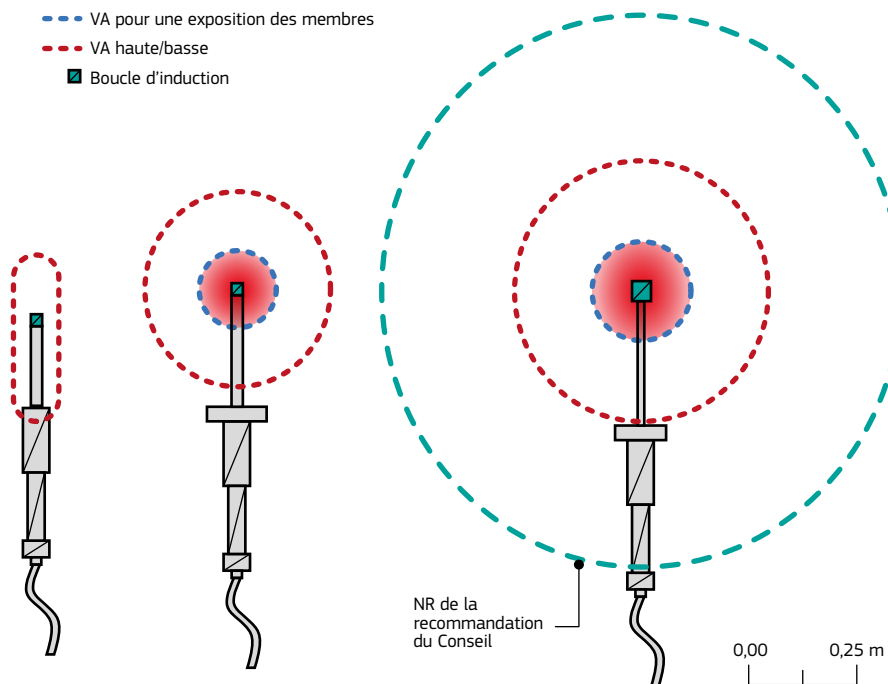
NB: L'incertitude des mesures a été estimée à ± 10 % et, conformément à l'approche axée sur le «partage des risques» (voir l'annexe D.5 du volume 1 du guide), les résultats sont exprimés en pourcentages directs des VA.

6.6.2. Résultats de l'évaluation de l'exposition pour des postes de chauffage par induction utilisés dans un atelier de carrosserie

Le schéma 6.12 montre les éléments chauffants des trois postes de chauffage par induction: le poste de chauffage de 1 kW est à gauche, le poste de chauffage de 4 kW au milieu et le poste de chauffage de 10 kW à droite. Dans tous les cas, les contours des zones autour des éléments chauffants correspondent à 100 % de la valeur correspondante: la VA pour une exposition des

membres de la directive CEM en bleu, les VA haute et basse de la directive CEM en rouge et les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE en vert.

Schéma 6.12 — Vue en plan des contours des zones dans lesquelles la VA pour une exposition des membres (en bleu), les VA haute/basse (en rouge) et les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE (en vert) peuvent être dépassés autour des trois postes de chauffage par induction d'atelier de réparation (1 kW à gauche, 4 kW au milieu et 10 kW à droite)



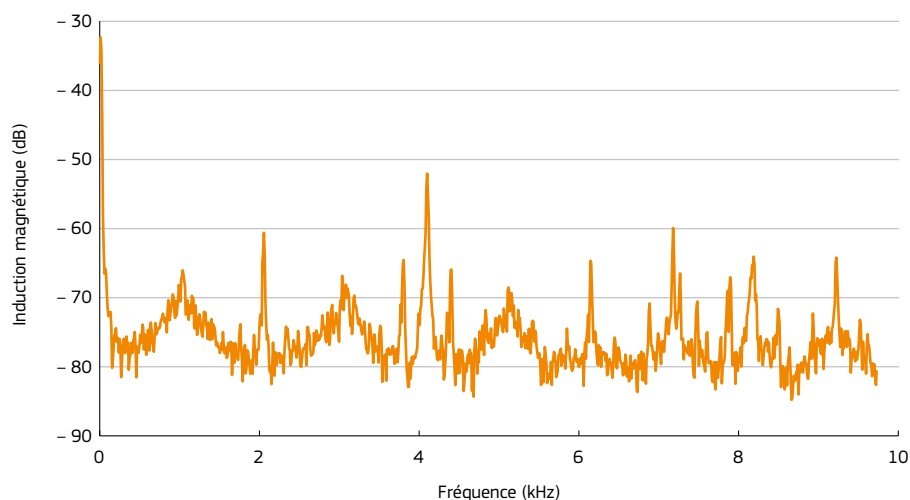
6.7. Conclusions des évaluations de l'exposition

Selon le type de pistolet, la VA pour une exposition des membres de la directive CEM a été dépassée entre 10 et 22 cm de la pince et les VA haute et basse de la directive CEM, entre 20 et 32 cm de la pince. Lorsqu'ils étaient mesurés, les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE ont été dépassés jusqu'à quelques mètres de la pince.

L'expert a signalé que les câbles d'alimentation du pistolet de «type C» émettaient des champs magnétiques dépassant la VA pour une exposition des membres et les VA haute et basse, ce qui n'était pas le cas des câbles du pistolet de «type X». En effet, la VA pour une exposition des membres était dépassée jusqu'à 8 cm des câbles et les VA haute et basse étaient dépassées jusqu'à 12 cm des câbles. L'expert a attribué cela au fait que les câbles du pistolet de «type C» transportent le courant de soudage de la boîte de commande au pistolet, tandis que le câble du pistolet de «type X», doté d'un transformateur intégré, transporte seulement l'alimentation secteur de 50/60 Hz.

L'expert a confirmé que la fréquence fondamentale du courant de soudage pour les postes de soudage par points d'atelier de réparation était de 2 kHz, même si plusieurs courants harmoniques contribuent beaucoup à l'exposition générale. Pour le démontrer, le graphique 6.13 présente la répartition spectrale de la forme d'onde obtenue pour le poste de soudage d'atelier de réparation avec le pistolet de «type C» équipé du bras de 160 mm.

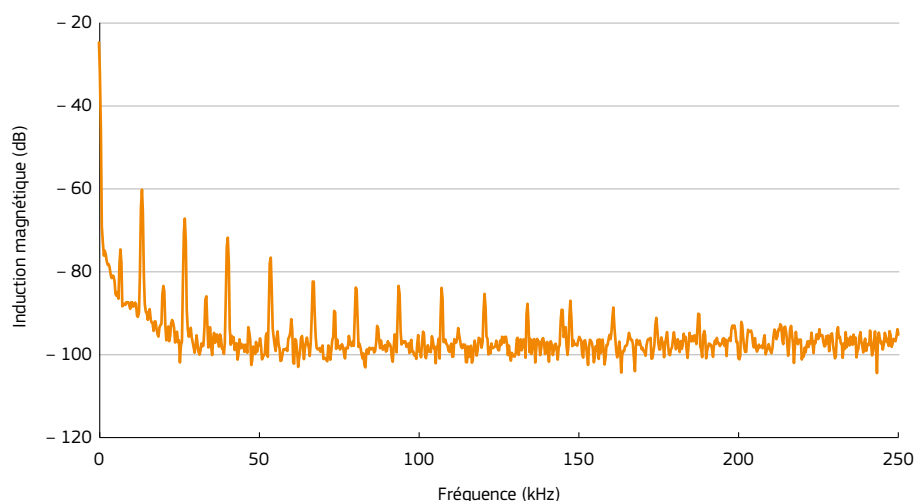
Graphique 6.13 — Répartition spectrale de la forme d'onde du pistolet de «type C» de 160 mm



Concernant les postes de chauffage par induction, selon leur puissance, la VA pour une exposition des membres a été dépassée entre 7 et 11 cm de l'élément chauffant vers la main de l'opérateur et les VA haute et basse ont été dépassées entre 13 et 18 cm du milieu de l'élément chauffant dans toutes les directions.

La fréquence fondamentale des postes de chauffage variait: elle était de 15 kHz pour le poste de chauffage de 1 kW et de 36 kHz pour les postes de chauffage de 4 kW et de 10 kW. À l'instar des postes de soudage, plusieurs courants harmoniques contribuent beaucoup à l'exposition globale dans chaque cas. Pour le prouver, le graphique 6.14 présente la répartition spectrale de la forme d'onde obtenue à partir du poste de chauffage par induction de 1 kW.

Graphique 6.14 — Répartition spectrale de la forme d'onde du poste de chauffage par induction de 1 kW



6.8. Évaluation des risques

Vu les résultats des mesures, l'expert a conclu que, étant donné que les pistolets de soudage par points sont tenus dans la main, près du corps, l'exposition du travailleur aux champs magnétiques était susceptible de dépasser les VA correspondantes de la directive CEM, et peut-être aussi la valeur limite d'exposition (VLE). Les mesures autour des câbles d'alimentation du pistolet de «type C» indiquent également que ces derniers peuvent générer des expositions dépassant les VA correspondantes.

L'expert a aussi relevé que les champs magnétiques dépassaient les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE jusqu'à quelques mètres des pistolets de soudage. Les niveaux de référence peuvent être utilisés comme un indicateur général pour les personnes à risques particuliers quant aux effets indirects de l'exposition (voir l'annexe E du volume 1 du guide).

Concernant les postes de chauffage par induction, l'expert a conclu que les opérateurs n'étaient pas exposés à des champs dépassant les VA, car les éléments chauffants étaient maintenus à une distance suffisante de leurs mains et de leur corps pendant le fonctionnement du poste. Cependant, les champs magnétiques dépassaient encore les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE jusqu'à 0,5 m du poste de chauffage de 10 kW. L'expert a donc recommandé que l'on prête attention aux personnes à risques particuliers quant aux effets indirects d'exposition aux champs magnétiques générés par les postes de chauffage (voir l'annexe E du volume 1 du guide).

À partir de ces conclusions, l'expert a rédigé une évaluation des risques spécifiques aux CEM pour l'utilisation de postes de soudage par points et de postes de chauffage par induction, en utilisant la méthodologie proposée par la plate-forme OIRA, en vue de déterminer les mesures à prendre pour protéger les travailleurs afin de garantir qu'ils ne soient pas exposés à des champs magnétiques dépassant les VA. L'évaluation des risques spécifiques aux CEM est présentée dans le tableau 6.2.

6.9. Mesures de précaution déjà mises en œuvre

Aucune.

Tableau 6.2 — Évaluation des risques spécifiques aux CEM liés à l'utilisation de postes mobiles de soudage par points d'atelier de réparation et de postes de chauffage par induction

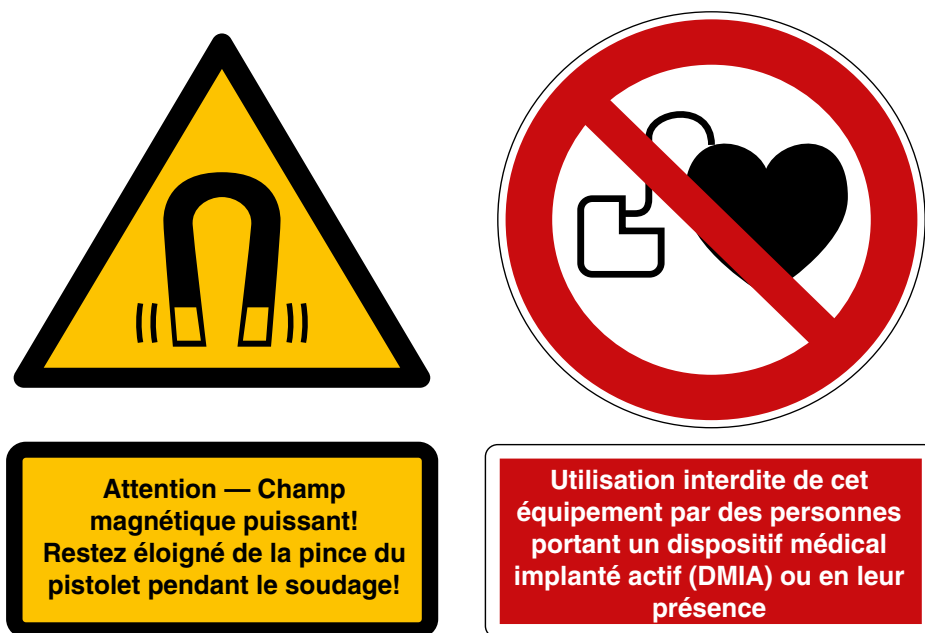
Dangers	Mesures de prévention et de précaution existantes	Personnes à risques	Gravité			Probabilité			Évaluation des risques	Nouvelles mesures de prévention et de précaution
			Mineure	Élevée	Fatale	Improbable	Possible	Probable		
Effets directs à basse fréquence	Aucune. Mains et corps se trouvent souvent près de la pince à souder pour soutenir le poids du pistolet pendant le soudage.	Travailleurs d'atelier	✓				✓		Faibles	Modifier la manière de réaliser des soudures — utiliser des balanciers pour soutenir le poids du pistolet afin de permettre aux travailleurs de maintenir leurs mains et leur corps loin des électrodes de soudage
	Les éléments chauffants des postes de chauffage par induction sont généralement tenus à bout de bras.		✓				✓		Faibles	Procédures opératoires standards pour les travaux de soudage Avis d'avertissement sur les postes de soudage et de chauffage Formation des opérateurs aux risques liés aux CEM
		Travailleuses enceintes	✓				✓		Faibles	Interdiction d'utilisation des postes de soudage/ chauffage par ou près des travailleuses enceintes
Effets indirects à basse fréquence (interférence avec des DMIA)	Aucune	Travailleurs à risques particuliers		✓			✓		Faibles	Interdiction d'utilisation des postes de soudage/ chauffage par ou près de travailleurs portant un dispositif médical implanté actif (DMIA) Formation du personnel aux risques liés aux CEM

6.10. Mesures de précaution supplémentaires découlant de l'évaluation

Compte tenu de l'évaluation des risques, le directeur a décidé d'appliquer les mesures de précaution suivantes, notamment:

- prendre des mesures, si possible, pour veiller à ce que les opérateurs maintiennent leurs mains et leur corps loin du pistolet de soudage par points et, si nécessaire, plus loin encore d'autres conducteurs et câbles d'alimentation. Par exemple, le directeur a acheté des balanciers pour y accrocher les pistolets de soudage par points, ce qui signifie que les travailleurs ne doivent plus supporter le poids des pistolets et qu'ils peuvent par conséquent toujours se trouver derrière le pistolet et simplement tenir l'arrière de ce dernier pour le maintenir en place pendant le soudage;
- placer des avis d'avertissement sur les postes de soudage et de chauffage concernant les champs magnétiques puissants et des avis d'interdiction de l'utilisation du poste de soudage ou du poste de chauffage par des personnes portant un DMIA et d'autres travailleurs à risques particuliers comme les travailleuses enceintes, ou en leur présence. L'illustration 6.15 présente des exemples d'avis apposés sur des postes de soudage d'atelier de réparation;

Illustration 6.15 — Exemples d’avis d’avertissement concernant les champs magnétiques puissants et d’avis d’interdiction de l’utilisation des appareils par des personnes portant un DMIA ou en leur présence



- fournir aux travailleurs des informations, y compris les résultats de l'évaluation des risques;
- donner des instructions aux travailleurs concernant la manière de maintenir leur exposition en dessous des VA de la directive CEM;
- garantir, par des programmes d'intégration appropriés, que les autres travailleurs sont conscients du danger lié aux champs magnétiques que représentent les postes de soudage et de chauffage;
- réviser régulièrement l'évaluation des risques.

6.11. Postes de soudage par points dans la fabrication de véhicules

Si les fabricants automobiles internationaux ne peuvent être considérés comme des petites ou moyennes entreprises, l'importance du soudage par points pour cette industrie est telle que les auteurs ont jugé important d'inclure l'évaluation par l'expert d'exemples de postes de soudage par points utilisés par un grand fabricant.

6.11.1. Examen de postes de soudage par points d'usine

Trois postes de soudage par points ont été examinés: un pistolet de «type C» équipé d'un bras de 400 mm, un pistolet de «type X» équipé d'électrodes de 130 mm et un pistolet de «type X» équipé d'électrodes de 700 mm. Les deux plus petits pistolets fonctionnaient à 8 400 A, le plus grand, à 10 200 A. Les trois pistolets avaient une fréquence opérationnelle de 50 Hz et étaient alimentés par des transformateurs éloignés via des câbles conçus pour réduire l'exposition au champ magnétique. Le pistolet de «type C» de 400 mm et le pistolet de «type X» de 700 mm sont présentés dans les illustrations 6.16 et 6.17.

Illustration 6.16 — Pistolet d'usine de «type C» de 400 mm. La pince est maintenue en place en utilisant les poignées en haut du pistolet, dont l'une est visible dans la partie supérieure droite de l'image (en chrome poli). Cela donne une idée de l'emplacement de l'opérateur par rapport à la pince pendant le soudage.

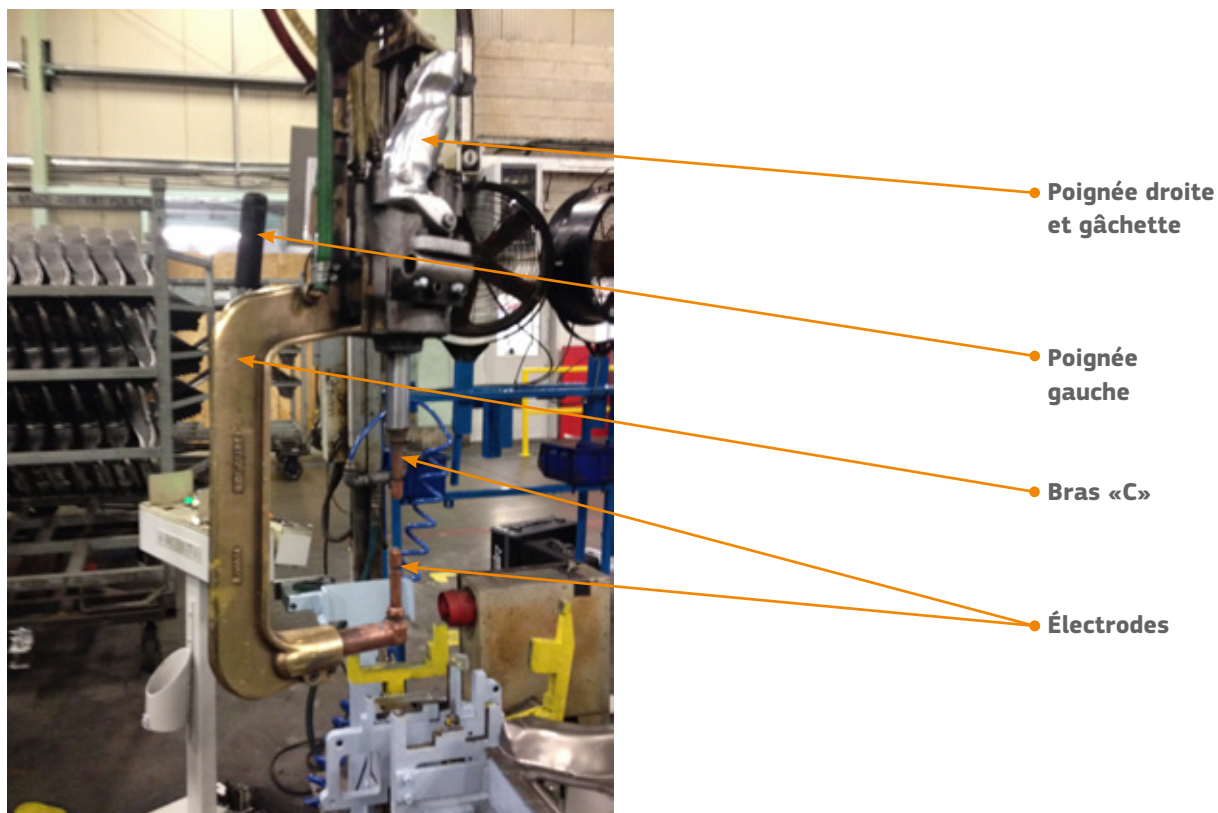
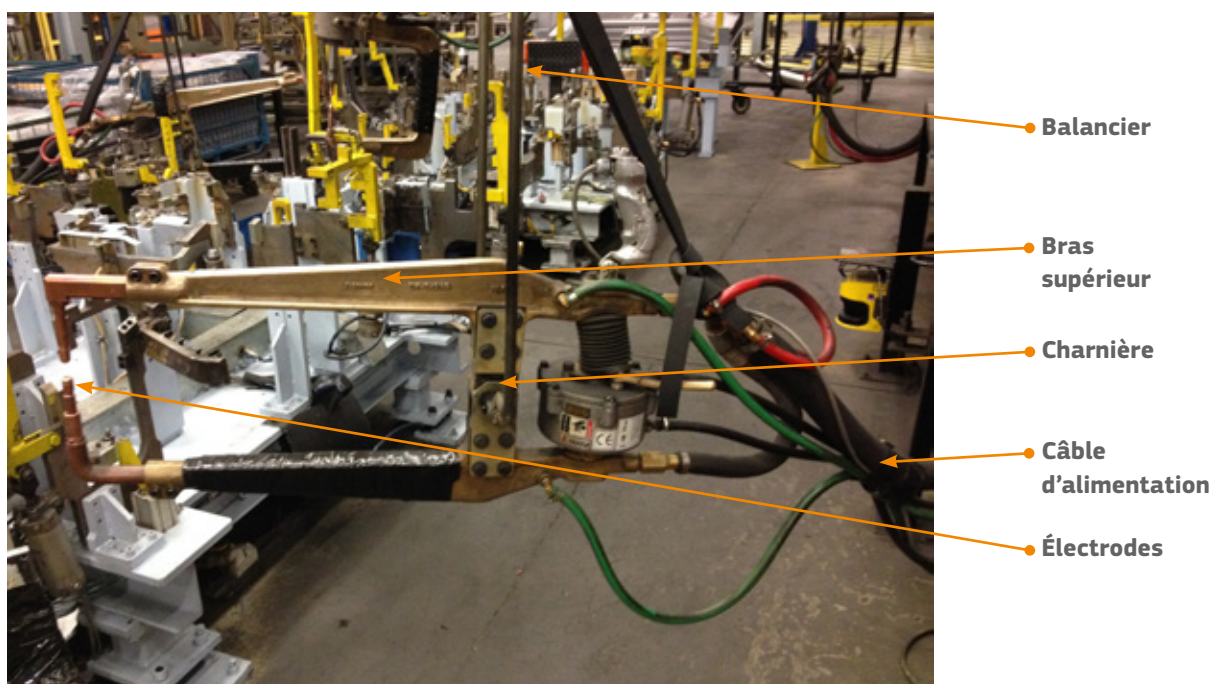


Illustration 6.17 — Pistolet d'usine de «type X» de 700 mm. Bien que le pistolet soit suspendu à un balancier, sa taille implique que l'opérateur doit généralement se trouver à proximité des électrodes pour les guider et les maintenir en place.



Des mesures de l'induction magnétique variant dans le temps ont été effectuées autour des pistolets de soudage en utilisant une sonde isotrope (triaxiale). L'instrument était doté d'un filtre électronique intégré qui donnait un résultat, en pourcentage, obtenu en utilisant l'approche de crête pondérée dans le domaine temporel et permettait ensuite une comparaison directe avec les VA de la directive CEM. L'instrument était également doté d'un analyseur de spectre intégré permettant l'analyse du contenu harmonique de la forme d'onde.

Les postes de soudage fonctionnaient à une fréquence de 50 Hz. À cette fréquence, les VA haute et basse de la directive CEM sont très différentes. Ainsi, les mesures de l'intensité du champ magnétique autour des pistolets sont exprimées en pourcentage de la VA haute et de la VA basse.

6.11.2. Résultats des mesures de postes de soudage par points d'usine

Les mesures obtenues sont présentées dans les schémas et le tableau ci-après. Dans tous les cas, les mesures ont été effectuées pendant une utilisation normale du poste de soudage.

Les schémas 6.18 à 6.20 montrent l'étendue de la zone autour de chaque pistolet de soudage où les VA haute et basse de la directive CEM et les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE ont été dépassés. Dans tous les cas, les courbes de niveau autour des pistolets correspondent à 100 % de la valeur correspondante: la VA haute en jaune, la VA basse en rouge et les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE en vert. En outre, le tableau 6.3 montre les résultats d'une mesure autour du câble d'alimentation du pistolet de soudage de «type X».

Schéma 6.18 — Vue en plan des contours des zones dans lesquelles la VA basse (en jaune), la VA haute (en rouge) et les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE (en vert) peuvent être dépassés autour du pistolet de soudage par points d'usine de «type C» de 400 mm

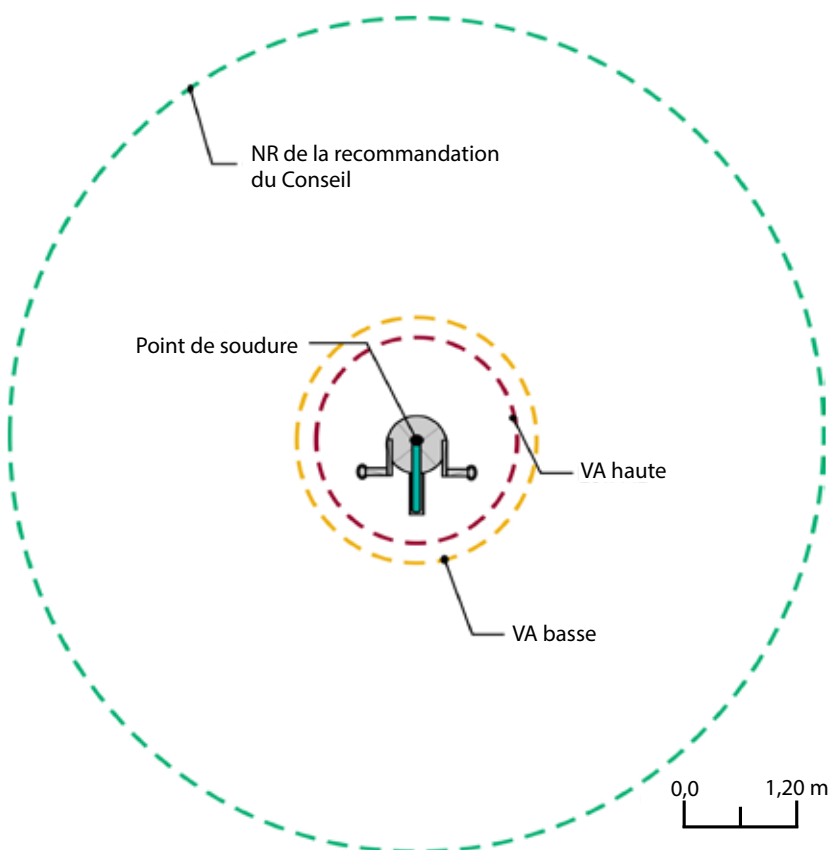


Schéma 6.19 — Vue en plan des contours des zones dans lesquelles la VA basse (en jaune), la VA haute (en rouge) et les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE (en vert) peuvent être dépassés autour du pistolet de soudage par points d'usine de «type C» de 130 mm

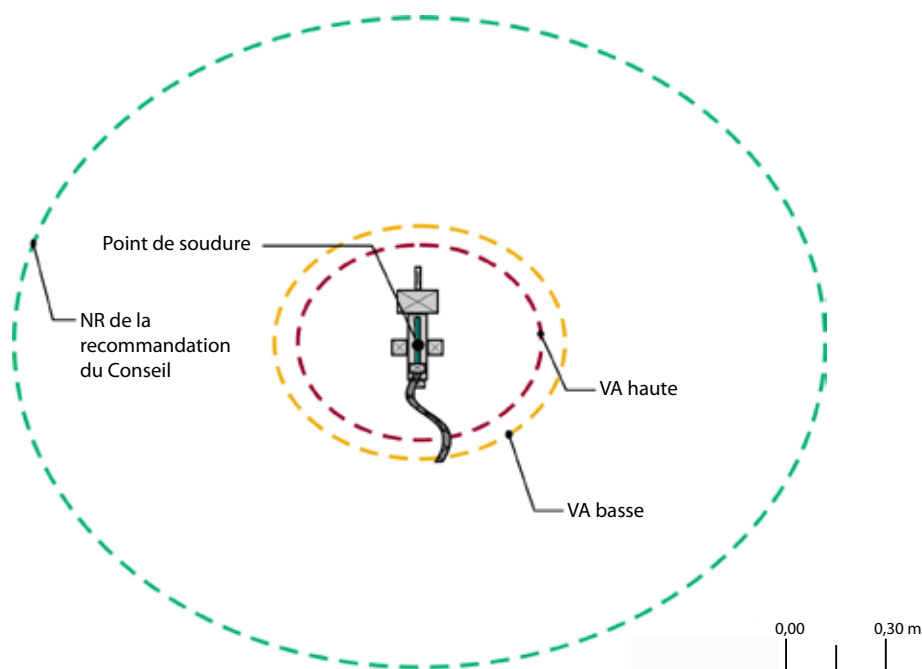


Schéma 6.20 — Vue en plan des contours des zones dans lesquelles la VA basse (en jaune) et la VA haute (en rouge) peuvent être dépassées autour du pistolet de soudage par points d'usine de «type X» de 700 mm. Dans ce cas, les courbes s'étendent au-delà du pistolet du fait des champs créés par les conducteurs situés à l'arrière du pistolet.

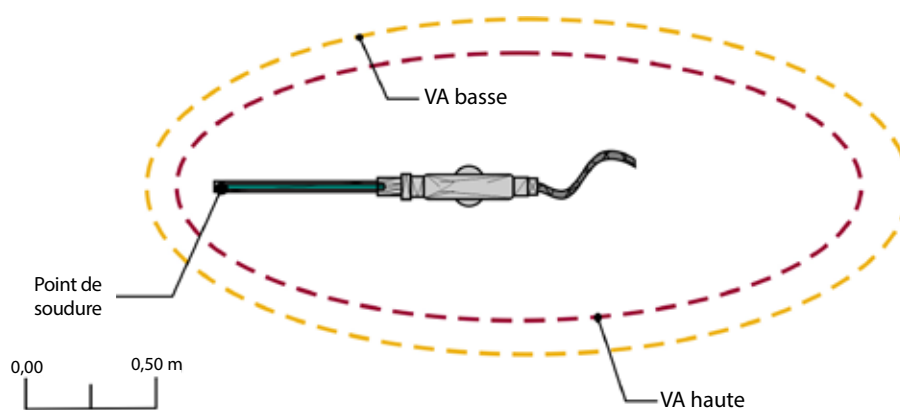


Tableau 6.3 — Résultat des mesures sur le câble reliant le pistolet de soudage de «type X» au transformateur aérien

Type de pince	Courant (A)	Pourcentage de VA basse ⁽¹⁾ à 10 cm du câble
«Type X», 130 mm	8 400	12

⁽¹⁾ VA basse pour l'induction magnétique dans une gamme de fréquences comprises entre 25 et 300 Hz: 1 000 μ T

NB: L'incertitude des mesures a été estimée à ± 10 % et, conformément à l'approche de «partage des risques» (voir l'annexe D.5 du volume 1 du guide), les résultats sont exprimés en pourcentage direct de la VA.

6.11.3. Résultats des mesures de postes de soudage par points d'usine par rapport aux VA

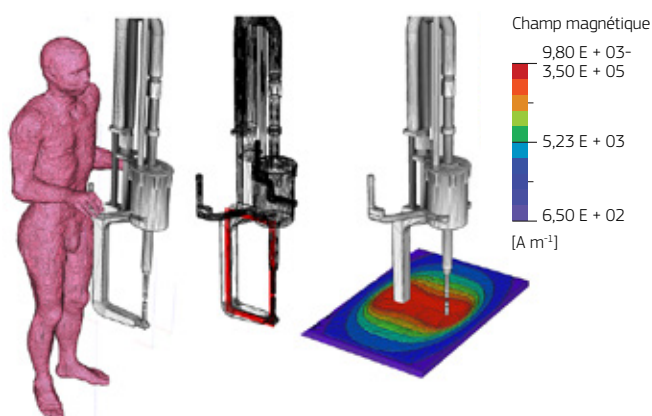
La VA basse a été dépassée entre 37 et 147 cm des pistolets, et la VA haute a été dépassée entre 27 et 125 cm des pistolets. Il convient de signaler que l'étendue de la zone dépassant les VA autour du pistolet de «type X» de 700 mm (schéma 6.20) est due non seulement aux électrodes, mais également aux conducteurs situés à l'arrière du pistolet. En outre, les champs magnétiques dépassaient les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE jusqu'à plusieurs mètres des pistolets de soudage (voir l'annexe E du volume 1 du guide). Les câbles d'alimentation des pistolets ont été conçus pour réduire l'exposition aux champs magnétiques et, par conséquent, comme le montre le tableau 6.3, l'exposition due au câble était bien inférieure à la VA basse.

6.11.4. Résultats des mesures de postes de soudage par points d'usine par rapport aux VLE

Les résultats indiquaient que l'exposition des travailleurs était susceptible d'être bien supérieure aux VA correspondantes, étant donné qu'ils se trouvent à une distance des pistolets comprise entre 10 et 20 cm. Toutefois, si l'employeur a adopté bon nombre des mesures décrites au point 6.10 de cette étude de cas, les travailleurs n'ont pas pu s'éloigner des zones dépassant les VA dans tous les cas. Conformément à l'article 4, paragraphe 3, de la directive CEM, l'expert a donc procédé à une modélisation informatique afin de déterminer si les VLE correspondantes étaient réellement dépassées.

L'expert a utilisé les mesures et observations pour produire un modèle du pistolet de «type C» de 400 mm. Ce modèle a ensuite été utilisé pour calculer les champs magnétiques dans les zones autour du pistolet, y compris celle où se trouve l'opérateur, qui a été ensuite ajoutée au modèle. L'illustration 6.21 montre les modèles finaux du pistolet et de l'opérateur et le modèle de pistolet montrant la boucle de courant (en rouge) utilisé pour simuler la production de champ magnétique et les intensités de champ magnétique calculées dans un plan x-y choisi.

Illustration 6.21 — Modèles du pistolet de soudage de «type C» de 400 mm et de l'opérateur (à gauche); boucle de courant (bras «C», en rouge) responsable du champ magnétique (au milieu) et champ magnétique autour du pistolet en fonctionnement (à droite)



Après modélisation du pistolet et de l'opérateur, les champs électriques internes induits dans le corps ont fait l'objet de calculs numériques. Les résultats de ces calculs, qui partent de l'hypothèse que le corps se trouve à 15 cm du bras du pistolet, sont présentés à l'illustration 6.22. Le rouge indique un champ électrique relativement puissant, tandis que le violet traduit une valeur basse. On peut voir que le champ est essentiellement absorbé au niveau de la taille et de la partie supérieure des jambes de l'opérateur, qui sont les plus proches de la boucle de courant.

À une distance de 15 cm, les VLE correspondantes n'étaient pas dépassées et d'autres calculs ont donc été réalisés pour déterminer les distances auxquelles les VLE seraient dépassées. Les résultats de ces autres calculs sont présentés dans le tableau 6.4.

Illustration 6.22 — Répartition spatiale des champs électriques maximaux induits dans un modèle humain exposé aux champs magnétiques générés par le pistolet de «type C» de 400 mm

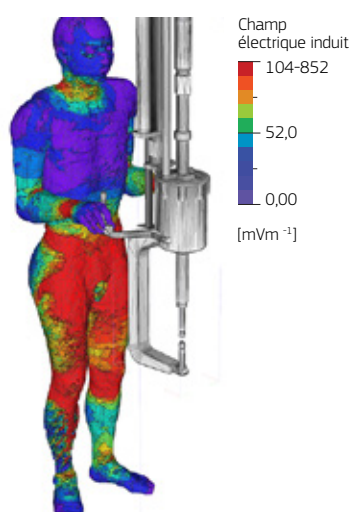


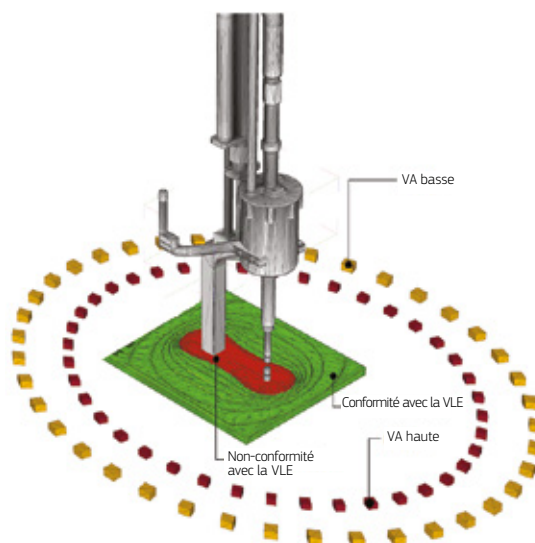
Tableau 6.4 — Intensité des champs électriques internes maximaux par rapport aux VLE correspondantes

Écart entre le tronc et le pistolet (en cm)	15	7	4
Intensité des champs électriques maximaux induits dans le corps (mVm^{-1})	287	611	811
Pourcentage de la VLE relative aux effets sur la santé (%) ⁽¹⁾	37	79	104
Champ électrique maximal induit dans le système nerveux central (mVm^{-1})	52	84	92
Pourcentage de la VLE relative aux effets sensoriels (%) ⁽²⁾	53	85	93

⁽¹⁾ La VLE relative aux effets sur la santé à une fréquence de 50 Hz est de 778 mVm^{-1} (RMS).

⁽²⁾ La VLE relative aux effets sensoriels à une fréquence de 50 Hz est de 99 mVm^{-1} (RMS).

Le tableau 6.4 montre que lorsque l'opérateur utilise le pistolet à 15 cm du corps, le champ électrique maximal induit est de 287 mVm^{-1} , soit 37 % de la VLE relative aux effets sur la santé. Pour les tissus du système nerveux central dans la tête, le champ électrique maximal induit est de 52 mVm^{-1} , soit 53 % de la VLE relative aux effets sensoriels. Les résultats montrent que la VLE relative aux effets sur la santé n'est en réalité dépassée que lorsque la distance séparant le corps du pistolet se réduit à environ 4 cm. Cela signifie que, si les travailleurs sont exposés à des champs magnétiques dépassant les VA, les champs électriques internes induits ne dépassent pas les VLE. La différence de taille des zones dépassant les VA par rapport à la taille de la zone qui dépasserait réellement la VLE relative aux effets sur la santé est présentée à l'illustration 6.23 ci-après.

Illustration 6.23 — Représentation visuelle de la zone autour du pistolet de «type C» de 400 mm où la VLE relative aux effets sur la santé peut être dépassée (zone rouge dans une zone verte), et contours des zones présentant des VA haute et basse (en rouge et en jaune, respectivement) du schéma 6.18

Pour résumer, dans ce cas, il semble que les VA offrent une prévision prudente de surexposition et que la situation de l'exposition est effectivement conforme à la directive CEM.

7. SOUDAGE

7.1. Lieu de travail

La présente étude de cas porte sur un atelier de fabrication de produits métalliques, qui utilise plusieurs machines à souder par résistance.

7.2. Nature du travail

Les travailleurs utilisent des postes de soudage par points et des postes de soudage à galets pour souder des fils et des tôles. Plusieurs de ces machines se trouvent dans l'atelier.

7.3. Informations sur les équipements générant des CEM

Les postes de soudage par résistance se composent de deux électrodes, qui enserrant les pièces à souder. Un courant passe par les électrodes et les pièces, et la chaleur nécessaire au soudage est produite par la résistance électrique des pièces. Les paramètres des appareils sont choisis en fonction des propriétés des pièces à souder.

7.3.1. Postes de soudage par points

Les postes de soudage par points se composent de deux petites électrodes cylindriques qui enserrant les pièces et appliquent un courant intense pour produire une soudure par points. La société utilise deux types de postes de soudage par points: les postes de soudage par points d'établi et les postes de soudage par points mobiles suspendus.

Le poste de soudage par points d'établi (illustration 7.1) est généralement utilisé pour souder des fils de trochanter en acier inoxydable de 1,2 mm. Cet appareil a été conçu pour être utilisé sur un établi, l'opérateur se trouvant en face de lui. Il fonctionne généralement à 19 % du courant maximal disponible (3 500 A), soit 665 A, et à une fréquence de 50 Hz. Le poste de soudage par points mobile suspendu (illustration 7.2) est utilisé pour souder ensemble des tôles métalliques. Le poste de soudage se compose de bras porte-électrodes, qui se déplacent dans un mouvement de pince pour serrer les pointes des électrodes sur la pièce. Il fonctionne généralement à 7 000 A et à une fréquence de 2 kHz.

Illustration 7.1 — Poste de soudage par points d'établi**Électrodes de soudage****Illustration 7.2 — Poste de soudage par points mobile suspendu**

7.3.2. Machine à souder à galets

La machine à souder à galets est utilisée pour souder ensemble des pièces métalliques. Les électrodes sont en forme de disque et tournent à mesure que le matériau passe entre elles, ce qui signifie que la soudure à galets se forme progressivement. La machine fonctionne généralement à 7 000 A et à une fréquence de 50 Hz (illustration 7.3).

Illustration 7.3 — Vues avant et arrière d'une machine à souder à galets



7.4. Utilisation des équipements

L'opérateur d'un poste de soudage se trouve généralement debout ou assis à côté de l'appareil lors du soudage, ses mains étant situées au plus près de celui-ci. Lorsqu'il utilise le poste de soudage par points d'établi et la machine à souder à galets, l'opérateur maintient le matériau pendant le soudage, ce qui signifie que ses mains peuvent se trouver jusqu'à 10 cm des électrodes de soudage. Lorsqu'il utilise le poste de soudage par points mobile suspendu, le matériau à souder est fixé en place et l'opérateur se trouve à côté du poste de soudage par points, pour le maintenir en place. Tout le matériel de soudage se trouve dans un atelier avec d'autres machines et outils utilisés pour la fabrication de produits métalliques.

7.5. Méthode d'évaluation de l'exposition

La société a examiné les données des fabricants pour chaque appareil. Certains manuels d'utilisation indiquaient que l'appareil pouvait produire des champs magnétiques dangereux pour les personnes portant un stimulateur cardiaque. Toutefois, la société n'a pas pu trouver d'informations sur l'étendue de ce danger (par exemple, jusqu'à quelle distance de l'appareil s'étend ce danger) ou sur le niveau des champs magnétiques par rapport aux VA de la directive CEM. Pour certains appareils plus anciens, la société n'a pu trouver aucune information du fabricant.

Les appareils de soudage se trouvent dans l'atelier, auquel ont accès la majeure partie des travailleurs et où peuvent entrer des sous-traitants externes et des visiteurs. En conséquence, la société a décidé de procéder à d'autres évaluations des risques. En l'absence de plus amples informations des fabricants des appareils, la société a désigné un expert-conseil pour procéder à l'évaluation.

Trois différents types de machines à souder par résistance ont été choisis pour une évaluation plus approfondie, étant donné que les résultats donneraient une bonne idée des dangers liés aux appareils similaires dans l'atelier. L'expert a mesuré l'induction magnétique autour de la machine en utilisant un instrument équipé d'un filtre électronique intégré qui donnait un

résultat, exprimé en pourcentage, obtenu en utilisant l'approche de crête pondérée dans le domaine temporel et permettait ensuite une comparaison directe avec les VA.

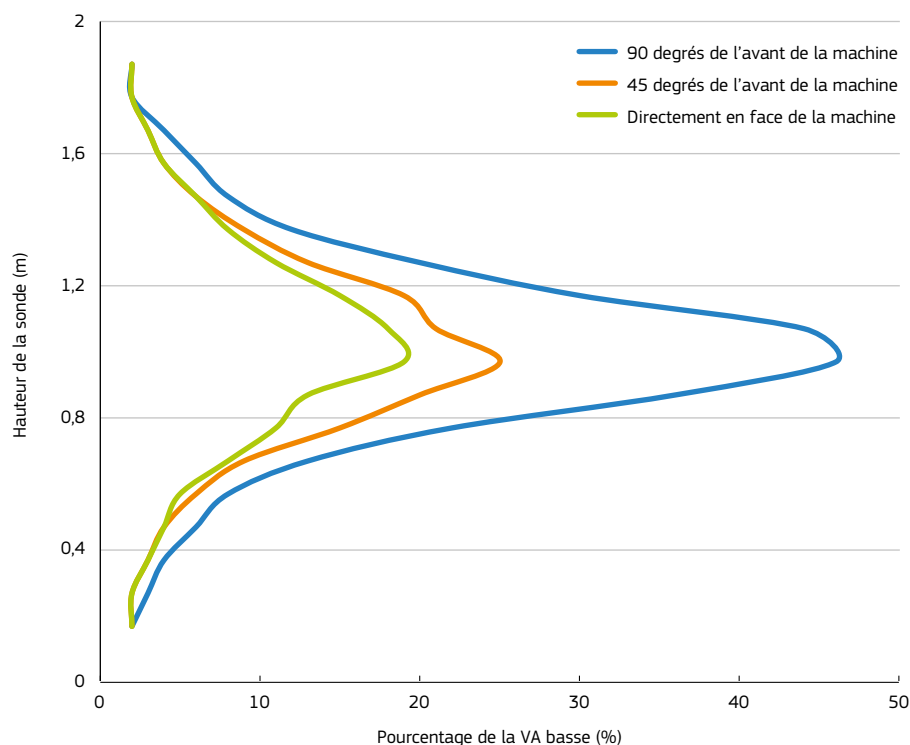
7.6. Résultats de l'évaluation de l'exposition

7.6.1. Poste de soudage par points d'établi

L'expert a observé l'opérateur pendant qu'il utilisait le poste de soudage par points d'établi. Il a constaté que la tête et le tronc de ce dernier restaient à 30 cm au moins des électrodes pendant le soudage, et que l'opérateur pouvait se placer à côté de l'appareil plutôt que directement en face de lui. Par conséquent, des mesures ont été prises à trois endroits situés à 30 cm des électrodes: directement en face des électrodes, à 45 degrés de l'avant (à gauche) des électrodes et à 90 degrés de l'avant (à gauche) des électrodes. À chaque endroit, des mesures ont été prises à différentes hauteurs.

Il a été constaté que l'induction magnétique ne dépassait 50 % de la VA basse à aucun des endroits où pouvait se trouver l'opérateur (graphique 7.4).

Graphique 7.4 — Induction magnétique en pourcentage de la VA basse, selon la hauteur à l'endroit où se trouve l'opérateur (30 cm des électrodes)



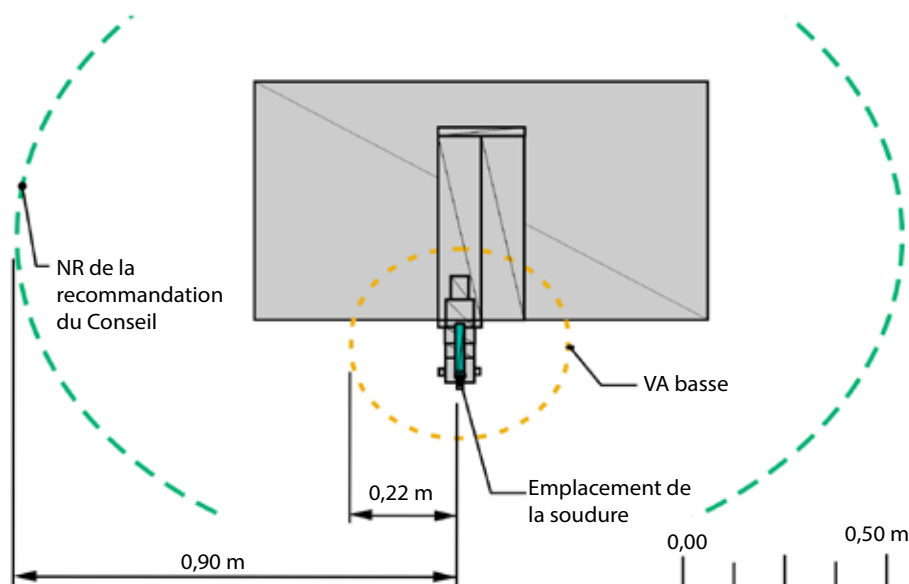
NB: L'incertitude des mesures a été estimée à $\pm 10\%$ et, conformément à l'approche de «partage des risques» (voir l'annexe D.5 du volume 1 du guide), les résultats sont exprimés en pourcentage direct de la VA.

L'endroit où l'induction magnétique était égale à la VA basse se trouvait à environ 22 cm des électrodes et à la hauteur où se rencontrent les électrodes. La zone où la VA basse peut être dépassée est présentée au schéma 7.5.

Selon les observations, les mains de l'opérateur se trouvaient à 10 cm au moins des électrodes pendant le soudage. À cet endroit, l'induction magnétique était inférieure à 8 % de la VA pour une exposition des membres.

L'expert a procédé à des mesures à plusieurs autres endroits autour de l'appareil et a comparé les résultats aux niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE. Ces niveaux peuvent être utilisés comme un indicateur général pour les personnes à risques particuliers en matière d'effets indirects de l'exposition (voir l'annexe E du volume 1 du guide). Il a constaté que les niveaux de référence peuvent être dépassés jusqu'à 1 m des électrodes. Cette zone est représentée dans le schéma 7.5 par la courbe de niveau verte.

Schéma 7.5 — Vue en plan des contours des zones dans lesquelles la VA basse (en jaune) et les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE (en vert) peuvent être dépassés autour du poste de soudage par points d'établi

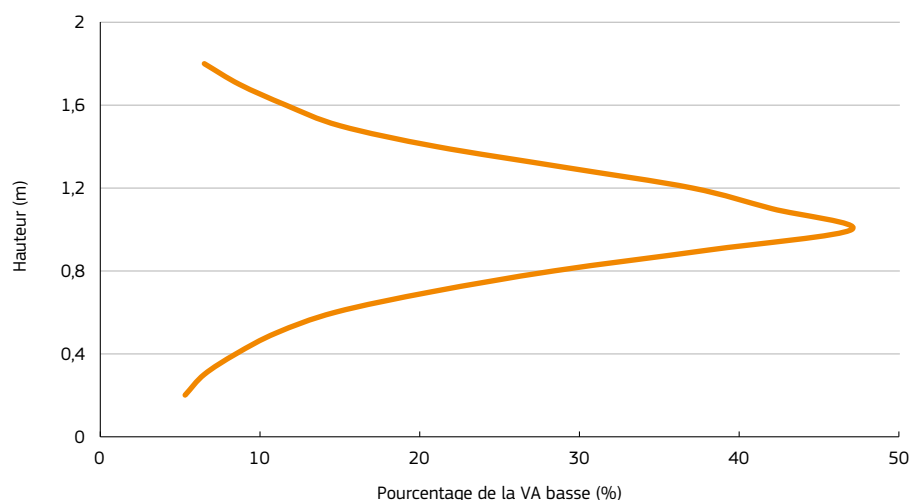


7.6.2. Poste de soudage par points mobile suspendu

L'opérateur maintient le poste de soudage par points en place pendant le soudage. Du fait de la longueur des bras porte-électrodes (75 cm), l'opérateur se trouve à environ 1 m de la pointe des électrodes. Des mesures ont été prises à cet endroit, à différentes hauteurs.

Le résultat de la mesure la plus élevée était à la hauteur à laquelle se rencontrent les électrodes (à 1 m du sol au cours de cette évaluation). Il a été constaté que l'induction magnétique ne dépassait pas 50 % des VA à l'endroit où se trouvait l'opérateur (graphique 7.6).

Graphique 7.6 — Induction magnétique exprimée en pourcentage des VA basse et haute, selon la hauteur à l'endroit où se trouve l'opérateur (1 m de la pointe des électrodes)



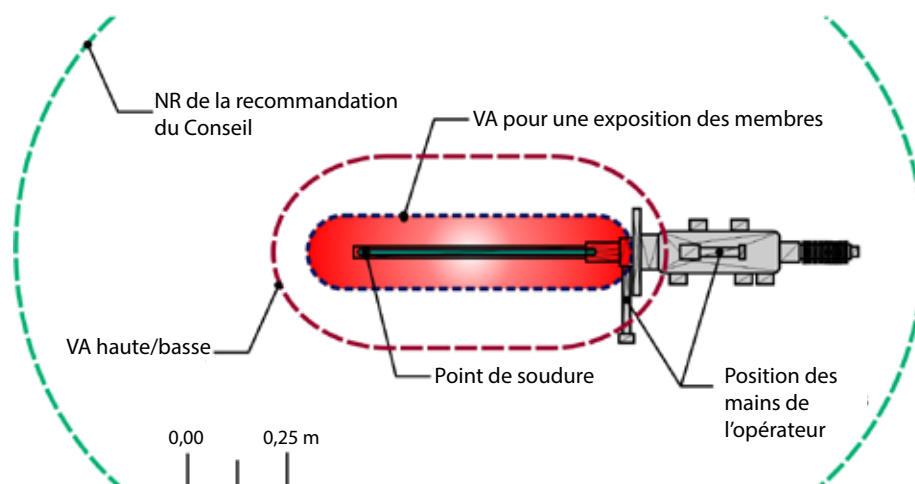
NB: L'incertitude des mesures a été estimée à $\pm 10\%$ et, conformément à l'approche de «partage des risques» (voir l'annexe D.5 du volume 1 du guide), les résultats sont exprimés en pourcentages directs des VA.

Des mesures ont été prises à l'endroit où se trouvaient les mains de l'opérateur (illustration 7.2). L'induction magnétique était de 88 % de la VA pour une exposition des membres à cet endroit.

L'expert a effectué des mesures à plusieurs autres endroits autour du matériel et a comparé les résultats aux niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE. Il a constaté que les niveaux de référence peuvent être dépassés jusqu'à un maximum de 1,3 m de l'appareil.

Les zones où les VA pour une exposition des membres, les VA haute et basse et les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE peuvent être dépassés sont présentées au schéma 7.7 et sont représentées respectivement par les courbes de niveau bleue, rouge et verte.

Schéma 7.7 — Vue en plan des contours des zones dans lesquelles la VA pour une exposition des membres (en bleu), les VA haute et basse (en rouge) et les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE (en vert) peuvent être dépassés autour du poste de soudage par points mobile suspendu

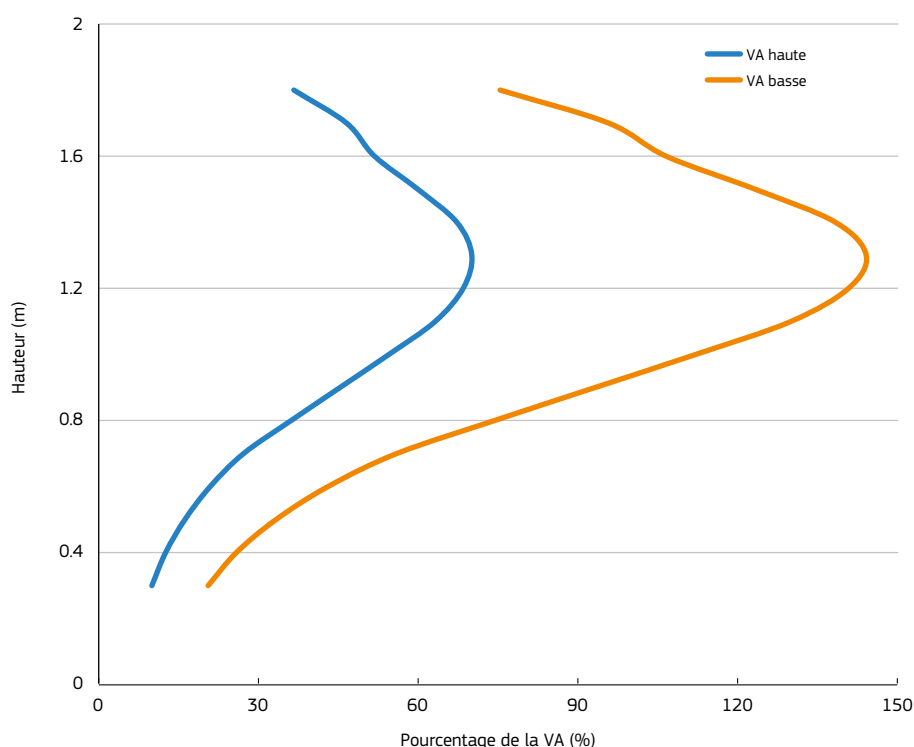


7.6.3. Machine à souder à galets

L'opérateur se tient à côté de la machine, sa tête et son tronc étant situés à 50 cm au moins du centre des électrodes pendant le soudage. Des mesures ont été prises à cet endroit, à différentes hauteurs.

Le résultat de la mesure la plus élevée correspondait à la hauteur à laquelle se rencontrent les électrodes (à 130 cm du sol). La VA haute n'a pas été dépassée à cet endroit. Toutefois, l'induction magnétique mesurée correspondait à environ 140 % de la VA basse (graphique 7.8).

Graphique 7.8 — Induction magnétique exprimée en pourcentage des VA basse et haute, selon la hauteur à l'endroit où se trouve l'opérateur (à 50 cm des électrodes, sur le côté)



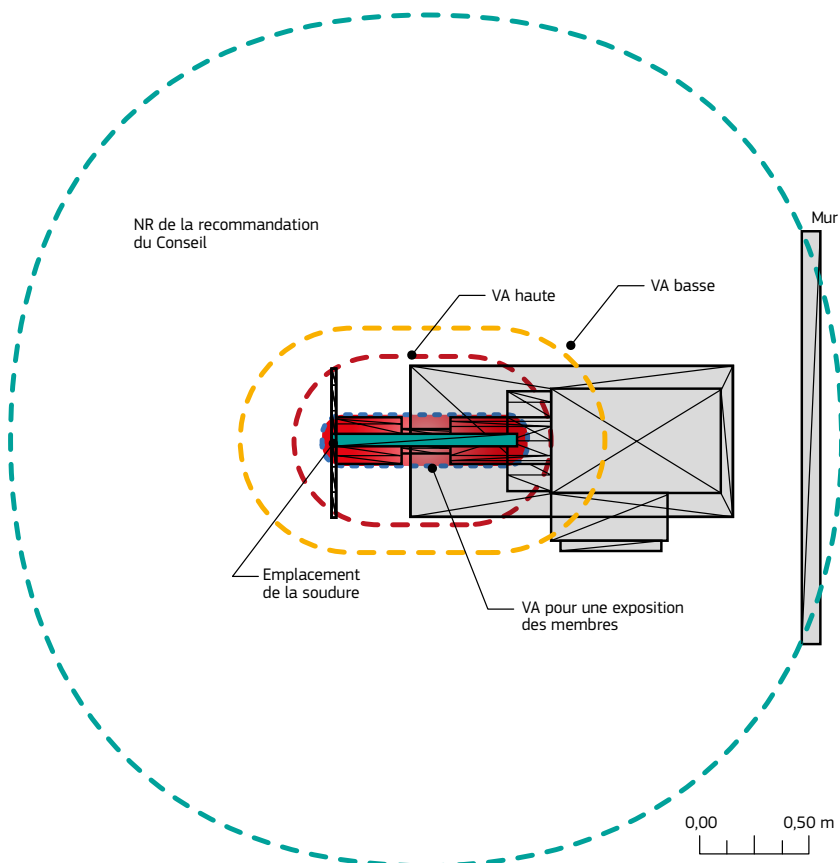
NB: L'incertitude des mesures a été estimée à $\pm 10\%$ et, conformément à l'approche de «partage des risques» (voir l'annexe D.5 du volume 1 du guide), les résultats sont exprimés en pourcentages directs des VA.

Des mesures ont été prises à l'endroit où les mains de l'opérateur étaient le plus près des électrodes (à environ 10 cm du point de soudure). L'induction magnétique était inférieure à 67 % de la VA pour une exposition des membres à cet endroit. Toutefois, il a été constaté que cette VA pour une exposition des membres peut être dépassée si l'opérateur se place derrière les électrodes de soudage, plutôt qu'à côté d'elles.

Comme avec le poste de soudage par points, l'expert a effectué des mesures à différents endroits autour du matériel et a comparé les résultats avec les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE. Il a constaté que les niveaux de référence peuvent être dépassés jusqu'à 2,45 m des électrodes.

Les zones où la VA pour une exposition des membres, les VA basse et haute et les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE peuvent être dépassés sont représentées au schéma 7.9.

Schéma 7.9 — Vue en plan des contours des zones dans lesquelles la VA pour une exposition des membres (en bleu), la VA haute (en rouge), la VA basse (en jaune) et les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE (en vert) peuvent être dépassés autour de la machine à souder à galets



7.7. Évaluation des risques

La société a effectué une évaluation des risques spécifiques aux CEM pour son matériel de soudage, sur la base de son étude des manuels d'utilisation et des mesures prises par l'expert (tableaux 7.1, 7.2 et 7.3), conformément à la méthodologie proposée par la plateforme OIRA. L'évaluation des risques a conclu que:

- à l'endroit où se trouve généralement l'opérateur, la VA haute et la VA pour une exposition des membres ne sont pas dépassées;
- la VA basse peut être dépassée à l'endroit où se trouve l'opérateur lorsqu'il travaille sur la machine à souder à galets;
- les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE peuvent être dépassés autour de chaque machine à souder.

La société a élaboré et documenté un plan d'action à partir de l'évaluation des risques.

Tableau 7.1 — Évaluation des risques spécifiques aux CEM pour les postes de soudage par points d'établi

Dangers	Mesures de prévention et de précaution existantes	Personnes à risques	Gravité			Probabilité	Évaluation des risques	Nouvelles mesures de prévention et de précaution
			Mineure	Élevée	Fatale	Improbable	Possible	Probable
Effets directs des CEM: La VA basse peut être dépassée jusqu'à 22 cm des électrodes. Les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE peuvent être dépassés jusqu'à 1 m des électrodes.	L'opérateur se trouve généralement à plus de 30 cm des électrodes, ce qui signifie que la VA basse ne devrait pas être dépassée à cet endroit.	Opérateurs Travailleurs à risques particuliers (travailleuses enceintes)	✓			✓	Faibles	Fournir des informations et une formation aux opérateurs et autres travailleurs de l'atelier Apposer des avis d'avertissement sur le matériel Peindre une ligne de démarcation au sol pour signaler la zone où les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE peuvent être dépassés Interdire aux travailleuses enceintes d'utiliser le matériel ou de passer la ligne de démarcation lorsque le matériel est utilisé
Effets indirects des CEM (effets sur les DMIA): Les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE peuvent être dépassés jusqu'à 1 m des électrodes.	Aucune	Travailleurs à risques particuliers	✓			✓	Faibles	Fournir à tous les travailleurs des informations sur ce danger Inscrire des avertissements dans les consignes de sécurité du lieu de travail Apposer des avis d'avertissement et d'interdiction sur le matériel Interdire aux travailleurs portant un DMIA d'utiliser le matériel ou de passer la ligne de démarcation lorsque le matériel est utilisé

Tableau 7.2 — Évaluation des risques spécifiques aux CEM pour les postes de soudage par points mobiles suspendus

Dangers	Mesures de prévention et de précaution existantes	Personnes à risques	Gravité			Probabilité			Évaluation des risques	Nouvelles mesures de prévention et de précaution
			Mineure	Élevée	Fatale	Improbable	Possible	Probable		
Effets directs des CEM: Les VA haute et basse peuvent être dépassées jusqu'à 33 cm des bras porte-électrodes. Les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE peuvent être dépassés jusqu'à 1,3 m du matériel.	Aucune. Toutefois, les zones où les VA haute et basse sont dépassées sont localisées.	Opérateurs Autres travailleurs Travailleurs à risques particuliers (travailleuses enceintes)	✓				✓		Faibles	Fournir des informations et une formation aux opérateurs et autres travailleurs de l'atelier Apposer des avis d'avertissement sur le matériel Peindre une ligne de démarcation au sol pour signaler la zone où les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE peuvent être dépassés Interdire aux travailleuses enceintes d'utiliser le matériel ou de passer la ligne de démarcation lorsque le matériel est utilisé
Effets indirects des CEM (effets sur les DMIA): Les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE peuvent être dépassés jusqu'à 1,3 m des électrodes.	Aucune	Travailleurs à risques particuliers	✓				✓		Faibles	Fournir à tous les travailleurs des informations sur ce danger Inscrire des avertissements dans les consignes de sécurité du lieu de travail Apposer des avis d'avertissement et d'interdiction sur le matériel Interdire aux travailleurs portant un DMIA d'utiliser le matériel ou de passer la ligne de démarcation lorsque le matériel est utilisé

Tableau 7.3 — Évaluation des risques spécifiques aux CEM pour les machines à souder à galets

Dangers	Mesures de prévention et de précaution existantes	Personnes à risques	Gravité			Probabilité			Évaluation des risques	Nouvelles mesures de prévention et de précaution
			Mineure	Élevée	Fatale	Improbable	Possible	Probable		
Effets directs des CEM:	Aucune	Opérateurs	✓					✓	Faibles	Fournir des informations et une formation aux opérateurs et autres travailleurs, en particulier concernant les effets sensoriels potentiels et la nécessité de signaler lorsqu'ils éprouvent ces effets
La VA basse est dépassée à l'endroit où se trouve l'opérateur.		Autres travailleurs								Apposer des avis d'avertissement sur le matériel
Les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE peuvent être dépassés jusqu'à 2,45 m des électrodes.		Travailleurs à risques particuliers (travailleuses enceintes)								Peindre une ligne de démarcation au sol pour signaler la zone où les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE peuvent être dépassés Interdire aux travailleuses enceintes d'utiliser le matériel ou de passer la ligne de démarcation lorsque le matériel est utilisé
Effets indirects des CEM (effets sur les DMIA):	Aucune	Travailleurs à risques particuliers	✓				✓		Faibles	Fournir à tous les travailleurs des informations sur ce danger
Les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE peuvent être dépassés jusqu'à 2,45 m des électrodes.										Inscrire des avertissements dans les consignes de sécurité du lieu de travail
										Apposer des avis d'avertissement et d'interdiction sur le matériel Interdire aux travailleurs portant un DMIA d'utiliser le matériel ou de passer la ligne de démarcation lorsque le matériel est utilisé

7.8. Mesures de précaution déjà mises en œuvre

Avant l'évaluation conduite par l'expert, aucune mesure de précaution particulière n'avait été mise en œuvre pour limiter l'exposition aux CEM.

7.9. Mesures de précaution supplémentaires découlant de l'évaluation

À la suite de l'expertise et après une évaluation des dangers liés au matériel, la société a élaboré un plan d'action et a décidé :

- de fournir aux travailleurs des informations concernant les dangers des CEM liés aux appareils de soudage;
- de peindre des lignes de démarcation autour de l'appareil pour indiquer où les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE peuvent être dépassés;
- d'interdire aux travailleuses enceintes et aux travailleurs portant un DMIA d'utiliser l'appareil de soudage ou de passer les lignes de démarcation;
- d'apposer des avis d'avertissement concernant les champs magnétiques puissants et des avis d'interdiction pour les travailleurs portant un DMIA (illustration 7.10) sur les appareils de soudage;
- de garantir, par le biais de programmes d'intégration à l'entreprise appropriés et de la coordination avec les sous-traitants, que les personnes qui entrent dans l'atelier sont conscientes des risques.

Illustration 7.10 — Exemples d'avis d'avertissement concernant des champs magnétiques puissants et illustration du symbole d'interdiction pour les personnes portant un DMIA



Attention!
Cet appareil, lorsqu'il fonctionne, produit des champs magnétiques puissants.



Ne pas passer la ligne jaune pendant le soudage!

7.10. Référence à d'autres sources d'informations

La modélisation informatique sur la base des résultats des mesures autour des trois machines à souder confirme que les champs électriques induits respectent les VLE.

7.10.1. Poste de soudage par points d'établi

Pour le poste de soudage par points d'établi, il a été constaté que l'exposition de l'opérateur est inférieure à 1 % de la VLE (illustration 7.11). La VLE ne peut être dépassée que si le corps se trouve dans l'espace qui sépare les électrodes et le boîtier du poste de soudage, et à moins de 1 cm des électrodes pendant que l'appareil est utilisé (illustration 7.12).

Illustration 7.11 — Répartition du champ électrique induit dans le modèle humain où le tronc se trouve à 20 cm des électrodes et les mains à environ 8 cm. L'illustration montre également la répartition spatiale des champs électriques internes maximaux induits chez l'opérateur par l'exposition au poste de soudage par points a) sur la surface du corps et b) dans différentes tranches horizontales du corps

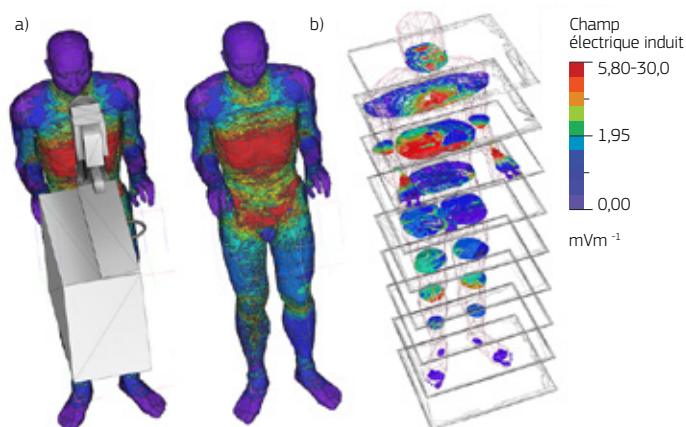
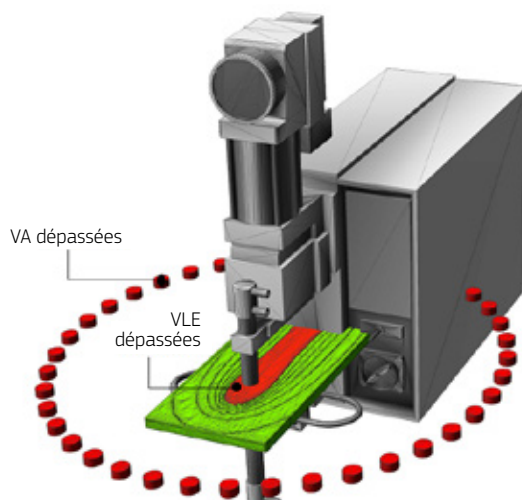


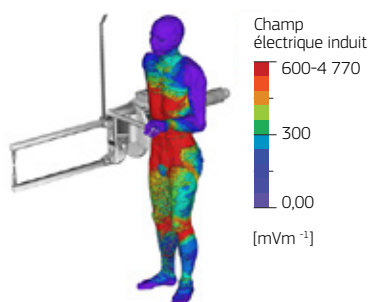
Illustration 7.12 — Courbes de niveau autour du poste de soudage par points d'établi montrant les zones où les VLE relatives aux effets sur la santé peuvent être dépassées (zone en rouge), les zones où les VLE relatives aux effets sur la santé ne sont pas dépassées (zone en vert et au-delà) et les zones où la VA basse peut être dépassée (cercles rouges)



7.10.2. Poste de soudage par points mobile suspendu

Pour le poste de soudage par points mobile suspendu, il a été constaté que les VA ne sont pas dépassées à l'endroit où se trouve l'opérateur. La répartition des champs électriques induits est cependant présentée à l'illustration 7.13.

Illustration 7.13 — Répartition spatiale des champs électriques induits maximaux dans un modèle humain exposé au poste de soudage par points mobile suspendu



7.10.3. Machine à souder à galets

La VA basse était dépassée à l'endroit où se trouvait l'opérateur. Toutefois, la modélisation informatique révèle que l'exposition à cet endroit est inférieure à 50 % de la VLE. La répartition du champ électrique induit est présentée à l'illustration 7.14. Il a été constaté que les VLE ne peuvent être dépassées que si le corps se trouve dans l'espace entre les électrodes et le boîtier de la machine à souder, ou à moins de 5 cm des électrodes pendant que la machine est utilisée. Cette zone est marquée en rouge dans l'illustration 7.15.

Illustration 7.14 — Répartition spatiale des champs électriques induits maximaux dans un modèle humain exposé à la machine à souder à galets

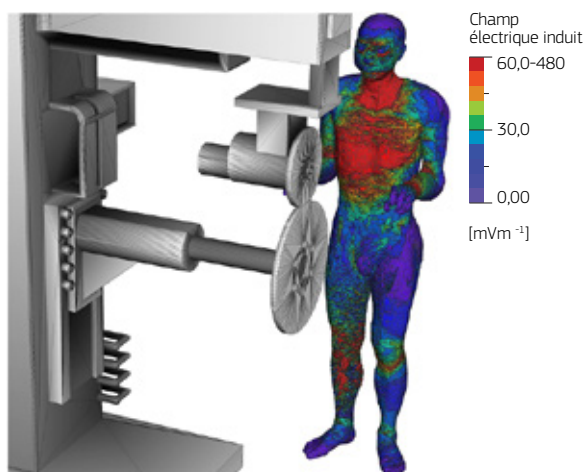
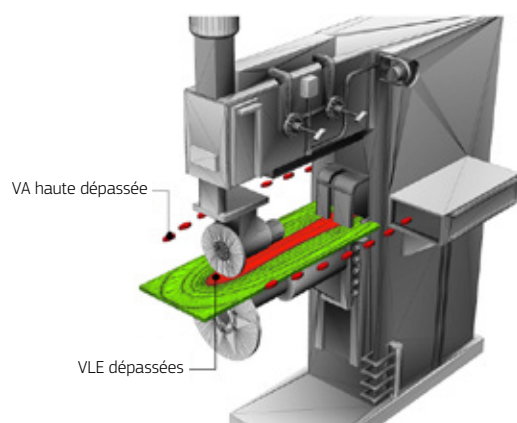


Illustration 7.15 — Courbes de niveau autour de la machine à souder à galets montrant les zones où les VLE relatives aux effets sur la santé peuvent être dépassées (zone en rouge), les zones où les VLE relatives aux effets sur la santé ne sont pas dépassées (zone en vert et au-delà) et les zones où la VA haute peut être dépassée (pointillés rouges)



8. MÉTALLURGIE

Dans la présente étude de cas, les sources de CEM sont notamment:

- des fours à induction;
- des fours à arc;
- un analyseur de carbone et de soufre comprenant un petit four.

8.1. Lieu de travail

Les équipements sources de CEM sont utilisés dans différents lieux de travail d'une usine qui produit des métaux et alliages spéciaux pour différents secteurs industriels. Les lieux de travail concernés sont:

- une installation produisant un petit volume d'alliage;
- une installation produisant du ferrotitane;
- une grande installation électrique de fonte;
- une installation avec des fours à arc;
- un laboratoire d'analyses.

8.2. Nature du travail

Les métaux et les alliages sont fabriqués à partir des matières premières dans différents lieux situés à proximité de l'usine, et l'entreprise effectue également des essais et des analyses dans un laboratoire.

La plus grande partie des tâches faisant l'objet de cette étude de cas concernent le chargement manuel des fours qui, en fonction de l'installation, a souvent lieu lorsqu'ils sont en fonctionnement.

Toutes les opérations d'entretien et de réparation de l'installation ont été effectuées lorsqu'elle était hors tension à cause d'autres risques comme les chocs électriques, les brûlures, les machines en mouvement, etc.

8.3. Informations sur les équipements générant des CEM et leur utilisation

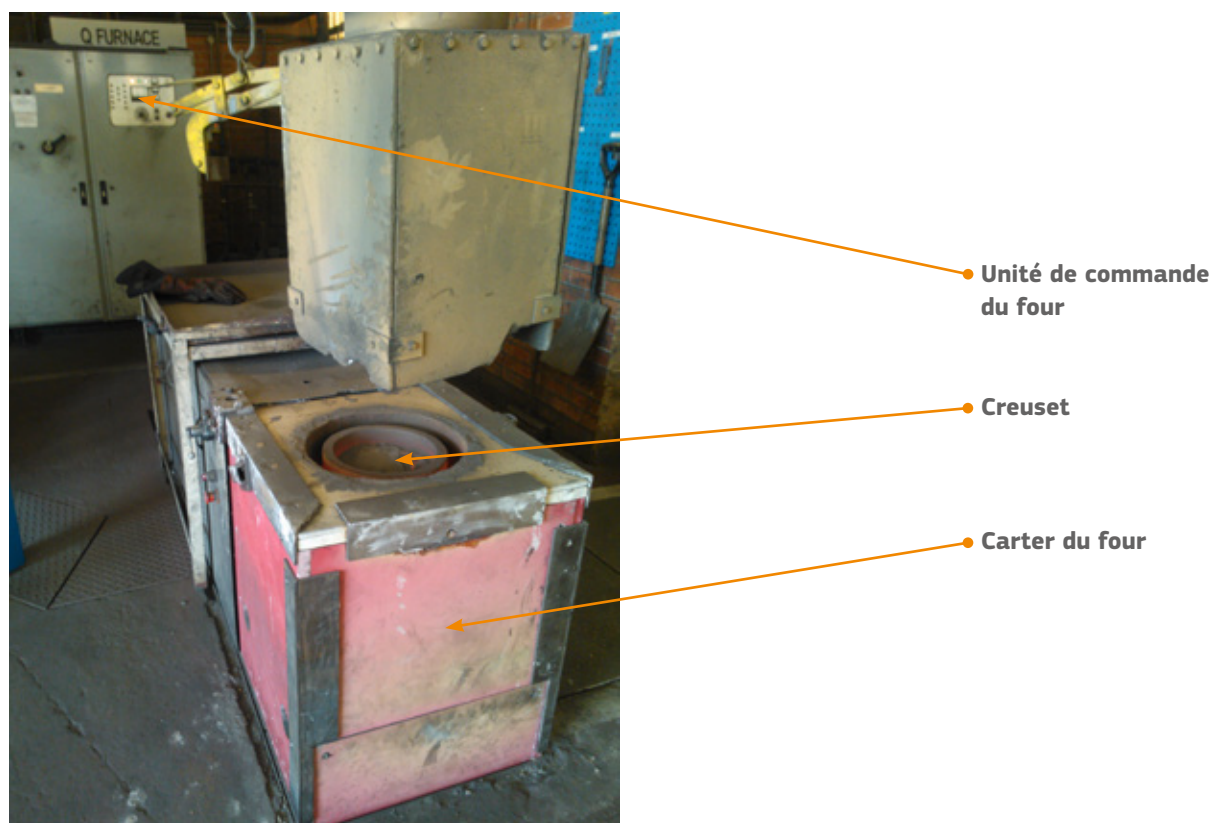
8.3.1. Installation produisant un petit volume d'alliage

Cette installation produit des alliages dans un petit four à induction (environ 30 cm de diamètre). Le four à induction fonctionne à des fréquences comprises entre 2,4 et 2,6 kHz et des puissances comprises entre 60 et 160 kW. Le four est présenté à l'illustration 8.1 et le mode opératoire est le suivant:

- un creuset contenant 45 kg au maximum de matière première est chargé dans le four;
- l'opérateur règle la puissance sur 60 kW et met le four sous tension (fréquence de 2,42 kHz);

- la puissance passe automatiquement à 160 kW pendant une période d'environ 25 minutes;
- la fréquence augmente également et atteint 2,6 kHz pendant cette période;
- au bout d'environ 25 minutes, l'opérateur réduit la puissance à 80 kW;
- au bout de 5 minutes supplémentaires, l'opérateur met le four hors tension et retire le creuset.

Illustration 8.1 — Installation avec four à induction pour la production d'un petit volume d'alliage



8.3.2. Installation de production de ferrotitane

Cette installation est composée de deux fours à induction d'une capacité de 1,5 tonne, alimentés par une seule unité de commande à puissance inductive variable (VIP). Les fours fonctionnent à des fréquences comprises entre 217 et 232 Hz et à une puissance de 600 kW. Les creusets sont mis en place manuellement, en général lorsque les fours fonctionnent.

8.3.3. Grande installation électrique de fonte

Cette installation comprend dix fours à induction, qui ont chacun une capacité de 1,5 tonne et fonctionnent à une fréquence de 50 Hz. Les bobines d'induction font partie intégrante des creusets. Elles peuvent continuer leur action de sorte que le métal reste liquide lorsqu'on le verse.

Les creusets sont placés dans une plate-forme surélevée, leur bord supérieur étant au niveau de la plate-forme, et les opérateurs chargent en général les creusets à la main à

partir de la plate-forme pendant le processus de fonte. À la fin du processus de fonte, les creusets sont inclinés pour verser le métal fondu.

Les fours fonctionnent à des puissances comprises entre 70 et 1 300 kW. La puissance d'alimentation des fours varie au cours du processus de fonte et baisse vers la fin parce qu'il faut moins d'énergie pour conserver le métal à l'état liquide une fois qu'il est complètement fondu.

Les fours sont alimentés par des transformateurs placés dans des cellules sous les fours. Les transformateurs et les barres collectrices sont dans des cages dont l'accès est protégé par un système à clé Castell. Les unités de commande à puissance inductive variable sont placées dans des salles de commande sur la plate-forme du four.

8.3.4. Installation avec des fours à arc

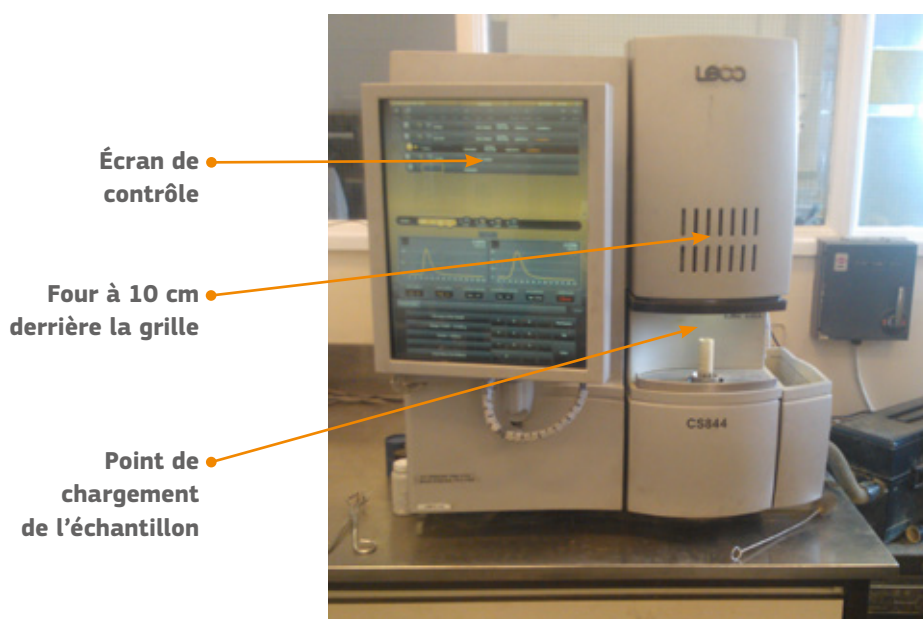
Cette installation comprend deux fours à arc produisant du nickel-bore et du chrome-bore qui fonctionnent à une fréquence de 50 Hz. Ce sont des fours par lots en continu qui produisent environ une tonne de produit par lot. Ces fours sont chargés manuellement et commandés à partir des salles de commande.

Les fours fonctionnent à des puissances comprises entre 500 et 1 000 kW. Les transformateurs et les barres collectrices du système d'alimentation électrique des fours sont placés dans des cages dont l'accès est protégé par un système à clé Castell.

8.3.5. Laboratoire d'analyses

Ce laboratoire utilise un analyseur de carbone et de soufre de table comprenant un petit four de 2,2 kW qui fonctionne à une fréquence de 18 MHz. L'opérateur met les échantillons en place dans l'analyseur. Ils sont montés dans le centre de la bobine du four qui est placée dans l'analyseur, à environ 10 cm à l'intérieur des carters. Le four est ensuite alimenté pendant environ une minute pour que l'analyse s'effectue, puis l'échantillon est redescendu du four et retiré par l'opérateur. Tout le processus, du chargement de l'échantillon à son retrait, est automatique et l'opérateur n'a pas besoin de rester près de l'analyseur pendant qu'il fonctionne. L'analyseur est présenté à l'illustration 8.2.

Illustration 8.2 — Analyseur de carbone et de soufre dans le laboratoire d'analyses



8.4. Méthode d'évaluation de l'exposition

Les mesures d'exposition ont été effectuées par un expert-conseil utilisant des instruments spécialisés. Étant donné la taille du site et les nombreux lieux de travail où des CEM peuvent être rencontrés, une enquête initiale a été menée pour repérer toutes les zones dans lesquelles les VA pouvaient être dépassées. Ces zones ont ensuite été de nouveau contrôlées et d'autres mesures plus détaillées ont été effectuées afin de préparer un plan d'action. Toutes les mesures concernent des lieux accessibles aux travailleurs pendant que les équipements fonctionnent.

Les mesures ont été axées sur les champs magnétiques générés par les équipements, étant donné qu'il s'agit probablement des éléments dont la contribution à l'exposition des travailleurs est la plus importante.

Lorsque l'exposition des travailleurs à risques particuliers a été évaluée, une comparaison a été établie avec les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE (voir l'annexe E du volume 1 du guide).

8.4.1. Installation produisant un petit volume d'alliage

Les mesures ont été effectuées en différents points autour de l'installation pendant la durée du processus de fonte, et notamment:

- près du four;
- près de l'unité de commande;
- près des câbles d'alimentation de l'unité de commande;
- près des câbles reliant l'unité de commande au four;
- dans la cabine de l'opérateur.

8.4.2. Installation de production de ferrotitane

Les mesures ont été effectuées en différents points autour de l'installation pendant la durée du processus de fonte, et notamment:

- près des fours;
- près de l'unité de commande VIP;
- près des câbles d'alimentation de l'unité de commande;
- près des câbles reliant l'unité de commande au four;
- au pupitre de l'opérateur.

8.4.3. Grande installation électrique de fonte

Les mesures ont été effectuées en de nombreux points proches de l'installation pendant que les fours fonctionnaient, et notamment:

- aux endroits où les opérateurs chargent les fours à partir de la plate-forme;
- aux endroits où les opérateurs actionnent le mécanisme d'inclinaison du creuset;
- près du creuset pendant l'inclinaison;
- dans les salles de commande;

- près des unités de commande VIP;
- près des câbles d'alimentation des unités de commande;
- près des câbles reliant les unités de commande aux fours;
- à l'extérieur des cages, dans les cellules des transformateurs;
- sous les barres collectrices, aux points d'accès les plus proches.

8.4.4. Installation avec des fours à arc

Les mesures ont été effectuées en de nombreux points proches de l'installation pendant que les fours fonctionnaient, et notamment:

- aux endroits où les opérateurs chargent les fours;
- dans les salles de commande;
- près des unités de commande;
- aux points d'accès les plus proches de la base des fours;
- sous les barres collectrices, aux points d'accès les plus proches;
- autour des cages des transformateurs;
- sur les passerelles, autour des fours.

8.4.5. Laboratoire d'analyses

Les mesures ont été effectuées près de l'analyseur pendant que le four fonctionnait. La zone proche du four et la zone où se place l'opérateur pendant l'analyse ont fait l'objet d'une attention particulière.

8.5. Résultats de l'évaluation de l'exposition

8.5.1. Évaluation initiale de l'exposition

Les résultats des mesures d'exposition ont été comparés avec les VA haute et basse et les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE. Si les résultats étaient supérieurs aux VA dans une zone de travail, une autre mesure était effectuée pour déterminer la distance à laquelle l'induction magnétique était égale à 100 % de la VA, afin de décider s'il était nécessaire d'affiner l'évaluation en fonction de la probabilité que la zone dans laquelle la VA était dépassée soit occupée. Les principaux résultats de l'évaluation initiale de l'exposition sont résumés dans le tableau 8.1.

Tableau 8.1 — Synthèse des principaux résultats de l'évaluation initiale de l'exposition

Zone de travail	Équipement	Zones de plus forte exposition et emplacement de la limite de la VA (le cas échéant)	Fraction de l'exposition (pourcentage)		
			VA basse	VA haute	Niveau de référence rec. 1999/519/CE
Installation produisant un petit volume d'alliage	Four à induction (entre 2,42 et 2,6 kHz)	À 50 cm du bord du carter du four	190 % ⁽¹⁾	190 % ⁽¹⁾	3 500 % ⁽²⁾
		À 80 cm du bord du carter du four	100 % ⁽¹⁾	100 % ⁽¹⁾	1 800 % ⁽²⁾
Installation de production de ferrotitane	Deux fours à induction (entre 217 et 232 Hz)	À hauteur du torse lorsqu'on se tient debout près de l'unité de commande VIP	7,8 % ⁽³⁾	6,0 % ⁽⁴⁾	360 % ⁽⁵⁾
Grande installation électrique de fonte	Dix fours à induction (50 Hz)	À 30 cm des câbles de liaison au creuset pendant l'inclinaison	40 % ⁽³⁾	6,7 % ⁽⁶⁾	400 % ⁽⁷⁾
Installation avec des fours à arc	Deux fours à arc (50 Hz)	À hauteur du torse lorsqu'on se tient debout au point d'accès le plus proche de la base du four	70 % ⁽³⁾	12 % ⁽⁶⁾	700 % ⁽⁷⁾
Laboratoire d'analyses	Analyseur de carbone et de soufre comprenant un four RF (18 MHz)	À 20 cm de la surface du boîtier de l'analyseur	110 % ⁽⁸⁾		230 % ⁽⁹⁾
		À 22 cm de la surface du boîtier de l'analyseur	100 % ⁽⁸⁾		220 % ⁽⁹⁾

⁽¹⁾ VA haute et basse pour l'induction magnétique à une fréquence de 2,6 kHz: 115 µT.

⁽²⁾ Niveau de référence défini dans la recommandation 1999/519/CE à une fréquence de 2,6 kHz: 6,25 µT.

⁽³⁾ VA basse pour l'induction magnétique à des fréquences comprises entre 25 et 300 Hz: 1 000 µT.

⁽⁴⁾ VA haute pour l'induction magnétique à une fréquence de 230 kHz: 1 300 µT.

⁽⁵⁾ Niveau de référence défini dans la recommandation 1999/519/CE à une fréquence de 230 Hz: 21,7 µT.

⁽⁶⁾ VA haute pour l'induction magnétique à une fréquence de 50 kHz: 6 000 µT.

⁽⁷⁾ Niveau de référence défini dans la recommandation 1999/519/CE à une fréquence de 50 Hz: 100 µT.

⁽⁸⁾ VA pour l'induction magnétique à des fréquences comprises entre 10 et 400 MHz: 0,2 µT.

⁽⁹⁾ Niveau de référence défini dans la recommandation 1999/519/CE à des fréquences comprises entre 10 et 400 MHz: 0,092 µT.

NB: L'incertitude des mesures a été estimée à ± 10 % et, conformément à l'approche de «partage des risques» (voir l'annexe D.5 du volume 1 du guide), les résultats sont exprimés en pourcentages directs des VA.

Les résultats de l'évaluation initiale de l'exposition ont fourni à l'entreprise les informations suivantes:

- les VA haute et basse ont été dépassées jusqu'à une distance de 80 cm du four à induction de l'installation produisant un petit volume d'alliage. Les travailleurs peuvent facilement accéder à cette zone pendant le processus de fonte;
- la VA a été dépassée jusqu'à une distance de 22 cm de l'analyseur de carbone et de soufre dans le laboratoire d'analyses et aucune partie du corps des travailleurs n'était dans cette zone lorsque le four fonctionnait;
- les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE ont été dépassés dans des lieux accessibles de toutes les zones de travail évaluées.

Pour l'analyseur de carbone et de soufre, la zone dans laquelle la VA a été dépassée est restreinte, et le mode de fonctionnement de l'analyseur garantit que les travailleurs ne sont pas susceptibles d'être exposés à des champs électriques et magnétiques dépassant les VA.

L'expert s'est appuyé sur les résultats de l'évaluation initiale de l'exposition pour approfondir l'évaluation du four à induction de l'installation produisant un petit volume d'alliage.

8.5.2. Évaluation détaillée de l'exposition pour le four à induction de l'installation produisant un petit volume d'alliage

L'expert a mené une évaluation de l'exposition incluant une observation du mode opératoire du four afin de trouver une solution pratique au problème.

L'induction magnétique a été mesurée plusieurs fois à différents endroits à proximité du four. Ces mesures ont permis d'établir les contours des VA et des niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE. La zone où les VA ont été dépassées a également été marquée au sol (illustration 8.3). Les principaux résultats de l'évaluation détaillée de l'exposition figurent dans le tableau 8.2. Un dessin à l'échelle du four, montrant les contours des VA et des niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE, est présenté au schéma 8.4.

Tableau 8.2 — Synthèse des principaux résultats de l'évaluation détaillée de l'exposition pour le four à induction de l'installation produisant un petit volume d'alliage

Lieu de mesure	Fraction de l'exposition (pourcentage)		
	VA haute et basse ⁽¹⁾	VA pour une exposition des membres ⁽²⁾	Niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE ⁽³⁾
À 45 cm du bord du carter du four (distance par rapport à la VA pour une exposition des membres)	300 %	100 %	5 500 %
À 80 cm du bord du carter du four (distance par rapport à la VA pour une exposition des membres)	100 %	33 %	1 800 %
À 300 cm du bord du carter du four (distance par rapport au niveau de référence défini dans la recommandation 1999/519/CE)	5,4 %	1,8 %	100 %
À hauteur du torse lorsqu'on se tient debout près de l'unité de commande	3,5 %	1,2 %	64 %
À 450 cm du bord du carter du four (à hauteur du torse lorsqu'on se tient debout dans la cabine de l'opérateur)	2,0 %	0,67 %	37 %

⁽¹⁾ VA haute et basse pour l'induction magnétique à une fréquence de 2,6 kHz: 115 µT

⁽²⁾ VA pour une exposition des membres pour l'induction magnétique à une fréquence de 2,6 kHz: 346 µT

⁽³⁾ Niveau de référence défini dans la recommandation 1999/519/CE à une fréquence de 2,6 kHz: 6,25 µT

NB: L'incertitude des mesures a été estimée à ± 10 % et, conformément à l'approche de «partage des risques» (voir l'annexe D.5 du volume 1 du guide), les résultats sont exprimés en pourcentages directs des VA.

Illustration 8.3 — Marquage au sol de la zone où les VA haute et basse sont dépassées

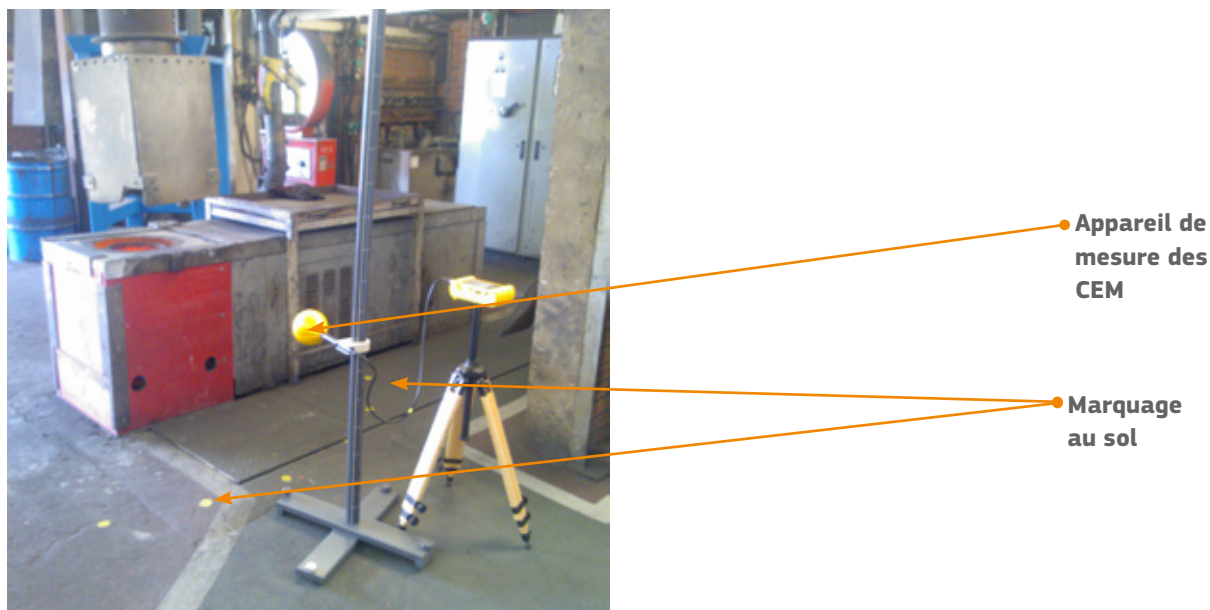
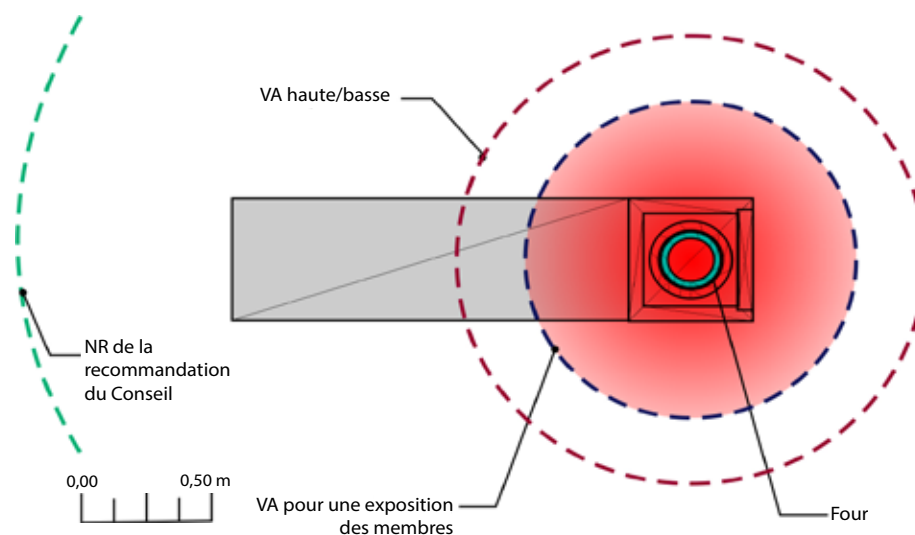


Schéma 8.4 — Vue en plan montrant les contours des zones où les VA et les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE peuvent être dépassés à proximité du four à induction de l'installation produisant un petit volume d'alliage



Les contours présentés au schéma 8.4 ont la forme de cercles ayant pour centre le milieu du four. Il a été observé que l'opérateur n'avait pas besoin de pénétrer dans la zone délimitée par les contours des VA haute et basse pendant le fonctionnement du four. En effet, toutes les tâches nécessitant d'accéder à cette zone (chargement du creuset dans le four avant l'opération de fusion et déchargement à la fin de l'opération) ont été effectuées lorsque le four était hors tension (illustration 8.5). La meilleure forme d'action pour limiter l'exposition aux champs magnétiques puissants consiste donc à empêcher l'accès à la zone. Il a cependant été noté que l'installation de barrières autour du four n'était pas envisageable parce que cela créerait un obstacle et augmenterait le risque de voir se produire des accidents plus graves lors de la manutention des creusets.

Illustration 8.5 — Les tâches supposant de s'approcher du four ont été effectuées lorsque le four était hors tension



8.6. Évaluation des risques

L'entreprise a mené une évaluation des risques spécifiques aux CEM sur le site, en se fondant sur l'évaluation de l'exposition effectuée par l'expert. Cette démarche correspondait à la méthodologie suggérée par la plate-forme OIRA. Les conclusions de l'évaluation des risques sont les suivantes:

- les travailleurs à risques particuliers peuvent être en danger dans toutes les zones de travail du site;
- les travailleurs, et notamment ceux à risques particuliers, ont accès sans restriction à une zone où les VA sont dépassées dans l'installation produisant un petit volume d'alliage.

L'entreprise a élaboré un plan d'action documenté à partir de l'évaluation des risques.

Le tableau 8.3 présente un exemple d'évaluation des risques spécifiques aux CEM pour le site.

Tableau 8.3 — Évaluation des risques spécifiques aux CEM pour un site métallurgique

Dangers	Mesures de prévention et de précaution existantes	Personnes à risques	Gravité			Probabilité			Évaluation des risques	Nouvelles mesures de prévention et de précaution
			Mineure	Élevée	Fatale	Improbable	Possible	Probable		
Effets directs des champs magnétiques	Aucune	Travailleurs de l'installation produisant un petit volume d'alliage	✓					✓	Moyens	Empêcher l'accès à la zone où les VA sont dépassées Installer des avis d'avertissement adaptés dans les zones de travail où les VA sont dépassées
		Travailleurs de toutes les autres zones évaluées	✓			✓			Faibles	Donner aux travailleurs des avertissements spécifiques au cours des formations relatives à la sécurité sur le site
		Visiteurs	✓				✓		Faibles	Installer des avis d'avertissement destinés aux personnes portant des implants médicaux aux points d'accès des autres zones de travail
		Travailleurs à risques particuliers (notamment les travailleuses enceintes)		✓			✓		Moyens	Mettre en garde les visiteurs et les sous-traitants dans les consignes de sécurité sur le site
Effets indirects des champs magnétiques (interférences avec les implants médicaux)	Aucune	Travailleurs à risques particuliers		✓			✓		Moyens	Voir ci-dessus

8.7. Mesures de précaution déjà mises en œuvre

L'accès aux transformateurs et aux barres collectrices des installations avait été limité à cause du risque de choc électrique. L'accès aux éventuels champs magnétiques puissants avait par conséquent été également restreint, mais aucune mesure de précaution spécifiquement liée à l'exposition aux CEM n'a été prise avant que l'expert n'effectue l'évaluation de l'exposition.

Il est important d'observer que les VA n'ont jamais été dépassées dans les endroits normalement accessibles à proximité des grands fours de production ou de leurs unités de commande, malgré les puissances nettement plus élevées. Cela résulte probablement de la taille physique de l'installation, qui interdit l'accès aux champs magnétiques éventuellement puissants. Les zones où les VA peuvent être dépassées se trouvent autour des installations plus petites simplement parce qu'il est possible de s'en approcher davantage.

8.8. Mesures de précaution supplémentaires découlant de l'évaluation

Sur la base des résultats de l'évaluation de l'exposition, l'entreprise a mis en place des mesures de protection et de prévention pour que les travailleurs, notamment ceux à risques particuliers, ne soient pas exposés aux CEM à des niveaux préjudiciables. Certaines précautions supplémentaires ont été prises immédiatement après l'évaluation initiale de l'exposition, notamment:

- l'interdiction aux personnes portant des implants médicaux de pénétrer dans les zones de travail;
- l'ajout dans le film d'intégration de l'entreprise sur la santé et la sécurité d'un avertissement mentionnant l'existence de champs magnétiques puissants et informant les personnes portant un implant médical;
- la mise en place, aux points d'accès des zones de travail concernées, d'avis d'avertissement portant les pictogrammes «Champ magnétique» et «Pas d'implants médicaux» accompagnés d'une formulation appropriée (illustration 8.6).

À la suite de l'évaluation plus détaillée de l'exposition, d'autres mesures de protection et de prévention ont été prises:

- des marquages au sol autour du four à induction de l'installation produisant un petit volume d'alliage pour matérialiser la zone où les VA ont été dépassées (illustration 8.7) et l'instruction donnée aux travailleurs de ne pas pénétrer dans la zone lorsque le four fonctionne;
- l'affichage près du four à induction d'avis d'avertissement portant le pictogramme «Champ magnétique puissant» et un pictogramme d'interdiction, accompagnés de la formulation appropriée (illustration 8.7).

Illustration 8.6 — Exemple d'avis d'avertissement affiché aux points d'accès des zones de travail

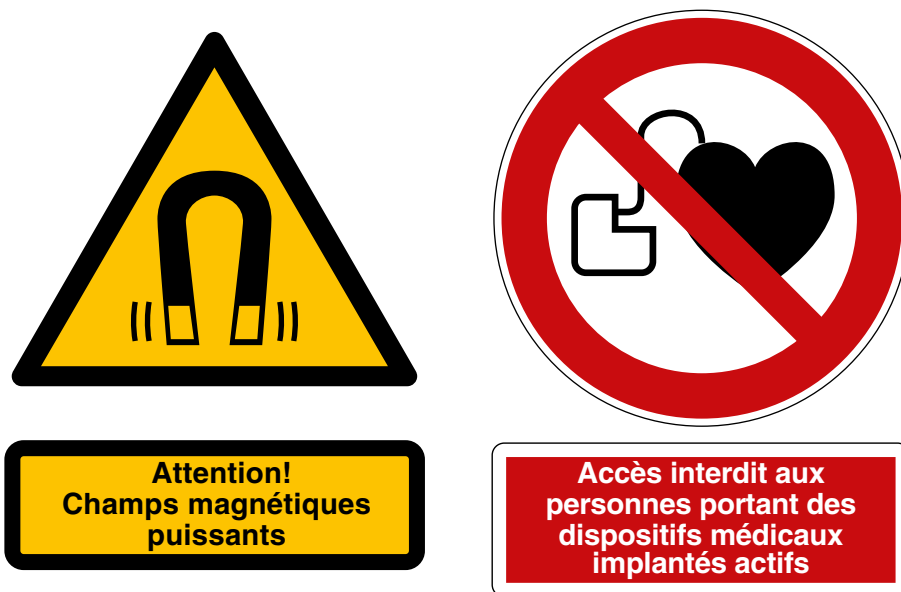
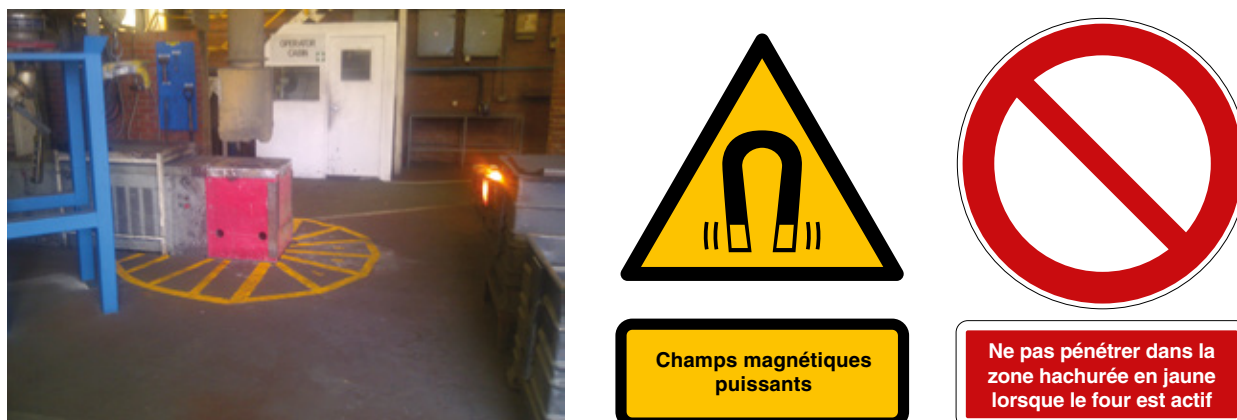


Illustration 8.7 — Marquage au sol associé à un avis d'avertissement pour indiquer la zone où les VA peuvent être dépassées



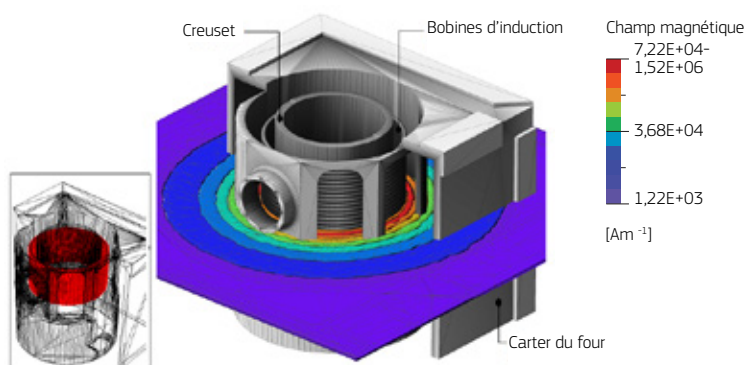
8.9. Référence à des sources d'informations supplémentaires

Pour compléter son action, l'entreprise a demandé à un expert de procéder à une modélisation informatique de l'exposition potentielle, par rapport aux VLE, d'un travailleur se trouvant dans la zone hachurée pendant le fonctionnement du four de l'installation produisant un petit volume d'alliage.

Cette modélisation informatique visait à évaluer les champs électriques internes induits dans le corps d'un opérateur très proche du four en fonctionnement. Les paramètres de modélisation ont été définis spécifiquement pour que le modèle produise des valeurs d'intensité des champs magnétiques similaires à celles obtenues dans la phase de mesure de l'évaluation d'exposition.

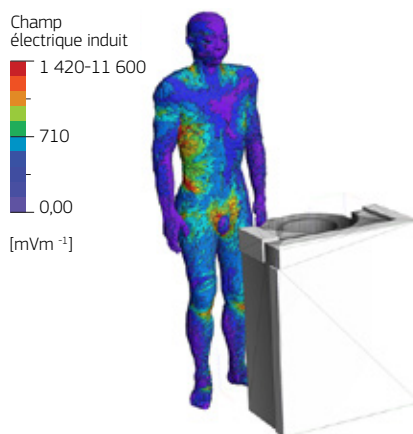
La répartition spatiale du champ magnétique dans le plan x-y autour du four à induction, telle que générée par le modèle, est présentée à l'illustration 8.8. Ces valeurs de champ obtenues par le calcul correspondent aux valeurs mesurées pendant l'évaluation de l'exposition et montrent en outre que, si l'intensité des champs magnétiques est relativement élevée aux abords immédiats de la bobine d'induction du four, elle diminue très rapidement lorsqu'on s'en éloigne.

Illustration 8.8 — Répartition spatiale du champ magnétique dans le plan x-y, autour d'une représentation en coupe du four à induction, telle que générée par le modèle. La bobine d'induction est représentée en rouge (incrustation)



Le calcul des champs électriques internes induits dans le corps a été effectué pour un travailleur se tenant à 65 cm du centre du four à induction. La répartition du champ électrique induit dans un modèle humain est présentée à l'illustration 8.9. La valeur de champ électrique la plus élevée, calculée dans le corps dans cette situation d'exposition, est de 916 mVm^{-1} (dans le tissu osseux). Ce chiffre représente 83 % de la VLE relative aux effets sur la santé à 2,43 kHz.

Illustration 8.9 — Répartition spatiale des champs électriques internes maximaux induits dans un modèle humain à la suite d'une exposition au four à induction

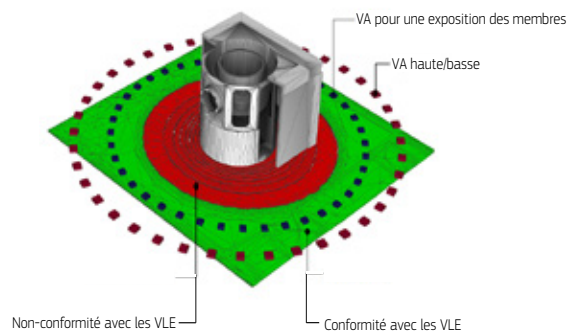


On a pu définir une zone où la VLE relative aux effets sur la santé pouvait être dépassée à la suite d'une exposition au four à induction, en effectuant des simulations d'exposition avec un modèle humain et en faisant varier la distance par rapport au four.

Les résultats montrent que la VLE n'est dépassée que si le corps est situé dans un rayon d'environ 60 cm par rapport au centre du four en fonctionnement. Il s'agit approximativement de la zone en rouge sur l'illustration 8.10. Les zones dans lesquelles les VA peuvent être dépassées sont également indiquées (schéma 8.4).

Étant donné que le four est monté dans un carter dont les dimensions sont de 63 cm x 63 cm environ (c'est-à-dire placé à environ 31,5 cm du centre du four), il faudrait, pour que les VLE soient dépassées, qu'un travailleur se tienne tellement près du carter du four que ce cas de figure d'une exposition a été considéré comme improbable. Cela a conforté l'entreprise dans l'idée que le marquage au sol constituait une mesure de prévention appropriée.

Illustration 8.10 — Contours autour du four à induction matérialisant les zones où la VLE relative aux effets sur la santé pourrait être dépassée (zone rouge). L'illustration montre également les zones dans lesquelles la VLE relative aux effets sur la santé n'est pas dépassée (en vert et au-delà) et les zones où les VA pourraient être dépassées (carrés bleus et rouges).



9. DISPOSITIFS À PLASMA RADIOFRÉQUENCE (RF)

Les dispositifs à plasma RF sont généralement utilisés dans la fabrication de dispositifs à semi-conducteurs comme les circuits intégrés. Ils sont également utilisés dans d'autres secteurs d'activité, notamment pour le nettoyage de composants optiques, dans des applications spectroscopiques et dans la recherche. La présente étude de cas porte sur les dispositifs à plasma RF utilisés pour fabriquer des tranches de matériau semi-conducteur (également appelées «galettes», «plaquettes» ou «*wafers*») dans une salle blanche. L'employeur s'inquiétait du risque potentiel encouru par un travailleur portant un stimulateur cardiaque, qui s'apprêtait à reprendre son travail. Le fabricant du stimulateur a transmis à l'employeur des données détaillées sur les limites d'exposition du stimulateur cardiaque aux champs électromagnétiques.

9.1. Nature du travail

La tâche du porteur du stimulateur cardiaque consiste généralement à introduire les tranches dans les dispositifs à plasma RF et à faire fonctionner ces appareils (illustration 9.1).

Illustration 9.1 — Zone d'introduction des tranches



Illustration 9.2 — Chambres de réaction dans la zone d'entretien



9.2. Informations sur les équipements générant des CEM

Les dispositifs à plasma RF utilisés sur ce lieu de travail sont généralement constitués d'une source de radiofréquences et d'une chambre de réaction sous vide (illustration 9.2). Certains appareils présents sur place intègrent plusieurs sources de radiofréquences ou plusieurs chambres de réaction. Le champ RF généré sert à créer et à entretenir une décharge de plasma utilisée pour la gravure, le dépôt de couches minces et le décapage de la plaquette dans la chambre. Les radiofréquences produites peuvent aller de quelques centaines de kilohertz à quelques gigahertz. Les fréquences généralement utilisées sont de 400 kHz, 13,56 MHz et 2,45 GHz.

Avec ce type de dispositif, le champ RF est habituellement contenu par le bâti de l'équipement et la chambre de réaction métallique. Des fuites sont toutefois possibles si le bâti comporte des interstices résultant par exemple de panneaux mal alignés ou mal montés, de vis manquantes, de connexions défectueuses ou de guides d'ondes flexibles endommagés. Toute fuite de rayonnement électromagnétique au niveau de la chambre de réaction ou des guides d'ondes sera probablement détectée du fait qu'elle entraînera également une perte de vide. Certaines chambres comportent des fenêtres d'inspection dotées d'un écran de protection (écran Faraday); des écrans manquants ou endommagés peuvent occasionner des fuites de rayonnement électromagnétique RF.

Certains dispositifs intègrent également des aimants puissants, d'où la présence de champs magnétiques statiques.

9.3. Utilisation des équipements

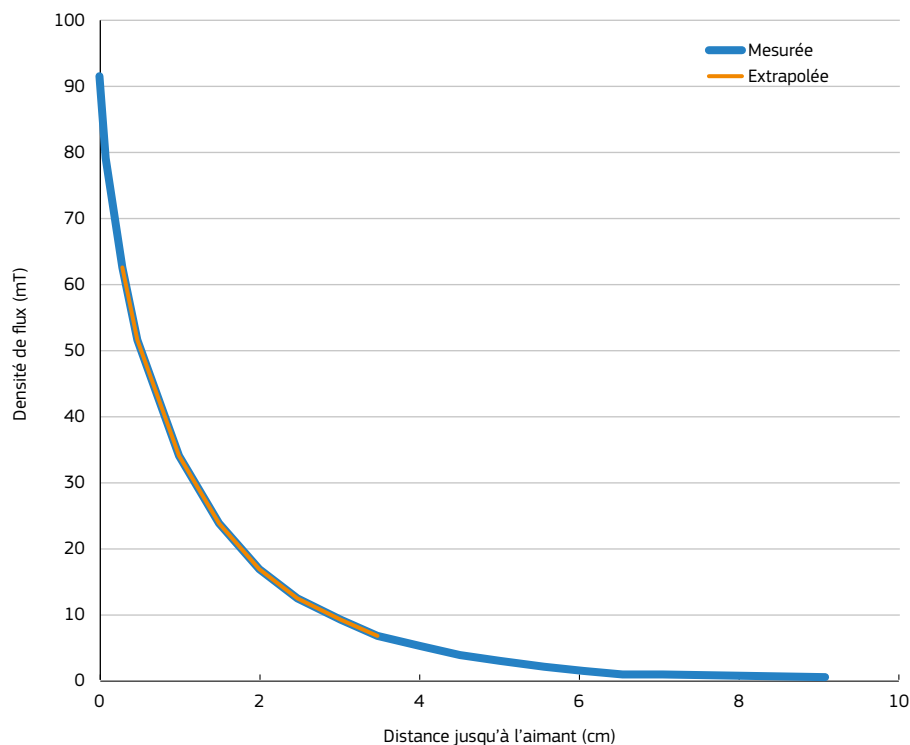
Le porteur du stimulateur cardiaque reste généralement dans la zone de production de la salle blanche, là où l'on commande l'équipement et où les plaquettes sont introduites. Les chambres de réaction et les générateurs de radiofréquences associés à chaque machine sont situés dans la zone d'entretien. Le travailleur concerné est susceptible de pénétrer dans la zone d'entretien, mais il n'effectuera aucune opération d'entretien ou de maintenance du matériel.

9.4. Méthode d'évaluation de l'exposition

Il aurait été possible de réaliser des mesures des champs électromagnétiques autour de cet équipement. Cependant, cela aurait nécessité de recourir aux services d'un expert-conseil possédant un appareillage de mesure spécialisé. Plusieurs appareils de mesure auraient été nécessaires en raison des différentes fréquences utilisées. De plus, pour les champs à fréquences intermédiaires (400 kHz et 13,56 MHz par exemple), les mesures auraient dû être effectuées dans le «champ proche». Les champs électriques et magnétiques auraient dû être mesurés séparément. Pour les fréquences plus élevées (2,45 GHz), les mesures sont généralement effectuées dans le «champ éloigné». Dans ce cas, les champs électriques et magnétiques se propagent sous la forme d'une onde électromagnétique et il est donc courant de ne mesurer alors que le champ électrique. La relation qui existe entre les deux champs permettra de déduire les valeurs du champ magnétique à partir des mesures du champ électrique.

Dans une première phase de l'évaluation de l'exposition, l'employeur est entré en contact avec les fabricants des dispositifs à plasma RF pour leur demander des renseignements sur la possibilité de fuites de rayonnement électromagnétique au niveau de l'équipement et sur la distance à partir de laquelle ces fuites éventuelles pourraient représenter un danger.

Un des fabricants lui a transmis un graphique (graphique 9.3) illustrant la diminution de la valeur du champ magnétique statique en fonction de la distance par rapport aux aimants puissants installés dans les appareils. Il a ainsi informé l'employeur qu'à une distance de 10 cm par rapport aux aimants, la densité de flux devenait inférieure à 0,5 mT.

Graphique 9.3 — Diminution de l'induction magnétique en fonction de la distance

Le fabricant du stimulateur cardiaque a fourni des limites de sécurité pour plusieurs sources d'interférences électromagnétiques (tableau 9.1). L'employeur a fait remarquer que l'intensité des champs magnétiques statiques était exprimée en gauss et qu'il faudrait procéder à une conversion en milliteslas pour se conformer à la directive CEM.

Tableau 9.1 — Limites de sécurité fournies par le fabricant du stimulateur cardiaque (limites propres au stimulateur porté par le travailleur)

Source d'interférences électromagnétiques	Limite d'intensité du champ électromagnétique (RMS)
Fréquence du secteur (50/60 Hz)	10 000 V/m (6 000 V/m; en dehors des valeurs nominales)
Haute fréquence (150 kHz et plus)	141 V/m
Champs magnétiques statiques (courant continu)	10 gauss
Champs magnétiques modulés	80 A/m jusqu'à 10 kHz et 1 A/m au-delà de 10 kHz

L'employeur n'ayant pas pu obtenir des fabricants des informations relatives aux champs RF, il a alors décidé d'engager un expert pour effectuer des mesures autour de certains dispositifs à plasma RF.

9.5. Résultats de l'évaluation de l'exposition

L'employeur a converti les valeurs limites fournies par le fabricant du stimulateur cardiaque (tableau 9.1) dans les unités utilisées dans la directive CEM (tableau 9.2). En comparant les résultats des mesures aux valeurs limites, on constate que ces valeurs n'ont pas été dépassées autour de la machine de gravure au plasma.

Tableau 9.2 — Limites prévues pour le stimulateur cardiaque (communiquées par le fabricant du stimulateur)

Fréquence	Limite
Champs électriques, 150 kHz et plus	141 Vm ⁻¹
Champs magnétiques statiques (courant continu)	1 mT
Champs magnétiques au-delà de 10 kHz	1,25 µT

Les résultats des mesures effectuées sont détaillés dans les tableaux ci-dessous. Le tableau 9.3 présente les résultats des mesures effectuées autour d'une machine de gravure à plasma RF fonctionnant à une fréquence de 400 kHz. Les mesures ont été réalisées tout autour de la machine. Toutefois, les champs électriques et magnétiques les plus forts ont été mesurés au niveau des joints de l'enceinte du générateur de radiofréquences. Les résultats des mesures montrent que les VA définies dans la directive CEM n'ont pas été dépassées.

Tableau 9.3 — Résultats de mesures effectuées autour d'une machine de gravure à plasma RF

Position	Fréquence	Induction magnétique (µT)	VA (µT)	Intensité du champ électrique (Vm ⁻¹)	VA (Vm ⁻¹)
Armoire du générateur de RF	400 kHz	0,05	5	0,06	610

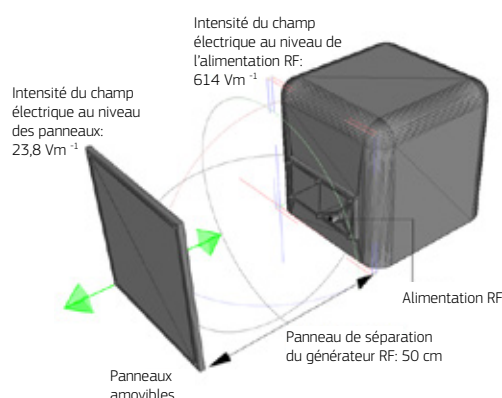
NB: L'incertitude des mesures a été estimée à ± 2,7 dB et, conformément à l'approche de «partage des risques» (voir l'annexe D.5 du volume 1 du guide), les résultats ont été directement comparés aux VA.

Le tableau 9.4 présente les résultats des mesures effectuées autour d'une machine de dépôt physique en phase vapeur fonctionnant à une fréquence de 13,56 MHz. Les résultats des mesures montrent que les VA définies dans la directive CEM (tableau 9.3) ainsi que les valeurs limites fournies par le fabricant du stimulateur cardiaque ont été dépassées à proximité de l'alimentation RF de la chambre. Les emplacements où ont été effectuées les deux dernières mesures sont indiqués à l'illustration 9.4.

Tableau 9.4 — Résultats des mesures réalisées autour d'une machine de dépôt physique en phase vapeur

Position	Fréquence du générateur	Induction magnétique (μT)	VA (μT)	Intensité du champ électrique (Vm^{-1})	VA (Vm^{-1})
Face supérieure de la chambre	13,56 MHz	0,04	0,2	10	61
En dessous de la chambre, à proximité de l'alimentation RF située dans la chambre	13,56 MHz	2	0,2	614	61
Position des panneaux amovibles, placés à 0,5 m de l'alimentation RF	13,56 MHz	0,08	0,2	24	61

NB: L'incertitude des mesures a été estimée à $\pm 2,7$ dB et, conformément à l'approche de «partage des risques» (voir l'annexe D.5 du volume 1 du guide), les résultats ont été directement comparés aux VA.

Illustration 9.4 — Emplacement des mesures effectuées près de l'alimentation RF de la machine de dépôt physique en phase vapeur

9.6. Évaluation des risques

En ce qui concerne les champs magnétiques statiques autour des aimants, il a été constaté que la VA de 0,5 mT, relative à l'exposition des dispositifs médicaux implantés actifs, pouvait être dépassée à moins de 10 cm des aimants. Toutefois, la limite de 1 mT communiquée par le fabricant pour le stimulateur cardiaque en question était moins restrictive (tableau 9.3). Par conséquent, l'employeur a utilisé cette limite dans son évaluation des risques. Sur la base du graphique fourni par le fabricant (graphique 9.3), la limite de 1 mT fixée pour le stimulateur pourrait être dépassée à une distance par rapport à l'aimant inférieure à 10 cm (estimée à environ 6 cm).

En ce qui concerne les champs électromagnétiques RF, il a été constaté que les limites indiquées par le fabricant du stimulateur cardiaque, ainsi que les VA, pouvaient être dépassées à proximité de l'alimentation RF de la chambre de la machine de dépôt physique en phase vapeur. À 0,5 m de l'alimentation RF, les niveaux mesurés devenaient inférieurs aux VA ainsi qu'aux limites fixées pour le stimulateur cardiaque.

Pour les champs magnétiques statiques comme pour les champs RF, l'intensité des champs passait en dessous des VA et des limites fixées pour le stimulateur cardiaque sur une courte distance.

Sur cette base, l'employeur a procédé à une évaluation des risques spécifiques aux CEM (tableau 9.5) afin de déterminer les risques encourus tant par le porteur du stimulateur cardiaque que par les autres travailleurs, en utilisant la méthodologie suggérée par la plate-forme OIRA.

À la suite de cette évaluation, l'employeur a décidé qu'il ne serait pas nécessaire d'apporter des modifications aux tâches effectuées par le porteur du stimulateur cardiaque: la personne concernée ne participait pas à la maintenance des équipements et n'avait donc aucune raison de se trouver dans les zones (très près des machines) dans lesquelles les limites fixées pour le stimulateur cardiaque pouvaient être dépassées. Il a été décidé qu'il n'était pas nécessaire de lui interdire l'accès à la zone d'entretien, dans la mesure où les champs de forte intensité étaient très localisés. Toutefois, l'évaluation des risques indique qu'il convient également de tenir compte des autres travailleurs (les techniciens de maintenance, par exemple) et des sous-traitants éventuellement porteurs d'un dispositif médical implanté actif.

9.7. Mesures de précaution déjà mises en œuvre

L'employeur a inspecté le matériel et examiné les procédures de l'entreprise. Il a ainsi découvert que les mesures de précaution suivantes avaient déjà été prises:

- une barrière est installée autour des alimentations RF des chambres, pour empêcher l'accès à ces zones (lors des mesures autour de la machine de dépôt physique en phase vapeur, cette barrière avait été retirée);
- l'entreprise veille à n'acheter que des équipements bien conçus. Par exemple, les fenêtres d'inspection sont équipées d'écrans qui limitent l'exposition aux champs RF.

Tableau 9.5 — Évaluation des risques spécifiques aux CEM produits par les dispositifs à plasma RF

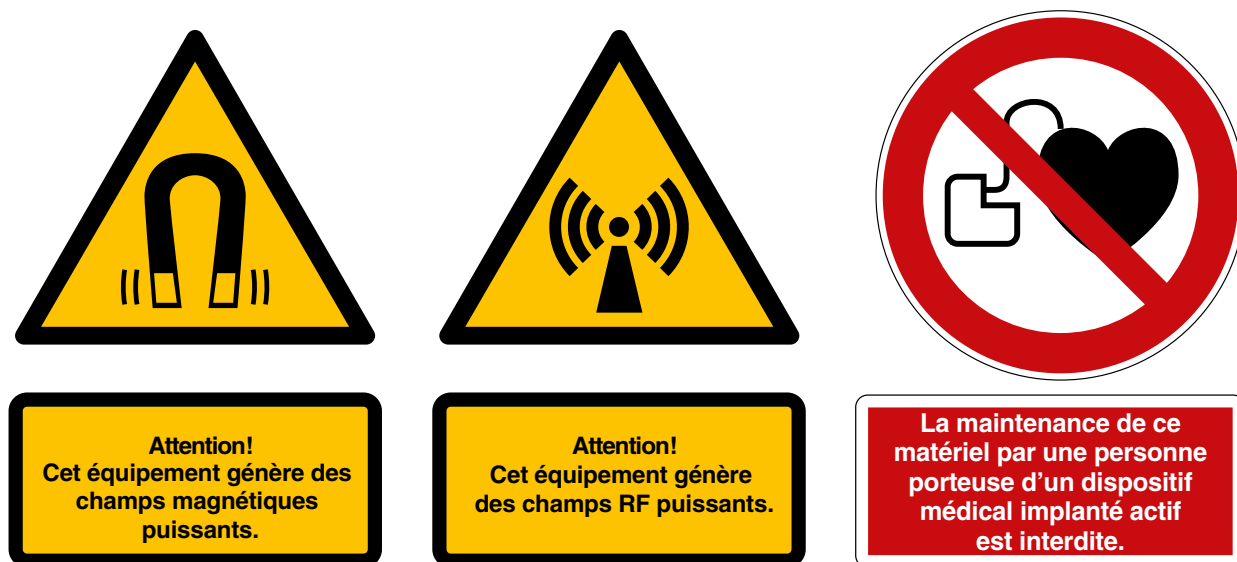
Dangers	Mesures de prévention et de précaution existantes	Personnes exposées	Gravité			Probabilité			Évaluation des risques	Nouvelles mesures de prévention et de précaution
			Mineure	Élevée	Fatale	Improbable	Possible	Probable		
Effets directs des CEM: La VA pourrait être dépassée à proximité de l'alimentation RF dans la zone d'entretien.	Panneau monté sur la machine de dépôt physique en phase vapeur, qui empêche d'accéder à la zone dans laquelle la VA est dépassée.	Opérateurs Techniciens de maintenance	✓			✓			Faibles	Information et formation des opérateurs et des techniciens de maintenance Avis d'avertissement appropriés à apposer sur le matériel
Effets indirects des CEM (effet sur les dispositifs médicaux implantés actifs): Les limites fixées pour le stimulateur cardiaque pourraient être dépassées à proximité des aimants statiques et de l'alimentation RF dans la zone d'entretien.	Panneau monté sur la machine de dépôt physique en phase vapeur, qui empêche d'accéder à la zone dans laquelle les limites fixées pour le stimulateur cardiaque sont dépassées. Les champs dont l'intensité dépasse les limites fixées pour le stimulateur cardiaque autour des aimants statiques sont très localisés.	Travailleurs à risques particuliers		✓		✓			Faibles	Informations concernant ce danger communiquées à tous les travailleurs Avertissements à inclure dans les consignes de sécurité du site Avis d'avertissement et d'interdiction appropriés à apposer sur le matériel

9.8. Mesures de précaution supplémentaires découlant de l'évaluation

À la suite de l'évaluation des risques, l'employeur a décidé de mettre en œuvre les mesures de précaution supplémentaires suivantes:

- afficher des avis avertissant de la présence de champs magnétiques/champs RF puissants (selon le cas) et interdisant l'accès aux porteurs d'un dispositif médical implanté actif (DMIA) sur les équipements qui contiennent des aimants puissants et sur les panneaux amovibles qui empêchent de s'approcher de champs RF potentiellement puissants (illustration 9.5);

Illustration 9.5 — Exemples d'avis avertissant de la présence de champs magnétiques et de champs RF puissants et illustration du symbole d'interdiction destiné aux porteurs de DMIA



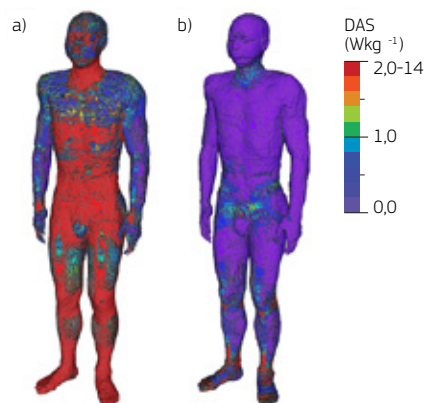
- fournir des informations, notamment les résultats de l'évaluation des risques, au porteur du stimulateur cardiaque ainsi qu'au médecin du travail de l'entreprise;
- s'assurer, grâce à des programmes appropriés d'intégration des nouveaux travailleurs et à des contacts avec les sous-traitants, que les autres travailleurs et les visiteurs ont connaissance des risques;
- s'assurer que les travailleurs sont conscients du fait que la machine ne doit pas être utilisée sans les panneaux et que tout dommage causé au bâti de la machine, aux guides d'ondes ou aux vitres blindées doit être signalé à un chef d'équipe.

9.9. Informations complémentaires

Les résultats des mesures ont servi de base à une modélisation informatique de l'exposition d'un travailleur par rapport aux VLE définies dans la directive CEM (illustration 9.5). La modélisation montre qu'à proximité de l'alimentation RF, les valeurs limites d'exposition pourraient être dépassées; le DAS moyen pour l'ensemble du corps était égal à 211 % de la VLE relative à l'échauffement du corps entier, et le DAS moyen localisé de 10 g de tissu contigu des membres était égal à 147 % de la VLE relative à l'échauffement localisé des membres. Les VLE relatives à l'échauffement localisé de la tête et du tronc n'ont pas été dépassées; le DAS moyen localisé de 10 g de tissu contigu de la tête et du tronc était égal à 89 % de la VLE liée à l'échauffement localisé de la tête et du tronc.

À 0,5 m de l'alimentation RF, l'intensité mesurée du champ électrique s'est avérée inférieure à la VA; ainsi, comme on pouvait s'y attendre, la modélisation a montré que les valeurs de DAS «corps entier» et de DAS localisé étaient très inférieures aux VLE (moins de 0,5 %).

Illustration 9.6 — DAS pour un travailleur se trouvant: a) au niveau de l'alimentation RF; b) au niveau des panneaux amovibles, à 50 cm du générateur de radiofréquences



10. ANTENNES DE TOIT

10.1. Lieu de travail

Les toits des bâtiments sont souvent utilisés pour y installer des antennes de télécommunication de toutes sortes, dont la portée bénéficie d'une position en hauteur ou d'un espace dégagé. La présente étude de cas porte sur un bâtiment (illustration 10.1) qui avait récemment changé de propriétaire. Le nouveau propriétaire tenait à remplir ses obligations légales et à évaluer tous les risques auxquels s'exposaient des personnes travaillant sur le toit.

Illustration 10.1 — Antennes sectorielles de téléphonie mobile et antenne parabolique pour micro-ondes implantées sur le toit de la cage d'ascenseur



10.2. Nature du travail

Des travailleurs doivent accéder au toit du bâtiment pour y effectuer diverses tâches d'inspection ou d'entretien. Il peut s'agir de laveurs de vitres, de couvreurs, de techniciens en climatisation, d'inspecteurs de compagnies d'assurance ou de personnes chargées d'installer et de contrôler les antennes. Les personnes appartenant à ces derniers groupes auront peut-être bénéficié d'une formation approfondie concernant les mesures de sécurité associées aux radiofréquences et seront éventuellement équipées de dispositifs d'alarme individuels, tandis que celles qui appartiennent aux premiers groupes n'auront sans doute reçu aucune formation à ce sujet et n'auront par conséquent qu'une connaissance limitée de ces questions.

Les bonnes pratiques voudraient que les opérateurs adoptent un principe consistant à faire en sorte que nul ne puisse accéder à des zones dangereuses lors de l'installation d'une antenne. Cela signifie que les antennes devraient être placées de manière à ce que toute personne travaillant debout sur le toit ne puisse pas pénétrer par inadvertance dans la zone

d'exclusion qui entoure chaque antenne. Cette zone d'exclusion est la zone située près de l'antenne où l'exposition est susceptible de dépasser les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE.

La zone d'exclusion ne devrait être accessible qu'au moyen d'échelles ou d'échafaudages. Lorsque des travailleurs ont besoin d'accéder à une zone d'exclusion, il pourra alors être nécessaire de couper l'alimentation de l'antenne. Si une zone d'exclusion doit empiéter sur la partie du toit où il est possible de se tenir debout, des limites devront alors être matérialisées sur le toit.

10.3. Informations sur les équipements générant des CEM

Les antennes montées sur le toit sont celles que l'on associe généralement aux systèmes de télécommunications mobiles, ce qui comprend des stations de base et un système de radiomessagerie. En plus des antennes sectorielles, la station de base comprend également une liaison de données point à point. Le propriétaire savait que les différents types d'antennes présentaient des risques de niveaux différents et, d'une manière générale, que:

- les antennes sectorielles de téléphonie mobile (entre 800 et 2 600 MHz) peuvent présenter un danger jusqu'à quelques mètres vers l'avant et, dans une moindre mesure, sur les côtés et vers l'arrière (illustration 10.2);
- les antennes paraboliques pour micro-ondes (entre 10 et 30 GHz) associées à des stations de base de téléphonie mobile ne présentent pas de danger notable;
- les antennes à dipôles et colinéaires (unipolaires) (entre 80 et 400 MHz) peuvent présenter un danger sur une distance d'un à deux mètres autour de l'antenne.

Ce dernier point est illustré par la modélisation informatique des effets d'une antenne à dipôle demi-onde fonctionnant à 400 MHz (illustration 10.3). Le tableau 10.1 montre que la puissance rayonnée est passée de 25 W à 100 W, puis à 400 W; les valeurs limites d'exposition relatives aux effets sur la santé sont dépassées à des distances toujours plus grandes par rapport à l'antenne.

Illustration 10.2 — Répartition du débit d'absorption spécifique (DAS) de l'énergie pour un travailleur situé à côté d'une antenne sectorielle de téléphonie mobile en fonctionnement

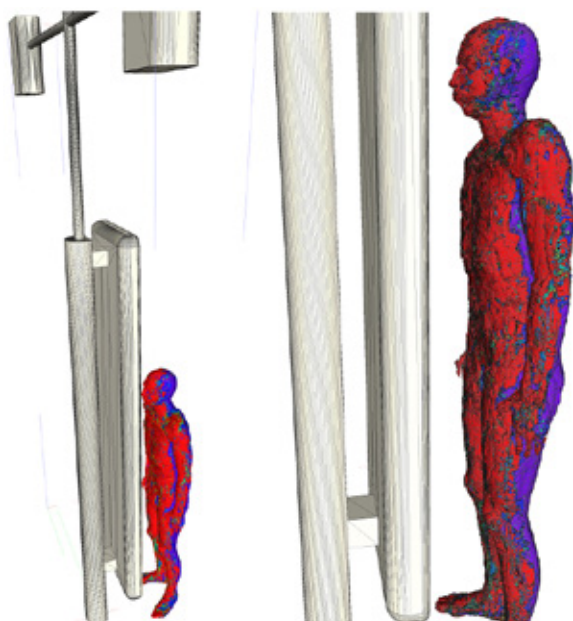


Illustration 10.3 — Répartition du débit d'absorption spécifique (DAS) de l'énergie calculé pour le modèle humain sur la base d'une exposition au rayonnement d'une antenne à dipôle demi-onde de 25 W, à 20 cm du torse. Incrustation: à 1 cm du torse. Dans les deux cas, les DAS calculés sont inférieurs aux VLE correspondantes relatives aux effets sur la santé.

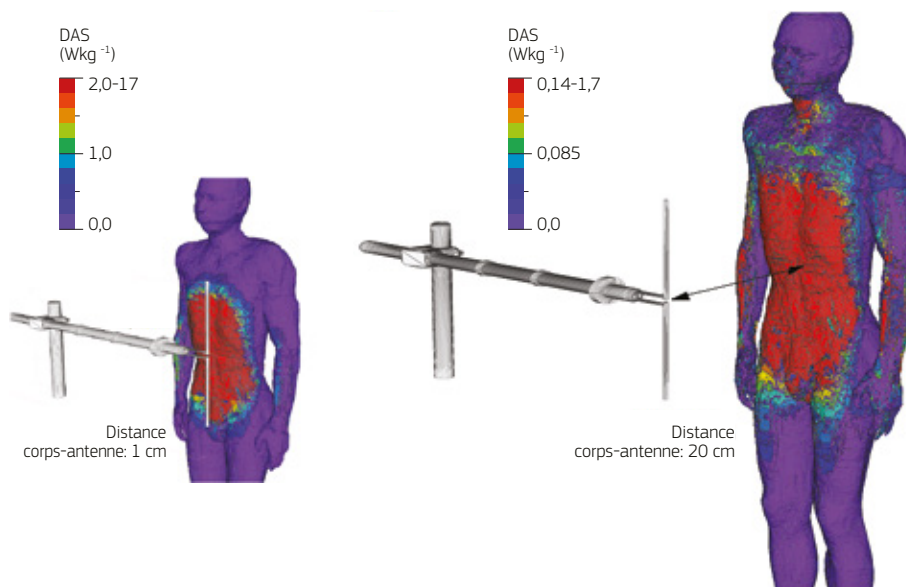


Tableau 10.1 — Valeurs obtenues par modélisation informatique du débit d'absorption spécifique de l'énergie pour l'ensemble du corps (DASEC) et du DAS moyen localisé de 10 g de tissu contigu ($DAS_{10g\ cont}$) avec une antenne à dipôle demi-onde de 5 W, 25 W, 100 W et 400 W. Les DAS dépassant les VLE correspondantes relatives aux effets sur la santé sont indiqués en rouge.

Distance (cm)	DAS modélisé (Wkg^{-1})							
	Antenne 5 W		Antenne 25 W		Antenne 100 W		Antenne 400 W	
	DASEC	$DAS_{10g\ cont}$	DASEC	$DAS_{10g\ cont}$	DASEC	$DAS_{10g\ cont}$	DASEC	$DAS_{10g\ cont}$
0,1	0,0225	1,61	0,113	8,05	0,450	32,2	1,80	129
1	0,0194	1,28	0,0968	6,38	0,387	25,5	1,55	102
2	0,0168	1,04	0,0840	5,18	0,336	20,7	1,34	82,8
4	0,0133	0,715	0,0663	3,58	0,265	14,3	1,06	57,2
6	0,0110	0,525	0,0548	2,63	0,219	10,5	0,876	42,0
8	0,00945	0,406	0,0473	2,03	0,189	8,12	0,756	32,5
10	0,00845	0,332	0,0423	1,66	0,169	6,63	0,676	26,5
12	0,00770	0,272	0,0385	1,36	0,154	5,44	0,616	21,8
14	0,00725	0,234	0,0363	1,17	0,145	4,68	0,580	18,7
16	0,00690	0,208	0,0345	1,04	0,138	4,16	0,552	16,6
18	0,00670	0,163	0,0335	0,815	0,134	3,26	0,536	13,0
20	0,00660	0,177	0,0330	0,883	0,132	3,53	0,528	14,1

NB: VLE relative aux effets sur la santé dans la gamme de fréquences comprises entre 100 kHz et 6 GHz correspondant au DAS moyen pour l'ensemble du corps: $0,4 Wkg^{-1}$
VLE correspondant au DAS moyen localisé de 10 g de tissu contigu de la tête et du tronc pour les mêmes fréquences: $10 Wkg^{-1}$.

10.4. Utilisation des équipements

L'équipement est automatisé et commandé à distance par les opérateurs. La station de base de téléphonie mobile ajuste sa puissance de sortie en fonction du nombre d'appels à transmettre dans une limite maximale fixée dans les conditions d'octroi de licences d'utilisation du spectre. Cela rend difficile toute prévision par le propriétaire de la puissance effectivement produite par la station à un moment donné. Les fréquences de sortie sont également fixées dans les conditions d'octroi de licences d'utilisation du spectre.

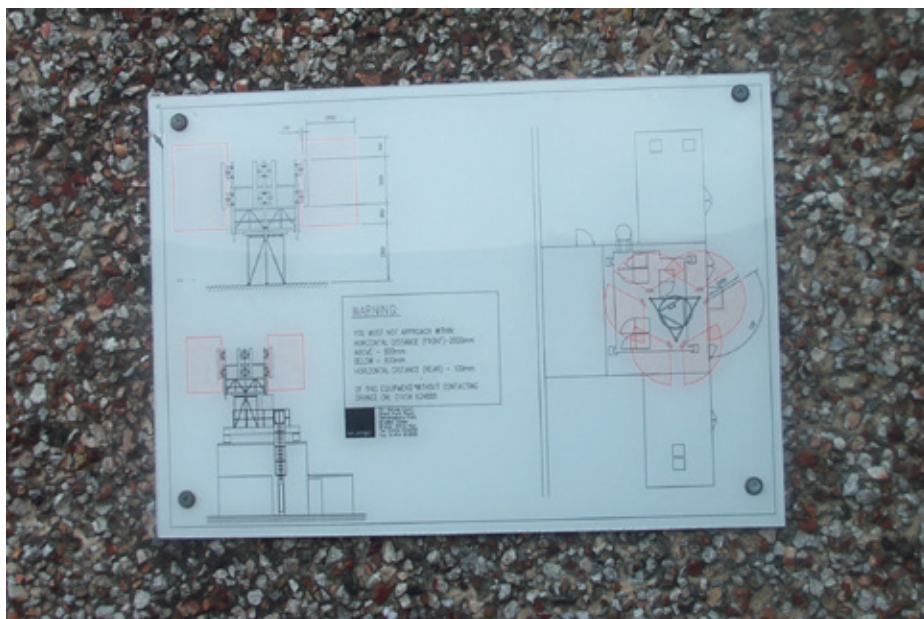
Les modifications apportées à l'installation et les travaux de maintenance occasionnels sont effectués par des sous-traitants engagés par les opérateurs.

10.5. Méthode d'évaluation de l'exposition

Une évaluation théorique détaillée de l'exposition nécessiterait des informations sur un certain nombre de facteurs: le type d'antenne; les caractéristiques de l'émission (fréquence, puissance rayonnée, paramètres du signal, facteur d'utilisation, nombre de canaux transmis, etc.); la position du travailleur concerné dans le champ de rayonnement; la durée de l'exposition; les champs provenant d'autres sources.

Il serait également possible d'effectuer des mesures de l'exposition sur le toit, mais cela nécessiterait de recourir aux services d'un expert-conseil possédant un appareillage de mesure spécialisé. Le propriétaire savait qu'il était possible de louer ou d'acheter un appareil de mesure peu onéreux sur l'internet. Cependant, les mesures ainsi effectuées ne seraient pas forcément fiables et l'appareil pourrait s'avérer sensible à des signaux autres que ceux visés par l'évaluation. Le propriétaire savait également que les services d'un expert lui coûteraient cher et que les résultats ne lui donneraient qu'un aperçu des problèmes liés à l'exposition correspondant à la situation au moment des mesures.

Au lieu de cela, le propriétaire a réalisé une inspection rapide du toit en relevant l'emplacement des antennes et des opérateurs, avant de reporter le tout sur un plan. Les opérateurs ont ensuite été contactés et il leur a été demandé de venir identifier leurs antennes sur le site et de fournir des informations relatives à la sécurité. Le propriétaire a également examiné le registre des visiteurs pour voir qui s'était rendu sur le toit et tenter de déterminer, en fonction de la nature des travaux, où ces personnes avaient travaillé. Ces informations lui ont permis de repérer plusieurs endroits où il était possible pour des travailleurs d'accéder à des zones d'exclusion ou à des zones les exposant à des champs dangereux (illustration 10.4). Les bonnes pratiques veulent que des travailleurs ne s'approchent pas d'antennes en fonctionnement qui pourraient les exposer à des champs dépassant les VA, et qu'ils ne puissent en aucun cas toucher ces antennes produisant un rayonnement.

Illustration 10.4 — Dessin montrant l'étendue des zones d'exclusion sur le toit

10.6. Résultats de l'évaluation de l'exposition

Après avoir réalisé son plan du toit et contacté les opérateurs, le propriétaire a constitué un dossier rassemblant des informations utiles concernant la sécurité, qui par la suite a été mis à la disposition des personnes devant travailler sur le toit. Ce dossier comprenait un inventaire détaillé des antennes avec les informations suivantes: type d'antenne (antenne sectorielle, antenne parabolique pour micro-ondes, dipôle replié); opérateur; emplacement (position, taille, orientation); paramètres de fonctionnement; étendue des zones d'exclusion; date d'installation (tableau 10.2).

Tableau 10.2 — Inventaire des antennes présentes sur le toit, réalisé par le propriétaire

Type d'antenne	Opérateur	Emplacement sur le toit	Paramètres de fonctionnement	Zone d'exclusion	Date d'installation
Antennes sectorielles de téléphonie mobile (6 off)	Vodafone	Pylône sur le toit de la cage d'ascenseur Hauteur de 6 m 0°, 120°, 240°	Fréquences comprises entre 2 110 et 2 170 MHz Puissance de 56 dBm par signal Ouverture de faisceau de 85° Gain de 17 dBi	2,5 m devant 0,25 m derrière 0,3 m au-dessus et au-dessous	Juin 2006
Antenne parabolique pour micro-ondes de 0,3 m	Vodafone	Mât de fixation sur le toit de la cage d'ascenseur Hauteur de 5,5 m 220°	Fréquence de 26 GHz Puissance de 3 mW Ouverture de faisceau de 1° Gain de 44,5 dBm	Aucune	Juin 2006
Dipôle replié	Pager Telecom	Près de la passerelle en arrivant sur le toit Hauteur de 2 m	Fréquence de 138 MHz Puissance de 100 W Omnidirectionnelle Gain de 2,15 dBi	2,5 m tout autour de l'antenne	Inconnue

10.7. Évaluation des risques

Le propriétaire était au courant de l'obligation d'évaluer tous les risques encourus par les personnes devant travailler sur le toit (glissades, faux pas et chutes; cheminées et fumées; champs électromagnétiques). La méthodologie proposée par la plate-forme OIRA a été utilisée pour structurer la procédure. En prévision de l'évaluation, toutes les informations fournies par l'opérateur ou le fabricant de chaque antenne ont été examinées. Des informations quantitatives sur l'intensité du champ électrique produit par les antennes ainsi que des schémas montrant l'étendue des zones d'exclusion ont permis au propriétaire d'évaluer le niveau de risque. Lorsqu'il était possible d'accéder à une zone où le champ dépassait les VA, il devenait nécessaire d'élaborer et de mettre en œuvre un plan d'action pour remédier aux risques.

Le tableau 10.3 donne un exemple d'évaluation des risques spécifiques aux CEM.

Tableau 10.3 — Évaluation des risques spécifiques aux CEM produits par les antennes installées sur le toit

Dangers	Mesures de prévention et de précaution existantes	Personnes à risques	Gravité			Probabilité			Évaluation des risques	Nouvelles mesures de prévention et de précaution
			Mineure	Élevée	Fatale	Improbable	Possible	Probable		
Effets directs des champs de radiofréquences	Verrouillage de la porte donnant sur le toit et contrôle des clés	Laveurs de vitres	✓				✓		Faibles	Éloigner l'antenne du système de radiomessagerie (dipôle replié) de la passerelle
	Avis d'avertissement et d'interdiction	Couvreurs	✓				✓		Faibles	Installer une butée pour s'assurer que la nacelle des laveurs de vitres ne peut pas se retrouver en face des antennes sectorielles
	Antennes sectorielles montées en hauteur au-dessus de la cage d'ascenseur et zones d'exclusion associées rendues inaccessibles	Techniciens en climatisation	✓				✓		Faibles	Rédiger une procédure de sécurité que tous les travailleurs doivent lire (et signer) avant de pouvoir accéder au toit
	Échelle donnant accès au toit de la cage d'ascenseur verrouillée	Inspecteurs de compagnies d'assurance	✓				✓		Faibles	
	Antennes paraboliques montées en hauteur sur des mâts, et faisceaux de rayonnement inaccessibles	Personnes chargées d'installer et de contrôler les antennes	✓				✓		Faibles	
		Travailleurs à risques particuliers (travailleuses enceintes)	✓				✓		Faibles	
Effets indirects des champs de radiofréquences (interférences avec des appareils médicaux électroniques)	Voir ci-dessus	Travailleurs à risques particuliers		✓			✓		Faibles	Voir ci-dessus. Avertissement à l'intention des porteurs d'équipements médicaux électroniques dans le manuel des procédures de sécurité

10.8. Mesures de précaution déjà mises en œuvre

L'inspection du toit par le propriétaire a révélé les points suivants:

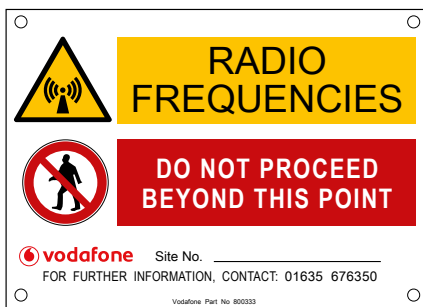
- la porte d'accès au toit était verrouillée et la clé placée sous le contrôle du responsable de la sécurité du bâtiment. Un avis avertissant de la présence d'antennes émettant des radiofréquences était apposé sur la porte, à l'intérieur [illustration 10.5.a)];
- les antennes sectorielles de téléphonie mobile étaient montées en hauteur au-dessus de la cage d'ascenseur et les zones d'exclusion associées étaient inaccessibles. Des avis d'avertissement étaient apposés sur les mâts de fixation [illustration 10.5.b)] et sur l'habillage des antennes [illustration 10.5.c)];
- l'échelle donnant accès au toit de la cage d'ascenseur était verrouillée et un avertissement était affiché [illustration 10.5.d)];
- les antennes paraboliques pour micro-ondes étaient montées en hauteur sur les mâts et leurs faisceaux de rayonnement étaient inaccessibles (pour ces antennes, le propriétaire dispose de toute manière d'une preuve écrite fournie par l'opérateur, selon laquelle il n'y a aucune zone d'exclusion).

Illustration 10.5 — Avis d'avertissement

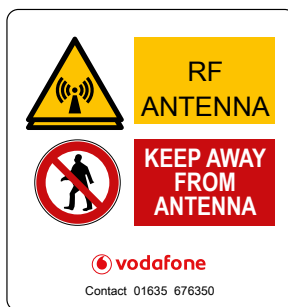
a) Sur la porte d'accès au toit



b) Sur le poteau de fixation de l'antenne



c) Sur l'habillage de l'antenne



d) Sur l'échelle donnant accès au toit de la cage d'ascenseur



10.9. Mesures de précaution supplémentaires découlant de l'évaluation

Le propriétaire n'était pas satisfait de certains aspects de la gestion des installations présentes sur le toit et a donc décidé de prendre les mesures de précaution supplémentaires suivantes:

- exiger de l'exploitant du système de radiomessagerie qu'il éloigne l'antenne à dipôle replié de la passerelle [illustration 10.6.a)] et qu'il y appose un avis d'avertissement [illustration 10.6.b)];
- installer une butée mécanique pour s'assurer que la nacelle des laveurs de vitres ne puisse pas se retrouver en face des antennes sectorielles [illustration 10.6.c)];
- rédiger une procédure de sécurité que tous les travailleurs doivent lire (et signer) avant de pouvoir accéder au toit. Cette procédure comprend des plans d'urgence pour les accidents et les incidents raisonnablement prévisibles.

Illustration 10.6

a) Antenne du système de radiomessagerie trop proche de la passerelle



b) Nouvel avis d'avertissement



c) La nacelle des laveurs de vitres ne peut plus se retrouver en face des antennes



11. ÉMETTEURS-RÉCEPTEURS PORTATIFS

11.1. Lieu de travail

La présente étude de cas concerne une petite entreprise de construction dont les travailleurs sont répartis sur différents chantiers. Un chef de chantier a entendu parler de la nouvelle directive CEM et s'est inquiété de savoir si ses équipes devaient prendre des précautions particulières en utilisant des émetteurs-récepteurs portatifs.

11.2. Nature du travail

Les ouvriers communiquent entre eux sur le chantier au moyen d'émetteurs-récepteurs portatifs (PMR446) qui fonctionnent sur une bande de fréquence libre proche de 446 MHz (illustration 11.1). Tous les ouvriers du chantier peuvent être amenés à utiliser ces appareils.

Illustration 11.1 — Ouvrier du chantier utilisant un émetteur-récepteur portatif



En consultant la notice des appareils, le chef de chantier a découvert qu'ils fonctionnaient à une fréquence d'environ 446 MHz. Toutefois, ni la notice ni la déclaration de conformité CE (illustration 11.2) ne fournissaient d'informations sur la puissance apparente rayonnée (PAR) ou de modes d'emploi appropriés.

En effectuant des recherches sur l'internet, le chef de chantier a trouvé les informations suivantes fournies par l'organisme de contrôle du réseau de radiocommunications: «Un équipement radioélectrique de type PMR446 doit être portatif, son antenne doit être non débrayable, sa puissance apparente rayonnée ne doit pas dépasser 500 mW et il doit être conforme à la norme ETS 300 296».

Illustration 11.2 — Déclaration de conformité CE fournie avec l'appareil

EC Declaration of Conformity

We the manufacturer / Importer

Declare under our sole responsibility that the following product

Type of equipment: Private Mobile RadioModel Name: _____Country of Origin: _____Brand: _____

complies with the essential protection requirements of R&TTE Directive 1999/5/EC on the approximation of the laws of the Council Directive 2004/108/EC on the approximation of the laws of the Member States relating to *electromagnetic compatibility (EMC)* and the European Community Directive 2006/95/EC relating to *Electrical Safety*.

Assessment of compliance of the product with the requirements relating to the essential requirements according to Article 3 R&TTE was based on Annex III of the Directive 1999/105/EC and the following standards:

EMC&RF:

EN 301-489-5 V1.3.1:(2002-08)**EN 301-489-1 V1.8.1:(2008-04)****EN 300-296-1 V1.1.1:(2001-03)****EN 300-296-2 V1.1.1:(2001-03)****EN 300-341-1 V1.3.1(200012)****EN 300-341-2 V1.1.1(200012)**

Electrical Safety:

EN 60950-1:2006

Waste electrical products must not be disposed of with household waste. This equipment should be taken to your local recycling centre for safe treatment.

The product is labelled with the European Approval Marking CE as show. Any Unauthorized modification of the product voids this Declaration.

Manufacturer / Importer
(signature of authorized person)



Signature: (_____) London,

Signature: _____ Place & Date: 8th Aug, 2010

11.3. Utilisation des équipements

Aucune formation n'a été dispensée aux ouvriers sur l'utilisation de l'appareil. Le chef de chantier a effectué un sondage informel auprès des ouvriers sur la position de l'appareil pendant son utilisation, qui a montré que ceux-ci le plaçaient soit devant le visage, soit au niveau de l'oreille. Par ailleurs, il est ressorti que les communications entre les ouvriers étaient courtes et ne duraient généralement pas plus de quelques dizaines de secondes.

11.4. Méthode d'évaluation de l'exposition

Dans une évaluation de l'exposition aux champs produits par des émetteurs situés près du corps, le respect des VLE doit être établi à l'aide d'une modélisation informatique. L'idéal serait que le fabricant s'en charge. Toutefois, si ces données ne sont pas disponibles, il est alors possible d'évaluer cette exposition en se reportant aux informations publiées pour des appareils similaires (il est également utile de vérifier dans le tableau 3.2 du volume 1 de ce guide si le matériel est jugé a priori conforme à la directive CEM).

11.5. Résultats de l'évaluation de l'exposition

Des contacts téléphoniques avec divers organismes publics ont permis au chef de chantier d'apprendre que les données d'une modélisation informatique portant sur un appareil semblable fonctionnant à des fréquences similaires avaient été publiées (Dimbylow e.a.). Ces données montraient que le débit d'absorption spécifique (DAS) maximal de l'énergie par 10 g de tissu contigu était de $3,9 \text{ Wkg}^{-1}$ par watt de puissance de sortie, quelle que soit la position de l'appareil à proximité du visage.

Pour pouvoir comparer les résultats à la VLE relative aux effets sur la santé d'une exposition localisée de la tête à cette fréquence (10 Wkg^{-1}), une moyenne de l'exposition doit être calculée sur un intervalle de 6 minutes. Comme les conversations se font dans les deux sens, le chef de chantier a pris comme hypothèse un facteur d'utilisation maximal de 50 %. À partir des données de la modélisation, il a conclu qu'un dépassement de la VLE nécessiterait un appareil dont la puissance apparente rayonnée serait supérieure à 5 W.

Aucune information sur la puissance apparente rayonnée des émetteurs-récepteurs portatifs n'avait été fournie par le fabricant, mais la réglementation précisait déjà que la puissance de sortie de ces appareils ne devait pas dépasser 0,5 W. Le chef de chantier était donc en mesure de conclure que l'exposition aux champs électromagnétiques produits par ces appareils ne dépasserait pas les VLE relatives aux effets sur la santé définies dans la directive CEM.

11.6. Évaluation des risques

Les résultats de l'évaluation de l'exposition indiquent que l'utilisation des émetteurs-récepteurs portatifs n'entraîne aucun dépassement des VLE pertinentes relatives aux effets sur la santé définies dans la directive CEM. Cependant, il existe une possibilité d'interférences entre ces appareils et d'éventuels dispositifs médicaux portés par les travailleurs. Toutes les personnes concernées devraient donc être soumises à une évaluation individuelle des risques, qui permettra de recenser et de mettre en œuvre toutes les précautions recommandées par leurs médecins respectifs.

11.7. Mesures de précaution déjà mises en œuvre

Aucune précaution n'avait encore été prise.

11.8. Mesures de précaution supplémentaires découlant de l'évaluation

Le chef de chantier a décidé de mettre en œuvre quelques mesures simples:

- une présentation sur la sécurité a été organisée, au cours de laquelle il a notamment été indiqué aux travailleurs quand utiliser un émetteur-récepteur portatif et comment tenir au mieux l'appareil;
- il a été demandé aux travailleurs de signaler tout risque particulier, notamment le port d'un stimulateur cardiaque;
- tous les nouveaux travailleurs sont désormais examinés pour déterminer s'ils sont exposés à un risque particulier.

12. AÉROPORTS

Dans la présente étude de cas, les sources de CEM sont les suivantes:

- radar de surveillance d'aéroport;
- radiophare non directionnel;
- dispositif de mesure de distance.

12.1. Lieu de travail

Le radar, le radiophare non directionnel (RND) et le dispositif de mesure de distance (DMD) étaient utilisés dans un aéroport international accueillant des avions destinés au transport de passagers et de marchandises. Les lieux de travail visés par l'étude étaient les suivants:

- la cabine de l'équipement radar, qui abrite le générateur de radiofréquences (RF);
- le pylône en acier sur lequel l'antenne radar est montée;
- la tour de contrôle du trafic aérien;
- la cabine du RND, qui abrite le générateur de RF;
- l'enceinte dans laquelle se situe l'antenne du RND;
- la caserne des pompiers de l'aéroport, située à proximité du RND;
- la cabine du DMD, qui abrite le générateur de RF;
- la zone entourant la cabine du DMD, sur laquelle a été montée l'antenne.

12.2. Nature du travail

12.2.1. Radar

Le travail sur le radar concernait essentiellement les contrôleurs aériens installés dans la cabine. Ceux-ci devaient occasionnellement intervenir sur l'antenne. Les travailleurs de la tour de contrôle, située à 80 m environ du radar et d'une hauteur à peu près égale, pouvaient aussi avoir été exposés aux rayonnements RF de l'antenne et avaient exprimé des inquiétudes à ce sujet.

12.2.2. Radiophare non directionnel

Le travail sur le RND concernait essentiellement des techniciens installés dans la cabine. Ceux-ci devaient occasionnellement pénétrer dans l'enceinte du RND pour effectuer des réglages sur le radiophare et s'assurer que sa puissance de sortie était conforme aux spécifications; ce réglage s'effectuait depuis une armoire située à quelques mètres de l'antenne. La proximité entre le RND et la caserne de l'aéroport était également une source d'inquiétude pour les pompiers.

12.2.3. Dispositif de mesure de distance

Le travail sur le DMD concernait essentiellement des techniciens installés dans la cabine. Il était rarement demandé à ceux-ci d'intervenir sur l'antenne elle-même, mais d'autres travailleurs de l'aéroport avaient exprimé une certaine inquiétude quant au fait que l'antenne ne se trouvait qu'à 2,5 m au-dessus du sol sans restriction d'accès.

12.3. Informations sur les équipements générant des CEM

12.3.1. Radar

Le radar était composé d'un générateur RF produisant des impulsions de radiofréquences et d'une antenne rotative. Le générateur RF était installé dans une cabine et l'antenne était montée au sommet d'un pylône en acier. Le signal provenant du générateur RF était transmis à l'antenne par un guide d'ondes rectangulaire. L'illustration 12.1 montre un exemple de radar de surveillance d'aéroport. Les spécifications techniques du radar sont présentées dans le tableau 12.1.

Illustration 12.1 — Exemple de radar de surveillance d'aéroport



Tableau 12.1 — Spécifications techniques du radar de surveillance d'aéroport

Paramètres d'exploitation	Valeurs
Fréquence d'émission nominale	3 GHz
Puissance de sortie de crête nominale	Entre 480 et 580 kW
Puissance de sortie moyenne nominale	430 W
Durée d'une impulsion	Entre 0,75 et 0,9 µs
Fréquence de répétition des impulsions	995 Hz
Vitesse de rotation de l'antenne	15 tours/min

12.3.2. Radiophare non directionnel

Le RND était composé d'un générateur RF produisant un signal RF modulé en amplitude de 343 kHz d'une puissance maximale de 100 W et d'un émetteur autoporté sous la forme d'un pylône en treillis de 15 m de hauteur. L'antenne était installée à l'intérieur d'une enceinte qui contenait également une armoire abritant le matériel de réglage. Le générateur RF était installé dans une cabine située à l'extérieur de l'enceinte.

12.3.3. Dispositif de mesure de distance

Le DMD était composé d'un générateur RF et d'une antenne montée sur la cabine de l'équipement. Le DMD émet des impulsions de radiofréquences en réponse aux signaux envoyés par les avions en approche de l'aéroport. Les signaux RF sont émis dans une gamme de fréquences comprises entre 978 et 1 213 MHz, et la durée d'une impulsion est de 3,5 μ s. L'intervalle séparant deux impulsions varie entre 12 et 36 μ s.

12.4. Utilisation des équipements

Le radar, le RND et le DMD sont automatisés et contrôlés à distance. Les modifications apportées au matériel et les travaux de maintenance occasionnels sont réalisés par des techniciens qui doivent parfois accéder aux antennes. Le générateur RF est désactivé chaque fois qu'une intervention nécessite d'accéder à l'antenne.

12.5. Méthode d'évaluation de l'exposition

Les mesures de l'exposition ont été réalisées par un expert-conseil à l'aide d'un appareillage de mesure spécialisé (une antenne réceptrice à guide d'ondes à moulure raccordée à un analyseur de spectre afin de pouvoir fournir une évaluation détaillée de l'exposition aux impulsions radar à des endroits précis, et d'un détecteur tridimensionnel de radiofréquences). Les mesures ont été effectuées dans les zones accessibles aux travailleurs avec le DMD en fonctionnement.

12.5.1. Radar

En raison du mode d'émission des signaux radar (le signal RF est constitué de courtes impulsions et l'antenne tourne sur elle-même), l'exposition en un point donné n'est pas constante. Il était donc nécessaire d'examiner deux grandeurs pour procéder à une évaluation détaillée de l'exposition:

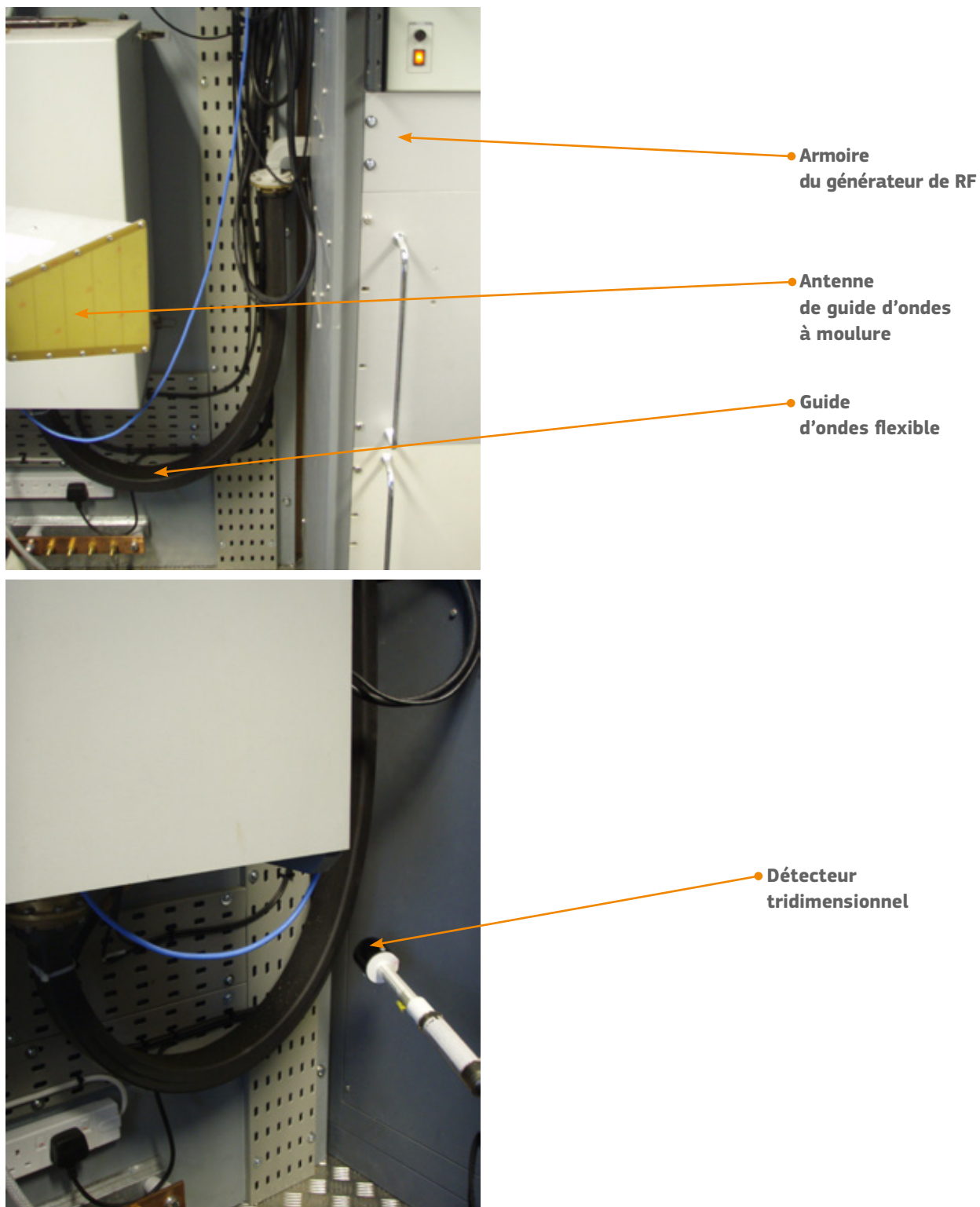
- la densité de puissance de crête, qui mesure l'exposition d'un travailleur à chaque impulsion du signal RF;
- la densité de puissance moyenne, qui est calculée à partir de la densité de puissance de crête et qui mesure l'exposition moyenne d'une personne sur plusieurs minutes, en tenant compte de la nature du signal radar (impulsions) et de la vitesse de rotation de l'antenne.

Les mesures de densité de puissance ont été effectuées à quatre endroits différents dans la tour de contrôle à l'aide de l'analyseur de spectre et de l'antenne à guide d'ondes.

Des mesures de l'intensité du champ électrique ont été également réalisées en plusieurs points à l'aide du détecteur de radiofréquences.

Des mesures ont été effectuées dans la cabine du radar, sur les pylônes d'antenne, à proximité du guide d'ondes [en accordant une attention particulière aux brides de connexion et à tous les tronçons du guide d'ondes flexible (illustration 12.2)], dans la tour de contrôle et dans des zones situées autour du radar, qui sont accessibles aux travailleurs, y compris à ceux qui présentent un risque particulier.

Illustration 12.2 — Mesures effectuées autour d'un guide d'ondes flexible dans une cabine de radar



12.5.2. Radiophare non directionnel

Les mesures d'intensité du champ électrique ont été effectuées à l'aide du détecteur de radiofréquences dans des endroits accessibles aux travailleurs autour du RND, en accordant une attention particulière aux lieux occupés par les contrôleurs aériens et les pompiers de l'aéroport.

12.5.3. Dispositif de mesure de distance

Les mesures d'intensité du champ électrique ont été effectuées à l'aide du détecteur de radiofréquences à l'intérieur de la cabine du DMD ainsi qu'à l'extérieur, au niveau du point d'accès à l'antenne le plus proche de la cabine, ce qui correspond à la situation typique d'un travailleur debout sur le sol tendant les bras vers l'antenne.

12.6. Résultats de l'évaluation de l'exposition

Les résultats des mesures ont été comparés aux VA pertinentes. Les résultats importants de l'évaluation de l'exposition sont présentés dans les tableaux 12.2, 12.3 et 12.4. Pour l'évaluation de l'exposition des travailleurs à risques particuliers, les mesures ont été comparées aux niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE (voir l'annexe E du volume 1 du guide).

Tableau 12.2 — Synthèse des résultats de l'évaluation de l'exposition aux CEM générés par le radar

Lieu	Grandeur mesurée	Résultat	Fraction de l'exposition (%)	
			VA pertinente ⁽¹⁾ ⁽²⁾	Niveau de référence (1999/519/CE) ⁽³⁾
Toit de la tour de contrôle	Densité de puissance de crête	33 000 Wm ⁻²	66 %	330 %
	Densité de puissance moyenne	0,012 Wm ⁻²	0,024 %	0,12 %
Cabine de l'équipement	Intensité maximale du champ électrique	< 0,1 Vm ⁻¹	< 0,1 %	< 0,2 %
À 10 cm du guide d'ondes flexible à l'extérieur de la cabine		29 Vm ⁻¹	21 %	48 %
Position du torse au niveau du point d'accès à l'antenne le plus proche sur le pylône		31 Vm ⁻¹	22 %	51 %

⁽¹⁾ Il a été constaté qu'aucune VA ne figure dans la directive CEM en ce qui concerne la densité de puissance des rayonnements RF de fréquence inférieure à 6 GHz, alors que cette valeur est particulièrement importante s'agissant de signaux RF pulsés. Par conséquent, conformément au considérant 15 de la directive, l'expert-conseil s'est reporté aux recommandations suivantes de la Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants (CIPRNI) pour son évaluation de l'exposition aux rayonnements RF pulsés émis par le radar:

300 GHz: — niveau de référence dans le cadre d'une activité professionnelle pour la densité de puissance de crête des rayonnements RF pulsés dans la gamme de fréquences comprises entre 2 et 300 GHz: 50 000 Wm⁻²;
— niveau de référence dans le cadre d'une activité professionnelle pour la densité de puissance moyenne dans la gamme de fréquences comprises entre 2 et 300 GHz: 50 Wm⁻².

⁽²⁾ VA pour l'intensité du champ électrique dans la gamme de fréquences comprises entre 2 et 6 GHz: 140 Vm⁻¹.

⁽³⁾ Niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE:

— densité de puissance de crête des rayonnements RF pulsés dans la gamme de fréquences comprises entre 2 et 300 GHz: 10 000 Wm⁻²;
— densité de puissance moyenne dans la gamme de fréquences comprises entre 2 et 300 GHz: 10 Wm⁻²;
— intensité du champ électrique dans la gamme de fréquences comprises entre 2 et 300 GHz: 61 Vm⁻¹.

NB: L'incertitude des mesures a été estimée à $\pm 2,7$ dB et, conformément à l'approche de «partage des risques» (voir l'annexe D.5 du volume 1 du guide), les résultats ont été directement comparés aux VA/NR.

Tableau 12.3 — Synthèse des résultats de l'évaluation de l'exposition aux CEM générés par le RND

Lieu	Intensité maximale du champ électrique (Vm ⁻¹)	Fraction de l'exposition (%)		
		VA basse ⁽¹⁾	VA haute ⁽²⁾	Niveau de référence (1999/519/CE) ⁽³⁾
Cabine de l'équipement	100	59 %	17 %	120 %
Local des pompiers	< 0,1	< 0,1 %	< 0,1 %	< 0,2 %
Clôture de l'enceinte du RND	270	160 %	45 %	310 %

⁽¹⁾ VA basse pour l'intensité du champ électrique dans la gamme de fréquences comprises entre 3 kHz et 10 MHz: 170 Vm⁻¹

⁽²⁾ VA haute pour l'intensité du champ électrique dans la gamme de fréquences comprises entre 3 kHz et 10 MHz: 610 Vm⁻¹

⁽³⁾ Niveau de référence défini dans la recommandation 1999/519/CE pour l'intensité du champ électrique dans la gamme de fréquences comprises entre 150 kHz et 1 MHz: 87 Vm⁻¹.

NB: L'incertitude des mesures a été estimée à $\pm 2,7$ dB et, conformément à l'approche de «partage des risques» (voir l'annexe D.5 du volume 1 du guide), les résultats ont été directement comparés aux VA/NR.

Tableau 12.4 — Synthèse des résultats de l'évaluation de l'exposition aux CEM générés par le DMD

Lieu	Intensité maximale du champ électrique (Vm ⁻¹)	Fraction de l'exposition (%)	
		VA ⁽¹⁾	Niveau de référence (1999/519/CE) ⁽²⁾
Cabine de l'équipement	< 0,1	< 0,2 %	< 0,3 %
2,5 m au-dessus du niveau du sol, à 0,6 m de l'antenne	14	15 %	33 %

⁽¹⁾ VA la plus restrictive pour l'intensité du champ électrique dans la gamme des fréquences d'émission du DMD, soit entre 978 et 1 213 MHz: 94 Vm⁻¹

⁽²⁾ Niveau de référence le plus restrictif défini dans la recommandation 1999/519/CE pour l'intensité du champ électrique dans la gamme des fréquences d'émission du DMD, soit entre 978 et 1 213 MHz: 43 Vm⁻¹.

NB: L'incertitude des mesures a été estimée à $\pm 2,7$ dB et, conformément à l'approche de «partage des risques» (voir l'annexe D.5 du volume 1 du guide), les résultats ont été directement comparés aux VA/NR.

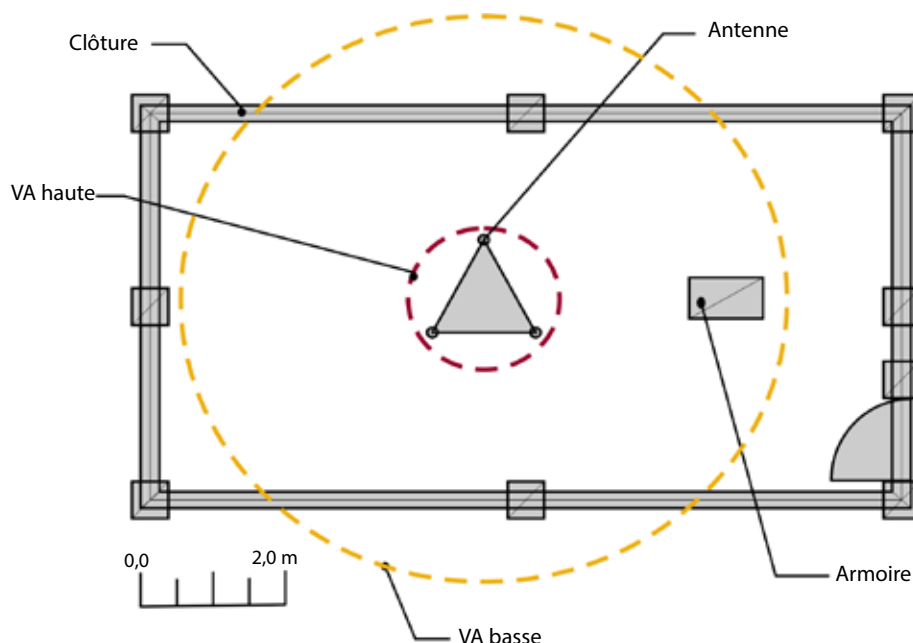
12.6.1. Radar

Les résultats de l'évaluation de l'exposition ont révélé que le niveau d'exposition aux rayonnements RF émis par le radar était inférieur aux VA définies dans la directive CEM. Toutefois, l'évaluation a mis en évidence certaines zones où les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE ont été dépassés, même s'il est peu probable que des travailleurs à risques particuliers doivent travailler dans les zones en question.

12.6.2. Radiophare non directionnel

Les résultats de l'évaluation de l'exposition ont révélé que le niveau d'exposition aux rayonnements RF émis par le radiophare non directionnel était supérieur à la VA basse pour le champ électrique (schéma 12.3) ainsi qu'aux niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE dans certaines zones situées en dehors de la clôture qui entoure le RND. Des travailleurs sont susceptibles d'occuper ces endroits, y compris des travailleurs à risques particuliers.

Schéma 12.3 — Vue en plan montrant les contours des zones à l'intérieur desquelles les VA pourraient être dépassées autour du radiophare non directionnel



12.6.3. Dispositif de mesure de distance

Les résultats de l'évaluation de l'exposition ont révélé que le niveau d'exposition aux rayonnements RF émis par le dispositif de mesure de distance était inférieur à la VA basse ainsi qu'aux niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE dans toutes les zones accessibles situées autour du DMD.

12.7. Évaluation des risques

L'exploitant de l'aéroport a effectué une évaluation des risques liés au radar, au radiophare non directionnel et au dispositif de mesure de distance sur la base de l'évaluation de l'exposition réalisée par l'expert. Cette évaluation était conforme à la méthodologie proposée par la plate-forme OIRA. Les conclusions de l'évaluation des risques ont été les suivantes:

- le radar pouvait exposer les travailleurs à risques particuliers à un danger sur le toit de la tour de contrôle;
- les travailleurs, y compris les travailleurs à risques particuliers, pouvaient accéder sans restrictions aux zones situées autour du radiophare dans lesquelles la VA basse relative aux effets sensoriels était dépassée, parce que la clôture avait été installée trop près de l'émetteur;
- il était peu probable que le dispositif de mesure de distance fasse courir un risque aux travailleurs.

L'exploitant de l'aéroport a élaboré un plan d'action documenté à partir de l'évaluation des risques.

Des exemples d'évaluations des risques spécifiques aux CEM produits par le radar, le RND et le DMD sont présentés dans les tableaux 12.5, 12.6 et 12.7.

Tableau 12.7 — Évaluation des risques spécifiques aux CEM produits par le dispositif de mesure de distance

Dangers	Mesures de prévention et de précaution existantes	Personnes à risques	Gravité			Probabilité			Évaluation des risques	Nouvelles mesures de prévention et de précaution
			Mineure	Élevée	Fatale	Improbable	Possible	Probable		
Effets directs des radiofréquences	Une procédure simple pour s'assurer que l'émetteur est désactivé chaque fois qu'une intervention nécessite d'accéder à l'antenne	Techniciens	✓			✓			Faibles	Aucune
		Personnel de l'aéroport	✓			✓			Faibles	
		Travailleurs à risques particuliers (notamment les travailleuses enceintes)	✓			✓			Faibles	
Effets indirects des radiofréquences (interférences avec les implants médicaux)	Instruction donnée à l'ensemble des travailleurs d'avertir l'exploitant de l'aéroport du port éventuel d'un implant médical	Travailleurs à risques particuliers		✓		✓			Faibles	Aucune

12.8. Mesures de précaution déjà mises en œuvre

12.8.1. Radar

Les mesures de protection et de prévention suivantes concernant le radar étaient déjà en place:

- la cabine et le pylône d'antenne se trouvaient à l'intérieur d'une enceinte clôturée;
- la porte de la cabine et le portail donnant accès à l'enceinte étaient verrouillés en l'absence du personnel et l'accès aux clés était strictement réservé aux travailleurs autorisés;
- l'escalier desservant le pylône d'antenne était équipé d'une grille distincte, également verrouillée;
- des avis d'avertissement (illustration 12.4) étaient fixés sur le portail donnant accès à l'enceinte du radar ainsi que sur la grille de l'escalier desservant le pylône d'antenne;
- l'armoire du générateur RF dans la cabine était équipée d'un dispositif d'interverrouillage;
- une procédure simple devait être observée pour garantir l'arrêt du générateur RF en cas d'intervention nécessitant d'accéder au pylône d'antenne;
- une sécurité était en place pour garantir la désactivation du générateur RF en cas d'arrêt du mouvement de rotation du radar;
- des instructions avaient été données à l'ensemble des travailleurs leur demandant d'avertir l'exploitant de l'aéroport du port éventuel d'un implant médical.

Illustration 12.4 — Avis d'avertissement affichés sur le portail de l'enceinte du radar (à gauche) et sur la grille de l'escalier d'accès au pylône d'antenne (à droite)



12.8.2. Radiophare non directionnel

Avant que l'expert-conseil ne procède à l'évaluation de l'exposition, les rares mesures de prévention et de protection déjà en place se limitaient aux mesures suivantes:

- une clôture entourait l'émetteur;
- un avis d'avertissement concernant le risque de choc électrique était apposé sur la clôture entourant le RND;
- une procédure simple devait être observée pour garantir l'arrêt du générateur RF en cas d'intervention nécessitant d'accéder au pylône d'antenne;
- des instructions avaient été données à l'ensemble des travailleurs leur demandant d'avertir l'exploitant de l'aéroport du port éventuel d'un implant médical.

12.8.3. Dispositif de mesure de distance

Une procédure simple visant à s'assurer de l'arrêt du générateur RF lors de chaque intervention à proximité de l'antenne était en place avant l'évaluation de l'exposition.

12.9. Mesures de précaution supplémentaires découlant de l'évaluation

12.9.1. Radar

Les mesures de protection et de prévention existantes permettaient de garantir une exposition des travailleurs de l'aéroport généralement inférieure aux VA définies dans la directive et aux niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE dans les zones où les mesures ont été effectuées. La seule exception concernait le toit de la tour de contrôle, où les travailleurs à risques particuliers étaient susceptibles de courir un danger lié au rayonnement RF émis par le radar, même s'il était jugé peu probable que des personnes concernées par un tel risque doivent travailler dans cette zone.

À la suite de l'évaluation de l'exposition, l'exploitant de l'aéroport a mis en œuvre les recommandations mineures suivantes sur les conseils de l'expert:

- des avis d'avertissement, comportant le pictogramme d'une antenne en train d'émettre et le message «Attention: rayonnements non ionisants», ont été affichés sur la porte donnant accès au toit de la tour de contrôle;

- il a été rappelé aux travailleurs de l'aéroport qu'il était important d'informer l'exploitant du site du port éventuel d'un implant médical;
- des avertissements particuliers portant sur les dangers liés aux rayonnements non ionisants du radar ont été intégrés dans les consignes de sécurité du site.

Même si elle n'a pas été mise en œuvre dans ce cas, il est intéressant de noter qu'une mesure de protection supplémentaire appelée «suppression de secteur», qui prévoit un fonctionnement du radar à puissance réduite sur un secteur angulaire prédéterminé, pourrait être envisagée si une évaluation venait à relever un risque significatif d'exposition au rayonnement RF d'un radar. Cela impliquerait de programmer le radar de façon à réduire sa puissance, voire à l'arrêter, lorsque l'antenne, dans sa rotation, est dirigée sur la zone exposée au risque. Toutefois, le recours à une telle mesure doit être envisagé avec prudence et ses avantages doivent être comparés aux risques associés à l'absence de données de surveillance qui résulterait d'une émission à puissance réduite.

12.9.2. Radiophare non directionnel

Les mesures de protection et de prévention existantes ont été jugées insuffisantes et plusieurs nouvelles mesures ont été mises en place.

À la suite de l'évaluation de l'exposition, l'exploitant de l'aéroport a mis en œuvre les recommandations suivantes sur les conseils de l'expert:

- la clôture entourant le RND a été éloignée de l'émetteur afin d'englober la zone dans laquelle l'intensité du champ électrique dépassait la VA basse. Une autre solution aurait consisté à former les travailleurs devant accéder à cette zone, mais la solution consistant à déplacer la clôture a été jugée plus simple et plus efficace;
- des avis d'avertissement, comportant le pictogramme d'une antenne en train d'émettre et le message «Attention: rayonnements non ionisants», ont été affichés sur le portail donnant accès à l'enceinte du RND;
- une procédure à suivre lorsque le signal du RND doit faire l'objet de réglages a été mise au point;
- les techniciens susceptibles de devoir intervenir à l'intérieur de l'enceinte pour effectuer des réglages sur le radiophare ont reçu une formation afin d'être sensibilisés aux risques liés aux rayonnements RF;
- il a été rappelé aux travailleurs de l'aéroport qu'il était important d'informer l'exploitant du site du port éventuel d'un implant médical;
- des avertissements particuliers portant sur les dangers liés aux rayonnements non ionisants du radiophare ont été intégrés dans les consignes de sécurité du site.

12.9.3. Dispositif de mesure de distance

Aucune autre mesure de protection ou de prévention n'a été mise en œuvre, car les mesures en place ont été jugées suffisantes.

La directive 2013/35/UE établit les prescriptions minimales de sécurité relatives à l'exposition des travailleurs aux risques imputables aux champs électromagnétiques (CEM). Le présent guide a été rédigé pour aider les employeurs, en particulier les petites et moyennes entreprises, à comprendre ce qu'ils devront faire pour se conformer à la directive. Toutefois, il peut aussi être utile pour les travailleurs, les représentants des travailleurs et les autorités de régulation dans les États membres. Il se compose de deux volumes et d'un guide spécifique pour les PME.

Le volume 1 formule des orientations sur la réalisation de l'évaluation des risques et sur les solutions susceptibles d'être disponibles lorsque les employeurs doivent mettre en œuvre de nouvelles mesures de protection ou de prévention.

Le volume 2 présente douze études de cas qui montrent aux employeurs comment aborder les évaluations et illustrent certaines des mesures de prévention et de protection qui pourraient être retenues et mises en œuvre. Les études de cas sont présentées dans le cadre de lieux de travail génériques, mais elles ont été établies à partir de situations de travail réelles.

Le guide pour les PME vous aidera à réaliser une première évaluation des risques associés aux CEM sur votre lieu de travail. Sur la base des résultats de cette évaluation, il vous sera utile pour déterminer s'il est nécessaire de prendre des mesures supplémentaires au titre de la directive CEM.

La présente publication est disponible en format électronique dans toutes les langues officielles de l'Union européenne.

Vous pouvez télécharger nos publications ou vous abonner gratuitement à l'adresse <http://ec.europa.eu/social/publications>

Si vous souhaitez recevoir régulièrement des informations concernant la direction générale de l'emploi, des affaires sociales et de l'inclusion, inscrivez-vous pour recevoir la lettre d'information électronique gratuite *Europe sociale* à l'adresse <http://ec.europa.eu/social/e-newsletter>



<https://www.facebook.com/socialeurope>



https://twitter.com/EU_Social



Office des publications

doi:10.2767/094960
ISBN 978-92-79-45921-4