



Commission
européenne

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

«Champs électromagnétiques»

Volume 1 — Guide pratique

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: <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 1 — Guide pratique

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).

Vous trouverez de plus amples informations sur l'Union européenne sur l'internet via le serveur Europa (<http://europa.eu>).

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

ISBN 978-92-79-45895-8 (PDF)

doi:10.2767/15628 (PDF)

© Union européenne, 2015

Reproduction autorisée moyennant mention de la source

SOMMAIRE

Un guide pratique a été élaboré pour aider les employeurs, et en particulier les petites et moyennes entreprises, à comprendre ce qu'ils devront faire pour se conformer à la directive «Champs électromagnétiques» (CEM) (2013/35/UE). Au sein de l'Union européenne (UE), les dispositions générales visant à garantir la santé et la sécurité des travailleurs sont définies par la directive-cadre (89/391/CEE). La directive CEM fournit essentiellement des détails supplémentaires sur la façon d'atteindre les objectifs de la directive-cadre pour le cas spécifique du travail en présence de champs électromagnétiques.

Bon nombre des activités réalisées dans les lieux de travail actuels engendrent des champs électromagnétiques. C'est le cas de l'utilisation d'équipements électriques et de nombreux dispositifs de communication usuels. Cependant, sur la plupart des lieux de travail, les niveaux d'exposition sont très faibles et n'entraînent aucun risque pour les travailleurs. Même lorsque des champs importants sont générés, ces champs s'atténuent en général rapidement avec la distance, de sorte qu'il n'y a aucun risque si les travailleurs ne doivent pas s'approcher très près des équipements concernés. En outre, étant donné que la plupart de ces champs sont générés par l'électricité, ils disparaissent lorsque l'alimentation électrique est coupée.

Les risques pour les travailleurs peuvent découler des effets directs du champ sur le corps ou d'effets indirects causés par la présence d'objets dans le champ. Les effets directs peuvent être de nature non thermique ou thermique. Certains travailleurs peuvent être exposés à des risques particuliers du fait des champs électromagnétiques. Il s'agit notamment des travailleurs portant des dispositifs médicaux implantés actifs ou passifs, des dispositifs médicaux portés à même le corps, ou encore des travailleuses enceintes.

Afin d'aider les employeurs à réaliser une évaluation initiale de leurs lieux de travail, le guide contient un tableau présentant des situations rencontrées fréquemment au travail. Trois colonnes indiquent des situations nécessitant des évaluations spécifiques pour les travailleurs portant des implants actifs, les autres travailleurs à risques particuliers et tous les travailleurs. Ce tableau devrait aider la majorité des employeurs à déterminer que leurs lieux de travail ne présentent aucun risque lié aux champs électromagnétiques.

Même pour les travailleurs portant des dispositifs médicaux implantés actifs, il suffit généralement de faire en sorte que ces travailleurs suivent les consignes raisonnables qui leur ont été données par l'équipe médicale chargée de les soigner. Une annexe aidera les employeurs qui doivent évaluer le risque auquel sont exposés les travailleurs à risques particuliers.

La dernière colonne du tableau recense les situations de travail susceptibles de générer des champs importants. Pour ces situations, les employeurs devront normalement suivre une procédure d'évaluation plus détaillée. Bien souvent, ces champs ne présenteront un risque que pour les travailleurs à risques particuliers. Dans certains cas, toutefois, tous les travailleurs peuvent être exposés à des risques dus aux effets directs ou indirects des champs électromagnétiques. Dans de tels cas, l'employeur devra envisager de prendre des mesures de protection ou de prévention supplémentaires.

Le guide pratique donne des conseils relatifs à l'évaluation des risques qui devraient être conformes à différentes procédures d'évaluation des risques, et notamment l'outil OIRA fourni par l'Agence européenne pour la sécurité et la santé au travail.

Au cours de l'évaluation des risques, les employeurs devront parfois comparer les informations relatives aux champs présents sur le lieu de travail avec les valeurs déclenchant l'action et les valeurs limites d'exposition définies par la directive CEM. Lorsque les champs présents sur le lieu de travail sont faibles, ces comparaisons ne seront généralement pas nécessaires, et le guide recommande aux employeurs de se fonder sur des informations génériques telles que les tableaux évoqués ci-dessus.

Dans les cas où il est nécessaire de procéder à des comparaisons avec les valeurs déclenchant l'action ou les valeurs limites d'exposition, les employeurs sont invités à utiliser les informations mises à disposition par les fabricants ou des bases de données et à éviter autant que possible de réaliser leurs propres évaluations. Pour les employeurs tenus de réaliser leurs propres évaluations, le guide fournit des conseils méthodologiques et des orientations concernant des questions spécifiques, comme la façon de gérer les champs non uniformes, la sommation de fréquences multiples et l'application de la technique de crête pondérée.

Dans les cas où les employeurs doivent prendre des mesures de protection ou de prévention supplémentaires, le guide fournit des conseils supplémentaires concernant les différentes options possibles. On notera qu'il n'existe pas de solution unique face à tous les risques liés aux champs électromagnétiques, et que les employeurs doivent considérer toutes les options possibles afin de sélectionner l'approche la mieux adaptée à leur situation.

Il est établi depuis un certain temps que l'imagerie par résonance magnétique dans les soins de santé peut exposer les travailleurs à des champs dépassant les valeurs limites d'exposition définies dans la directive CEM. L'imagerie par résonance magnétique est une technologie médicale d'une importance capitale pour diagnostiquer et traiter les maladies, c'est pourquoi la directive CEM accorde une dérogation conditionnelle à l'obligation de respecter les valeurs limites d'exposition. Une annexe au guide, élaborée en consultation avec les parties concernées, fournit des orientations pratiques aux employeurs quant à la façon de respecter les conditions de cette dérogation.

Le volume 2 présente douze études de cas montrant aux employeurs comment aborder l'évaluation. Elles illustrent également certaines des mesures de prévention et de protection susceptibles d'être sélectionnées et mises en œuvre. Les études de cas sont présentées dans le contexte de lieux de travail génériques, mais elles ont été élaborées sur la base de situations de travail réelles. Bon nombre des situations évaluées dans les études de cas génèrent des champs puissants. Dans certains cas, le risque concernait uniquement les travailleurs à risques particuliers, qui pouvaient être exclus de la zone de champ puissant. Dans d'autres cas, il existait un risque potentiel pour tous les travailleurs, mais il n'était pas nécessaire que ceux-ci se trouvent dans la zone au moment où le champ puissant était généré.

Outre l'imagerie par résonance magnétique évoquée ci-dessus, deux autres situations connues sont susceptibles d'exposer régulièrement les travailleurs à des champs dépassant les valeurs limites d'exposition.

La plus courante de ces situations est le soudage par résistance. Ce procédé utilise des courants électriques très élevés et engendre souvent des inductions magnétiques approchant ou dépassant les valeurs déclenchant l'action définies par la directive CEM. Dans les procédés de soudage manuel, l'opérateur se trouve forcément à proximité de la source du champ. Dans les situations examinées dans les études de cas et ailleurs, il est arrivé de dépasser temporairement les valeurs déclenchant l'action basses. La valeur déclenchant l'action élevée n'a toutefois jamais été dépassée, ou les modèles indiquent que les valeurs limites d'exposition n'ont pas été dépassées. Dans la plupart des cas, il est donc possible de gérer les risques par des mesures simples comme l'information et la formation des travailleurs, afin que ceux-ci comprennent les risques et sachent comment réduire le plus possible leur exposition en utilisant correctement le matériel. Il est toutefois possible, dans une minorité de cas, que le soudage manuel par résistance entraîne une exposition supérieure aux valeurs limites d'exposition définies

par la directive CEM. Les représentants des secteurs utilisant ces technologies devront probablement s'adresser aux pouvoirs publics de chaque État membre pour obtenir une dérogation leur permettant de continuer à utiliser cet équipement temporairement ou pour obtenir le délai nécessaire au remplacement de leurs outils.

La seconde situation donnant lieu à une exposition élevée est la stimulation magnétique transcrânienne en médecine. Cette procédure est moins répandue que l'imagerie par résonance magnétique, mais elle reste une technique importante et fréquemment utilisée pour le diagnostic comme pour la thérapie. Pendant la thérapie, l'applicateur est généralement soutenu au-dessus de la tête du patient au moyen d'un support adéquat. Étant donné que le thérapeute ne doit pas être à proximité immédiate pendant le fonctionnement de l'équipement, il devrait être relativement facile de limiter l'exposition des travailleurs. L'utilisation de cette technologie à des fins de diagnostic, par contre, passe actuellement par une manipulation manuelle de l'applicateur, ce qui entraîne inévitablement une exposition importante des travailleurs. La mise au point d'équipements adaptés de manipulation à distance permettrait de réduire l'exposition des travailleurs.

En conclusion, le guide a été élaboré sous une forme modulaire afin de réduire le plus possible les contraintes pour la majorité des employeurs, qui ne devraient avoir à lire que sa première section. Certains employeurs devront considérer la situation de travailleurs à risques particuliers et devront donc lire également la deuxième section. Les employeurs dont les lieux de travail présentent des champs importants devront aller jusqu'à la troisième section, et ceux dont les champs présentent des risques devront également examiner la dernière section. Le guide met systématiquement l'accent sur des approches simples, aussi bien pour les évaluations que pour les mesures de prévention et de protection.

TABLE DES MATIÈRES

SECTION 1 — TOUS LES EMPLOYEURS

1.	Introduction et finalité de ce guide.....	12
1.1.	Comment utiliser ce guide	13
1.2.	Introduction à la directive CEM.....	15
1.3.	Champ d'application du présent guide	15
1.4.	Correspondance avec la directive 2013/35/UE	16
1.5.	Réglementations nationales et sources d'informations supplémentaires	17
2.	Effets sur la santé et risques pour la sécurité dus aux champs électromagnétiques.....	18
2.1.	Effets directs	18
2.2.	Effets à long terme.....	19
2.3.	Effets indirects	19
3.	Sources de champs électromagnétiques.....	21
3.1.	Travailleurs à risques particuliers	22
3.1.1.	Travailleurs portant des dispositifs médicaux implantés actifs (DMIA)	23
3.1.2.	Autres travailleurs à risques particuliers	24
3.2.	Obligations d'évaluation pour les activités au travail, les équipements et les lieux de travail rencontrés fréquemment.....	24
3.2.1.	Activités de travail, équipements et lieux de travail susceptibles de nécessiter une évaluation spécifique.....	29
3.3.	Activités de travail, équipements et lieux de travail non repris au présent chapitre	30

SECTION 2 — DÉTERMINER S'IL FAUT EN FAIRE PLUS

4.	Structure de la directive cem	32
4.1.	Article 3 — Valeurs limites d'exposition et valeurs déclenchant l'action	34
4.2.	Article 4 — Détermination de l'exposition et évaluation des risques.....	34
4.3.	Article 5 — Dispositions visant à éviter ou à réduire les risques	35
4.4.	Article 6 — Information et formation des travailleurs	35
4.5.	Article 7 — Consultation et participation des travailleurs.....	36
4.6.	Article 8 — Surveillance de la santé	36
4.7.	Article 10 — Dérogations	36
4.8.	Résumé	36
5.	L'évaluation des risques dans le contexte de la directive cem.....	37
5.1.	Plate-forme d'évaluation interactive des risques en ligne (OIRA).....	38
5.2.	Étape 1 — Préparation	38
5.3.	Étape 2 — Recherche des dangers et identification des personnes en danger.....	39
5.3.1.	Recherche des dangers.....	39
5.3.2.	Recensement des mesures de prévention et de précaution existantes	40
5.3.3.	Identification des personnes exposées aux risques	40
5.3.4.	Travailleurs à risques particuliers.....	40
5.4.	Étape 3 — Évaluer et hiérarchiser les risques	41
5.4.1.	Évaluation du risque.....	41
5.4.1.1.	Effets directs.....	42
5.4.1.2.	Effets indirects.....	42
5.4.1.3.	Travailleurs à risques particuliers.....	43

5.5.	Étape 4 — Décider d'une action préventive.....	44
5.6.	Étape 5 — Mise en œuvre des mesures.....	44
5.7.	Documentation de l'évaluation des risques.....	44
5.8.	Suivi et réexamen de l'évaluation des risques.....	44

SECTION 3 — ÉVALUATIONS DE LA CONFORMITÉ

6.	Utilisation des valeurs limites d'exposition et des valeurs déclenchant l'action.....	48
6.1.	Valeurs déclenchant l'action pour les effets directs.....	50
6.1.1.	Valeurs déclenchant l'action pour les champs électriques (entre 1 Hz et 10 MHz).....	52
6.1.2.	Valeurs déclenchant l'action pour les champs magnétiques (entre 1 Hz et 10 MHz).....	53
6.1.3.	Valeurs déclenchant l'action pour les champs électriques et magnétiques (entre 100 kHz et 300 GHz).....	54
6.1.4.	Valeurs déclenchant l'action pour les courants induits aux extrémités (entre 10 et 110 MHz).....	54
6.2.	Valeurs déclenchant l'action pour les effets indirects.....	54
6.2.1.	Valeurs déclenchant l'action pour les champs magnétiques statiques.....	54
6.2.2.	Valeurs déclenchant l'action pour les courants de contact (jusqu'à 110 MHz).....	55
6.3.	Valeurs limites d'exposition.....	56
6.3.1.	Valeurs limites d'exposition relatives aux effets sensoriels et aux effets sur la santé.....	56
6.3.2.	Valeurs limites d'exposition (entre 0 et 1 Hz).....	56
6.3.3.	Valeurs limites d'exposition (entre 1 Hz et 10 MHz).....	57
6.3.4.	Valeurs limites d'exposition (entre 100 kHz et 300 GHz).....	57
6.4.	Déroptions.....	57
6.4.1.	Déroption pour l'IRM.....	58
6.4.2.	Déroption pour les activités militaires.....	59
6.4.3.	Déroption générale.....	59
7.	Utilisation de bases de données et des données d'émission du fabricant.....	60
7.1.	Utilisation des informations fournies par les fabricants.....	60
7.1.1.	Base de l'évaluation du fabricant.....	61
7.2.	Bases de données d'évaluation.....	62
7.3.	Fourniture d'informations par les fabricants.....	62
7.3.1.	Normes d'évaluation.....	62
7.3.2.	En l'absence de norme pertinente.....	63
8.	Calcul ou mesure de l'exposition.....	65
8.1.	Exigences de la directive CEM.....	65
8.2.	Évaluations du lieu de travail.....	65
8.3.	Cas spéciaux.....	66
8.4.	Recherche d'une assistance supplémentaire.....	66

SECTION 4 — EST-IL NÉCESSAIRE D'EN FAIRE PLUS?

9.	Mesures de protection et de prévention.....	70
9.1.	Principes de prévention.....	70
9.2.	Élimination du danger.....	71
9.3.	Remplacement par un procédé ou un équipement moins dangereux.....	71
9.4.	Mesures techniques.....	72
9.4.1.	Blindage.....	72
9.4.2.	Protecteurs.....	73
9.4.3.	Interverrouillages.....	74
9.4.4.	Équipements de protection sensibles.....	75
9.4.5.	Dispositif de commande à deux mains.....	75

9.4.6.	Arrêts d'urgence.....	76
9.4.7.	Mesures techniques pour empêcher les décharges d'étincelles.....	76
9.4.8.	Mesures techniques pour empêcher les courants de contact.....	77
9.5.	Mesures organisationnelles.....	77
9.5.1.	Délimitation de la zone et restriction des accès.....	77
9.5.2.	Signalisation et avis de sécurité.....	79
9.5.3.	Procédures écrites.....	81
9.5.4.	Informations relatives à la sécurité du site.....	81
9.5.5.	Supervision et gestion.....	82
9.5.6.	Instructions et formation.....	82
9.5.7.	Conception et agencement des lieux et postes de travail.....	84
9.5.8.	Adoption de bonnes pratiques de travail.....	85
9.5.9.	Programmes de maintenance préventive.....	87
9.5.10.	Restriction des mouvements dans les champs magnétiques statiques.....	87
9.5.11.	Coordination et coopération entre employeurs.....	87
9.6.	Équipement de protection individuelle.....	88
10.	Préparation aux situations d'urgence.....	89
10.1.	Élaboration des plans.....	89
10.2.	Réaction aux incidents dommageables.....	89
11.	Risques, symptômes et surveillance de la santé.....	91
11.1.	Risques et symptômes.....	91
11.1.1.	Champs magnétiques statiques (entre 0 et 1 Hz).....	91
11.1.2.	Champs magnétiques à basse fréquence (entre 1 Hz et 10 MHz).....	92
11.1.3.	Champs électriques à basse fréquence (entre 1 Hz et 10 MHz).....	92
11.1.4.	Champs à haute fréquence (entre 100 kHz et 300 GHz).....	92
11.2.	Surveillance de la santé.....	94
11.3.	Examen médical.....	94
11.4.	Dossiers.....	95

SECTION 5 — DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE

Annexe A	— Nature des champs électromagnétiques.....	98
Annexe B	— Effets des champs électromagnétiques sur la santé.....	102
Annexe C	— Grandeurs et unités utilisées pour les champs électromagnétiques.....	107
Annexe D	— Évaluation de l'exposition.....	114
Annexe E	— Effets indirects et travailleurs à risques particuliers.....	162
Annexe F	— Orientations en matière d'IRM.....	170
Annexe G	— Exigences d'autres textes européens.....	182
Annexe H	— Normes européennes et internationales.....	189
Annexe I	— Ressources.....	191
Annexe J	— Glossaire, abréviations et symboles utilisés dans les diagrammes.....	195
Annexe K	— Bibliographie.....	200
Annexe L	— Directive 2013/35/UE.....	202

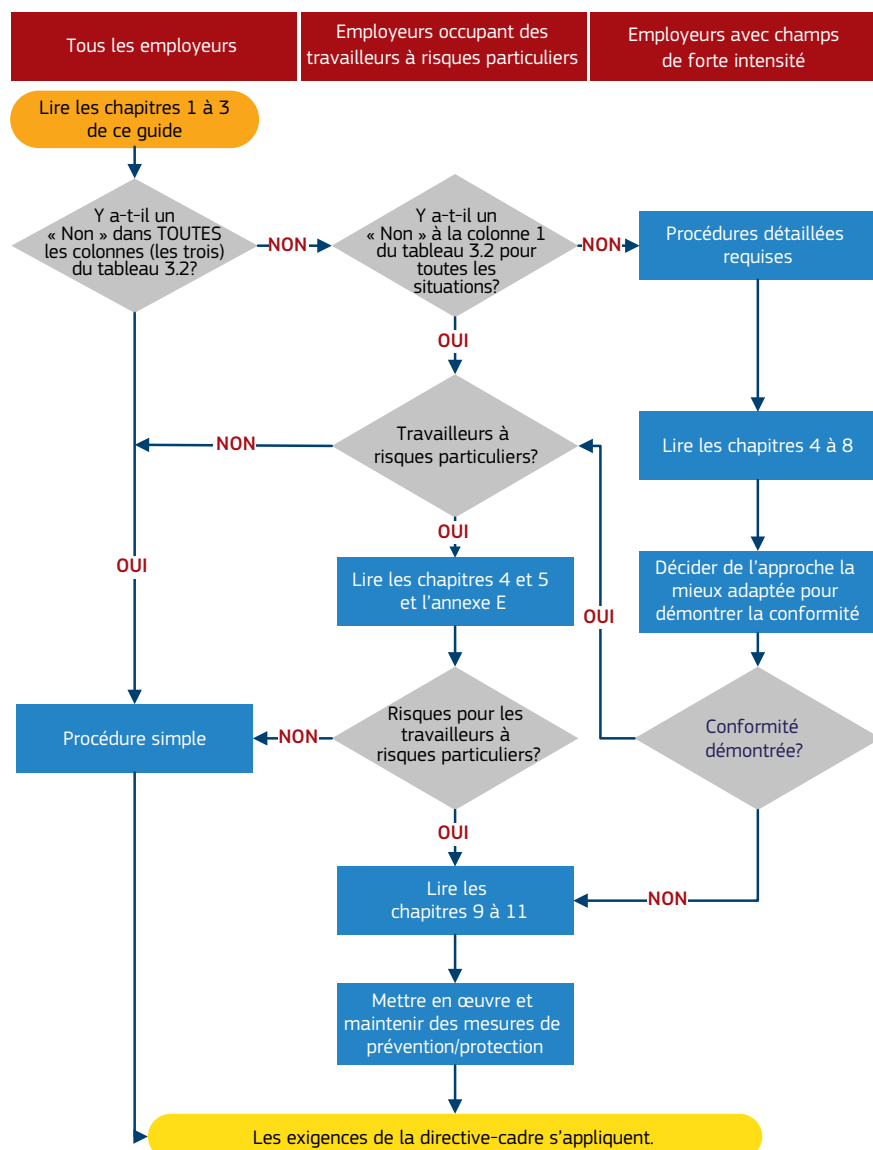
Section 1

TOUS LES EMPLOYEURS

1. INTRODUCTION ET FINALITÉ DE CE GUIDE

Les champs électromagnétiques (CEM) couverts par la directive 2013/35/UE sur les champs électromagnétiques sont omniprésents dans le monde industrialisé, puisqu'ils apparaissent partout où de l'électricité est utilisée. Pour la plupart des travailleurs, l'intensité de ces champs est insuffisante pour entraîner des effets nocifs. L'intensité des champs peut néanmoins présenter des risques sur certains lieux de travail, et la directive CEM a été adoptée afin de garantir la sécurité et la santé des travailleurs dans les situations de ce type. Pour les employeurs, l'une des principales difficultés est de déterminer s'ils doivent ou non prendre des mesures particulières supplémentaires.

Schéma 1.1 — Vue d'ensemble — Comment utiliser ce guide



1.1. Comment utiliser ce guide

Ce guide s'adresse principalement aux employeurs, et en particulier aux petites et moyennes entreprises, mais il peut aussi être utile pour les travailleurs, les représentants des travailleurs et les autorités de réglementation des États membres.

Il vous aidera à réaliser une évaluation initiale des risques dus aux CEM sur votre lieu de travail. Sur la base des résultats de cette évaluation, il vous aidera à déterminer si vous devez prendre des mesures supplémentaires en vertu de la directive CEM. Si tel est le cas, il vous apportera des conseils pratiques quant aux mesures que vous pouvez prendre.

Ce guide est conçu pour vous aider à comprendre quelle incidence la directive CEM peut avoir sur le travail que vous effectuez. Il n'est pas juridiquement contraignant et ne donne aucune interprétation des exigences légales spécifiques auxquelles vous êtes susceptible de devoir vous conformer. Il convient dès lors de le lire en conjonction avec la directive CEM (voir l'annexe L), la directive-cadre (89/391/CEE) et la législation nationale concernée.

La directive CEM établit les prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux champs électromagnétiques. Cependant, rares sont les employeurs qui devront calculer ou mesurer les niveaux de CEM sur leur lieu de travail. Dans la plupart des cas, la nature du travail effectué est telle que ces risques sont faibles, et il est possible de le déterminer assez simplement. La structure de ce guide a été conçue pour que les employeurs qui sont déjà en conformité puissent le déterminer rapidement sans devoir lire intégralement le guide.

Le schéma 1.1 illustre la manière d'utiliser de ce guide. Ce guide comprend quatre sections.

1. La première section (chapitres 1 à 3) s'adresse à tous les lecteurs et contient une introduction générale, des instructions sur l'utilisation de ce guide, un aperçu des principales incidences sur la sécurité et la santé et une explication des sources de CEM. On notera que le chapitre 3 dresse une liste d'équipements, d'activités et de situations génériques pour lesquels les CEM sont généralement si faibles que les employeurs n'ont pas besoin de prendre de mesures supplémentaires. Ce tableau devrait permettre à la plupart des employeurs, pour autant qu'ils soient déjà en conformité avec la directive-cadre, de déterminer qu'ils respectent déjà leurs obligations. Ce guide aura déjà rempli son objectif pour ces employeurs, qui pourront s'arrêter là.
2. La deuxième section (chapitres 4 et 5) s'adresse aux employeurs qui n'ont pas été en mesure de conclure qu'ils ne devaient rien faire de plus. Ces employeurs ont besoin de mieux comprendre les exigences de la directive CEM et devront procéder à une évaluation spécifique des risques liés aux CEM. Pour certains, cette situation s'explique par le fait qu'ils emploient des travailleurs à risques particuliers par rapport aux CEM. Selon le résultat de l'évaluation, il est possible que ces employeurs soient renvoyés directement à la quatrième section. Pour d'autres employeurs, il se peut que les CEM aient une intensité suffisante pour présenter un risque pour tous les travailleurs. Ces employeurs devront également examiner la troisième section.
3. La troisième section (chapitres 6, 7 et 8) s'adresse aux employeurs qui doivent déterminer si les valeurs déclenchant l'action (VA) et, dans certains cas, les valeurs limites d'exposition (VLE) seront dépassées. Bien souvent, il sera possible de démontrer que ce n'est pas le cas et que les pratiques de travail existantes sont acceptables. Ces employeurs devront toutefois procéder à une évaluation plus détaillée des risques et obtenir une meilleure estimation des expositions. Beaucoup pourront se contenter de lire jusqu'au chapitre 7, mais certains employeurs trouveront également utile de lire le chapitre 8.

4. La quatrième section (chapitres 9, 10 et 11) s'adresse à la minorité d'employeurs qui relèvent des expositions supérieures à une VLE ou d'autres risques qu'il convient de réduire. Ces employeurs devront procéder à des changements afin de protéger leurs travailleurs. Il est recommandé à ces employeurs de lire au préalable les chapitres précédents de ce guide.

Ce guide vise à vous faire suivre une séquence logique en vue d'évaluer le risque couru par les travailleurs du fait de leur exposition à des champs électromagnétiques.

Tableau 1.1 — Procédure d'évaluation des risques dus aux champs électromagnétiques au moyen du présent guide

Si tous les risques dus aux champs électromagnétiques sur le lieu de travail sont faibles, aucune mesure supplémentaire n'est nécessaire.

Les employeurs souhaiteront montrer par écrit qu'ils ont analysé leur lieu de travail et qu'ils sont parvenus à cette conclusion.

Si les risques dus aux champs électromagnétiques ne sont pas faibles, ou s'ils ne sont pas connus, les employeurs doivent accomplir un processus afin d'évaluer les risques et de prendre les précautions qui s'imposent éventuellement.

Le chapitre 4 décrit les exigences de la directive CEM, tandis que le chapitre 5 explique une proposition de méthodologie pour évaluer les risques dus aux CEM. Il se peut que ce processus aboutisse à la conclusion qu'il n'y a aucun risque significatif. Dans ce cas, il convient de documenter l'évaluation par écrit, et le processus s'arrête là.

Le chapitre 6 explique l'utilisation des valeurs limites d'exposition et des valeurs déclenchant l'action. Il aborde également les dérogations.

Pour faciliter l'évaluation des risques de manière générale, et en particulier pour vérifier la conformité aux valeurs déclenchant l'action ou aux valeurs limites d'exposition, il se peut que les employeurs aient besoin d'informations concernant les niveaux de CEM. Ils trouveront parfois ces valeurs dans des bases de données ou auprès des fabricants (chapitre 7), mais ils peuvent aussi être amenés à effectuer des calculs ou des mesures (chapitre 8).

Le chapitre 9 présente les mesures de prévention et de protection à prendre dans les cas où il est nécessaire de réduire le risque.

Le chapitre 10 fournit des orientations en matière de préparation aux situations d'urgence, tandis que le chapitre 11 donne des conseils relatifs aux risques, aux symptômes et à la surveillance de la santé.

Les chapitres de ce guide sont aussi brefs que possible afin de faciliter au maximum la lecture des employeurs qui l'utilisent. Les annexes de ce guide fournissent des informations supplémentaires pour les employeurs et autres parties prenantes éventuellement impliquées dans le processus d'évaluation des risques (tableau 1.2):

Tableau 1.2 — Annexes du présent guide

Annexe A — Nature des champs électromagnétiques

Annexe B — Effets des champs électromagnétiques sur la santé

Annexe C — Grandeurs et unités utilisées par les CEM

Annexe D — Évaluation de l'exposition

Annexe E — Effets indirects et travailleurs à risques particuliers

Annexe F — Orientations en matière d'IRM

Annexe G — Exigences d'autres textes européens

Annexe H — Normes européennes et internationales

Annexe I — Ressources

Annexe J — Glossaire, abréviations et symboles utilisés dans les diagrammes

Annexe K — Bibliographie

Annexe L — Directive 2013/35/UE

1.2. Introduction à la directive CEM

Tous les employeurs sont tenus d'évaluer les risques engendrés par le travail qu'ils effectuent et de mettre en place des mesures préventives ou de protection afin d'atténuer les risques ainsi recensés. Ces obligations sont imposées par la directive-cadre. La directive CEM a été adoptée afin d'aider les employeurs à respecter leurs obligations générales au titre de la directive-cadre dans le cas particulier des CEM sur le lieu de travail. Étant donné que les employeurs respectent déjà les exigences de la directive-cadre, la plupart découvriront qu'ils respectent déjà pleinement la directive CEM et qu'ils n'ont rien d'autre à faire.

En vertu de la directive CEM, on entend par «champs électromagnétiques» des champs électriques statiques, des champs magnétiques statiques et des champs électriques, magnétiques et électromagnétiques variant dans le temps dont les fréquences vont jusqu'à 300 GHz. Ce guide utilise cette terminologie uniquement dans les cas où il est clairement avantageux de le faire.

Les champs électromagnétiques proviennent d'une grande variété de sources que les travailleurs sont susceptibles de rencontrer au travail. Ces champs sont générés et utilisés dans de nombreuses activités telles que les procédés de fabrication, la recherche, les communications, les applications médicales, la production, la transmission et la distribution d'électricité, la radiodiffusion, la navigation aéronautique et maritime et la sécurité. Les champs électromagnétiques peuvent aussi être produits de manière accessoire, comme les champs générés à proximité des câbles distribuant l'électricité à l'intérieur des bâtiments ou découlant de l'utilisation d'équipements ou d'appareils électriques. Étant donné que la plupart de ces champs sont générés par l'électricité, ils disparaissent lorsque l'alimentation électrique est coupée.

La directive CEM porte sur les effets directs et indirects connus des champs électromagnétiques. Elle ne couvre pas les effets à long terme potentiels sur la santé (voir le point 2.2). Parmi les effets directs, il convient de distinguer les effets non thermiques, tels que la stimulation des muscles, des nerfs ou des organes sensoriels, des effets thermiques, tels que l'échauffement des tissus (voir le point 2.1). Les effets indirects se produisent lorsque la présence d'un objet dans un champ électromagnétique peut entraîner un risque pour la sécurité ou la santé (voir le point 2.3).

1.3. Champ d'application du présent guide

Ce guide vise à fournir des conseils pratiques aux employeurs pour leur permettre de se conformer à la directive CEM. Il s'adresse à toutes les entreprises dont les travailleurs sont susceptibles d'être exposés à des champs électromagnétiques. Bien que la directive CEM n'exclue spécifiquement aucun type de travail ni aucune technologie, sur de nombreux lieux de travail, les champs sont si faibles qu'ils ne posent aucun risque. Ce guide dresse une liste d'activités génériques, d'équipements et de lieux de travail pour lesquels les champs sont généralement si faibles que les employeurs n'ont pas besoin de prendre de mesures supplémentaires. Il n'aborde pas les questions de compatibilité électromagnétique, discutées ailleurs.

La directive CEM impose aux employeurs de prendre en considération les travailleurs susceptibles d'être exposés à des risques particuliers, et notamment les travailleurs portant des dispositifs médicaux implantés, actifs ou passifs tels que des stimulateurs cardiaques, les travailleurs portant à même le corps des dispositifs médicaux, tels que les pompes à insuline, et les femmes enceintes. Ce guide propose des conseils à appliquer dans ce type de situation.

Certains scénarios possibles d'exposition sont hautement spécifiques ou très complexes et sortent par conséquent du champ d'application de ce guide. Certains secteurs présentant des scénarios d'exposition particuliers peuvent élaborer leurs propres orientations par rapport à la directive CEM, et il convient de consulter ces orientations le cas échéant (voir l'annexe I). Il est conseillé aux employeurs rencontrant des scénarios d'exposition complexes d'obtenir des conseils plus poussés en matière d'évaluation (voir le chapitre 8 et l'annexe I).

1.4. Correspondance avec la directive 2013/35/UE

Ce guide a été élaboré en vue de répondre aux exigences de l'article 14 de la directive CEM. Le tableau 1.3 montre la correspondance entre les articles de la directive CEM et les chapitres du présent guide.

Tableau 1.3 — Correspondance entre les articles de la directive CEM et les sections de ce guide

Articles et orientation	Sections du guide
Article 2: Définitions	
Informations générales	Annexes A, B
Grandeurs et unités utilisées dans la directive CEM	Annexe C
Termes et abréviations	Annexe J
Article 3: Valeurs limites d'exposition et valeurs déclenchant l'action	
Limitation de l'exposition	Point 6.3
Application des valeurs déclenchant l'action	Points 6.1, 6.2
Actions requises	Points 9.4, 9.5
Article 4: Évaluation des risques et détermination de l'exposition	
Évaluation des risques	Chapitre 5
Effets indirects et travailleurs à risques particuliers	Points 5.3, 5.4 et annexe E
Évaluation de l'exposition au moyen des informations disponibles	Chapitre 7
Évaluation de l'exposition par voie de mesures ou de calculs	Chapitre 8 et annexe D
Article 5: Dispositions visant à éviter ou à réduire les risques	
Principes de prévention	Point 9.1
Mesures techniques	Point 9.4
Mesures organisationnelles	Point 9.5
Équipement de protection individuelle	Point 9.6
Article 6: Information et formation des travailleurs	
Information des travailleurs	Point 9.5 et annexe E
Formation des travailleurs	Point 9.5 et annexes A, B
Article 7: Consultation et participation des travailleurs	
Consultation et participation des travailleurs	Chapitre 4
Article 8: Surveillance de la santé	
Symptômes	Point 11.1
Surveillance de la santé	Point 11.2
Examen médical	Point 11.3
Article 10: Dérogations	
Dérogations	Point 6.4 et annexe F

1.5. Réglementations nationales et sources d'informations supplémentaires

L'utilisation du présent guide ne garantit pas nécessairement le respect des exigences réglementaires de protection contre les champs électromagnétiques dans les différents États membres de l'Union européenne. La législation par laquelle les États membres ont transposé la directive 2013/35/UE prévaut toujours. Cette législation peut aller au-delà des exigences minimales de la directive CEM sur laquelle se fonde ce guide. Vous pourrez probablement obtenir de plus amples informations auprès des autorités nationales de réglementation présentées à l'annexe I.

Les constructeurs peuvent concevoir leurs produits de manière à réduire le plus possible les CEM accessibles, contribuant ainsi également au respect des exigences de la directive CEM. Ils peuvent également fournir des informations sur les champs générés et les risques associés à l'utilisation normale de leurs équipements. Le chapitre 7 aborde plus en détail l'utilisation des informations fournies par les fabricants.

Les annexes du présent guide citent des sources d'informations supplémentaires. L'annexe I, en particulier, fournit des détails concernant les organisations nationales et les fédérations professionnelles, tandis que l'annexe J contient un glossaire, une liste d'abréviations et une explication des symboles utilisés dans les diagrammes du présent guide. L'annexe K fournit une bibliographie de publications utiles.

2. EFFETS SUR LA SANTÉ ET RISQUES POUR LA SÉCURITÉ DUS AUX CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES

Les effets des champs électromagnétiques sur les personnes dépendent en premier lieu de la fréquence et de l'intensité, bien que d'autres facteurs, comme la forme de l'onde, puissent également avoir de l'importance dans certaines situations. Certains champs provoquent une stimulation des organes sensoriels, des nerfs ou des muscles, tandis que d'autres provoquent un échauffement des tissus. Les effets causés par l'échauffement sont appelés *effets thermiques* dans la directive CEM, tandis que les autres effets sont désignés par les termes *effets non thermiques*. L'annexe B fournit des informations plus détaillées concernant les effets sur la santé de l'exposition à des champs électromagnétiques.

Il importe de noter que, pour tous ces effets, il existe un seuil en deçà duquel il n'y a aucun risque, et que les expositions inférieures à ce seuil n'ont aucun effet cumulatif. Les effets de l'exposition sont temporaires: ils se limitent à la durée de l'exposition et s'arrêtent ou diminuent une fois que l'exposition cesse, de sorte qu'il n'y a pas de nouveaux risques pour la santé une fois que l'exposition est interrompue.

2.1. Effets directs

On entend par «effets directs» les changements qui se produisent chez une personne du fait de son exposition à un champ électromagnétique. La directive CEM se penche uniquement sur les effets bien compris reposant sur des mécanismes connus. Elle opère une distinction entre les effets sensoriels et les effets sur la santé, considérés comme plus graves.

Les effets directs sont les suivants:

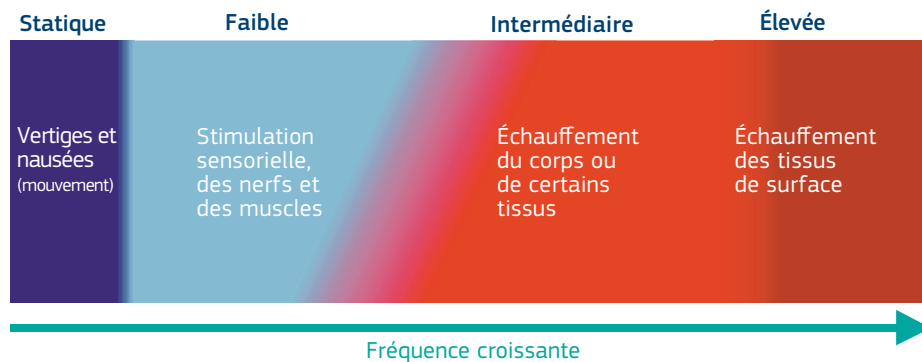
- vertiges et nausées dus à des champs magnétiques statiques (généralement associés à un mouvement, mais pouvant se produire également en mode stationnaire);
- effets sur les organes sensoriels, les nerfs et les muscles dus à des champs à basse fréquence (jusqu'à 100 kHz);
- échauffement du corps entier ou de certaines parties du corps dû à des champs à haute fréquence (10 MHz et plus); au-delà de quelques GHz, l'échauffement se limite de plus en plus à la surface du corps;
- effets sur les nerfs, les muscles et échauffement causés par les fréquences intermédiaires (100 kHz-1 MHz).

Ces concepts sont illustrés à l'illustration 2.1. Voir l'annexe B pour de plus amples informations concernant les effets directs.

2.2. Effets à long terme

La directive CEM ne traite pas des effets à long terme de l'exposition à des champs électromagnétiques puisqu'il n'existe actuellement pas d'éléments scientifiques probants bien établis qui permettent d'établir un lien de causalité. Toutefois, si de tels éléments scientifiques probants se présentaient, la Commission européenne examinerait les moyens les plus appropriés de traiter ces effets.

Illustration 2.1 — L'effet des CEM dans différentes gammes de fréquences (les intervalles de fréquences ne sont pas à l'échelle)



2.3. Effets indirects

Les effets indésirables peuvent se produire en raison de la présence d'objets dans le champ entraînant un risque pour la sécurité ou la santé. Le contact avec un conducteur sous tension ne relève pas du champ d'application de la directive CEM.

Les effets indirects sont les suivants :

- une interférence avec des équipements et dispositifs médicaux électroniques;
- une interférence avec des équipements ou des implants médicaux actifs, tels que les stimulateurs cardiaques ou les défibrillateurs;
- une interférence avec des dispositifs médicaux portés à même le corps, tels que des pompes à insuline;
- une interférence avec des implants passifs (articulations artificielles, broches, fils ou plaques métalliques);
- des effets sur des éclats d'obus, les perçages corporels, tatouages et autres formes d'art corporel;
- le risque de projection d'objets ferromagnétiques non fixés dans des champs magnétiques statiques;
- l'amorçage non intentionnel de détonateurs;
- les incendies et explosions résultant de l'inflammation de matériaux inflammables ou explosifs;
- les chocs ou brûlures électriques dus à des courants de contact lorsqu'une personne est en contact avec un objet conducteur dans un champ électrique et qu'un seul des deux est relié à la terre.

Le chapitre 5 et l'annexe E fournissent des informations supplémentaires concernant les effets indirects et la façon de gérer ces effets sur le lieu de travail.

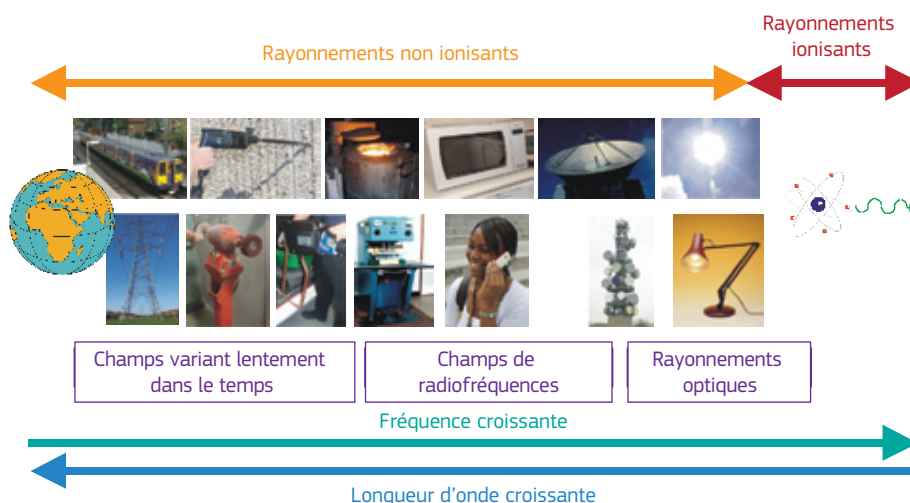
**Message clé: les effets des CEM**

Les CEM sur le lieu de travail peuvent entraîner des effets directs ou indirects. Les effets directs sont ceux qui résultent d'une interaction de ces champs avec le corps. Ils peuvent être de nature thermique ou non thermique. Les effets indirects sont dus à la présence d'un objet dans le champ entraînant un risque pour la sécurité ou la santé.

3. SOURCES DE CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES

Dans notre société moderne, chacun est exposé à des champs électriques et magnétiques provenant de nombreuses sources telles que les équipements électriques, les transmissions de radiodiffusion et les appareils de communication (illustration 3.1). L'annexe A fournit des informations supplémentaires concernant la nature des champs électromagnétiques. La plupart des sources de champs électromagnétiques que l'on rencontre dans les habitations et au travail produisent des niveaux d'exposition extrêmement faibles, et les activités les plus fréquentes au travail ont peu de chance d'entraîner des expositions dépassant les valeurs déclenchant l'action ou les valeurs limites d'exposition définies par la directive CEM.

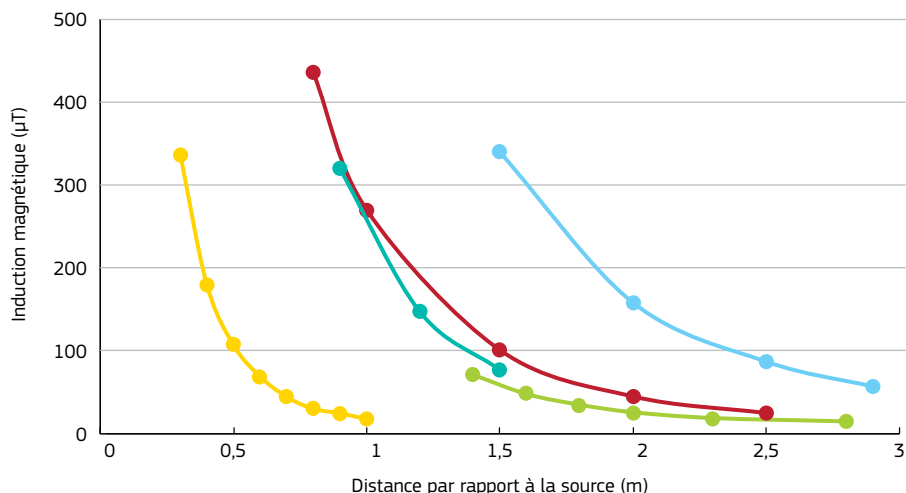
Illustration 3.1 — Représentation schématique du spectre électromagnétique indiquant certaines sources typiques



Ce chapitre a pour objectif de fournir aux employeurs des informations concernant les sources des CEM présents dans l'environnement de travail afin de les aider à déterminer si une évaluation plus approfondie des risques dus aux CEM est nécessaire. L'ampleur et l'importance des champs électromagnétiques produits dépendent des tensions, des courants et des fréquences de fonctionnement des équipements ou des tensions, courants et fréquences qu'ils produisent eux-mêmes, ainsi que de leur conception. Certains équipements sont conçus pour produire intentionnellement des champs électromagnétiques externes. Dans de tels cas, il se peut que des équipements de taille réduite et de faible puissance génèrent des champs électromagnétiques externes importants. De manière générale, les équipements utilisant des courants ou des tensions élevés, ou qui sont conçus pour émettre des rayonnements électromagnétiques, nécessitent une évaluation plus poussée. L'annexe C fournit de plus amples informations concernant les grandeurs et unités couramment utilisées pour évaluer les champs électromagnétiques. Le chapitre 5 fournit des conseils en matière d'évaluation des risques dans le contexte de la directive CEM.

L'intensité d'un champ électromagnétique décroît rapidement à mesure que l'on s'éloigne de sa source (graphique 3.2). Il est possible de réduire l'exposition des travailleurs en limitant l'accès aux zones proches des équipements concernés pendant leur fonctionnement. On notera également que les champs électromagnétiques, à l'exception de ceux produits par un aimant permanent ou un aimant superconducteur, disparaissent normalement lorsque l'équipement concerné est mis hors tension.

Graphique 3.2 — Baisse de l'induction magnétique en fonction de la distance pour différentes sources de fréquence électrique: machine à souder par points (●●); bobine de démagnétisation à 0,5 m (●●); four à induction de 180 kW (●●); four à induction de 180 kW; machine à souder au galet 100 kVA (●●); bobine de démagnétisation à 1 m (●●)



Les sous-chapitres suivants visent à aider les employeurs à faire la distinction entre les équipements, activités et situations peu susceptibles de présenter un danger et ceux pour lesquels des mesures de prévention ou de protection peuvent être nécessaires afin de protéger les travailleurs.

3.1. Travailleurs à risques particuliers

Certains groupes de travailleurs (voir le tableau 3.1) sont considérés comme étant exposés à un risque particulier dû aux champs électromagnétiques. Il se peut que ces travailleurs ne soient pas protégés de manière adéquate par les VA fixées par la directive CEM, et il est donc nécessaire, pour leurs employeurs, d'examiner leur exposition séparément de celle des autres travailleurs.

Les travailleurs à risques particuliers sont normalement protégés de manière adéquate par le respect des niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE du Conseil (voir l'annexe E). Pour une petite minorité d'entre eux, toutefois, il est possible que même ces niveaux de référence n'assurent pas une protection adéquate. Ces personnes auront reçu des conseils adaptés de la part du professionnel de la médecine chargé de leur santé, ce qui devrait aider l'employeur à déterminer si elles sont exposées à un risque sur le lieu de travail.

Tableau 3.1 — Travailleurs à risques particuliers énumérés dans la directive CEM

Travailleurs à risques particuliers	Exemples
Travailleurs portant des dispositifs médicaux implantés actifs (DMIA)	Stimulateurs et défibrillateurs cardiaques, implants cochléaires, implants de tronc cérébral, prothèses de l'oreille interne, neurostimulateurs, codeurs rétiniens, pompes de perfusion implantées
Travailleurs portant des dispositifs médicaux implantés passifs contenant du métal	Articulations artificielles, broches, plaques, vis, agrafes chirurgicales, pinces pour anévrysmes, stents, prothèses de valves cardiaques, anneaux d'annuloplastie, implants contraceptifs métalliques et boîtiers de DMIA
Travailleurs portant des dispositifs médicaux à même le corps	Pompes externes de perfusion d'hormones
Travailleuses enceintes	

NB: Pour déterminer si certains travailleurs sont exposés à des risques particuliers, les employeurs doivent tenir compte de la fréquence, du niveau et de la durée de l'exposition.

3.1.1. Travailleurs portant des dispositifs médicaux implantés actifs (DMIA)

Les travailleurs portant des dispositifs médicaux implantés actifs (DMIA) présentent des risques particuliers. En effet, les champs électromagnétiques puissants risquent de perturber le fonctionnement normal de ces implants actifs. La loi oblige les fabricants de ces dispositifs à protéger raisonnablement leurs produits contre les interférences, et ces dispositifs sont régulièrement testés face aux intensités de champs susceptibles d'être rencontrées dans l'environnement public. De ce fait, les intensités de champ inférieures aux niveaux de référence définis par la recommandation 1999/519/CE du Conseil ne devraient pas avoir d'incidence négative sur le fonctionnement de ces dispositifs. Cependant, des intensités de champs supérieures à ces niveaux de référence à *proximité du dispositif ou de ses capteurs* (le cas échéant) peuvent entraîner un dysfonctionnement et donc un risque pour la personne qui le porte.

Certaines situations de travail abordées dans ce chapitre peuvent donner lieu à des champs puissants, mais ces champs sont souvent très localisés. Il est donc possible de gérer ce risque en faisant en sorte que le champ puissant ne soit pas généré à proximité immédiate de l'implant. Ainsi, le champ généré par un téléphone mobile pourrait interférer avec un stimulateur cardiaque si le téléphone était tenu à proximité du dispositif. Les porteurs de stimulateurs cardiaques peuvent néanmoins utiliser des téléphones mobiles sans courir de risque, pour autant qu'ils veillent à éloigner ce téléphone de leur poitrine.

La colonne 3 du tableau 3.2 présente les situations nécessitant une évaluation spécifique pour les porteurs d'implants actifs du fait de la possibilité de génération de champs puissants à proximité immédiate de ces dispositifs ou de leurs éventuels capteurs. Bien souvent, cette évaluation aboutit à la conclusion que le travailleur concerné doit tout simplement suivre les instructions qui lui ont été données par l'équipe médicale au moment du placement de l'implant.

Lorsque des travailleurs ou d'autres personnes portant des implants actifs ont accès au lieu de travail, l'employeur doit examiner la nécessité ou non d'une évaluation plus détaillée. Dans ce contexte, on notera que, pour certaines des situations de travail énumérées au tableau 3.2, on opère une distinction entre les personnes qui effectuent personnellement une activité et l'activité réalisée sur le lieu de travail. Dans ce dernier cas, il est peu probable qu'un champ puissant soit généré à proximité immédiate de l'implant, et une évaluation n'est donc normalement pas nécessaire.

Certaines situations, comme la soudure par induction, génèrent des champs très puissants. Dans de tels cas, la zone dans laquelle on peut s'attendre à un dépassement des niveaux de référence de la recommandation 1999/519/CE du Conseil est généralement beaucoup plus large. L'évaluation est donc probablement plus complexe (voir l'annexe E), et il peut être nécessaire d'imposer des restrictions d'accès.

3.1.2. Autres travailleurs à risques particuliers

Pour les autres groupes de travailleurs à risques particuliers (voir le tableau 3.1), les champs puissants fortement localisés ne posent normalement aucun risque. Ces travailleurs courent par contre un risque dans les cas où les activités au travail sont susceptibles de générer des champs dépassant les niveaux de la recommandation 1999/519/CE du Conseil dans des zones plus généralement accessibles. La colonne 2 du tableau 3.2 présente des situations fréquentes susceptibles de présenter ce risque et nécessitant des évaluations spécifiques.

Dans les cas où une évaluation est requise pour les travailleurs à risques particuliers, les employeurs devraient consulter l'annexe E.



Message clé: travailleurs à risques particuliers

Les champs puissants sur le lieu de travail peuvent présenter un risque pour les travailleurs portant des implants actifs. Ces champs sont souvent très localisés, et il est généralement possible de gérer ce risque de manière adéquate en prenant quelques précautions simples en fonction des conseils de l'équipe médicale qui s'occupe du travailleur concerné.

Certains champs puissants peuvent présenter des risques particuliers pour d'autres groupes de travailleurs (les travailleurs porteurs d'implants passifs ou de dispositifs médicaux à même le corps, les travailleuses enceintes), mais cette probabilité ne se présente que dans un petit nombre de situations (voir le tableau 3.2).

3.2. Obligations d'évaluation pour les activités au travail, les équipements et les lieux de travail rencontrés fréquemment

Le tableau 3.2 énumère un grand nombre d'activités, d'équipements et de lieux de travail rencontrés fréquemment et indique s'il est probable qu'une évaluation soit nécessaire pour:

- les travailleurs porteurs d'implants actifs;
- les autres travailleurs à risques particuliers;
- les travailleurs sans risques particuliers.

Les entrées de ce tableau reposent sur la probabilité (ou non) qu'une situation génère des intensités de champs supérieures aux niveaux de référence de la recommandation 1999/519/CE du Conseil et, le cas échéant, la probabilité que ces champs soient fortement localisés ou non.

Le tableau 3.2 se fonde sur l'utilisation d'équipements conformes aux normes récentes, correctement entretenus et utilisés de la façon prévue par le fabricant. Les orientations du tableau 3.2 ne sont pas nécessairement valables en cas d'utilisation d'équipements très anciens, non standard ou mal entretenus.

Lorsque toutes les activités d'un lieu de travail reçoivent la mention «Non» dans les trois colonnes, il ne devrait pas être nécessaire de procéder à une évaluation spécifique du point de vue de la directive CEM puisque les CEM ne posent en principe aucun risque. Dans ces situations, il n'est normalement pas nécessaire de prendre des mesures supplémentaires. Il convient toutefois de réaliser une évaluation générale des risques répondant aux exigences de la directive-cadre. Les employeurs doivent rester attentifs à l'évolution des conditions, comme l'exige la directive-cadre, et réexaminer la nécessité d'une évaluation spécifique relative aux CEM à la lumière des modifications éventuelles constatées.

De même, pour les lieux de travail auxquels les travailleurs portant des implants actifs ou les autres travailleurs à risques particuliers n'ont pas accès, pour autant que chaque activité reçoive la mention «Non» dans toutes les colonnes concernées, il ne devrait pas être nécessaire de procéder à une évaluation spécifique du point de vue de la directive CEM. Il reste toutefois nécessaire de réaliser une évaluation générale des risques conformément à la directive-cadre. Les employeurs doivent aussi rester attentifs à l'évolution des conditions, et notamment à la possibilité que des travailleurs à risques particuliers accèdent aux locaux concernés.



Message clé: évaluations des CEM

Lorsque le lieu de travail présente uniquement les situations énumérées au tableau 3.2 et recevant la mention «Non» dans toutes les colonnes concernées, il n'est normalement pas nécessaire de réaliser une évaluation spécifique concernant les CEM. Une évaluation générale des risques conformément aux exigences de la directive-cadre reste nécessaire, et les employeurs doivent rester attentifs à l'évolution des conditions.

Tableau 3.2 — Nécessité de réaliser des évaluations spécifiques concernant les CEM pour des activités, des équipements et des lieux de travail typiques

Type d'équipement ou de lieu de travail	Évaluation requise pour:		
	les travailleurs sans risques particuliers(*)	les travailleurs à risques particuliers (hors porteurs d'implants actifs(**))	les travailleurs porteurs d'implants actifs(***)
	(1)	(2)	(3)
Communications sans fil			
Téléphones sans fil (y compris stations de base pour téléphones sans fil DECT) — utilisation	Non	Non	Oui
Téléphones sans fil (y compris stations de base pour téléphones sans fil DECT) — présence sur le lieu de travail	Non	Non	Non
Téléphones mobiles — utilisation	Non	Non	Oui
Téléphones mobiles — présence sur le lieu de travail	Non	Non	Non
Dispositifs de communication sans fil (par exemple, Wi-Fi ou Bluetooth), y compris les points d'accès WLAN — utilisation	Non	Non	Oui
Dispositifs de communication sans fil (par exemple, Wi-Fi ou Bluetooth), y compris les points d'accès WLAN — présence sur le lieu de travail	Non	Non	Non

Bureau			
Équipements audiovisuels (par exemple, téléviseurs, lecteurs de DVD)	Non	Non	Non
Équipements audiovisuels contenant des émetteurs de radiofréquences	Non	Non	Oui
Équipements de communication et réseaux câblés	Non	Non	Non
Ordinateurs et matériel informatique	Non	Non	Non
Radiateurs soufflants électriques	Non	Non	Non
Ventilateurs électriques	Non	Non	Non
Matériel de bureau (par exemple, photocopieurs, déchiqueteuses, agrafeuses électriques)	Non	Non	Non
Téléphones (ligne fixe) et appareils de télécopie	Non	Non	Non
Infrastructure (bâtiments et terrains)			
Systèmes d'alarme	Non	Non	Non
Antennes de station de base, à l'intérieur de la zone d'exclusion désignée par l'opérateur	Oui	Oui	Oui
Antennes de station de base, à l'extérieur de la zone d'exclusion désignée par l'opérateur	Non	Non	Non
Outils de jardin (électriques) — utilisation	Non	Non	Oui
Outils de jardin (électriques) — présence sur le lieu de travail	Non	Non	Non
Appareils de chauffage (électriques) pour le chauffage de locaux	Non	Non	Non
Appareils ménagers et professionnels, par exemple, réfrigérateur, lessiveuse, séchoir, lave-vaisselle, four, grille-pain, four à micro-ondes, fer à repasser, pour autant qu'ils ne contiennent pas d'équipements de transmission (par exemple, WLAN, Bluetooth ou téléphones mobiles)	Non	Non	Non
Matériel d'éclairage, par exemple, éclairage de zones et lampes de bureau	Non	Non	Non
Matériel d'éclairage, commandé par radiofréquence ou micro-ondes	Oui	Oui	Oui
Lieux de travail accessibles au public et qui respectent les niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE du Conseil	Non	Non	Non
Sécurité			
Systèmes de surveillance d'articles et RFID (identification par radiofréquences)	Non	Non	Oui
Effaceurs de bandes ou de disques durs	Non	Non	Oui
Détecteurs de métaux	Non	Non	Oui
Alimentation électrique			
Circuit électrique dont les conducteurs sont proches les uns des autres et portant un courant net de 100 A ou moins — y compris câblage, dispositifs de commutation, transformateurs, etc. — exposition aux champs magnétiques	Non	Non	Non
Circuit électrique dont les conducteurs sont proches les uns des autres et portant un courant net supérieur à 100 A — y compris câblage, dispositifs de commutation, transformateurs, etc. — exposition aux champs magnétiques	Oui	Oui	Oui

Circuits électriques au sein d'une installation avec un courant de phase nominal de 100 A ou moins pour le circuit individuel — y compris câblage, dispositifs de commutation, transformateurs, etc. — exposition aux champs magnétiques	Non	Non	Non
Circuits électriques au sein d'une installation avec un courant de phase nominal supérieur à 100 A pour le circuit individuel — y compris câblage, dispositifs de commutation, transformateurs, etc. — exposition aux champs magnétiques	Oui	Oui	Oui
Installations électriques avec un courant de phase nominal supérieur à 100 A — y compris câblage, dispositifs de commutation, transformateurs, etc. — exposition aux champs magnétiques	Oui	Oui	Oui
Installations électriques avec un courant de phase nominal de 100 A ou moins — y compris câblage, dispositifs de commutation, transformateurs, etc. — exposition aux champs magnétiques	Non	Non	Non
Générateurs et générateurs de secours — travail sur les générateurs	Non	Non	Oui
Inverseurs, y compris sur les systèmes photovoltaïques	Non	Non	Oui
Conducteur nu aérien d'une tension nominale maximale de 100 kV, ou ligne aérienne d'une tension maximale de 150 kV au-dessus du lieu de travail — exposition aux champs électriques	Non	Non	Non
Conducteur nu aérien d'une tension nominale supérieure à 100 kV, ou ligne aérienne d'une tension supérieure à 150 kV ⁽¹⁾ , au-dessus du lieu de travail — exposition aux champs électriques	Oui	Oui	Oui
Conducteurs nus aériens quelle que soit la tension — exposition aux champs magnétiques	Non	Non	Non
Circuits de câbles souterrains ou isolés, quelle que soit la tension nominale — exposition aux champs électriques	Non	Non	Non
Éoliennes — travail sur éoliennes	Non	Oui	Oui
Industrie légère			
Procédés de soudage à l'arc manuel (y compris soudage MIG, MAG, TIG), dans le respect des bonnes pratiques et sans porter le câble sur le corps	Non	Non	Oui
Chargeurs de batteries industriels	Non	Non	Oui
Chargeurs de batteries — gros chargeurs professionnels	Non	Non	Oui
Matériel de revêtement et de peinture	Non	Non	Non
Équipement de contrôle sans émetteurs radio	Non	Non	Non
Équipement de traitement par effet de couronne	Non	Non	Oui
Chauffage diélectrique	Oui	Oui	Oui
Soudage diélectrique	Oui	Oui	Oui
Équipement de peinture électrostatique	Non	Oui	Oui
Fours à résistance chauffante	Non	Non	Oui
Pistolets à colle (portatifs) — présence sur le lieu de travail	Non	Non	Non
Pistolets à colle — utilisation	Non	Non	Oui
Canons à chaleur (portatifs) — présence sur le lieu de travail	Non	Non	Non
Canons à chaleur — utilisation	Non	Non	Oui
Rampes hydrauliques	Non	Non	Non
Chauffage par induction	Oui	Oui	Oui

⁽¹⁾ Pour les lignes aériennes d'une tension supérieure à 150 kV, l'intensité du champ électrique sera généralement, mais pas toujours, inférieure au niveau de référence prévu dans la recommandation 1999/519/CE du Conseil.

Systèmes de chauffage par induction automatisés, détection des défaillances et réparation nécessitant de s'approcher très près de la source de CEM	Non	Oui	Oui
Équipement de scellage par induction	Non	Non	Oui
Soudure par induction	Oui	Oui	Oui
Machines-outils (par exemple, foreuses sur pieds, broyeurs, tours, fraiseuses, scies)	Non	Non	Oui
Inspection par particules magnétiques (détection de fissures)	Oui	Oui	Oui
Magnétiseurs/Démagnétiseurs industriels (y compris effaceurs de bandes)	Oui	Oui	Oui
Équipements et instruments de mesure ne contenant pas d'émetteurs radio	Non	Non	Non
Chauffage et séchage par micro-ondes, dans l'industrie du bois (séchage, mise en forme, collage du bois)	Oui	Oui	Oui
Dispositif au plasma RF, y compris dépôt par le vide et pulvérisation	Oui	Oui	Oui
Outils électriques, à main et portatifs (par exemple, foreuses, ponceuses, scies circulaires et meuleuses d'angle) — utilisation	Non	Non	Oui
Outils électriques, à main et portatifs — présence sur le lieu de travail	Non	Non	Non
Systèmes de soudage automatisés, détection des défaillances et réparation nécessitant de s'approcher très près de la source de CEM	Non	Oui	Oui
Soudage, résistance manuelle (soudage par points, soudage au galet)	Oui	Oui	Oui
Industrie lourde			
Électrolyse industrielle	Oui	Oui	Oui
Fours, fusion à l'arc	Oui	Oui	Oui
Fours, fusion par induction (fours de plus petite taille), possèdent normalement des champs accessibles plus élevés que les fours de plus grande taille	Oui	Oui	Oui
Construction			
Matériel de construction (par exemple, bétonnières, vibreurs, grues, etc.) — travail à proximité étroite	Non	Non	Oui
Séchage par micro-ondes dans le secteur de la construction	Oui	Oui	Oui
Médical			
Matériel médical n'utilisant pas de CEM à des fins de diagnostic ou de traitement	Non	Non	Non
Équipement médical utilisant des CEM à des fins de diagnostic et de traitement (par exemple, diathermie à ondes courtes, stimulation magnétique transcrânienne)	Oui	Oui	Oui
Transports			
Véhicules et installations à moteur — travail à proximité du démarreur, de l'alternateur, de systèmes d'allumage	Non	Non	Oui
Radars pour le contrôle du trafic aérien, l'armée, radars météo et longue portée	Oui	Oui	Oui
Trains et trams à propulsion électrique	Oui	Oui	Oui

Divers			
Chargeurs de batteries, couplage inductif ou de proximité	Non	Non	Oui
Chargeurs de batteries sans couplage de proximité, conçus pour un usage domestique	Non	Non	Non
Systèmes et dispositifs de radiodiffusion (radio et télévision: LF, MF, HF, VHF, UHF)	Oui	Oui	Oui
Équipements produisant des champs magnétiques statiques de plus de 0,5 millitesla, que ce soit par l'électricité ou par des aimants permanents (par exemple, mandrins, tables et transporteurs magnétiques, aimants de levage, ancrages, plaques signalétiques et badges magnétiques)	Non	Non	Oui
Équipements mis sur le marché européen comme étant conformes à la recommandation 1999/519/CE du Conseil ou aux normes harmonisées en matière de CEM	Non	Non	Non
Écouteurs produisant des champs magnétiques puissants	Non	Non	Oui
Équipement de cuisine par induction, professionnel	Non	Non	Oui
Tous types d'équipements non électriques, à l'exception des équipements contenant des aimants permanents	Non	Non	Non
Équipements portatifs (alimentés par batterie) ne contenant pas d'émetteurs radio	Non	Non	Non
Radios bidirectionnelles (par exemple, walkie-talkie, radios de véhicules)	Non	Non	Oui
Émetteurs alimentés par batteries	Non	Non	Oui

NB: (*) Évaluation requise par rapport aux VA et VLE applicables (voir le chapitre 6).

(**) À évaluer par rapport aux niveaux de référence de la recommandation du Conseil (voir le point 5.4.1.3 et l'annexe E).

(***) L'exposition individuelle localisée peut dépasser les niveaux de référence de la recommandation du Conseil. Il conviendra d'en tenir compte dans l'évaluation des risques, qui devrait utiliser les informations fournies par l'équipe médicale chargée de l'implantation du dispositif ou des soins postimplantation (voir le point 5.4.1.3 et l'annexe E).

3.2.1. Activités de travail, équipements et lieux de travail susceptibles de nécessiter une évaluation spécifique

Sur les lieux de travail qui utilisent des équipements fonctionnant avec des tensions ou des courants élevés ou situés à proximité d'équipements de ce type, il se peut que certaines zones présentent des champs électromagnétiques puissants. Il en va de même pour les équipements conçus pour émettre délibérément des rayonnements électromagnétiques de forte puissance. Ces champs puissants sont susceptibles de dépasser les VA ou les VLE définies dans la directive CEM, ou de poser des risques inacceptables de par leurs effets indirects.

La colonne 1 du tableau 3.2 recense des situations susceptibles de générer des champs puissants nécessitant normalement une évaluation spécifique des CEM. Ce tableau se fonde sur le fait que les données de mesures existantes pour des situations de ce type révèlent la possibilité de champs suffisamment puissants pour approcher, et parfois dépasser, les VA concernées. La mention «Oui» dans la colonne 1 ne signifie pas que le champ accessible dépassera avec certitude une VLE, mais plutôt qu'il n'est pas possible d'affirmer avec certitude que la VLE sera toujours respectée, compte tenu des variations auxquelles on peut s'attendre sur le lieu de travail. Il est dès lors recommandé d'effectuer une évaluation spécifique pour chaque lieu de travail.

On notera que le tableau 3.2 fournit simplement des exemples de situations fréquemment rencontrées sur le lieu de travail. Il ne saurait être considéré comme une liste exhaustive, et il peut exister d'autres équipements spécialisés ou processus inhabituels non repris dans le tableau. Cette liste devrait néanmoins aider les employeurs à identifier les types de situations susceptibles de nécessiter une évaluation plus détaillée.

3.3. Activités de travail, équipements et lieux de travail non repris au présent chapitre

Lorsqu'un employeur constate l'existence sur son lieu de travail d'une situation qui ne semble pas être couverte par le tableau 3.2, la première chose à faire est de recueillir un maximum d'informations dans les manuels et autres documents dont il dispose. L'étape suivante consiste à rechercher des informations auprès de sources externes, par exemple auprès des fabricants d'équipements ou des associations sectorielles (voir le chapitre 7 du présent guide).

S'il n'existe aucune autre source d'informations concernant les CEM, il peut être nécessaire d'effectuer une évaluation par des mesures ou des calculs (voir le chapitre 8).

Section 2

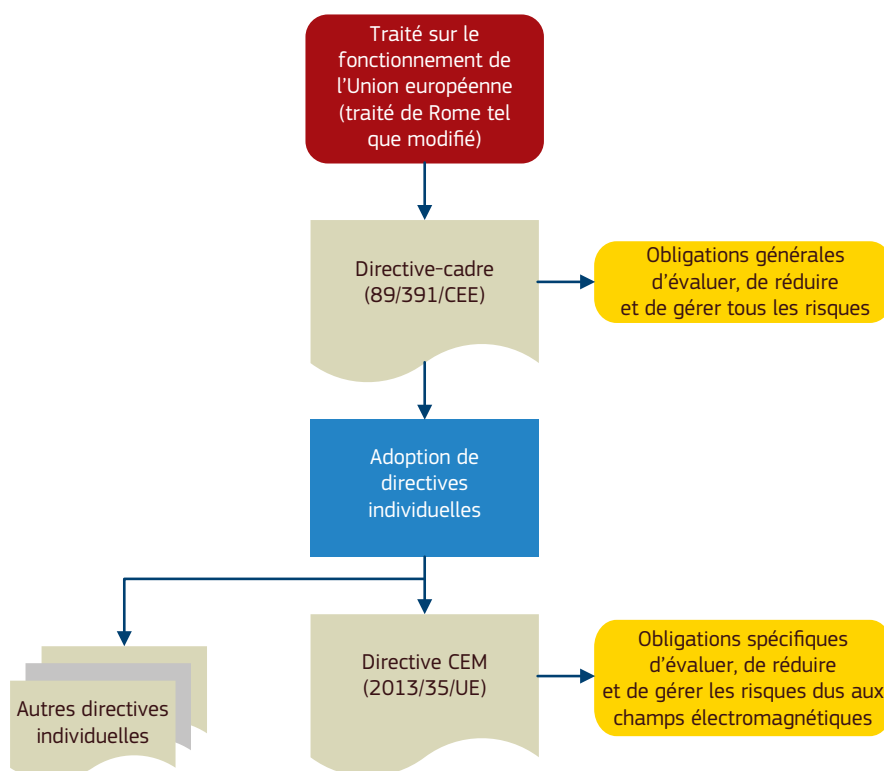
DÉTERMINER S'IL FAUT EN FAIRE PLUS

4. STRUCTURE DE LA DIRECTIVE CEM

Le texte intégral de la directive CEM (2013/35/UE) est repris à l'annexe L du présent guide. Ce chapitre explique comment et pourquoi la directive CEM a été adoptée et fournit une synthèse de ses principales exigences.

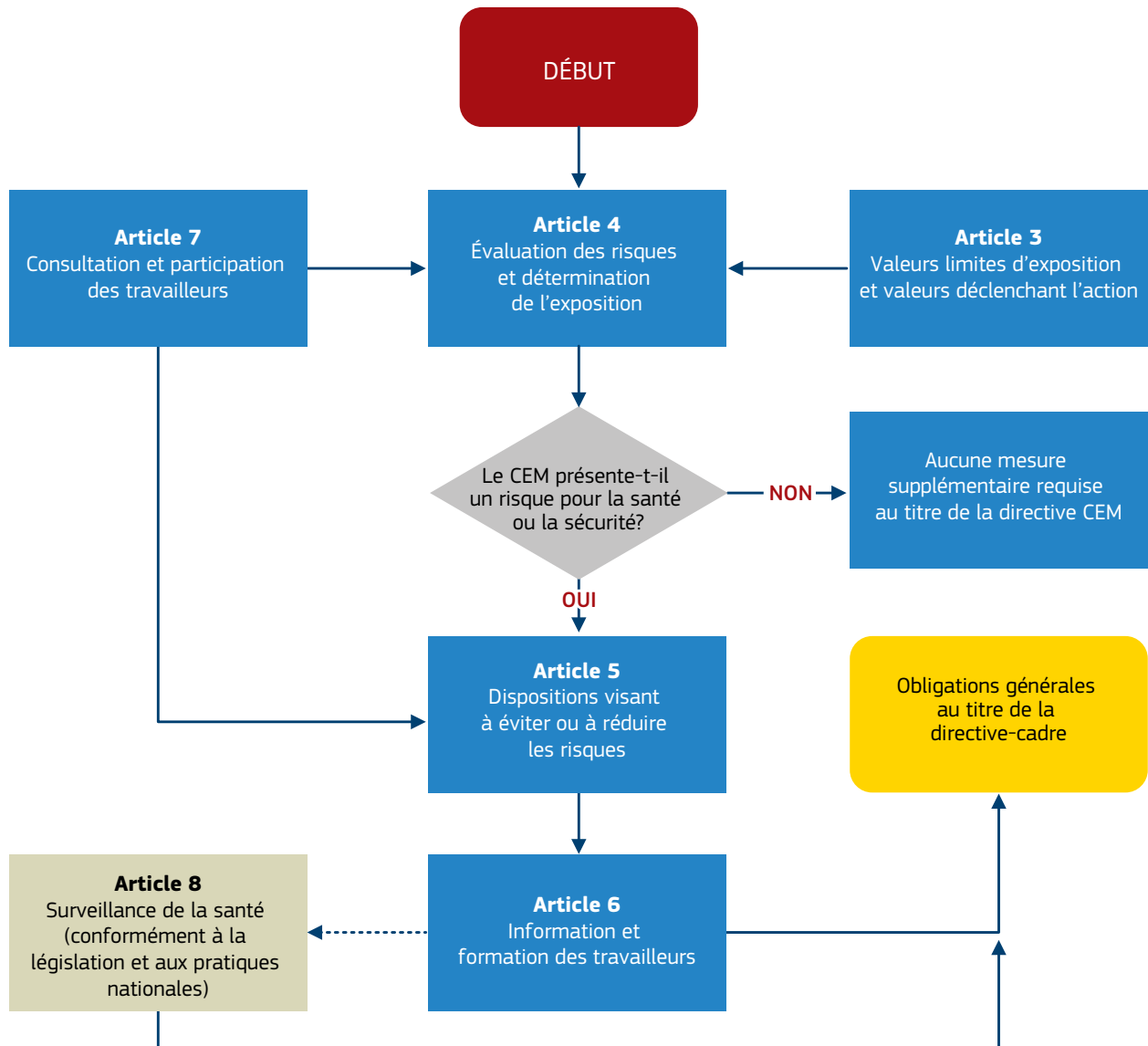
Le traité de Rome (remplacé aujourd'hui par le traité sur le fonctionnement de l'Union européenne) fixe l'objectif d'encourager les améliorations de l'environnement de travail en ce qui concerne la santé et la sécurité des travailleurs. Afin de contribuer à la réalisation de cet objectif, il permet l'adoption de directives fixant des exigences minimales. En 1989, la directive-cadre 89/391/CEE a été adoptée en tant que directive générale dans ce domaine. Elle définit des prescriptions générales en matière d'évaluation et de réduction des risques, de préparation aux situations d'urgence, d'information, de participation et de formation des travailleurs, d'obligations des travailleurs et de surveillance de la santé. Elle prévoit également l'adoption de directives individuelles qui fournissent principalement des détails supplémentaires quant à la façon d'atteindre les objectifs de la directive-cadre dans des situations particulières. La directive CEM est la vingtième directive de ce type. Le schéma 4.1 indique la position de cette directive dans le paysage législatif général.

Schéma 4.1 — Représentation schématique du contexte législatif de la directive CEM



Le schéma 4.2 fournit une vue d'ensemble des principaux articles de la directive CEM pertinents pour les employeurs et illustre leurs interactions.

Schéma 4.2 — Présentation schématique des interactions entre les articles de la directive CEM



Comme indiqué ci-dessus, la directive CEM a été adoptée afin d'aider les employeurs à respecter leurs obligations au titre de la directive-cadre dans le cas particulier du travail entraînant une exposition à des CEM. De ce fait, bon nombre des exigences de la directive CEM reflètent les exigences de la directive-cadre plus générale, et il convient donc d'utiliser conjointement les deux directives. La directive CEM porte principalement sur l'évaluation des risques dus aux champs électromagnétiques sur le lieu de travail et, si nécessaire, sur la mise en place de mesures visant à réduire ces risques. Toutefois, l'une des conséquences de la relation entre les deux directives est que la plupart des employeurs qui respectent déjà leurs obligations au titre de la directive-cadre devraient constater qu'ils n'ont pas grand-chose de plus à faire pour se conformer à la directive CEM.

La directive CEM vise à instaurer des exigences *minimales* en matière de santé et de sécurité dans le contexte de l'exposition à des CEM au travail. Conformément au traité sur le fonctionnement de l'Union européenne, les États membres peuvent décider de maintenir leur législation existante ou d'adopter de nouvelles mesures législatives assorties d'exigences plus strictes que celles prévues par la directive CEM.

4.1. Article 3 — Valeurs limites d'exposition et valeurs déclenchant l'action

L'article 3 limite les expositions maximales en fixant des valeurs limites d'exposition (VLE) pour les effets sensoriels et sur la santé. Ces valeurs sont définies aux annexes II (effets non thermiques) et III (effets thermiques) de la directive CEM. Les VLE relatives aux effets sur la santé doivent toujours être respectées. Il est par contre acceptable de dépasser temporairement les VLE en matière d'effets sensoriels, pour autant que les travailleurs reçoivent des informations et que d'autres mesures soient mises en place, conformément aux dispositions de l'article 3.



Message clé: définitions

De nombreux termes utilisés dans la directive CEM sont définis à l'article 2. Toutefois, certains termes, comme «temporairement» et «justifié», ne sont pas définis et peuvent être utilisés différemment en fonction du contexte. Lorsque certains termes ne sont pas définis explicitement dans la directive CEM, il incombe aux États membres de les définir lors de la transposition, soit dans leur législation, soit par d'autres moyens.

Dans la plupart des cas, les VLE sont définies en termes de quantités internes dans le corps qu'il est impossible de mesurer directement ou de calculer simplement. C'est pourquoi l'article 3 instaure des «valeurs déclenchant l'action» (VA), définies en termes de valeurs de champ externes plus faciles à déterminer par mesure ou calcul. Les VA sont définies aux annexes II et III de la directive CEM. Si les VA ne sont pas dépassées, on peut supposer que les expositions respectent les VLE et il n'est pas nécessaire de procéder à une évaluation plus poussée. Il peut être acceptable de dépasser certaines VA dans certaines circonstances, et l'article 3 définit les règles à respecter en la matière.

L'application des VA et VLE dans la pratique est compliquée. Elle est décrite plus en détail au chapitre 6 du présent guide.

4.2. Article 4 — Détermination de l'exposition et évaluation des risques

Pour créer un lieu de travail plus sûr, la première chose à faire est d'évaluer les risques présents. Le chapitre 5 du présent guide fournit des informations supplémentaires concernant l'évaluation des risques dus aux CEM sur le lieu de travail, et aborde notamment les éléments à prendre en considération pour se conformer à l'article 4. On notera qu'il ne suffit pas de démontrer le respect des VA ou des VLE, puisque cette conformité ne suffit pas nécessairement à protéger de façon adéquate les travailleurs à risques particuliers ou à éviter les risques pour la sécurité dus aux effets indirects.

Pour évaluer les risques dus aux CEM sur le lieu de travail, il est nécessaire de comprendre la nature des champs présents. C'est pourquoi l'article 4 impose également aux employeurs de recenser et d'évaluer les CEM sur le lieu de travail. Il permet toutefois aux employeurs de tenir compte des informations fournies par des tiers, et leur impose d'évaluer les champs eux-mêmes uniquement dans les cas où il n'est pas possible de démontrer la conformité par d'autres moyens.

La possibilité d'utiliser les données fournies par les fabricants ou publiées dans des bases de données d'évaluations génériques est importante. En effet, pour la plupart des employeurs, il s'agit de loin du moyen le plus simple d'évaluer les CEM sur le lieu de travail. Le chapitre 7 du présent guide aborde l'utilisation d'informations fournies par des tiers; les études de cas du volume 2 en fournissent quelques exemples.

Même dans les cas où les employeurs doivent évaluer les champs eux-mêmes, l'article 4 leur laisse le choix entre une évaluation par mesure ou par calcul. Cette souplesse permet aux employeurs de choisir l'approche la plus simple en fonction de leur situation particulière. De nombreux facteurs ont une incidence sur l'approche à suivre. Ces facteurs sont abordés plus en profondeur au chapitre 8 du présent guide, et l'annexe D fournit des orientations supplémentaires.

4.3. Article 5 — Dispositions visant à éviter ou à réduire les risques

Dans les cas où les VA ne sont pas dépassées et où l'on peut exclure d'autres effets, les employeurs ne sont pas tenus de prendre des mesures supplémentaires. Ils doivent simplement s'assurer qu'ils continuent de respecter leurs obligations au titre de la directive-cadre. Ce suivi inclut un réexamen périodique de l'évaluation des risques pour s'assurer qu'elle reste d'actualité.

Lorsque des VA sont dépassées, l'employeur peut tenter de démontrer, si possible, le respect des VLE et l'absence d'autres risques pour la sécurité dus aux CEM. Dans de nombreux cas cependant, il sera plus facile et moins coûteux de prendre des mesures visant à éviter les risques plutôt que de démontrer la conformité aux VLE. Comme pour les autres aspects de la directive CEM, les approches générales pour éviter ou réduire les risques devraient suivre celles de la directive-cadre. La plupart des employeurs ont le choix parmi plusieurs options, et l'option la mieux adaptée dépend de leur situation particulière. Le chapitre 9 de ce guide présente certaines approches communément utilisées, et notamment certaines mesures propres aux risques engendrés par les CEM.

Comme indiqué au point 4.1 ci-dessus, l'article 3 permet de dépasser temporairement les VA basses ou les VLE relatives aux effets sensoriels moyennant le respect de certaines conditions. L'article 5 définit les précautions à prendre dans ces situations.

Même dans les cas où les VA ne sont pas dépassées, l'employeur devra considérer que ce niveau n'offre pas nécessairement une protection adéquate aux travailleurs à risques particuliers et qu'il ne permet pas nécessairement d'éviter les risques pour la sécurité dus aux effets indirects. Ici aussi, il existe souvent différentes approches possibles pour gérer ces risques. Ces options sont également abordées plus en profondeur au chapitre 9.

4.4. Article 6 — Information et formation des travailleurs

Comme pour les autres aspects de la directive CEM, les exigences de l'article 6 sont largement similaires aux articles correspondants de la directive-cadre. Dans les cas où des risques ont été découverts, il convient de fournir des informations et d'offrir une formation adaptées. On sait cependant que de nombreux travailleurs peuvent mal connaître la nature des dangers associés aux CEM, les symptômes possibles ou les concepts tels que les VLE ou les VA. Il convient donc que la formation aborde plus particulièrement ces points. Les travailleurs devront également recevoir des informations spécifiques concernant les résultats de l'évaluation de leur lieu de travail spécifique.

Il importe également de mettre les risques en perspective. Les travailleurs doivent avoir conscience du fait que de nombreuses sources de champs électromagnétiques sur le lieu de travail ne présentent aucun risque pour leur santé ou leur sécurité. Bon nombre des équipements concernés, comme les téléphones mobiles ou les appareils de levage, peuvent au contraire contribuer à leur bien-être ou leur faciliter nettement le travail. Le chapitre 9 du présent guide aborde plus en profondeur l'information et la formation.

4.5. Article 7 — Consultation et participation des travailleurs

L'article 7 de la directive CEM se réfère directement à l'article 11 de la directive-cadre.

4.6. Article 8 — Surveillance de la santé

L'article 8 de la directive CEM se fonde sur les exigences de l'article 14 de la directive-cadre. Les États membres ont la possibilité d'adapter ces exigences aux systèmes déjà en place au niveau national, de sorte que la mise en œuvre pratique de cet article varie probablement d'un pays à l'autre. Le chapitre 11 du présent guide fournit des orientations en matière de surveillance de la santé.

4.7. Article 10 — Dérogations

L'article 10 accorde une dérogation non discrétionnaire et deux dérogations discrétionnaires. On entend par «dérogation» l'assouplissement d'une exigence législative. En l'occurrence, et dans des circonstances bien précises, les employeurs ne sont pas tenus de respecter certaines exigences de la directive CEM pour autant que les travailleurs bénéficient d'une protection adéquate.

La dérogation non discrétionnaire concerne l'installation, l'essai, l'utilisation, le développement, l'entretien d'équipements d'imagerie par résonance magnétique (IRM) dans le secteur de la santé ou la recherche dans ce domaine. Les dérogations autorisent des expositions supérieures aux VLE moyennant le respect de certaines conditions. Ces conditions sont abordées plus en profondeur à l'annexe F du présent guide, qui fournit également des orientations destinées aux employeurs quant à la façon de démontrer leur conformité.

La première dérogation discrétionnaire permet aux États membres d'autoriser l'utilisation d'un système de protection alternatif pour le personnel travaillant dans des installations militaires, participant à des activités militaires ou participant à des exercices militaires internationaux conjoints. Cette dérogation est soumise à la condition de prévenir les effets nocifs pour la santé et les risques pour la sécurité.

La deuxième dérogation discrétionnaire est une dérogation générale permettant aux États membres d'autoriser le dépassement temporaire des VLE dans des secteurs spécifiques ou pour des activités spécifiques moyennant le respect de certaines conditions.

Ces dérogations sont abordées plus en profondeur au point 6.4 du présent guide.

4.8. Résumé

La directive CEM a été adoptée afin d'aider les employeurs à respecter leurs obligations au titre de la directive-cadre en ce qui concerne les risques spécifiques associés aux CEM. La plupart des employeurs respectent déjà leurs obligations au titre de la directive-cadre et, ce faisant, s'acquittent aussi de leurs responsabilités au titre de la directive CEM. Cependant, pour certains lieux de travail présentant des champs de plus forte intensité, il se peut que les employeurs doivent procéder à des évaluations plus détaillées et prendre des mesures supplémentaires pour éviter ou réduire les risques. Les employeurs doivent également fournir des informations à leur personnel et assurer sa formation. Ils doivent associer les travailleurs à la gestion des risques et respecter les pratiques en vigueur au niveau national en matière de surveillance de la santé.

L'imagerie par résonance magnétique dans le secteur de la santé fait l'objet d'une dérogation non discrétionnaire. D'autres dérogations permettent aux États membres d'adopter un système alternatif de protection pour les activités militaires et d'autoriser le dépassement temporaire des VLE dans d'autres secteurs sous certaines conditions.

5. L'ÉVALUATION DES RISQUES DANS LE CONTEXTE DE LA DIRECTIVE CEM

L'évaluation des risques est une exigence fondamentale de la directive-cadre, comme le reflète l'article 4 de la directive CEM. Celui-ci présente un certain nombre d'éléments particuliers à prendre en considération pour évaluer les risques dus aux CEM. Ce chapitre fournit des orientations quant à la façon d'aborder l'évaluation des risques dus aux champs électromagnétiques. Chaque employeur peut adapter ces conseils pour les intégrer aux systèmes d'évaluation des risques qu'il a déjà mis en place.

De manière générale, il n'existe pas de règles fixes quant à la façon de procéder à l'évaluation des risques. Il est toutefois recommandé de consulter les autorités nationales pour savoir s'il existe des exigences spécifiques au niveau national. Les approches structurées de l'évaluation des risques sont généralement les plus efficaces puisqu'elles permettent de détecter systématiquement les dangers et les travailleurs exposés à un risque. Ces approches contribuent à éviter d'omettre certains risques par inadvertance. La complexité de l'évaluation varie selon la nature des tâches à évaluer, mais l'expérience semble indiquer que, dans la plupart des situations, il est préférable qu'elle reste aussi simple que possible.

De même qu'il n'existe pas de règles fixes concernant la réalisation des évaluations des risques, la terminologie utilisée peut aussi varier. Le présent chapitre utilise les termes et définitions recommandés par l'Agence européenne pour la sécurité et la santé au travail (tableau 5.1).

Tableau 5.1 — Termes et définitions utilisés dans le présent guide en matière d'évaluation des risques

Danger	La propriété ou capacité intrinsèque par laquelle une chose est susceptible de causer un dommage.
Risque	La probabilité que le dommage potentiel se réalise dans les conditions d'utilisation et/ou d'exposition et l'ampleur éventuelle du dommage.
Évaluation des risques	Le processus d'évaluation du risque pour la santé et la sécurité des travailleurs dans l'exercice de leur travail en raison de la présence d'un danger sur le lieu de travail.

Une évaluation des risques complète doit prendre en considération tous les dangers associés à l'activité de travail. Cependant, aux fins des présentes orientations, seuls les dangers liés aux CEM sont abordés. Le volume 2 du présent guide donne des exemples d'évaluations des risques concernant plus particulièrement les CEM. Pour certaines informations, le fabricant du produit fournira des informations suffisantes pour conclure que le risque est géré de façon adéquate. Le processus d'évaluation des risques n'est donc pas nécessairement coûteux. L'évaluation doit être conservée conformément à la législation et aux pratiques nationales.

L'évaluation des risques est une responsabilité qui incombe à la direction, mais elle doit être réalisée en concertation avec les travailleurs, qui doivent recevoir des informations concernant le résultat de l'évaluation.

5.1. Plate-forme d'évaluation interactive des risques en ligne (OIRA)

Dans le cadre d'une initiative visant à aider les microentreprises et les petites organisations, l'Agence européenne pour la sécurité et la santé au travail (EU-OSHA) a créé la plate-forme d'évaluation interactive des risques en ligne (OIRA). Cette plate-forme est hébergée sur un site internet spécifique (www.oiraproject.EU) donnant accès aux outils OIRA. Ces outils sont mis à disposition gratuitement et sont conçus pour aider les employeurs à mettre en place un processus d'évaluation des risques par étapes. Ces outils sont propres à chaque secteur, de sorte qu'ils aident les employeurs à recenser les dangers les plus fréquents dans leur secteur.

Comme l'indique le tableau 5.2 ci-dessous, le processus OIRA compte quatre phases principales.

Tableau 5.2 — Phases du processus OIRA

Préparation	Cette phase vous donne une vue d'ensemble de l'évaluation que vous êtes sur le point de commencer et peut vous permettre d'adapter plus précisément l'évaluation à la nature particulière de votre activité.
Identification	L'OIRA présente une série de dangers potentiels pour la santé et la sécurité ou de problèmes susceptibles de survenir sur votre lieu de travail. En répondant par oui ou par non à ces affirmations ou questions, vous indiquez si ces dangers ou problèmes sont effectivement présents. Vous pouvez également décider de laisser une question sans réponse et donc d'y revenir ultérieurement.
Évaluation	Lors de cette phase, vous pourrez déterminer le niveau de risque associé à chacun des éléments que vous avez relevés comme nécessitant une action à la phase d'identification.
Plan d'action	À la quatrième phase de l'évaluation, vous pouvez définir les mesures à prendre pour faire face aux risques que vous avez recensés précédemment et pour définir les ressources qui pourraient être nécessaires. Sur cette base, un rapport est généré automatiquement à la phase suivante.

Les orientations présentées ci-dessous sont conformes au processus OIRA et devraient s'avérer utiles pour les personnes qui utilisent les outils OIRA. On sait toutefois que tous les employeurs ne voudront pas utiliser les outils OIRA. Certains possèdent déjà des systèmes d'évaluation des risques, tandis que d'autres utilisent peut-être des systèmes de gestion de la santé et de la sécurité tels que l'OHSAS 18001. Les conseils donnés au présent chapitre sont donc conçus pour s'appliquer dans toutes ces situations.

5.2. Étape 1 — Préparation

Dans toute évaluation des risques, la première étape consiste à recueillir des informations relatives aux activités de travail, et notamment les informations suivantes:

- description des tâches;
- liste des personnes chargées du travail;
- façon dont le travail est effectué;
- équipement utilisé pour accomplir les tâches.

La consultation des travailleurs et l'observation des activités de travail sont particulièrement importantes lors de cette phase. La façon dont une activité de travail est accomplie en pratique peut être différente de la théorie.

Il importe également de s'assurer que l'évaluation des risques couvre aussi bien les activités routinières que les activités exceptionnelles ou intermittentes, par exemple:

- le nettoyage,
- la maintenance,
- l'entretien,
- les réparations,
- les nouvelles installations,
- la mise en service,
- la mise hors service.

5.3. Étape 2 — Recherche des dangers et identification des personnes en danger

5.3.1. Recherche des dangers

La première étape dans la recherche des dangers liés aux CEM consiste à recenser les activités et les équipements qui génèrent des champs électromagnétiques sur le lieu de travail. Il est utile de comparer cette liste avec le tableau 3.2 du chapitre 3 puisque, dans bien des cas, la nature de l'activité ou la conception de l'équipement font que seuls des champs de faible intensité sont générés. Ces champs de faible intensité ne sont pas dangereux, même dans le cas d'activités ou d'équipements multiples à proximité immédiate.

La directive CEM reconnaît que certains lieux de travail ouverts au public peuvent avoir déjà été évalués dans le contexte de la recommandation du Conseil relative à la limitation de l'exposition du public aux champs électromagnétiques (1999/519/CE). Si ces lieux de travail respectent la recommandation 1999/519/CE du Conseil et si les risques pour la santé et la sécurité peuvent être exclus, il n'est pas obligatoire de procéder à une évaluation plus poussée de l'exposition. Ces conditions sont réputées satisfaites si:

- l'équipement destiné à une utilisation publique est utilisé comme prévu;
- l'équipement respecte les directives «produits» fixant des niveaux de sécurité plus élevés que ceux prévus par la directive CEM;
- aucun autre équipement n'est utilisé.

Le tableau 3.2 du chapitre 3 est également utile pour recenser les activités et les équipements susceptibles de nécessiter une évaluation détaillée.

Certaines sources génèrent des champs de plus forte intensité mais qui ne sont pas accessibles en situation d'utilisation normale en raison du boîtier renfermant les équipements concernés ou parce que les zones de travail sont gardées. Dans de telles situations, il importe de déterminer si des travailleurs peuvent se trouver exposés à ces champs de forte intensité lors des activités de maintenance, d'entretien ou de réparation.

Les fabricants et installateurs d'équipements doivent tenir compte du fait que les essais pratiqués sur les équipements partiellement montés peuvent exposer des travailleurs à des champs de forte intensité qui seraient normalement inaccessibles.

5.3.2. Recensement des mesures de prévention et de précaution existantes

Sur la plupart des lieux de travail, une série de mesures de prévention et de précaution sont déjà en place en vue d'éliminer ou de réduire les risques sur le lieu de travail. Il se peut que ces mesures aient été prises précisément à l'égard des champs électromagnétiques. Dans d'autres cas, elles auront été mises en place pour faire face à d'autres dangers, mais contribueront également à limiter l'exposition aux CEM.

Il importe donc de recenser les mesures de prévention et de précaution existantes pour alimenter le processus d'évaluation des risques.

5.3.3. Identification des personnes exposées aux risques

Il y a lieu d'identifier les personnes susceptibles de subir un préjudice du fait des dangers constatés. Ce faisant, il importe de prendre en considération tous les travailleurs présents sur le lieu de travail. Les personnes qui accomplissent un travail ou qui utilisent des équipements produisant des champs de forte intensité devraient être facilement identifiables. Il importe toutefois de tenir compte des personnes qui accomplissent d'autres tâches ou qui travaillent avec d'autres équipements, mais qui pourraient également être exposées à ces champs. Par exemple, l'évaluation des champs générés par le fer à souder par points de table dans l'étude de cas de l'atelier de fabrication (volume 2 du présent guide) montre que ce champ n'a pas son intensité la plus forte là où se trouve l'opérateur, mais le long de l'équipement. Si le poste à souder se trouve à côté d'un passage, les autres travailleurs qui empruntent ce passage pourraient être exposés à des champs plus puissants que l'opérateur.

Il importe également de prendre en considération les risques auxquels sont exposées les personnes qui ne sont pas des salariés de l'entreprise mais qui pourraient néanmoins être présentes sur le lieu de travail. Il peut s'agir par exemple de visiteurs, d'ingénieurs de maintenance, d'autres sous-traitants ou encore de livreurs.

5.3.4. Travailleurs à risques particuliers

Il est obligatoire de tenir compte des travailleurs susceptibles de courir des risques particuliers, et la directive CEM décrit en particulier quatre groupes de travailleurs relevant de cette catégorie (voir le tableau 3.1 pour plus de détails):

- les travailleurs qui portent des dispositifs médicaux implantés actifs;
- les travailleurs portant des dispositifs médicaux implantés passifs;
- les travailleurs portant des dispositifs médicaux à même le corps;
- les travailleuses enceintes.

Les travailleurs appartenant à l'un de ces groupes peuvent être exposés à un risque dû aux champs électromagnétiques plus élevé que le reste de la population active, et ils devraient faire l'objet d'une évaluation des risques spécifique (voir le point 5.4.1.3 ci-après). Cette évaluation indiquera parfois que les risques restent tolérables, mais dans d'autres cas, il peut s'avérer nécessaire d'adapter leurs conditions de travail afin de réduire le risque.

5.4. Étape 3 — Évaluer et hiérarchiser les risques

5.4.1. Évaluation du risque

L'évaluation des risques peut présenter une complexité variable, depuis la simple estimation d'un degré de risque faible, moyen ou élevé jusqu'à une analyse hautement quantitative. L'évaluation simple sera normalement adéquate dans le cas des risques faibles, par exemple pour toutes les activités et tous les équipements pour lesquels la réponse est «Non» à *toutes* les colonnes du tableau 3.2. Dans les cas où l'on s'attend à des champs plus puissants, par contre, l'évaluation sera en général plus complexe et inclura éventuellement une évaluation quantitative permettant de déterminer l'importance de tous les dangers éventuels.

L'évaluation des risques devrait prendre en considération la gravité d'un événement lié à un danger et la probabilité que cet événement se produise.

Le niveau de gravité attribué devrait refléter le résultat escompté de l'événement lié à un danger. L'interaction de différents champs électromagnétiques sur le lieu de travail fait que différents résultats présentant une gravité variable sont possibles. Le lecteur trouvera ci-dessous des exemples de résultats et de niveaux de gravité possibles. Dans la pratique, l'attribution du niveau de gravité relève de l'appréciation de l'évaluateur et est influencée par l'intensité du champ accessible et par d'autres circonstances locales.

Tableau 5.3 — Exemples de résultats et de niveaux de gravité possibles découlant de l'interaction de CEM sur le lieu de travail

Résultat	Gravité
Sensations de vertige et nausées Éclairs de lumière (phosphènes) Fourmillement ou douleur (stimulation nerveuse) Légère augmentation de la température des tissus Audition de micro-ondes (effet de Frey)	Faible
Déplacement de projectiles ferromagnétiques dans des champs magnétiques statiques Interférence avec des dispositifs médicaux implantés Augmentations importantes de la température des tissus	Élevée
Inflammation d'atmosphères inflammables Amorçage de détonateurs	Fatale

L'évaluation de la probabilité devra prendre en considération un certain nombre de facteurs, et notamment l'accès au champ et la nature des tâches effectuées. L'accès aux champs de forte intensité est souvent limité pour d'autres raisons, telles que les dangers mécaniques ou électriques. Dans ces circonstances, il ne sera pas nécessaire d'appliquer d'autres restrictions. De même, l'évaluation de la probabilité devrait tenir compte du processus de travail. Il se peut par exemple qu'un four à induction fonctionne à pleine puissance pendant la phase initiale de mise à température, mais que les travailleurs ne se trouvent normalement pas à proximité immédiate du four pendant cette phase du cycle. Plus tard, une fois la charge fondue, il se peut que le four fonctionne à puissance nettement réduite, de sorte que les champs sont nettement moins forts.

L'évaluation des risques devra prendre en considération toutes les mesures de prévention ou de précaution éventuelles déjà en place (voir le point 5.3.2).

Les champs électromagnétiques peuvent engendrer des risques du fait des interactions directes et indirectes, et il convient d'évaluer ces risques séparément. Il se peut en outre que certains travailleurs présentent des risques particuliers (voir le point 5.3.4 ci-dessus), et les risques courus par ces travailleurs devront faire l'objet d'une évaluation distincte.



Message clé: évaluation des risques

L'évaluation des risques n'est pas nécessairement complexe, et les employeurs peuvent s'aider du tableau 3.2 pour déterminer le niveau de détail requis. L'évaluation devrait prendre en considération la gravité d'un événement lié à un danger et la probabilité que cet événement se produise.

5.4.1.1. Effets directs

L'évaluation des risques découlant de l'action directe des champs électromagnétiques sur les travailleurs doit tenir compte des caractéristiques des champs accessibles. Les principaux facteurs ayant une incidence sur l'importance de tout danger éventuel sont la ou les fréquences du champ et son intensité. D'autres facteurs tels que la forme des ondes, l'uniformité spatiale et les variations d'intensité du champ dans le temps peuvent toutefois aussi avoir leur importance.

La clé de cet aspect de l'évaluation est de déterminer si les travailleurs risquent de subir une exposition supérieure aux VLE (voir le chapitre 6). Dans les cas où il est impossible de dépasser les valeurs limites d'exposition, il n'y a aucun danger lié aux effets directs.

En général, pour les champs variant dans le temps d'une fréquence située entre 1 Hz et 6 GHz, il est difficile de mesurer ou de calculer les VLE, et la plupart des employeurs préféreront déterminer si les champs accessibles dépassent les valeurs déclenchant l'action (VA) liées aux effets directs. Si les valeurs déclenchant l'action ne sont pas dépassées, il est impossible de dépasser les VLE.

La directive CEM n'impose pas aux employeurs de procéder à des calculs ou à des mesures afin de déterminer que les valeurs déclenchant l'action ne sont pas dépassées, sauf si ces informations ne sont disponibles nulle part ailleurs. Bon nombre d'employeurs constateront que, pour toutes leurs activités et tous leurs équipements, la réponse est «Non» aux trois colonnes du tableau 2. Si tel est le cas, les valeurs déclenchant l'action ne seront pas dépassées, même dans le cas d'activités ou d'équipements multiples à proximité immédiate. Même dans le cas d'activités ou d'équipements non repris au tableau 3.2, il est parfois possible d'obtenir ailleurs des informations confirmant que les valeurs déclenchant l'action ne sont pas dépassées (voir le chapitre 7).

Dans les cas où les employeurs ne sont pas en mesure de démontrer leur conformité avec les VA ou les VLE sur la base d'informations immédiatement disponibles, ils peuvent soit procéder à une évaluation plus détaillée (voir le chapitre 8), soit envisager des mesures limitant l'accès aux champs concernés (voir le chapitre 9).

5.4.1.2. Effets indirects

Les champs électromagnétiques peuvent entraîner des risques pour la sécurité et la santé par leur interaction avec des objets présents dans le champ. La directive CEM exige d'évaluer ces risques séparément des risques liés aux effets directs.

La directive CEM recense différents effets indirects qu'il peut être nécessaire d'évaluer:

- interférence avec des équipements et dispositifs médicaux électroniques, y compris des stimulateurs cardiaques et d'autres implants ou dispositifs médicaux portés à même le corps;
- risque de projection d'objets ferromagnétiques dans des champs magnétiques statiques;
- amorçage de dispositifs électro-explosifs (détonateurs);

- incendies et explosions résultant de l'inflammation de matériaux inflammables par des étincelles causées par des champs induits, des courants de contact ou des décharges d'étincelles;
- courants de contact.

Nombre de ces effets indirects se produiront uniquement dans des situations spécifiques. Dès lors, pour la plupart des employeurs, la première chose à faire est de déterminer s'il existe une probabilité que ces effets se produisent sur leur lieu de travail.

La directive CEM définit des VA afin d'aider les employeurs à évaluer les risques pour deux de ces effets indirects, à savoir le risque de projection d'objets ferromagnétiques dans des champs magnétiques statiques et les courants de contact. Si la VA n'est pas dépassée, le risque est faible et aucune mesure de prévention ou de précaution supplémentaire n'est nécessaire.

Pour les autres effets indirects, il n'existe pas de VA, mais les normes européennes fournissent des orientations supplémentaires concernant l'évaluation des risques. Cet aspect est abordé plus en détail à l'annexe E du présent guide.

5.4.1.3. Travailleurs à risques particuliers

Pour les travailleurs à risques particuliers (voir le tableau 3.1), l'évaluation est généralement plus compliquée. Les VA relatives aux effets directs n'offrent pas nécessairement une protection adéquate à ces travailleurs, et une évaluation distincte est nécessaire.

Il se peut que les travailleurs qui possèdent des implants médicaux ou des dispositifs médicaux portés à même le corps aient reçu des informations précises concernant les intensités de champ ne présentant aucun danger. Si tel est le cas, ces informations constituent des critères d'évaluation et doivent prévaloir sur les informations plus générales éventuellement disponibles. Par exemple, l'évaluation relative à un porteur de stimulateur cardiaque dans l'étude de cas sur les dispositifs à plasma RF (volume 2) utilise les données du fabricant.

Dans les cas où il n'existe pas d'informations disponibles concernant les dispositifs médicaux implantés ou portés à même le corps et les travailleuses enceintes, il est conseillé aux employeurs de se fonder sur les orientations de l'annexe E du présent guide.



Message clé: aspects à prendre en considération

Pour évaluer les risques dus aux CEM, les employeurs devraient prendre en considération les risques liés aux effets directs comme aux effets indirects. Il se peut que certains travailleurs présentent des risques particuliers (voir le tableau 3.1), et il convient également d'en tenir compte.

5.5. Étape 4 — Décider d'une action préventive

Si des risques sont décelés, il convient tout d'abord de se demander s'il est possible de les éliminer. Serait-il possible de réduire l'intensité du champ jusqu'à un niveau ne présentant aucun risque, ou d'empêcher l'exposition au champ?

Dans la mesure du possible, les décisions relatives aux actions préventives devraient être prises lors de la phase de conception ou d'achat de nouveaux processus ou équipements.

Le chapitre 9 du présent guide fournit des orientations concernant les mesures de prévention et de protection susceptibles de réduire les risques dus aux champs électromagnétiques. La priorité devrait toujours être donnée aux mesures de protection collective sur les mesures de protection individuelle.

5.6. Étape 5 — Mise en œuvre des mesures

Lorsque des mesures sont nécessaires, il importe de définir les priorités de mise en œuvre des différentes mesures de prévention ou de protection. La priorité doit normalement être définie en fonction de l'importance du risque et de la gravité du résultat en cas de survenance d'un événement lié au danger. Il se peut qu'il ne soit pas possible ou réaliste de mettre toutes les mesures en place immédiatement. Dans ce cas, il conviendra d'évaluer la possibilité d'appliquer certaines mesures temporaires qui permettront la poursuite du travail jusqu'à la mise en œuvre de mesures de prévention permanentes. Il peut également être décidé d'interrompre le travail jusqu'à la mise en place des nouvelles mesures.

5.7. Documentation de l'évaluation des risques

Il importe d'enregistrer les résultats de l'évaluation des risques. Cette documentation doit recenser les éléments clés de l'évaluation des risques, et notamment les dangers recensés, les travailleurs potentiellement exposés à un risque et le résultat de l'évaluation. Il convient d'indiquer éventuellement les travailleurs à risques particuliers recensés. Les nouvelles mesures de prévention ou de précaution éventuellement requises doivent être documentées, de même que les dispositions prises en vue d'un réexamen ultérieur de l'évaluation.

5.8. Suivi et réexamen de l'évaluation des risques

Il importe de réexaminer périodiquement l'évaluation des risques afin de déterminer si elle était adaptée et si les mesures de prévention ou de protection ont été efficaces. Ce réexamen devrait prendre en considération les résultats des éventuels contrôles de routine de l'état de l'équipement, puisque toute détérioration pourrait avoir une incidence sur les conclusions de l'évaluation des risques. Il est également essentiel de réexaminer l'évaluation des risques en cas de changement d'équipement ou de modification des pratiques de travail.

Les employeurs doivent également garder à l'esprit que le statut des travailleurs peut changer. Par exemple, un travailleur peut se voir placer un implant médical, ou une travailleuse peut tomber enceinte. Toute modification de ce type devrait entraîner un réexamen de l'évaluation des risques afin de déterminer si elle est toujours adaptée.

Lorsque des travailleurs subissent une exposition temporairement supérieure aux VA basses pour les champs magnétiques (tableau B.2 de l'annexe II de la directive CEM) ou à n'importe quelle VLE relative aux effets sensoriels, ils risquent de connaître des symptômes passagers. Ces symptômes sont par exemple:

- des vertiges ou nausées causés par l'exposition à des champs magnétiques statiques et à basse fréquence;
- des perceptions sensorielles telles que des éclairs de lumière (phosphènes) ou des variations mineures du fonctionnement du cerveau du fait de l'exposition à des CEM à basse fréquence;
- des perceptions sensorielles, comme l'«audition de micro-ondes», dues à l'exposition à des champs de radiofréquences pulsés dans des conditions spécifiques (voir le point B.5).

Lorsque des travailleurs signalent des symptômes de ce type, l'employeur devrait réexaminer l'évaluation des risques et la mettre à jour si nécessaire. Ce réexamen peut entraîner la sélection de mesures de prévention ou de protection supplémentaires.

Section 3

ÉVALUATIONS DE LA CONFORMITÉ

6. UTILISATION DES VALEURS LIMITES D'EXPOSITION ET DES VALEURS DÉCLENCHANT L'ACTION

Comme indiqué au chapitre 2, l'exposition à des champs électromagnétiques peut produire des effets différents en fonction de la fréquence de ces champs. Pour cette raison, la directive CEM définit des valeurs limites d'exposition (VLE) pour:

- les effets non thermiques (entre 0 et 10 MHz) à l'annexe II;
- les effets thermiques (entre 100 kHz et 300 GHz) à l'annexe III.

Il est donc généralement nécessaire de connaître la ou les fréquences du champ électromagnétique pour pouvoir sélectionner la VLE correcte. On peut constater que les deux gammes de fréquences se chevauchent. Dans la gamme de fréquences intermédiaire (entre 100 kHz et 10 MHz) donc, les champs peuvent avoir à la fois des effets thermiques et des effets non thermiques, et il convient de prendre en considération les deux VLE.

Pour les fréquences situées entre 1 Hz et 6 GHz, les VLE sont définies en termes de quantités dans le corps qu'il n'est pas facile de mesurer ni de calculer. C'est pourquoi la directive CEM définit également des valeurs déclenchant l'action (VA) définies en termes de valeurs de champ externes relativement simples à mesurer ou à calculer. Ces VA sont dérivées des VLE sur la base d'hypothèses prudentes, de sorte que le respect des VA concernées garantit toujours le respect de la VLE correspondante. Il est par contre possible de dépasser une VA tout en restant conforme à la VLE. Cette situation est abordée au point 6.1. Le schéma 6.1 présente le processus permettant de décider d'évaluer la conformité aux VA ou aux VLE.

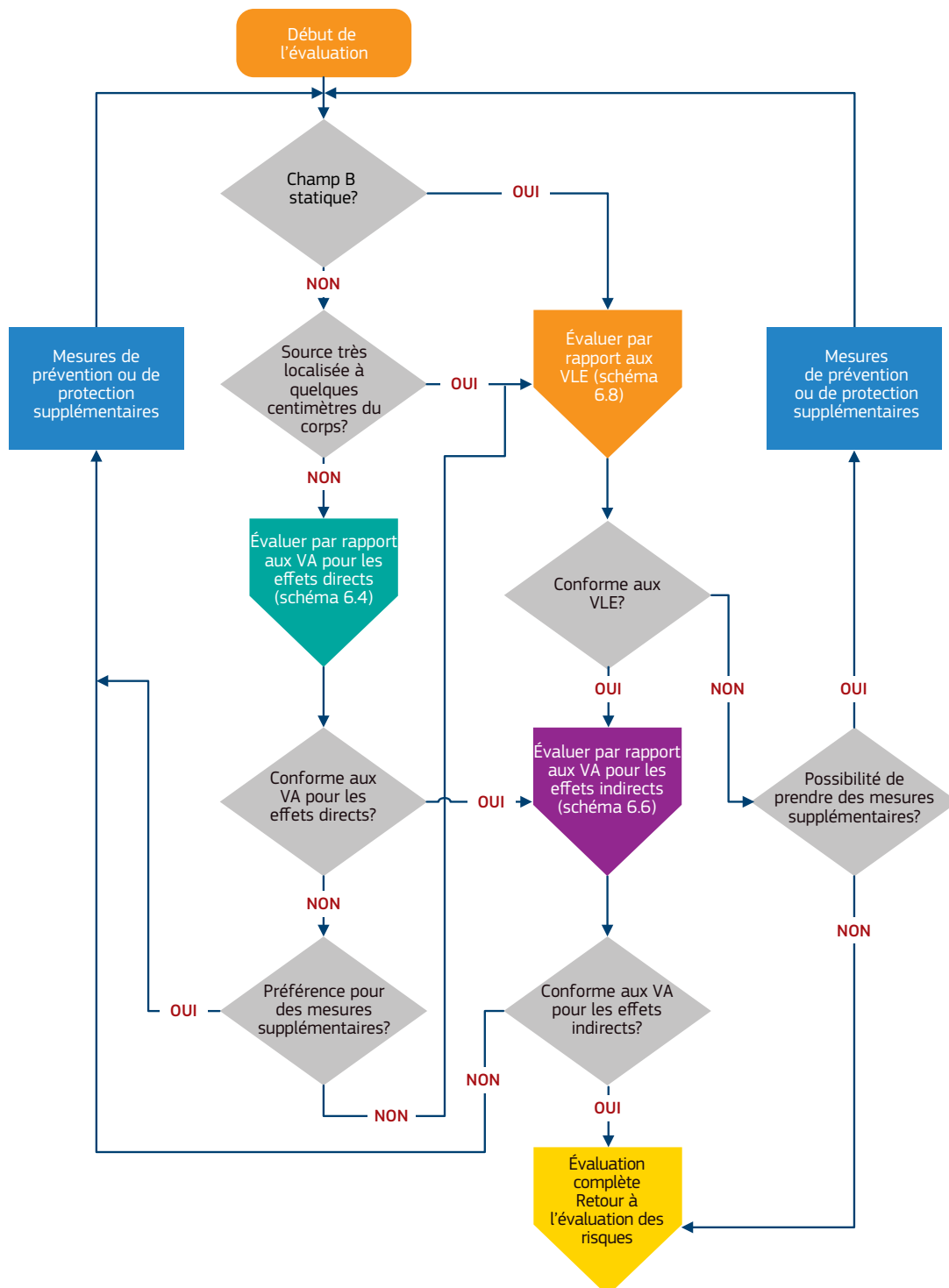
La comparaison avec les VA ou les VLE est l'une des données entrantes du processus d'évaluation des risques. S'il est impossible de démontrer le respect des VA, les employeurs peuvent décider d'évaluer la situation par rapport aux VLE. Cette évaluation sera toutefois souvent plus complexe, et donc plus coûteuse. Dans de nombreux cas, il peut être possible de mettre en œuvre des mesures supplémentaires afin d'assurer la conformité avec les VA ou les VLE. Une fois que l'employeur a démontré sa conformité ou épuisé toutes les possibilités réalistes de mesures supplémentaires, il devrait poursuivre le processus d'évaluation des risques (voir le chapitre 5).

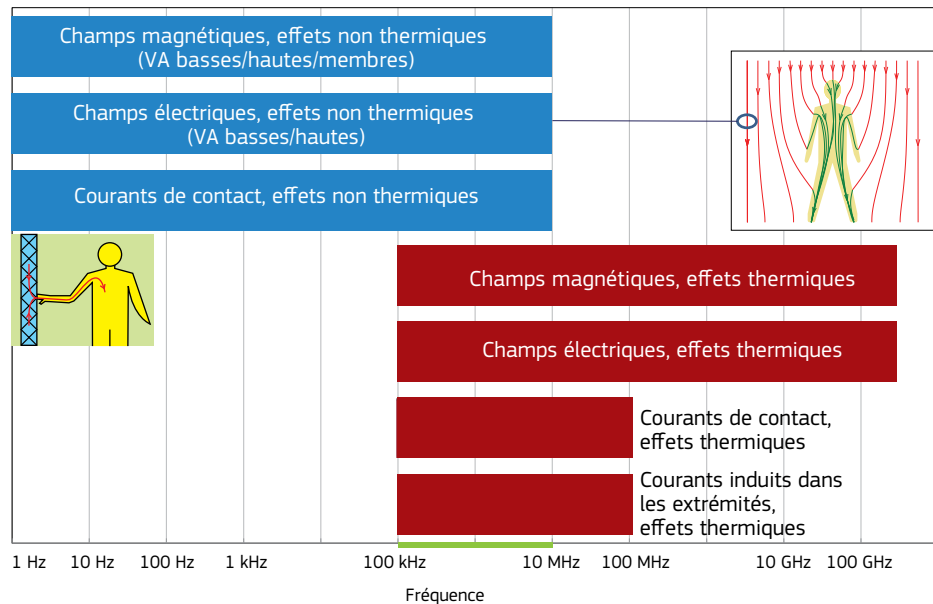
L'évaluation complète de l'exposition des travailleurs et la comparaison avec les VLE peuvent être complexes et sortir du champ d'application du présent guide. L'annexe D du présent guide fournit des informations supplémentaires concernant les évaluations. L'objectif principal des informations présentées au présent chapitre est toutefois d'expliquer le fonctionnement pratique du système de VLE et de VA, afin que les employeurs puissent décider de réaliser ces évaluations eux-mêmes ou de demander l'aide d'un spécialiste.

La directive définit plusieurs VA différentes, dont plusieurs peuvent s'appliquer simultanément. Les VA concernent soit les effets directs, soit les effets indirects. Aux basses fréquences, on peut considérer que les champs électriques et magnétiques sont indépendants (on parle d'«approximation quasi statique») et tous deux induisent des champs électriques à l'intérieur du corps. Aux basses fréquences, il existe donc des VA pour les champs électriques et magnétiques. Il existe également des VA pour le courant de contact.

À mesure que la fréquence augmente, les champs deviennent plus étroitement liés et l'interaction avec le corps change, entraînant un dépôt d'énergie qui produit des effets thermiques. Pour ces fréquences, il existe des VA pour les champs électriques et les champs magnétiques. Aux fréquences supérieures à 6 GHz, il existe une VA supplémentaire pour la densité de courant. Cette VA est liée à l'intensité des champs électriques et magnétiques. Il existe également des VA pour les courants induits dans les extrémités, qui concernent également les effets thermiques, et pour les courants de contact. Le schéma 6.2 illustre le système des VA.

Schéma 6.1 — Processus permettant de décider d'évaluer la conformité aux VA ou aux VLE



Graphique 6.2 — Gamme de fréquences auxquelles différentes VA s'appliquent

Les tiges bleues indiquent les effets non thermiques; les tiges rouges indiquent les effets thermiques. Dans les cas où la gamme de fréquences est surlignée en vert, il convient de respecter les valeurs à la fois pour les effets non thermiques (champ électrique, champ magnétique et courants de contact) et les effets thermiques (champ électrique et magnétique).

Les VLE et les VA qui leur sont associées sont fondées sur les lignes directrices publiées par la Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants (CIPRNI). Ces lignes directrices, disponibles à l'adresse www.icnirp.org (voir les ressources à l'annexe I), fournissent des informations supplémentaires concernant les éléments sur lesquels reposent ces valeurs.

La directive CEM impose aux États membres de transposer les VLE dans leur législation nationale, et les employeurs sont donc tenus par la loi de les respecter. La directive CEM contient des dispositions qui permettent la révision des VA par la Commission en cas de nécessité.



Message clé: valeurs limites d'exposition et valeurs déclenchant l'action

Pour la plupart des employeurs, il est plus simple de démontrer la conformité avec les valeurs déclenchant l'action qu'avec les valeurs limites d'exposition, même si les distances de conformité sont souvent supérieures avec les premières qu'avec les dernières. Des valeurs déclenchant l'action sont également définies pour certains effets indirects, mais pas tous. Les valeurs déclenchant l'action et les valeurs limites d'exposition apportent normalement une protection suffisante pour les travailleurs à risques particuliers.

6.1. Valeurs déclenchant l'action pour les effets directs

Comme indiqué ci-dessus, les valeurs déclenchant l'action pour les effets directs ont été définies sur la base des VLE correspondantes au moyen de modèles informatiques et selon les scénarios d'interaction les plus pessimistes. Cela signifie que le respect des valeurs déclenchant l'action garantit le respect des VLE correspondantes. Dans de nombreuses situations, il est toutefois possible de dépasser les VA tout en respectant

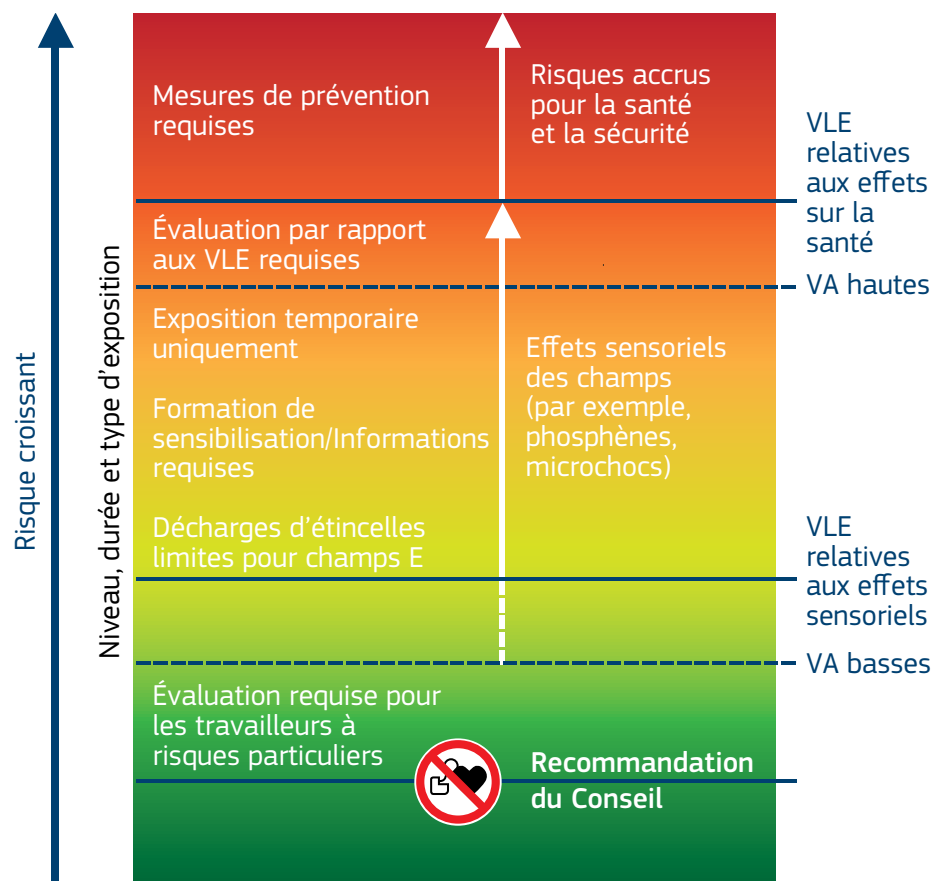
les VLE correspondantes. Le schéma 6.3 illustre la relation entre les VA et les VLE. Pour la plupart des employeurs et des situations, les VA pour les effets directs sont un moyen relativement simple de démontrer la conformité aux VLE sous-jacentes.

Toutes les VA sont définies pour des champs non perturbés par la présence du corps du travailleur.

S'il n'est pas possible de démontrer la conformité avec les VA, les employeurs n'ont pas d'autre choix que de mettre en œuvre des mesures de protection ou de prévention ou d'évaluer directement la conformité avec les VLE. Pour prendre cette décision, les employeurs devront tenir compte du fait que le résultat de l'évaluation par rapport aux VLE peut encore nécessiter la mise en œuvre de mesures de protection et de prévention.

Le schéma 6.4 illustre le processus de sélection des valeurs déclenchant l'action pour les effets directs.

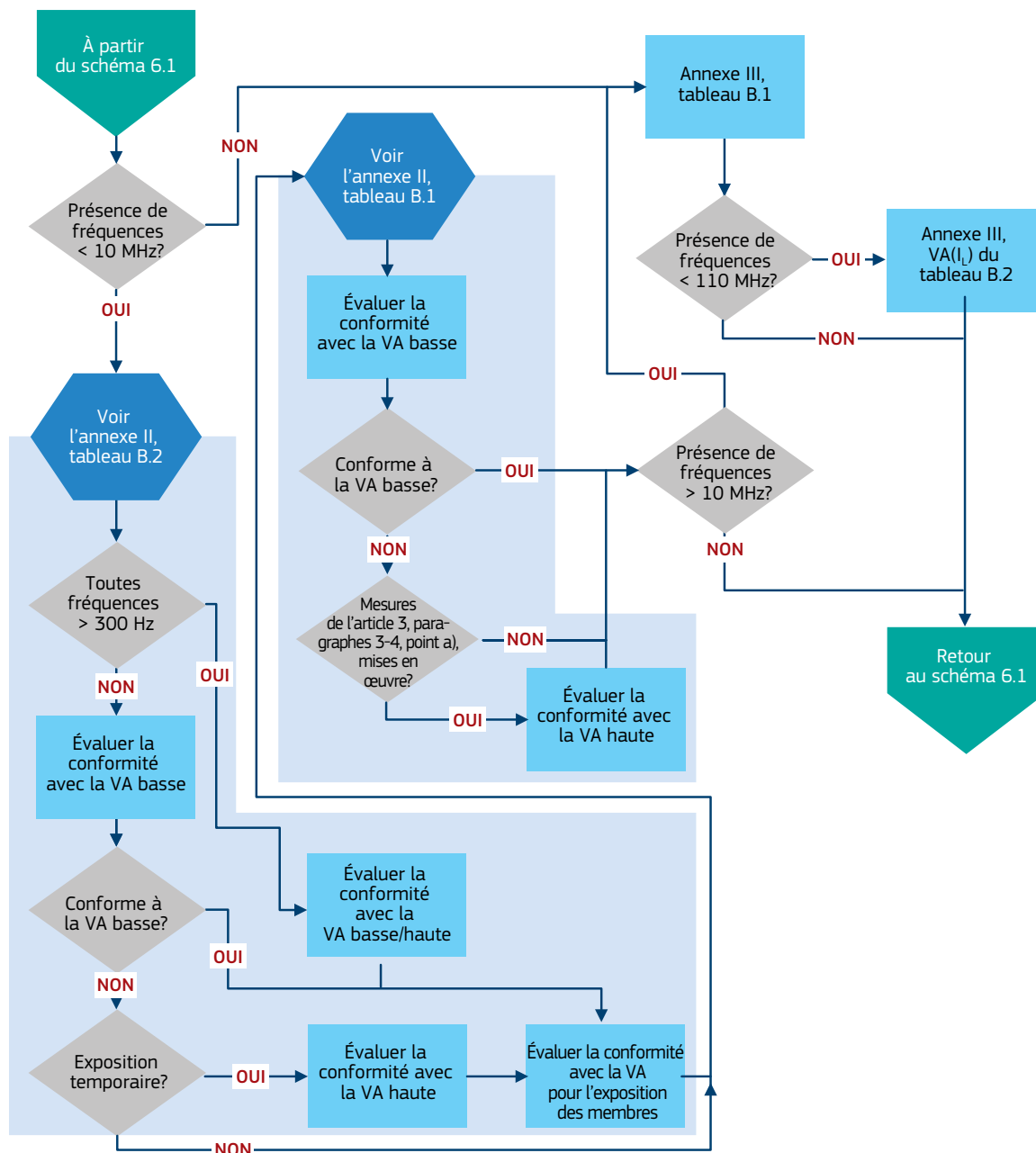
Schéma 6.3 — Représentation schématique du lien entre les valeurs limites d'exposition et les valeurs déclenchant l'action



6.1.1. Valeurs déclenchant l'action pour les champs électriques (entre 1 Hz et 10 MHz)

La directive CEM définit deux VA pour les champs électriques à basse fréquence, une VA basse et une VA haute. Le schéma 6.3 ci-dessus illustre le concept de VA basses et hautes. Le respect des VA basses apporte la garantie qu'aucune des VA applicables ne sera dépassée, et il empêche également les décharges d'étincelles gênantes dans l'environnement de travail.

Schéma 6.4 — Diagramme pour la sélection des VA pour les effets directs («annexe» se réfère aux annexes de la directive CEM)



Si les intensités des champs électriques ne dépassent pas la VA basse, aucune des VLE applicables ne sera dépassée. Cependant, en cas d'intensités de champs électriques dépassant la VA basse, la conformité à la VA haute ne suffit pas à elle seule à empêcher les décharges d'étincelles gênantes. Dans cette situation, il est donc nécessaire de prendre des mesures de protection techniques, organisationnelles et, le cas échéant, individuelles afin de limiter les décharges d'étincelles.

6.1.2. Valeurs déclenchant l'action pour les champs magnétiques (entre 1 Hz et 10 MHz)

La directive CEM définit trois VA pour les champs magnétiques à basse fréquence, une VA basse, une VA haute et une VA pour l'exposition de membres.

Les VA basses sont dérivées des VLE relatives aux effets sensoriels (voir le point 6.3.1), de sorte que la conformité à ces VA garantit la conformité aussi bien aux VLE relatives aux effets sur la santé qu'aux VLE relatives aux effets sensoriels. Les VA basses sont identiques aux VA hautes pour les fréquences supérieures à 300 Hz.

La conformité aux VA hautes garantit la conformité aux VLE relatives aux effets sur la santé, dont elles découlent, mais ne garantit pas la conformité aux VLE relatives aux effets sensoriels aux fréquences inférieures à 300 Hz. La directive CEM permet de dépasser les VA basses pour autant qu'il puisse être démontré que les VLE pour les effets sensoriels ne sont pas dépassées ou, si elles le sont, que ce dépassement est uniquement temporaire. Les VLE relatives aux effets sur la santé, par contre, ne peuvent jamais être dépassées. Les travailleurs doivent en outre être informés des sensations et symptômes passagers possibles. En cas de signalement de symptômes passagers, l'employeur met à jour, si nécessaire, l'évaluation des risques et les mesures de prévention.

La conformité aux VA pour l'exposition des membres garantit la conformité aux VLE relatives aux effets sur la santé, dont elles découlent. Les VA pour l'exposition des membres tiennent compte du couplage moins important du champ dans les membres, et sont par conséquent moins restrictives que les VA hautes. L'utilisation des VA pour l'exposition de membres se justifie uniquement dans les cas où l'exposition du corps à une intensité de champ identique est peu probable. Leur utilisation se justifie donc dans le cas d'un travailleur tenant en main un outil produisant un CEM, mais pas si cet outil est tenu à proximité du corps pendant son utilisation (illustration 6.5). En cas d'évaluation de l'exposition de membres par rapport à la valeur déclenchant l'action correspondante, il est d'usage d'évaluer également l'exposition du corps par rapport à la VA basse ou haute selon le cas.

Illustration 6.5 — Travailleur utilisant un outil électrique tenu à proximité du corps. Dans cette situation, l'exposition du corps et des membres est similaire et la conformité aux VA basse/haute est restrictive.



6.1.3. Valeurs déclenchant l'action pour les champs électriques et magnétiques (entre 100 kHz et 300 GHz)

Pour les fréquences situées entre 100 kHz et 6 GHz, la directive CEM définit des VA pour l'intensité du champ électrique et l'induction magnétique. Ces valeurs sont dérivées des VLE relatives aux effets sur la santé. Étant donné que les VLE sont des valeurs moyennes dans le temps, il convient de déterminer la moyenne du carré de la VA sur un intervalle de six minutes.

Pour les fréquences supérieures à 6 GHz, la directive CEM définit des VA pour l'intensité du champ électrique, l'induction magnétique et la densité de puissance. La VA en lien avec la densité de puissance devrait être la moyenne sur une superficie exposée de 20 cm², à la condition qu'aucune superficie de 1 cm² ne présente une moyenne dépassant 20 fois la VA. On calcule également la moyenne dans le temps des densités de puissance, sur un intervalle de six minutes pour les fréquences inférieures ou égales à 10 GHz et sur n'importe quel intervalle de $68/f^{1.05}$ minutes pour les fréquences supérieures (f étant la fréquence en GHz). Au-delà, le temps de calcul de la moyenne diminue à mesure que la fréquence augmente, ce qui correspond à la baisse de la profondeur de pénétration.

Pour les fréquences supérieures à 6 GHz, les VA pour l'intensité de champ électrique et l'induction magnétique sont dérivées de la VLE pour la densité de puissance. De ce fait, par souci de cohérence et même si la directive CEM ne l'indique pas explicitement, les conditions de calcul de la moyenne dans l'espace et dans le temps pour les VA(S) devraient également s'appliquer aux $[VA(E)]^2$ et $[VA(B)]^2$ aux fréquences supérieures à 6 GHz.

6.1.4. Valeurs déclenchant l'action pour les courants induits aux extrémités (entre 10 et 110 MHz)

La directive CEM définit une VA pour l'amplitude du courant de radiofréquence induit dans les membres d'un travailleur exposé à un champ de radiofréquence. Étant donné que cette VA concerne l'échauffement des tissus, il convient de calculer la moyenne du carré de la VA sur un intervalle de six minutes.

6.2. Valeurs déclenchant l'action pour les effets indirects

La directive CEM définit des VA visant à assurer une protection contre certains effets indirects associés aux CEM. Le schéma 6.6 illustre le processus de sélection des valeurs déclenchant l'action pour les effets indirects.

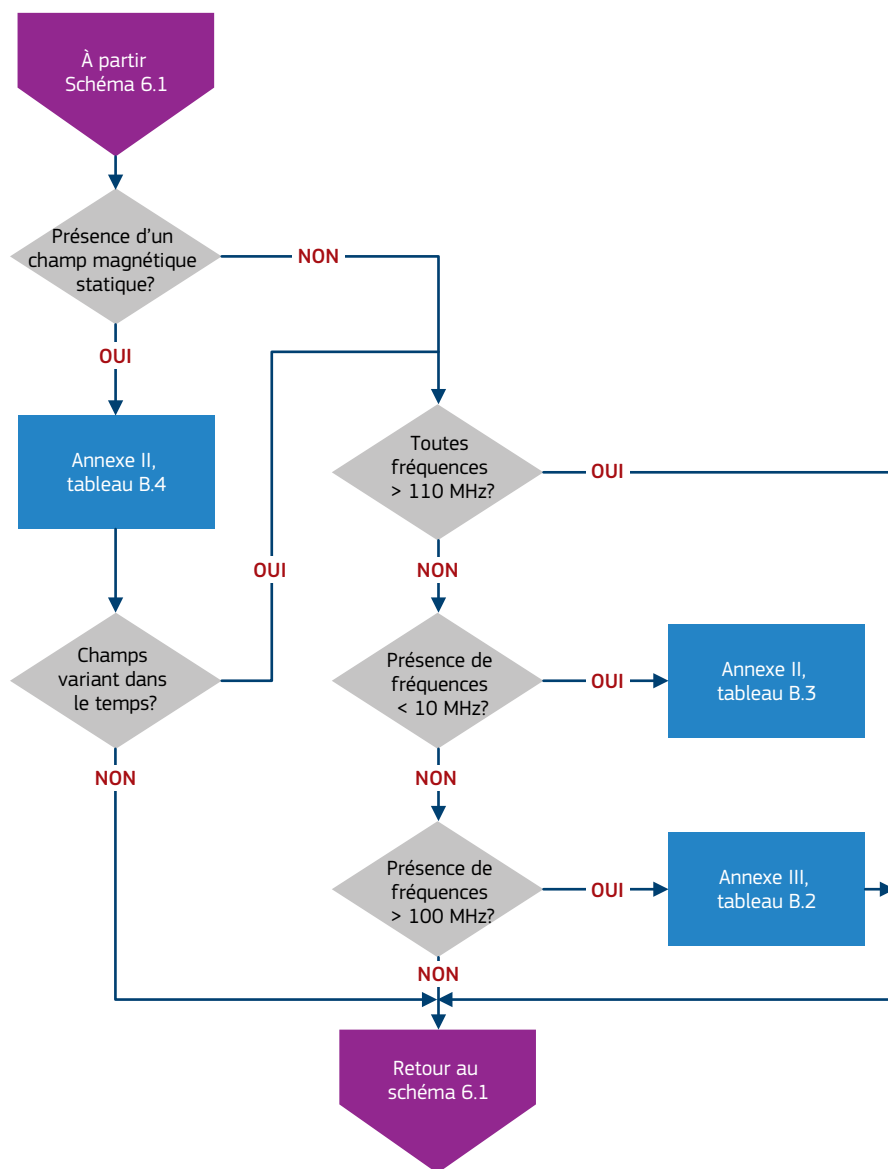
6.2.1. Valeurs déclenchant l'action pour les champs magnétiques statiques

Une VA de 0,5 mT est définie afin de limiter les interférences avec le fonctionnement des dispositifs médicaux implantés actifs. La directive CEM définit également une VA de 3 mT afin de limiter le risque de projection dans le champ périphérique de sources puissantes (> 100 mT).

6.2.2. Valeurs déclenchant l'action pour les courants de contact (jusqu'à 110 MHz)

La directive CEM définit des VA pour le courant de contact d'état stable afin de limiter le risque de choc et de brûlure lorsqu'une personne touche un objet conducteur dans un champ et que l'un est raccordé à la terre et l'autre non.

Schéma 6.6 — Diagramme pour la sélection des VA pour les effets indirects

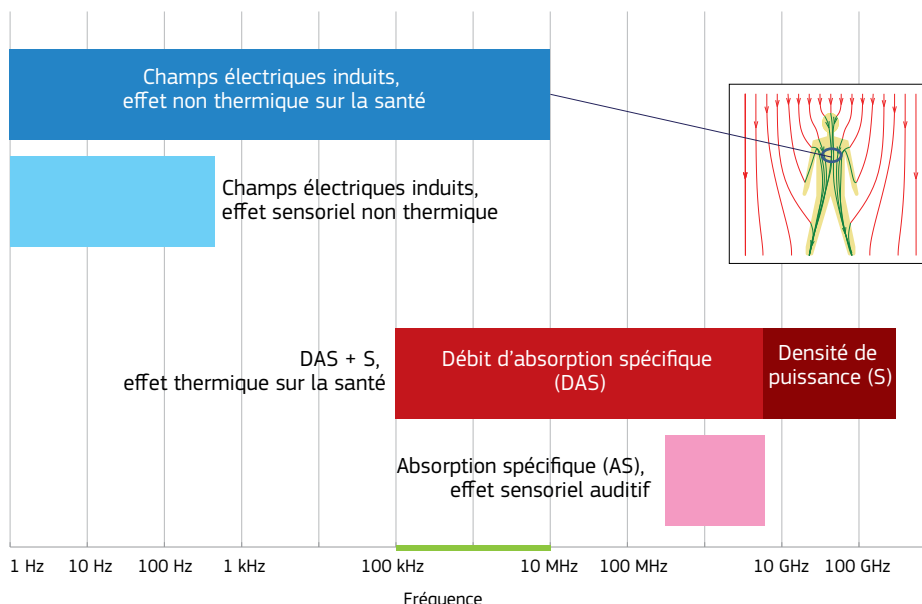


6.3. Valeurs limites d'exposition

6.3.1. Valeurs limites d'exposition relatives aux effets sensoriels et aux effets sur la santé

La directive CEM définit des VLE distinctes pour les effets sensoriels et les effets sur la santé (graphique 6.7). Les VLE relatives aux effets sensoriels s'appliquent uniquement à des gammes de fréquences spécifiques (entre 0 et 400 Hz et entre 0,3 et 6 GHz). Pour les basses fréquences, le champ est perçu à des niveaux d'exposition inférieurs à ceux qui produisent des effets sur la santé. La VLE relative aux effets sensoriels pour les effets thermiques est fondée sur l'évitement de l'effet d'«audition de micro-ondes», qui se produit uniquement dans des conditions spécifiques (voir l'annexe B). Les VLE relatives aux effets sur la santé, en revanche, s'appliquent à toutes les fréquences. De manière générale, il peut être permis de dépasser les VLE relatives aux effets sensoriels pendant de brèves périodes moyennant le respect de certaines conditions.

Graphique 6.7 — Gamme de fréquences pour lesquelles différentes VLE sont utilisées



Les tiges bleues indiquent les effets non thermiques; les tiges rouges indiquent les effets thermiques.

6.3.2. Valeurs limites d'exposition (entre 0 et 1 Hz)

Les VLE pour la gamme de fréquences comprises entre 0 et 1 Hz sont définies en termes d'induction magnétique externe (tableau A.1 de l'annexe II de la directive CEM). Les VLE relatives aux effets sensoriels sont définies de manière à éviter les vertiges et autres effets liés à la perception. Ces effets sont principalement le résultat de champs électriques induits dans les tissus lorsque le corps se déplace dans un champ magnétique statique puissant, même si certaines données indiquent aujourd'hui qu'ils peuvent aussi se produire en l'absence de mouvement. Par conséquent, pour un environnement de travail contrôlé où les mouvements dans le champ sont limités et où les travailleurs reçoivent des informations, il peut être autorisé de dépasser temporairement les VLE relatives aux effets sensoriels pour autant que la pratique ou le procédé le justifie. Dans ce cas, les expositions ne doivent pas dépasser les VLE relatives aux effets sur la santé.

6.3.3. Valeurs limites d'exposition (entre 1 Hz et 10 MHz)

Les VLE pour la gamme de fréquences comprises entre 1 Hz et 10 MHz sont définies en termes de champs électriques internes induits dans le corps (tableau A.2 et tableau A.3 de l'annexe II de la directive CEM).

Pour les fréquences allant jusqu'à 400 Hz, il existe à la fois des VLE relatives aux effets sensoriels et des VLE relatives aux effets sur la santé. Les VLE relatives aux effets sensoriels visent à empêcher les phosphènes rétinien et les modifications mineures passagères des fonctions cérébrales. De ce fait, elles s'appliquent uniquement aux tissus du système nerveux central (SNC) à l'intérieur de la tête du travailleur exposé.

Les VLE relatives aux effets sur la santé s'appliquent à toutes les fréquences comprises entre 1 Hz et 10 MHz et visent à empêcher la stimulation des nerfs périphériques et centraux. Ces VLE s'appliquent par conséquent à tous les tissus dans tout le corps d'un travailleur exposé.

6.3.4. Valeurs limites d'exposition (entre 100 kHz et 300 GHz)

Pour les fréquences comprises entre 100 kHz et 6 GHz, le degré d'échauffement provoqué par l'exposition dépend du taux d'absorption de l'énergie dans les tissus. Ce taux est défini par le débit d'absorption spécifique (DAS) de l'énergie, utilisé pour définir les VLE relatives aux effets sur la santé, avec des valeurs distinctes pour l'exposition du corps entier et les expositions localisées (tableau A.1 de l'annexe III de la directive CEM). Les valeurs pour l'ensemble du corps protègent contre le stress thermique généralisé du corps et les coups de chaleur et sont appliquées à la moyenne DAS sur l'ensemble du corps. Les valeurs localisées protègent contre l'endommagement thermique de tissus spécifiques et sont appliquées à la moyenne DAS sur 10 g de tissu contigu (ou connecté). La moyenne des DAS pour l'ensemble du corps et des DAS localisés est calculée sur un intervalle de six minutes.

Pour les fréquences comprises entre 300 MHz et 6 GHz, il existe également des VLE relatives aux effets sensoriels qui visent à empêcher les phénomènes d'«audition de micro-ondes» causés par l'exposition à des champs pulsés (tableau A.2 de l'annexe III de la directive CEM). Ces VLE sont définies en termes de moyenne d'absorption spécifique (AS) sur 10 g dans la tête.

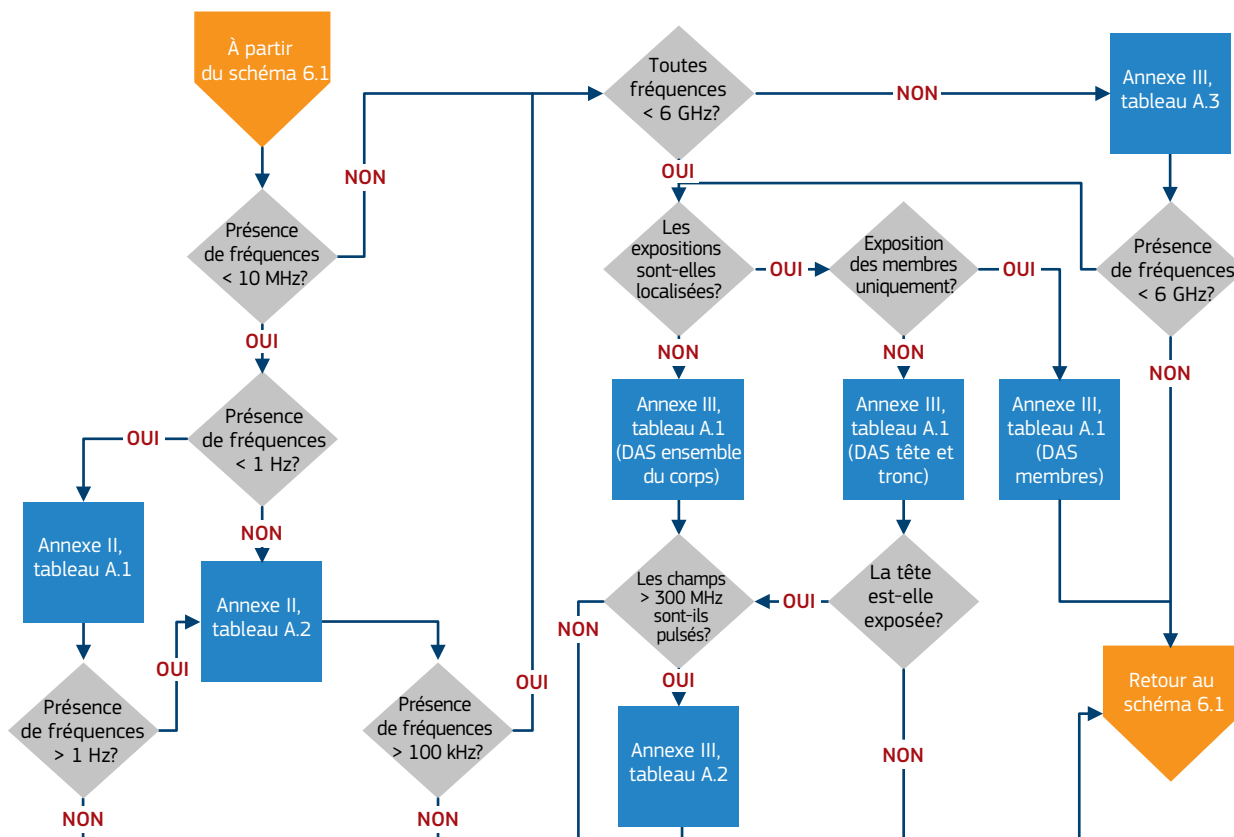
La pénétration des CEM dans le corps diminue avec la fréquence au sein de la gamme de radiofréquences, de sorte que, pour les fréquences supérieures à 6 GHz, le champ est absorbé principalement à la surface du corps. Cela signifie que, pour ces fréquences, il est beaucoup plus important de limiter la densité de puissance à la surface du corps que le débit d'absorption de l'énergie par une masse de tissu. On calcule la moyenne de la densité de puissance sur 20 cm², dans le respect de la valeur moyenne limite sur chaque emplacement de 1 cm². Pour les fréquences comprises entre 6 et 10 GHz, on calcule la densité de puissance moyenne sur un intervalle de six minutes. Au-delà, le temps de calcul de la moyenne diminue à mesure que la fréquence augmente, ce qui correspond à la baisse de la profondeur de pénétration (tableau A.3 de l'annexe III de la directive CEM).

6.4. Dérogations

L'article 10 de la directive CEM accorde une dérogation conditionnelle à l'article 3 (VLE et VA) dans trois situations. L'article 10 n'exonère pas les employeurs de leur obligation générale, au titre de l'article 5, paragraphe 1, d'éliminer ou de réduire le plus possible les risques dus aux CEM sur le lieu de travail.

La première dérogation, liée à l'utilisation de l'imagerie par résonance magnétique (IRM) dans le secteur de la santé, n'est pas discrétionnaire. Les autres dérogations sont laissées à la discrétion des États membres.

Schéma 6.8 — Diagramme pour la sélection des VLE



6.4.1. Dérogation pour l'IRM

Les expositions liées à l'installation, à l'essai, au développement, à la maintenance d'équipements d'IRM ou à la recherche dans ce domaine pour les patients du secteur de la santé peuvent dépasser les VLE moyennant le respect des conditions suivantes:

- l'évaluation des risques a montré que les VLE étaient dépassées;
- compte tenu de l'état des connaissances du moment, toutes les mesures techniques et/ou organisationnelles ont été appliquées;
- les circonstances du dépassement des VLE sont dûment justifiées;
- les caractéristiques du lieu de travail, de l'équipement de travail ou des pratiques de travail ont été prises en compte;
- l'employeur démontre que les travailleurs sont toujours protégés contre les effets nocifs pour la santé et les risques pour la sécurité, y compris en veillant à ce que les instructions fournies par le fabricant en vue d'une utilisation sûre soient suivies.

L'annexe F du présent guide fournit aux employeurs des orientations supplémentaires concernant le respect de la dérogation pour l'IRM.

6.4.2. Dérogation pour les activités militaires

Les États membres peuvent autoriser la mise en œuvre de systèmes de protection équivalents pour le personnel travaillant dans des installations militaires opérationnelles ou participant à des activités militaires. Cette dérogation est soumise à la condition de prévenir les effets nocifs pour la santé et les risques pour la sécurité.

6.4.3. Dérogation générale

Les États membres peuvent autoriser le dépassement temporaire des VLE dans des secteurs spécifiques ou pour des activités spécifiques en dehors du champ d'application des deux autres dérogations, pour autant que les circonstances de ce dépassement soient dûment justifiées. Pour que les circonstances soient considérées comme dûment justifiées, les conditions suivantes doivent être remplies:

- i) l'évaluation des risques a montré que les VLE étaient dépassées;
- ii) compte tenu de l'état des connaissances du moment, toutes les mesures techniques et/ou organisationnelles ont été appliquées;
- iii) les caractéristiques spécifiques du lieu de travail, de l'équipement de travail ou des pratiques de travail ont été prises en compte;
- iv) l'employeur démontre que les travailleurs sont toujours protégés contre les effets nocifs pour la santé et les risques pour la sécurité, notamment en utilisant des normes et des lignes directrices comparables, plus spécifiques et reconnues au niveau international.

7. UTILISATION DE BASES DE DONNÉES ET DES DONNÉES D'ÉMISSION DU FABRICANT

Il se peut que des informations relatives aux expositions soient disponibles auprès des fabricants d'équipement. Certains organismes publics, associations professionnelles ou sectorielles peuvent également élaborer et maintenir des bases de données d'évaluations génériques de l'exposition. Dans les cas où des informations de ce type sont disponibles et pertinentes, elles constituent pour l'employeur le moyen le plus simple de démontrer la conformité à la directive CEM. La plupart des employeurs souhaiteront donc examiner cette possibilité avant d'envisager l'évaluation des expositions par mesure ou calcul.

7.1. Utilisation des informations fournies par les fabricants

Il importe pour les employeurs de comprendre que leurs responsabilités au titre de la directive CEM concernent l'exposition totale du travailleur plutôt que son exposition à un élément d'équipement particulier. Cette évaluation devra donc tenir compte de l'exposition découlant de toutes les sources en présence dans l'environnement de travail. Les informations fournies éventuellement par les fabricants, par contre, se limitent à l'équipement particulier qu'ils produisent.

Pour la plupart des équipements, les intensités de champ diminuent rapidement à mesure que l'on s'éloigne de la source (voir le graphique 3.2). Cela signifie que, dans de nombreux cas, l'exposition des travailleurs sera due principalement à un seul élément d'équipement, ou à quelques éléments au plus, à proximité immédiate de leur poste de travail. Bien souvent, les employeurs ont donc intérêt à posséder des informations sur la façon dont les champs s'atténuent à mesure que l'on s'éloigne de l'équipement. Lorsqu'ils examinent les contributions de sources multiples à l'exposition des travailleurs, les employeurs ne doivent pas oublier les champs générés par des installations auxiliaires telles que les câbles d'alimentations, les sources d'alimentation électrique et les commutateurs.

Les informations fournies par les fabricants peuvent apporter une solution simple au problème de l'évaluation de l'exposition, mais les employeurs doivent les utiliser avec prudence. Il existe de nombreuses raisons pour lesquelles les fabricants fournissent des informations relatives aux CEM liés à leur équipement. Par exemple, un fabricant peut fournir des informations concernant l'intensité de champ générée par l'équipement parce que ce champ est important pour son fonctionnement et qu'il fait donc partie des spécifications. Il peut également fournir des informations afin de démontrer sa conformité avec les exigences de compatibilité électromagnétique des directives européennes «produits» (voir l'annexe G). Ces informations peuvent être pertinentes pour les questions de sécurité liées aux interférences, mais elles ne sont pas utiles pour évaluer l'exposition.

Les informations les plus utiles du point de vue de l'employeur seraient une évaluation des expositions typiques des travailleurs en utilisation normale de l'équipement, ainsi qu'une indication de la façon dont les champs s'atténuent avec la distance. À titre subsidiaire, une indication des intensités de champs par rapport aux valeurs déclenchant l'action aux différents endroits accessibles autour de l'équipement permettrait aux employeurs d'évaluer eux-mêmes la conformité pendant l'utilisation.



Message clé: informations provenant de bases de données et des fabricants

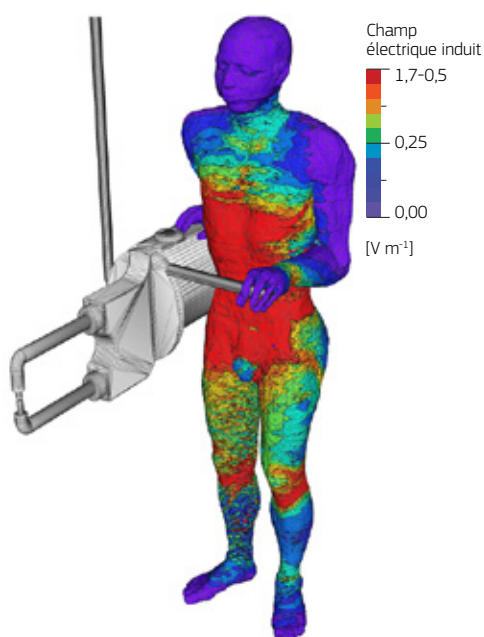
Lorsque des informations issues de bases de données ou fournies par les fabricants sont disponibles, elles permettent aux employeurs de démontrer leur conformité de façon nettement plus simple que par la réalisation d'une évaluation spécifique. Les fournisseurs de machines sont légalement tenus de veiller à ce que les émissions de ces machines soient sans danger pour l'être humain (voir l'annexe H). Ils sont également tenus de fournir des informations concernant les risques résiduels et les émissions probables susceptibles de porter préjudice aux personnes, et notamment aux personnes portant des dispositifs médicaux implantés.

7.1.1. Base de l'évaluation du fabricant

Certains fabricants publient des évaluations de leurs équipements réalisées selon des procédures normalisées. Cependant, de nombreuses normes de mesure concernent les émissions plutôt que l'exposition des êtres humains. Les normes d'émission sont élaborées afin de fournir des procédures normalisées pour les tests en laboratoire du niveau de CEM produit par des types particuliers de dispositifs électriques. Elles sont axées sur la valeur de champ à un endroit donné et sont utiles pour comparer différents dispositifs ou appareils. Elles peuvent par contre ne présenter qu'un intérêt limité pour évaluer l'exposition par rapport aux VA ou VLE en utilisation normale.

Par exemple, la norme harmonisée actuelle pour les essais de conformité de l'équipement de soudage recommande de mesurer les champs à 20 cm du câble de soudage, ce qui permet des mesures plus faciles à reproduire. En utilisation courante, toutefois, il se peut que le câble soit en contact avec le corps du travailleur et à proximité de tissus sensibles dans la tête de celui-ci. L'illustration 7.1 présente le cas d'un pistolet de soudage par points tenu à proximité du corps d'un travailleur, à une distance nettement inférieure aux 20 cm spécifiés. Il est prévu de combler cette lacune dans les éditions futures de la norme.

Illustration 7.1 — Distribution du champ électrique induit dans un modèle humain en raison d'une exposition à un pistolet de soudage par points. Dans cet exemple, la source du champ électromagnétique se trouve à nettement moins de 20 cm du corps.



NB: Cet exemple est fourni à des fins d'illustration uniquement et ne devrait pas être extrapolé à une situation spécifique.

Cet exemple montre qu'avant d'utiliser les données publiées par les fabricants, il importe de savoir quelle norme a été appliquée et à quelle fin les données ont été produites.

7.2. Bases de données d'évaluation

Les bases de données d'évaluations génériques pour des secteurs particuliers de l'industrie peuvent être très utiles. Ces bases de données peuvent être créées par des organismes publics, des associations professionnelles ou sectorielles. Dans tous les cas, un de leurs principaux objectifs est d'épargner aux employeurs le temps et les frais nécessaires pour réaliser des évaluations spécifiques. Dans les cas où les équipements et les pratiques de travail sont relativement normalisés, il s'agit d'une approche pragmatique et économique.

Lorsqu'ils envisagent d'utiliser les informations obtenues à partir de bases de données, les employeurs doivent vérifier que l'équipement concerné est utilisé comme prévu, aussi bien dans l'évaluation de la base de données que sur leur propre lieu de travail. Il se peut en outre que les données d'évaluation ne soient pas pertinentes si l'âge de l'équipement est très différent ou s'il n'a pas été entretenu correctement.

La Commission européenne a soutenu des travaux en vue de l'élaboration d'un ensemble logiciel destiné à aider les employeurs à évaluer les procédés de soudage et autres procédés connexes. Le site internet «EMF weld» («CEM soudage», www.emfweld.com) fournit de plus amples informations concernant ce projet.

7.3. Fourniture d'informations par les fabricants

Les fabricants qui fournissent des équipements relevant du champ d'application de la directive «machines» (voir l'annexe G) sont tenus à des obligations spécifiques en matière de fourniture d'informations. Afin de répondre aux exigences essentielles, en particulier, les fabricants doivent fournir des informations sur les risques résiduels éventuels et sur les mesures de protection à mettre en œuvre par l'utilisateur.

Plus précisément, dans le cas de machines susceptibles d'émettre des rayonnements non ionisants pouvant causer un préjudice, en particulier aux personnes portant des implants médicaux, le fabricant est tenu de fournir des informations relatives aux émissions pour l'opérateur et pour toute autre personne exposée.

7.3.1. Normes d'évaluation

Les comités de normalisation élaborent activement des normes visant à guider les fabricants dans leur évaluation des émissions par rapport aux VA et VLE définies par la directive CEM. Dans certains cas, ces normes précisent également comment les résultats de ces évaluations doivent être communiqués aux personnes qui achètent ces équipements.

Pour les fabricants, la première étape consiste donc à vérifier s'il existe une norme pertinente en lien avec la directive actuelle sur les CEM. S'il existe une norme pertinente qui fournit des conseils sur la façon de communiquer les résultats des évaluations, le fabricant devrait appliquer cette norme.

Les fabricants peuvent également décider de fournir des informations supplémentaires non précisées dans la norme lorsqu'ils ont le sentiment que ces informations seront utiles à l'acheteur.

7.3.2. En l'absence de norme pertinente

Dans les cas où il n'existe pas de norme pertinente pour guider le fabricant, les informations d'évaluation suivantes devraient permettre aux acheteurs de réaliser des évaluations adéquates sur leurs propres lieux de travail.

Les trois premiers éléments devraient fournir à l'acheteur des informations générales concernant les types d'effets attendus et la façon dont l'évaluation a été effectuée. Il importe notamment pour l'acheteur de savoir si les conditions de fonctionnement lors de l'évaluation correspondent à la façon dont il compte utiliser l'équipement.

Les deux éléments suivants aident à comprendre les expositions probables des opérateurs et à déterminer s'il convient d'imposer des restrictions ou d'assurer la formation du personnel.

Les deux derniers éléments d'information peuvent servir à évaluer de façon simple les conséquences du placement d'équipements multiples au même endroit. Les employeurs peuvent utiliser les courbes représentant le pourcentage de la VA ou le pourcentage des niveaux de référence définis par la recommandation 1999/519/CE du Conseil afin d'évaluer simplement l'effet cumulé du placement de différents équipements à proximité immédiate.

Cette approche entraînera souvent une surestimation des intensités de champ qui en résultent. En effet, toutes les sources ne fonctionnent pas nécessairement en même temps et les différences de phase font que certains champs seront souvent annulés. Il s'agit cependant d'une approche simple à utiliser et qui permettra à la plupart des acheteurs de démontrer aisément leur conformité.

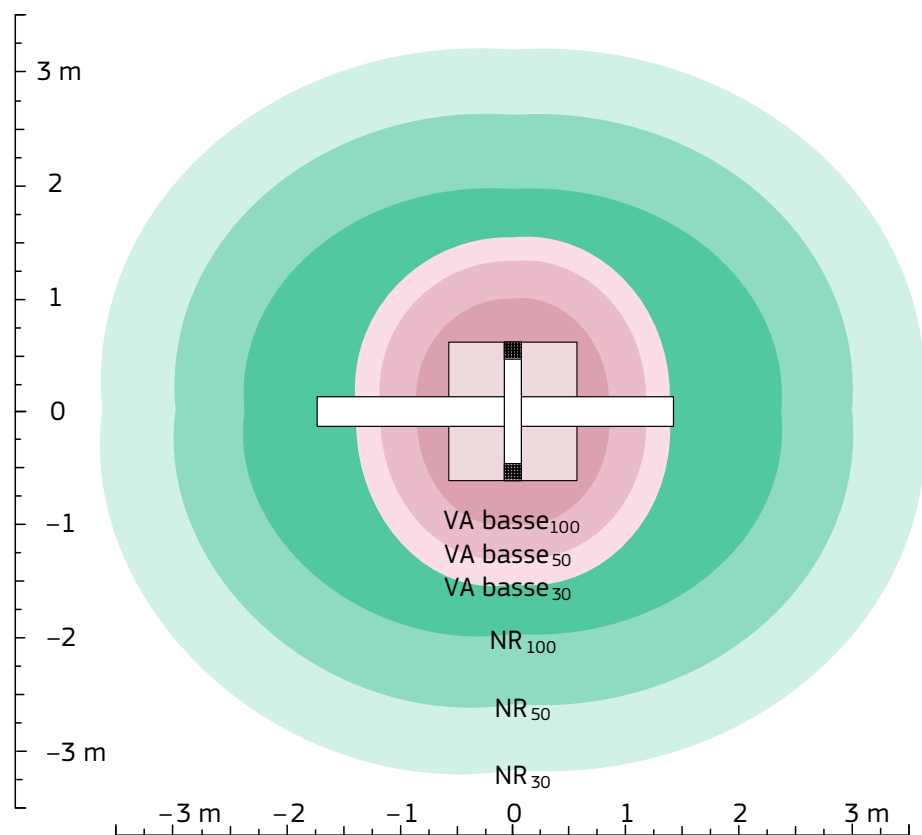
Tableau 7.1 — Informations suggérées à fournir par les fabricants

Aspects à prendre en considération dans l'évaluation du lieu de travail:	• effets non thermiques • effet thermiques • effets indirects (préciser)
Conditions de fonctionnement dans lesquelles l'évaluation a été effectuée:	• capacité maximale de la source d'alimentation • paramètres les plus pessimistes (préciser) • paramètres typiques (préciser)
Calcul de la moyenne du résultat de l'évaluation:	
• moyenne dans l'espace • moyenne dans le temps	
Lorsque l'équipement est utilisé comme prévu, l'exposition à l'emplacement normal de l'opérateur dépasse-t-elle:	
• la VA basse? • la VA haute? • la VA membres?	OU • la VLE relative aux effets sensoriels? • la VLE relative aux effets sur la santé?
Lorsque l'équipement est utilisé comme prévu, l'exposition à l'emplacement normal de l'opérateur dépasse-t-elle les valeurs concernées de la recommandation 1999/519/CE du Conseil pour:	
• le niveau de référence?	OU • la restriction de base?
Dans les cas où les intensités de champ sont susceptibles de dépasser une ou plusieurs VA, veuillez indiquer les distances maximales, ou de préférence un plan de délimitation, pour les pourcentages de VA suivants:	
• 100 % • 50 % • 30 %	
Dans les cas où les intensités de champ sont susceptibles de dépasser un ou plusieurs niveaux de référence, veuillez indiquer les distances maximales, ou de préférence un plan de délimitation, pour les pourcentages de niveaux de référence suivants:	
• 100 % • 50 % • 30 %	

En général, les contraintes d'espace imposent une limite au nombre d'unités susceptibles d'être placées à proximité l'une de l'autre. Étant donné que la plupart des champs s'atténuent rapidement avec la distance (voir le chapitre 3), on peut s'attendre à ce que les équipements situés à une plus grande distance ne contribuent pas de manière significative à l'exposition.

Le graphique 7.2 illustre les plans de délimitation susceptibles d'être fournis pour l'équipement.

Graphique 7.2 — Illustration des plans de délimitation que les fabricants pourraient fournir afin d'aider les utilisateurs à faire en sorte que l'effet cumulé d'équipements multiples sur le lieu de travail n'entraîne pas de dépassement des VA



Cet exemple présente un équipement générique avec des délimitations indiquant les distances auxquelles le champ est égal à 100 %, 50 % et 30 % (pourcentages en indice) des VA concernées. Des délimitations équivalentes sont indiquées pour les niveaux de référence (NR) de la recommandation 1999/519/CE du Conseil afin de faciliter l'évaluation pour les travailleurs à risques particuliers.

8. CALCUL OU MESURE DE L'EXPOSITION

L'évaluation des expositions aux CEM est une matière spécialisée, et peu d'employeurs possèdent les compétences nécessaires pour effectuer eux-mêmes ces évaluations. L'autre solution consistant à faire appel à un contractant externe peut toutefois être coûteuse. En général, les employeurs devront évaluer ce coût par rapport au coût de mise en œuvre de mesures simples de protection ou de prévention (voir le chapitre 9). Dans l'examen des différentes approches possibles, il importe de garder à l'esprit qu'une évaluation pourrait démontrer la nécessité de prendre de toute façon des mesures de protection ou de prévention. Comme indiqué précédemment dans le présent guide, les champs s'atténuent souvent rapidement avec la distance, de sorte que le fait de restreindre l'accès au voisinage immédiat de l'équipement peut être une mesure à la fois économique et efficace.

8.1. Exigences de la directive CEM

La directive CEM impose une obligation claire aux employeurs d'évaluer les risques pour leurs salariés engendrés par les champs électromagnétiques sur le lieu de travail. Dans le cadre de l'évaluation des risques, les employeurs sont tenus de recenser et d'évaluer les CEM sur le lieu de travail. Cette démarche ne doit pas nécessairement inclure des calculs ou des mesures, puisque les employeurs ont le droit de prendre en considération les données d'émissions et autres données relatives à la sécurité fournies par les fabricants ou les distributeurs. Les employeurs sont tenus de procéder à des calculs ou à des mesures uniquement dans les cas où il n'existe aucun autre moyen de démontrer de manière fiable la conformité aux VLE.

Dans les cas où les fabricants ont fourni des données concernant l'exposition ou des évaluations des risques, ces informations constituent généralement un moyen plus simple et moins coûteux de démontrer la conformité. De même, lorsque des données d'évaluation génériques sont disponibles auprès d'organismes publics ou d'associations professionnelles ou sectorielles, les employeurs trouveront généralement plus aisé d'utiliser ces données que d'effectuer leurs propres évaluations de l'exposition. Ces deux possibilités sont abordées plus en détail au chapitre 7.

8.2. Évaluations du lieu de travail

Dans les cas où les employeurs décident qu'il est nécessaire d'effectuer une évaluation de l'exposition sur le lieu de travail, ils disposent souvent de plusieurs possibilités. Il convient tout d'abord de choisir entre une évaluation de l'exposition par calcul ou par mesure. Ces deux approches sont acceptables pour démontrer la conformité avec la directive CEM, et toutes deux peuvent offrir plusieurs possibilités différentes à la complexité variable.

Les méthodes d'évaluation simples reposent souvent sur des hypothèses ou des approximations qui entraînent une surestimation de l'exposition. Les méthodes d'évaluation plus complexes ont donc plus de chances d'aboutir à des distances de conformité réduites, mais elles nécessitent presque toujours des investissements plus importants en temps et en argent. Le choix définitif dépendra donc des circonstances particulières du lieu de travail et du travail à effectuer. Pour de nombreux employeurs, cependant, une évaluation relativement simple sera parfaitement adéquate.

Les évaluations de l'exposition aux CEM sont souvent complexes. Par conséquent, les employeurs qui se proposent d'évaluer eux-mêmes les expositions devront examiner les compétences des personnes chargées de ce travail. Certains employeurs possèdent les connaissances et les compétences nécessaires en interne, mais pour la plupart d'entre eux, l'acquisition de ces compétences nécessitera un investissement important.

Pour les évaluations fondées sur des mesures, des investissements supplémentaires seront requis pour acquérir les instruments nécessaires et les garder calibrés. Les personnes qui effectuent l'évaluation devront comprendre les actions techniques exigées des instruments afin de veiller à l'achat d'équipements adéquats. Elles devront également savoir comment utiliser ces instruments «sur le terrain» et avoir conscience des embûches. Elles devront être conscientes du fait que les mesures constituent un «instantané», qui dépend des paramètres de fonctionnement de l'équipement au moment du relevé. Dans le cas d'évaluations peu fréquentes, il peut être plus économique pour les employeurs de louer les instruments concernés auprès de fournisseurs fiables.

Enfin, il importe d'avoir conscience du fait que la réalisation d'une évaluation n'est pas simplement une question de mesure des champs. Il importe d'évaluer la nature des tâches effectuées afin de pouvoir déterminer les emplacements des travailleurs. Pour les fréquences pour lesquelles le calcul d'une moyenne dans le temps est autorisé, il est également essentiel d'enregistrer les cycles de fonctionnement de l'équipement et d'estimer la durée d'occupation des zones.

8.3. Cas spéciaux

Il existe un certain nombre de situations dans lesquelles les expositions peuvent être particulièrement complexes. Certaines de ces situations sont présentées plus en détail à l'annexe D, comme l'indique le tableau 8.1.

Tableau 8.1 — Orientations complémentaires concernant les évaluations d'expositions complexes

Scénario d'évaluation	Annexe
Exposition non uniforme	D.2
Exposition à des champs dont la fréquence est comprise entre 100 kHz et 10 MHz	D.3
Exposition simultanée à des composants à fréquences multiples	D.3
Exposition à des champs non sinusoïdaux	D.3
Évaluation de champs dont la fréquence est comprise entre 0 et 1 Hz	D.4

8.4. Recherche d'une assistance supplémentaire

Lorsque les employeurs ne possèdent pas encore les compétences et, dans le cas des mesures, les instruments nécessaires pour réaliser les évaluations, des investissements importants seront requis pour les acquérir. Ces investissements peuvent être rentables pour certains employeurs, mais pas pour tous.

Les employeurs qui envisagent de recourir à une assistance extérieure doivent garder à l'esprit que différents fournisseurs sont en général à même de la fournir.

Les organisations suivantes peuvent posséder les compétences et les instruments nécessaires pour apporter leur aide:

- les organismes nationaux chargés de la santé et de la sécurité;
- certaines autorités locales ou nationales, qui offrent des services d'évaluation à moindre coût aux employeurs de leurs régions;
- les établissements de recherche (comme les universités);
- les fabricants d'instruments de mesure ou leurs agents;
- les agences de consultance privées spécialisées.

L'employeur qui s'adresse à un fournisseur externe pour obtenir de l'assistance doit avoir la certitude que celui-ci est compétent pour fournir le service requis. Les employeurs doivent s'assurer que le prestataire de services:

- mettra à disposition du personnel possédant des connaissances et de l'expérience dans l'application des VLE et VA concernées et maîtrisant les méthodes de calcul requises;
- mettra à disposition du personnel possédant les connaissances nécessaires et une expérience du type d'évaluation requis;
- utilisera des instruments capables de mesurer les champs présentant un intérêt en tenant compte de facteurs tels que les composantes de fréquences, les caractéristiques de pulsation et les formes d'ondes;
- sera en mesure de démontrer la traçabilité de l'étalonnage par rapport à une norme nationale adéquate;
- sera en mesure d'estimer l'incertitude de toute mesure réalisée.

L'employeur compte sur le prestataire externe pour sélectionner les VA ou VLE appropriées et pour produire des données adéquates à des fins de comparaison. Les prestataires doivent posséder un système d'assurance de la qualité pour garantir la fiabilité des données. Ils devront également fournir un rapport écrit expliquant à l'employeur la signification de l'évaluation et donnant des conclusions claires. Le cas échéant, ce rapport devrait également formuler des recommandations quant aux mesures supplémentaires à prendre.



Message clé: mesure ou calcul de l'exposition

L'évaluation de l'exposition par mesure ou calcul est généralement complexe, et il est préférable de l'éviter si des informations provenant d'autres sources, comme les fabricants ou des bases de données, sont disponibles. S'il est nécessaire d'effectuer une évaluation, les employeurs doivent se demander s'ils ont la capacité de la réaliser eux-mêmes.

Pour de nombreux employeurs, il sera plus économique de faire appel à une assistance extérieure. Dans ce cas, ils devront s'assurer que les prestataires de services possèdent les instruments, les compétences et l'expérience adéquats pour réaliser l'évaluation.

Section 4

EST-IL NÉCESSAIRE D'EN FAIRE PLUS?

9. MESURES DE PROTECTION ET DE PRÉVENTION

La sélection de mesures de protection ou de prévention adaptées à une situation donnée devrait être guidée par les résultats de l'évaluation des risques. Celle-ci fournit des informations sur la façon dont des expositions dangereuses peuvent se produire. La sélection des mesures de contrôle des risques devra également tenir compte de la nature du travail à accomplir.

Comme indiqué au chapitre 6, s'il peut être établi que les valeurs déclenchant l'action (VA) ou les valeurs limites d'exposition (VLE) ne seront pas dépassées et qu'il n'existe pas de risques significatifs liés aux effets indirects ou pour les travailleurs à risques particuliers, aucune mesure supplémentaire n'est nécessaire.

Dans les zones présentant un risque de dépassement des VA ou des VLE, ou d'effets indirects, l'employeur devra se demander si la zone concernée est accessible en présence de champs. Si l'accès à la zone est déjà suffisamment restreint pour d'autres raisons (par exemple, la présence de hautes tensions), il ne sera normalement pas nécessaire de prendre des mesures supplémentaires. Dans le cas contraire, l'employeur devra généralement mettre en œuvre des mesures supplémentaires.

Si des mesures de protection ou de prévention supplémentaires sont mises en place, il convient de réexaminer les aspects correspondants de l'évaluation afin de déterminer si tous les risques ont été éliminés ou réduits au minimum.

En général, la mise en place de mesures de protection ou de prévention lors de la conception et de l'installation des lieux de travail ou des équipements peut offrir des avantages considérables en matière de sécurité et de fonctionnement. La prise de mesures à un stade ultérieur peut entraîner des coûts élevés.

9.1. Principes de prévention

Dans les cas où des mesures de protection et de prévention sont requises, l'article 6 de la directive-cadre définit des principes de prévention qui doivent être appliqués à l'ensemble des risques (voir le tableau 9.1).

Tableau 9.1 — Principes de prévention définis dans la directive-cadre

Principes de prévention
Éviter les risques
Évaluer les risques qui ne peuvent pas être évités
Combattre les risques à la source
Adapter le travail à l'homme, en particulier en ce qui concerne la conception des postes de travail ainsi que le choix des équipements de travail et des méthodes de travail et de production
Tenir compte de l'état d'évolution de la technique
Remplacer ce qui est dangereux par ce qui n'est pas dangereux ou par ce qui est moins dangereux
Planifier la prévention en visant un ensemble cohérent qui intègre dans la prévention la technique, l'organisation du travail, les conditions de travail, les relations sociales et l'influence des facteurs ambiants au travail
Privilégier les mesures de protection collective par rapport aux mesures de protection individuelle
Donner les instructions appropriées aux travailleurs

9.2. Élimination du danger

Le moyen le plus efficace de contrôler les risques consiste à éliminer entièrement le danger, éventuellement en adoptant un autre procédé qui ne génère pas de CEM puissants. Il est possible, par exemple, de passer du soudage par résistance électrique à un soudage au laser. On sait toutefois qu'un changement de procédé n'est pas toujours faisable dans la pratique. Il n'existe souvent pas d'autre procédé adéquat, ou bien les autres solutions disponibles peuvent introduire d'autres types de dangers (dans l'exemple ci-dessus, la présence d'un faisceau laser de haute puissance) entraînant des risques équivalents ou plus importants encore pour les travailleurs.

Pour éliminer un danger, il faudra souvent revoir la conception d'un procédé entier ou investir des sommes importantes dans un nouvel équipement. Bien souvent, cette approche n'est donc viable que lors de l'installation initiale ou en cas de reconversion majeure de l'outillage. Dans ces circonstances, il convient d'examiner les autres approches permettant d'arriver au même résultat sans générer de CEM puissants.

9.3. Remplacement par un procédé ou un équipement moins dangereux

Une approche efficace pour réduire les risques engendrés par les CEM consiste à remplacer les procédés ou équipements existants par d'autres procédés ou équipements générant moins de CEM. Sous sa forme la plus simple, par exemple, le soudage diélectrique de plastiques peut entraîner une forte exposition de l'opérateur au rayonnement de CEM à radiofréquences, et même l'exposer à un risque de brûlure en cas de contact avec des électrodes exposées. Il est normalement possible de concevoir des équipements avec blindage intégré limitant l'intensité du champ de radiation et des mesures d'automatisation éloignant davantage l'opérateur des électrodes.

Le remplacement d'installations existantes par des équipements plus fortement automatisés ou blindés améliore en général l'efficacité du procédé, mais entraîne des dépenses importantes en capital. Cette option n'est donc généralement viable que dans le cadre du cycle normal de remplacement des équipements.



Message clé: mesures de réduction des risques

Lorsqu'il est impossible de réduire les risques par élimination ou substitution, il y a lieu de prendre des mesures supplémentaires. De nombreuses possibilités s'offrent aux employeurs pour atteindre cet objectif. Les mesures techniques et organisationnelles sont généralement préférables parce qu'elles assurent une protection collective. Bon nombre des mesures susceptibles de réduire les risques dus aux CEM sont similaires aux mesures prises pour combattre d'autres dangers sur le lieu de travail.

9.4. Mesures techniques

S'il est possible en pratique de prendre des mesures d'ordre technique, celles-ci ont l'avantage d'offrir une protection collective et supposent normalement de combattre les risques à la source. Ces mesures sont aussi généralement plus fiables que les mesures organisationnelles puisqu'elles ne nécessitent pas la prise de mesures. Différentes mesures techniques peuvent s'avérer efficaces pour empêcher ou limiter l'accès aux CEM. Ces mesures sont décrites ci-dessous.

9.4.1. Blindage

Le blindage peut être un moyen efficace de réduire les champs électromagnétiques produits par une source, et il est souvent intégré à la conception de l'équipement afin de limiter les émissions. Les fours à micro-ondes en sont un bon exemple. Le grillage de la fenêtre est relié au boîtier métallique du four afin de former un blindage continu limitant les émissions de micro-ondes. Il est également possible de blinder des pièces entières afin de créer un environnement à faible potentiel électromagnétique, mais cette démarche vise généralement à protéger des équipements électriques sensibles plutôt que des personnes.

Dans la pratique, les blindages pour les champs électriques de radiofréquences et de faible fréquence consistent à entourer la source d'une surface conductrice (un blindage de Faraday). Ce blindage se compose généralement de feuilles de métal ou d'un grillage métallique, même s'il est aussi possible d'utiliser d'autres matériaux comme de la céramique, du plastique ou du verre recouverts d'un ou de plusieurs revêtements métalliques ou intégrant un grillage métallique. Ces derniers matériaux sont utiles pour les fenêtres, dans les situations où il est nécessaire de pouvoir observer le processus. Lorsqu'un flux d'air est nécessaire, pour le refroidissement par exemple, le blindage utilise habituellement des grillages métalliques ou des matériaux alvéolés.

Pour être efficace, un blindage doit être continu. Tout écart ou joint doit être inférieur à la longueur d'onde (voir l'annexe A) du champ électromagnétique. C'est pourquoi les panneaux faisant partie d'un blindage sont normalement fixés par des vis ou des boulons très rapprochés. Si un panneau doit être enlevé, il convient de le réassembler avec toutes les fixations en place afin de réduire le plus possible les fuites. Les portes et les panneaux d'accès possèdent généralement une bande de contact sur tout leur périmètre. Outre les écarts et joints, l'efficacité du blindage dépend également du matériau qui le compose, de son épaisseur, de la forme du blindage et de la fréquence du champ.

Les câbles et autres guides d'ondes utilisés pour la transmission de champs de radiofréquences sont systématiquement blindés. Ce blindage sert en premier lieu à empêcher le rayonnement de l'énergie de radiofréquence, qui entraînerait des pertes importantes, mais aussi à limiter l'ampleur des champs ambiants. La perte d'intégrité du champ peut entraîner des fuites, et il convient donc de rester attentif aux dégradations possibles des joints ou des coudes.

Le blindage des champs magnétiques statiques et à basse fréquence (moins de 100 kHz environ) est plus difficile. Il est possible de blinder les champs de ce type au moyen d'alliages métalliques comme le mu-métal, mais cette approche présente de nombreuses limitations et elle n'est utilisée en général que pour les applications spécialisées.

Étant donné la difficulté d'assurer le blindage passif des champs magnétiques, on lui préfère souvent un blindage actif, surtout pour les champs statiques (voir l'étude de cas sur les unités RMN au volume 2 du présent guide). Pour créer un blindage actif, on utilise une bobine supplémentaire, généralement sous la forme d'un solénoïde, afin de générer un champ magnétique opposé. L'annulation des deux champs réduit rapidement l'induction magnétique à partir de la source.

9.4.2. Protecteurs

Les protecteurs peuvent être un moyen bon marché et efficace de limiter l'accès aux zones présentant des champs de forte intensité. Comme indiqué au chapitre 3, les puissances de champ diminuent en général rapidement à mesure que l'on s'éloigne de la source du champ, de sorte que l'utilisation de protecteurs pour limiter l'accès au voisinage immédiat constitue souvent une option pratique. Moyennant une connaissance de la répartition du champ, toute personne compétente dans la conception et l'installation de protecteurs pour machines devrait être en mesure d'apporter une solution efficace.

Lors de l'installation de protecteurs dans des champs de forte intensité, il convient d'être attentif au couplage du champ avec le matériau utilisé pour le protecteur. Il est parfois indiqué d'utiliser des matériaux non métalliques, par exemple des protecteurs en plastique dans les installations de RMN présentant des champs magnétiques statiques puissants. En cas d'installation de protecteurs métalliques, il peut aussi être nécessaire de tenir compte du risque de décharges d'étincelles et de courants de contact et d'assurer un raccordement adapté à la terre (points 9.4.7 et 9.4.8).

Dans les cas où il n'est pas nécessaire d'accéder à la zone restreinte dans les situations de fonctionnement normal, des protecteurs fixes sont souvent la solution la plus simple et la moins coûteuse. Ces protecteurs sont fixés de manière telle que leur démontage nécessite des outils.

Étant donné la nécessité d'utiliser des outils pour les démonter, les protecteurs fixes ne conviennent pas aux zones auxquelles un accès fréquent est nécessaire. Dans ce cas, des protecteurs mobiles peuvent être une solution acceptable. Ces protecteurs sont normalement interverrouillés avec la source du champ, bien qu'un protecteur sans interverrouillage (illustration 9.1) puisse être acceptable dans les cas où le risque est relativement faible.

Illustration 9.1 — Exemple de protecteur mobile simple utilisé pour limiter l'accès à un champ magnétique puissant. Ce protecteur n'est pas interverrouillé, mais il est complété par des signaux d'avertissement et des mesures organisationnelles



Lorsque des champs de forte intensité sont uniquement accessibles via des échelles verticales fixes, par exemple dans le cas d'antennes de forte puissance installées sur un toit (voir l'étude de cas au volume 2 du présent guide), un protecteur d'échelle peut constituer un moyen bon marché et efficace de limiter l'accès (illustration 9.2).

Illustration 9.2 — Utilisation d'un protecteur d'échelle pour limiter l'accès à des champs puissants sur un toit



9.4.3. Interverrouillages

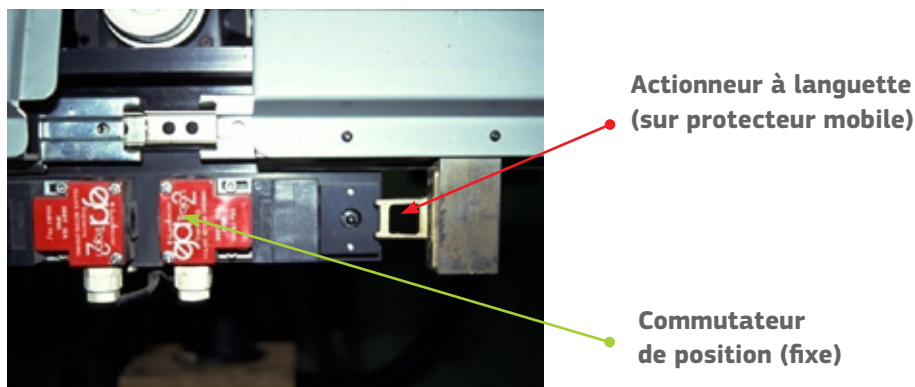
Lorsque des protecteurs mobiles sont utilisés pour limiter l'accès à des champs puissants, il convient de les interverrouiller avec la source du CEM. Le dispositif d'interverrouillage contrôle la position du protecteur et empêche de générer un CEM lorsque le protecteur ne se trouve pas en position entièrement fermée.

Il existe différents types de dispositifs d'interverrouillages, chacun possédant ses propres avantages et inconvénients (voir le tableau 9.2). Le choix d'un dispositif adapté dépend des circonstances et devrait être guidé par le résultat de l'évaluation des risques.

Tableau 9.2 — Exemples de différents types d'interverrouillages

Type	Description	Exemples
1	Commutateur mécanique sans code	Commutateur à came tournante sur protecteur sur charnières Commutateur à came linéaire activé par un rail sur protecteur coulissant Commutateur monté à l'intérieur de la charnière
2	Commutateur mécanique avec code	Commutateur de position actionné par languette Système à clé captive
3	Commutateur de position sans contact sans code	Commutateur de proximité basé sur une détection par induction, magnétique, capacitive, ultrasonique ou optique
4	Commutateur de position sans contact avec code	Commutateur de proximité avec détection magnétique codée Commutateur de proximité avec détection RFID

Illustration 9.3 — Commutateur de position actionné par languette, un exemple de dispositif d'interverrouillage de type 2



En présence de champs électromagnétiques puissants, il convient de tenir compte du risque d'interférence avec le dispositif d'interverrouillage et les circuits associés éventuels. Les dispositifs actionnés mécaniquement sont en général moins sensibles aux interférences électromagnétiques.

Les interverrouillages doivent respecter les normes européennes adéquates et doivent être installés au moyen de fixations dont le démontage nécessite des outils.

Étant donné que l'ouverture du protecteur doit normalement interrompre immédiatement la génération du champ important, un verrouillage du protecteur (qui verrouille le protecteur jusqu'à la disparition du risque) n'est généralement pas nécessaire.

9.4.4. Équipements de protection sensibles

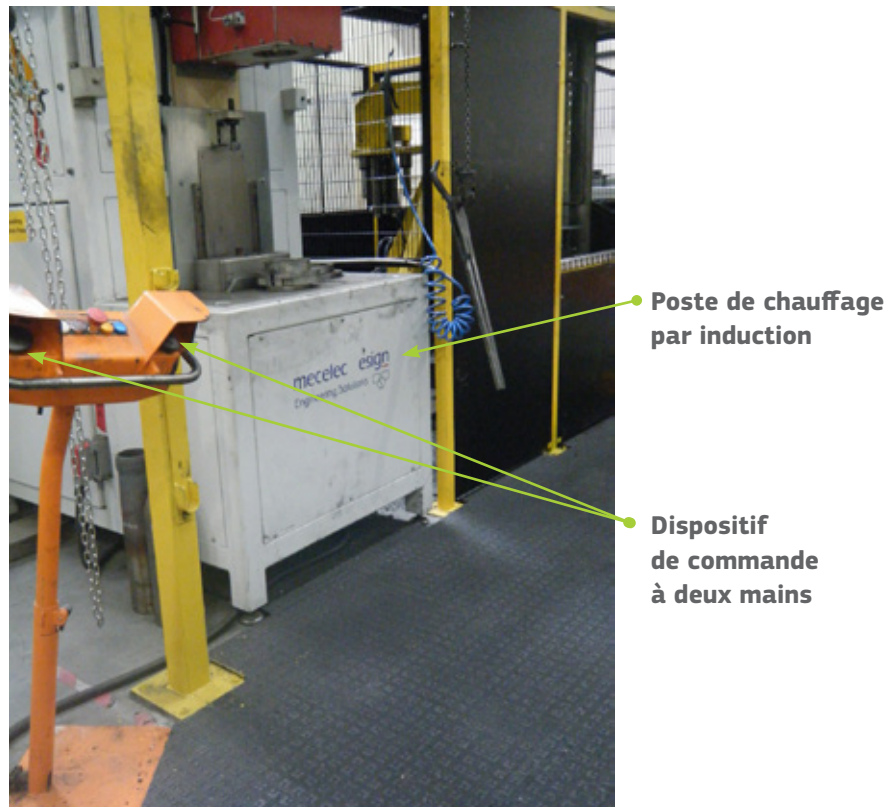
Dans les cas où il n'est pas pratique d'installer des protections fixes ou mobiles, une autre possibilité peut être d'utiliser des équipements de protection sensibles. Ces équipements incluent par exemple les rideaux de lumière, les dispositifs de scannage et les tapis sensibles à la pression. Ils peuvent détecter l'entrée ou la présence d'une personne dans une zone de champs puissants et peuvent empêcher le fonctionnement d'équipements générant des champs électromagnétiques.

Les équipements de protection sensibles utilisent une série de technologies de détection dont l'adéquation varie en fonction de la situation précise. Il est recommandé aux employeurs de se faire conseiller par des personnes compétentes pour choisir les systèmes adéquats. Il convient notamment de prendre en considération le risque d'interférence par des champs magnétiques de forte intensité.

9.4.5. Dispositif de commande à deux mains

Il est possible d'utiliser un dispositif de commande à deux mains (illustration 9.4) dont l'activation nécessite l'utilisation des deux mains d'un opérateur. Cette approche peut être utile pour faire en sorte que l'opérateur se place dans une position particulière ou que ses mains restent en dehors de la zone du champ puissant. Ce dispositif n'assure cependant pas la protection des autres travailleurs.

Illustration 9.4 — Dispositif de commande à deux mains visant à garantir une distance entre le travailleur et un poste de chauffage par induction



9.4.6. Arrêts d'urgence

Dans les cas où les travailleurs peuvent avoir accès à des équipements potentiellement dangereux, il est essentiel de prévoir des dispositifs d'arrêt d'urgence. La plupart des gens connaissent les boutons rouges d'arrêt d'urgence à tête de champignon. L'arrêt d'urgence doit réagir rapidement, interrompre tous les services dans la zone concernée et empêcher tout redémarrage tant qu'il n'a pas été réinitialisé.

Les boutons d'arrêt d'urgence doivent se trouver en nombre suffisant dans la zone pour qu'il y en ait toujours un à portée de main, et en tout cas pour que l'on puisse y accéder sans devoir traverser une zone plus dangereuse. Pour les zones de plus grande taille, il est souvent plus pratique d'utiliser des câbles à tirer que des boutons.

9.4.7. Mesures techniques pour empêcher les décharges d'étincelles

Des décharges d'étincelles sont possibles dans les champs électriques puissants lorsqu'une personne touche un objet conducteur possédant un potentiel électrique différent, parce que l'un est raccordé à la terre et l'autre non. On peut empêcher les décharges d'étincelles en veillant à ce qu'il n'existe pas de telles différences de potentiel, par des mesures techniques telles que la mise à la terre des ouvrages et la liaison entre les travailleurs et les ouvrages conducteurs (liaison équipotentielle).

Dans la pratique, il peut être difficile d'appliquer toutes ces mesures techniques en raison de la difficulté d'assurer une mise à la terre ou une liaison effective d'objets mobiles. Par conséquent, il est généralement nécessaire de combiner les mesures techniques avec des mesures organisationnelles adéquates, notamment la formation du personnel, et éventuellement l'utilisation d'équipements de protection individuelle.

9.4.8. Mesures techniques pour empêcher les courants de contact

Lorsqu'une personne entre en contact avec un objet conducteur dans un champ de radiofréquences et que l'un des deux n'est pas raccordé à la terre, il se peut qu'un courant de radiofréquence traverse la personne pour atteindre le sol. Ce courant peut causer un choc ou des brûlures. Différentes mesures peuvent être prises pour limiter les courants de contact. Le fait de réduire l'intensité des champs de dispersion réduit l'intensité du courant de radiofréquence éventuel, et il est également possible d'apporter d'autres améliorations sous la forme de mesures d'isolation et de mise à la terre. On notera enfin que certaines mesures organisationnelles, comme l'élimination des objets conducteurs inutiles, en particulier de grande taille, permettent de réduire les possibilités de contact.

9.5. Mesures organisationnelles

Dans certaines situations, il n'est pas possible en pratique de réduire les risques dus aux CEM par des mesures techniques. Dans de telles situations, l'étape suivante consiste à examiner la possibilité d'utiliser des mesures organisationnelles. Ces mesures doivent elles aussi assurer une protection collective mais, étant donné qu'elles dépendent en général du comportement de personnes sur la base des informations reçues, leur efficacité se limite aux actions de ces personnes. Les mesures organisationnelles ont pourtant un rôle important à jouer, et elles peuvent constituer la principale mesure de contrôle dans certaines circonstances, par exemple lors de la mise en service et des entretiens.

Le choix des mesures organisationnelles dépend de la nature du risque et de la façon dont le travail est effectué. Ces mesures peuvent comprendre la délimitation des zones concernées et la restriction de l'accès, des signes, des signaux ou des étiquettes, la désignation de personnes chargées de superviser les zones ou les activités concernées ou des procédures écrites.

9.5.1. Délimitation de la zone et restriction des accès

Dans certaines situations, il n'est pas possible en pratique de limiter l'accès aux zones présentant des champs puissants par des mesures techniques telles que des protecteurs. Dans ces situations, il est possible de prendre une série de mesures organisationnelles afin de délimiter les zones et de limiter l'accès ou les activités. En général, ces mesures incluent des panneaux et avis d'avertissement visant à attirer l'attention des travailleurs sur le risque, souvent en combinaison avec des marques au sol indiquant les zones présentant des champs puissants.

Tableau 9.3 — Exemples de restrictions d'accès et d'autres restrictions éventuellement nécessaires pour les zones présentant des CEM puissants

Critères	Restrictions
Effets non thermiques	Aucun accès lorsque les champs sont actifs
Dépassement de la VLE relative aux effets sur la santé	
Dépassement de la VA haute	
Dépassement de la VA pour l'exposition des membres	
Effets thermiques	Restrictions d'accès pour limiter l'exposition moyenne dans le temps
Dépassement de la VLE relative aux effets sur la santé	
Dépassement de la VA d'exposition	
Dépassement de la VA pour les courants induits dans les membres	
Dépassement temporaire de la VLE relative aux effets sensoriels	Accès limité aux travailleurs formés
Dépassement temporaire de la VA basse	Autres restrictions éventuelles
Risque de projection d'objets dans des champs magnétiques statiques puissants	Restriction à l'entrée de matériaux ferromagnétiques dans la zone
Risques pour les travailleurs à risques particuliers	Restrictions d'accès dans les zones présentant des champs puissants
	Informations pour l'accès au site
Risque de décharges d'étincelles causées par des champs électriques puissants	Accès limité aux travailleurs formés
Risque de courants de contact	Accès limité aux travailleurs formés
	Interdiction des objets conducteurs superflus

Dans certaines situations, lorsque des marques au sol sont déjà en place pour avertir d'autres dangers ou restrictions, il peut être acceptable d'utiliser d'autres moyens pour délimiter les zones concernées, comme des marquages sur les murs ou l'affichage de plans indiquant le marquage des zones concernées.

Lorsque des CEM sont générés uniquement à certaines phases du cycle de fonctionnement d'un équipement, il peut être utile d'indiquer à quel moment ces champs sont présents au moyen de signaux d'avertissement visuels (un phare allumé, par exemple) ou acoustiques (une sirène, par exemple).

Lorsque l'accès est limité à certains travailleurs, il convient d'instaurer un processus d'autorisation formelle des personnes concernées.

Dans certains cas, il peut être nécessaire d'instaurer des restrictions d'accès temporaires. Cette approche est acceptable pour une installation temporaire, ou pendant des travaux de mise en service sur une installation permanente, mais avant l'installation des protecteurs fixes. Dans ces situations, il est normalement acceptable d'utiliser des protecteurs temporaires. Ces protecteurs arborent en général des signaux d'avertissement. Pour les situations à haut risque mais de courte durée, il peut aussi être opportun de désigner des travailleurs chargés de surveiller les limites de la zone afin de s'assurer que personne ne passe les barrières.

Illustration 9.5 — Barrières temporaires et signaux d'avertissement visant à limiter l'accès aux champs puissants générés par une installation temporaire



En cas de risque d'inflammation d'atmosphères inflammables ou d'amorçage de dispositifs électro-explosifs, il est d'usage de délimiter la zone où le danger primaire (atmosphère inflammable, dispositif électro-explosif) est présent et d'imposer ensuite des restrictions sur toutes les sources d'inflammation ou d'amorçage, et notamment les CEM, dans cette zone.

9.5.2. Signalisation et avis de sécurité

Ces signalisations et avis constituent un élément important de tout système de mesures organisationnelles. La signalisation et les avis de sécurité ne sont efficaces que s'ils sont clairs et sans équivoque. Il convient de les afficher à hauteur des yeux pour leur assurer une visibilité maximale. La nature des dangers doit être clairement indiquée. Les illustrations 9.6 à 9.8 présentent des exemples de pictogrammes applicables aux CEM et indiquent leur signification reconnue. En général, il est indiqué d'ajouter une description sous forme textuelle afin de faciliter la compréhension. Cette approche est particulièrement importante pour les signalisations obligatoires imposant le port de chaussures ou de gants isolants ou conducteurs.

Illustration 9.6 — Avertissements standard souvent affichés en lien avec les CEM



Attention: champ magnétique



**Attention: rayonnements
non ionisants**

Illustration 9.7 — Signalisations d'interdiction standard souvent affichées en lien avec les CEM



**Accès interdit aux personnes
portant des dispositifs cardiaques
implantés actifs**



**Accès interdit aux personnes
portant des implants métalliques**

Illustration 9.8 — Signalisations obligatoires standard susceptibles d'être affichées en lien avec les CEM



Port de chaussures de sécurité



Port de gants de protection



Port d'une protection pour les yeux



**Signalisation générale
d'action obligatoire**

Si les champs électromagnétiques ne sont présents que par intermittence, il convient que les avertissements soient affichés uniquement lorsque le champ est actif. Dans le cas contraire, ils risquent d'être ignorés. Pour ce faire, il est possible de retourner la signalisation (sur un crochet ou un support à glissières) pour afficher un côté vide lorsque la situation dangereuse n'est plus d'actualité.

Il est d'usage d'apposer des étiquettes d'avertissement portant le même pictogramme sur tous les équipements générant des CEM.

9.5.3. Procédures écrites

Dans les cas où il est nécessaire de se fonder sur des mesures organisationnelles pour gérer les risques dus aux CEM, il convient de documenter ces mesures dans l'évaluation des risques afin que chacun sache clairement ce qui est requis. Cette documentation doit inclure:

- la description de toutes les zones faisant l'objet de restrictions particulières d'accès ou d'activités;
- des informations détaillées relatives aux conditions d'accès à une zone ou à la réalisation d'une activité donnée;
- les exigences spécifiques de formation des travailleurs (par exemple, la formation requise pour dépasser temporairement la VA basse);
- le nom des personnes autorisées à entrer dans les zones concernées;
- le nom des membres du personnel chargés de superviser le travail ou de faire respecter les restrictions d'accès;
- la liste de tous les groupes exclus spécifiquement des zones concernées, comme les travailleurs à risques particuliers;
- des informations détaillées sur les dispositifs d'urgence, le cas échéant.

Il doit être possible de consulter un exemplaire des procédures écrites dans chaque zone à laquelle elles s'appliquent, et il convient de les distribuer à toutes les personnes susceptibles d'être concernées.

9.5.4. Informations relatives à la sécurité du site

Il est d'usage de fournir des informations de sécurité ou d'organiser une réunion de sécurité à l'intention des personnes qui accèdent au site pour la première fois. Si le site comprend des zones présentant des restrictions d'accès ou d'activités, il est recommandé de les décrire dans les informations de sécurité du site.

Illustration 9.9 — Les informations de sécurité du site fournies aux visiteurs doivent expliquer toutes les restrictions éventuelles d'accès à certaines zones et, notamment, les risques auxquels sont exposés les travailleurs à risques particuliers.



Si le site comprend des zones susceptibles de présenter des risques pour les travailleurs à risques particuliers, il est essentiel de le souligner. Il convient de recenser les groupes «à risques» reconnus, et toutes les personnes appartenant à l'un de ces groupes devraient être invitées à le signaler à leur hôte. Ces informations devraient inclure un avertissement adressé aux membres de ces groupes leur conseillant de rester attentifs aux signaux d'avertissement supplémentaires.

9.5.5. Supervision et gestion

Il convient de gérer la sécurité en matière de CEM selon la même structure de gestion de la santé et de la sécurité que pour les autres activités potentiellement dangereuses. Les modalités organisationnelles précises peuvent varier selon la taille et la structure de l'organisation.

Lorsque les champs sont suffisamment puissants pour nécessiter une gestion spécifique, il convient normalement de désigner des membres du personnel possédant les connaissances nécessaires et chargés de superviser au quotidien la sécurité en matière de CEM sur le lieu de travail.

9.5.6. Instructions et formation

L'article 6 de la directive CEM porte spécifiquement sur la fourniture d'informations et la formation des travailleurs susceptibles d'être exposés aux risques dus aux CEM au travail. Le contenu requis de cette formation est indiqué au tableau 9.4.

L'ampleur des informations ou de la formation doit être proportionnelle aux risques dus aux CEM sur le lieu de travail. Dans les cas où l'évaluation initiale (voir le chapitre 3) révèle que les champs accessibles sont tellement faibles qu'aucune action spécifique n'est requise, il devrait être suffisant d'en apporter l'assurance. Même dans cette situation, cependant, il est important d'attirer l'attention des travailleurs ou de leurs représentants sur la possibilité de risques particuliers pour certains travailleurs. Tous les travailleurs appartenant à l'un des groupes «à risques» reconnus devraient être invités à se faire connaître auprès de la direction.

Tableau 9.4 — Contenu des informations et des formations définies par la directive CEM

Les mesures prises en application de la directive CEM
Les valeurs et les concepts relatifs aux VLE et aux VA, les risques potentiels associés et les mesures de prévention prises
Les effets indirects potentiels de l'exposition
Les résultats de l'évaluation, de la mesure ou des calculs des niveaux d'exposition aux champs électromagnétiques effectués en application de l'article 4 de la directive CEM
La manière de dépister les effets nocifs d'une exposition sur la santé et de les signaler
La possibilité de symptômes passagers et de sensations liés aux effets sur le système nerveux central ou périphérique
Les circonstances dans lesquelles les travailleurs ont droit à une surveillance de la santé
Les pratiques professionnelles sûres permettant de réduire les risques résultant d'une exposition
Les travailleurs à risques particuliers

S'il a été nécessaire de prendre des mesures techniques ou organisationnelles spécifiques vis-à-vis des CEM, il convient en général de proposer une formation plus formelle. Dans les cas où des mesures techniques ont permis d'éliminer les risques ou de les réduire au minimum, il suffit en général d'organiser une réunion de sécurité ou d'avoir la «conversation sur la boîte à outils». Ces discussions permettront d'attirer l'attention des travailleurs sur les risques et d'expliquer les mesures techniques mises en place pour leur protection. Les formations devraient souligner l'importance de signaler toutes les défaillances ou déficiences apparentes dans les mesures de protection afin de pouvoir les corriger.

Lorsque la gestion des risques dus aux CEM se fonde en grande partie sur des mesures organisationnelles ou sur l'utilisation d'équipements de protection individuelle, la formation doit normalement être plus formelle et détaillée.

Lorsqu'il détermine le niveau d'approfondissement et la durée de la formation requise, l'employeur devrait prendre en considération les points énoncés au tableau 9.5. Toute formation doit mettre en perspective les risques dus aux CEM par rapport aux autres risques sur le lieu de travail.

Tableau 9.5 — Aspects à prendre en considération pour décider du niveau de formation requis

Les résultats de l'évaluation des risques
Les compétences actuelles des membres du personnel et leur connaissance des risques dus aux CEM
Le degré d'implication des travailleurs dans la gestion des risques dus aux CEM
La nature de l'environnement de travail, sa stabilité ou au contraire ses modifications fréquentes
Le fait que la formation s'adresse à de nouveaux travailleurs ou vise à «rafraîchir» les connaissances du personnel existant

En cas de risques de décharges d'étincelle ou de courants de contact, la formation doit couvrir spécifiquement ces risques. La formation devra aussi expliquer les mesures mises en œuvre afin de réduire les risques, en particulier lorsque ces mesures nécessitent une action de la part des travailleurs.

L'organisation de la formation devrait être documentée.

9.5.7. Conception et agencement des lieux et postes de travail

Il est souvent possible de réduire au minimum les risques dus aux CEM à moindre coût, voire sans aucune dépense supplémentaire, en accordant un peu d'attention à la conception et à l'agencement des lieux de travail de façon générale et des postes de travail individuels en particulier.

Ainsi, il est souvent possible de placer les équipements générant des champs puissants loin des passages utilisés fréquemment et des autres zones où de nombreuses personnes peuvent être présentes. Il convient en tout cas de veiller à ce que l'équipement soit disposé de façon qu'il soit possible d'en limiter l'accès dans les cas où il est impossible de garantir le respect des VLE.

Les équipements générant des champs puissants devraient être placés de façon que les travailleurs à risques particuliers ne doivent pas traverser des champs qui les mettent en danger. Ces champs ne doivent donc jamais s'étendre aux passages communs ni à d'autres zones, sauf s'il est possible d'exclure ces travailleurs de ces zones.

Lorsqu'ils réfléchissent à l'agencement de leurs lieux de travail, les employeurs devraient garder à l'esprit que les champs magnétiques ne seront normalement pas atténués par des cloisons de séparation et qu'il convient donc de prendre en considération l'accès aux zones adjacentes. Cet aspect est illustré pour l'équipement d'inspection par particules magnétiques utilisé dans l'étude de cas sur l'atelier d'ingénierie au volume 2 du présent guide.

L'agencement des postes de travail a souvent son importance lui aussi. Dans l'exemple de l'illustration 9.10, le champ situé à l'emplacement de l'opérateur devant le poste de soudage par points est plus faible que le champ sur le côté du poste à souder. Dans les situations de ce type, il importe donc d'organiser le poste de travail de façon que l'opérateur se place assis ou debout à l'endroit prévu (illustration 9.10) et de penser à l'emplacement des travailleurs qui effectuent d'autres tâches.

Illustration 9.10 — Exemples de bonnes et mauvaises pratiques pour l'agencement du poste de travail d'un soudeur par points et le positionnement de l'opérateur



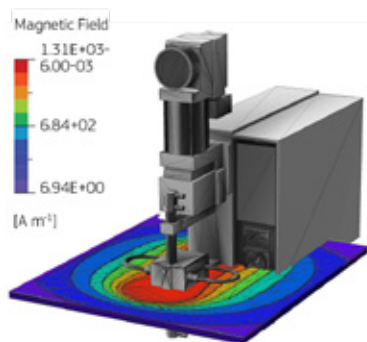
Bonne pratique:

Le champ est plus puissant sur les côtés du poste de soudage par points que devant celui-ci. Dans cet agencement, le travailleur se tient debout devant la machine pour souder. De ce fait, l'exposition du travailleur reste faible.



Mauvaise pratique:

Dans cet agencement, le travailleur doit se tenir debout sur le côté de la machine pour souder. Il subit donc une exposition plus importante.



Information:

Ce schéma montre l'espacement plus important des délimitations du champ magnétique sur les côtés du poste de soudage.

9.5.8. Adoption de bonnes pratiques de travail

Il est souvent possible pour les travailleurs de réduire au minimum la génération de champs puissants ou de réduire leur exposition en apportant des modifications simples à leurs pratiques de travail. Par exemple, lorsque les courants d'alimentation et de retour passent par des conducteurs différents, il convient si possible de placer ces conducteurs à proximité l'un de l'autre. Cet agencement permet normalement de réduire considérablement le champ, puisque les flux de courant opposés provoquent une annulation du champ.

Les travailleurs doivent veiller autant que possible à faire passer les câbles loin de leur corps, surtout lorsqu'il existe des câbles distincts pour l'alimentation et le retour. Les illustrations 9.11 donnent des exemples de bonnes et de mauvaises pratiques en matière de soudage. Les câbles de soudage sont lourds et ont tendance à limiter les mouvements du pistolet de soudage. De ce fait, il n'est pas rare que les soudeurs portent le câble en travers de leur épaule, et certains l'enroulent même autour de leur cou. Cette façon de faire rapproche inévitablement la source du champ puissant du cerveau et de la moelle épinière. Le fait de soutenir le câble par d'autres moyens réduirait l'exposition et serait également préférable sur le plan ergonomique.

Illustration 9.11 — Exemples de bonnes et mauvaises pratiques pour le positionnement d'un câble de soudage à l'arc



Bonne pratique:

Le câble passe à une certaine distance du corps du soudeur, ce qui permet une exposition faible au champ.

Les câbles d'alimentation et de retour sont regroupés dans la mesure du possible, de sorte que l'annulation des champs réduit leur amplitude dans l'environnement de travail.



Mauvaise pratique:

Dans cet exemple, le travailleur soutient le poids du câble de soudage en travers de son épaule. Cette approche place le câble à proximité de la tête et du corps, ce qui accroît l'exposition.

• Câble passé sur l'épaule



Mauvaise pratique:

Dans cet exemple, le travailleur soutient le poids du câble de soudage en boucle en travers de ses épaules. Cette approche place le câble à proximité de la tête et du corps, ce qui accroît l'exposition.

• Câble enroulé autour du cou

De même, dans l'inspection par particules magnétiques, il est d'usage de terminer le travail par un cycle de démagnétisation qui génère typiquement un champ initial plus puissant que le cycle d'inspection. Cependant, contrairement au cycle d'inspection, il n'est pas nécessaire que l'inspecteur se trouve à proximité de la pièce à travailler pendant la démagnétisation, et il est donc recommandé qu'il s'éloigne à ce stade du processus.

Dans certaines situations, la démagnétisation se fait au moyen d'une bobine (voir l'étude de cas sur l'atelier d'ingénierie au volume 2 du présent guide). Ces bobines possèdent généralement un rail et un petit chariot sur lequel est montée la pièce à travailler. L'utilisation de baguettes pour pousser la pièce et le chariot à travers la bobine permet de réduire au minimum le risque pour l'opérateur.

9.5.9. Programmes de maintenance préventive

Les équipements qui produisent des CEM doivent être soumis à un programme régulier de maintenance préventive et, le cas échéant, subir des inspections pour s'assurer qu'ils continuent de fonctionner correctement. Une maintenance adéquate fait partie des exigences de la directive sur les équipements de travail (voir l'annexe G). Elle permet de réduire le plus possible toute augmentation des émissions causée par la détérioration de l'équipement.

De même, les mesures techniques visant à limiter les émissions ou à limiter l'accès aux champs puissants devraient faire l'objet d'une maintenance, d'inspections et d'essais réguliers pour vérifier qu'elles gardent toute leur efficacité.

La fréquence de ces activités de maintenance et d'inspection dépend de la nature de l'équipement, de la façon dont il est utilisé et de l'environnement dans lequel il se situe. En général, les fabricants d'équipement recommandent des intervalles de maintenance appropriés qui constituent des consignes adéquates dans la plupart des cas. Cependant, les environnements exceptionnellement rudes ou l'utilisation intensive de l'équipement peuvent accélérer la vitesse de détérioration. Dans de tels cas, il convient généralement de procéder à des inspections et à des activités de maintenance plus fréquentes.

9.5.10. Restriction des mouvements dans les champs magnétiques statiques

Au sein de champs magnétiques puissants, les mouvements peuvent provoquer l'induction de champs électriques à basse fréquence à l'intérieur du corps susceptibles d'entraîner une série d'effets. Il est possible de réduire ces effets en limitant l'ampleur et la vitesse du mouvement au travers des champs. Cette précaution est particulièrement importante pour les mouvements de certaines parties du corps, comme la rotation de la tête. Moyennant une formation ou une pratique suffisantes, les travailleurs peuvent apprendre à limiter leurs mouvements et à réduire ainsi le plus possible les effets éventuels.

9.5.11. Coordination et coopération entre employeurs

Lorsque des salariés de plusieurs employeurs sont amenés à travailler sur un même site, il convient que les employeurs s'échangent les informations nécessaires pour assurer une protection adéquate à tous les travailleurs. Cette situation se présente fréquemment lors de l'installation, de la mise en service et de l'entretien d'équipements, mais également dans d'autres circonstances. Ainsi, les employeurs sous-traitent souvent de nombreuses fonctions auxiliaires, comme le nettoyage, la gestion des locaux, l'entreposage et la logistique, la santé au travail et les services informatiques.

Dans le contexte des CEM, cet échange d'informations devrait inclure des données détaillées sur les restrictions éventuellement nécessaires en matière d'accès ou d'activités dans une zone particulière et sur les risques éventuels pour les travailleurs à risques particuliers. Ces restrictions devront faire l'objet d'un accord entre les employeurs, et chaque employeur devra veiller à ce que ses travailleurs les respectent.

9.6. Équipement de protection individuelle

Les principes de protection de la directive-cadre (voir le tableau 9.1) indiquent clairement que les mesures de protection collective devraient toujours avoir la priorité sur les mesures de protection individuelle. Dans certains cas, cependant, il n'est pas possible en pratique de prendre des mesures techniques ou organisationnelles assurant une protection collective adéquate. Dans de telles situations, il peut être nécessaire d'utiliser des équipements de protection individuelle.

Comme indiqué ci-dessus concernant les mesures techniques, il est relativement aisé de se protéger des champs électriques, mais il est difficile d'assurer une protection efficace contre les champs magnétiques. Il n'est donc généralement pas faisable d'utiliser une protection individuelle pour se protéger des champs magnétiques. L'efficacité de l'équipement de protection dépend de la fréquence du champ, de sorte qu'un équipement de protection adapté à une gamme de fréquences a peu de chance de convenir à d'autres gammes.

Le choix d'un équipement approprié dépend de la situation particulière et de la nature des risques que l'on souhaite éviter. Selon la situation, des chaussures, bottes ou gants isolants ou conducteurs peuvent donc tous réduire efficacement les risques. Lorsque des chaussures isolantes sont requises, il suffit en général d'acquérir des bottines de travail robustes ou des chaussures à semelle épaisse en caoutchouc. Si une évaluation révèle que ces équipements ne sont pas adéquats, il peut s'avérer nécessaire de trouver un fournisseur d'équipements de sécurité plus spécialisé.

Des protections oculaires peuvent être utilisées pour protéger les yeux contre les champs à haute fréquence. L'utilisation de combinaisons de protection complètes peut être nécessaire dans certaines situations, mais on notera que ces combinaisons peuvent engendrer d'autres risques en gênant les mouvements ou en freinant les déperditions de chaleur pour ceux qui les portent.

L'équipement de protection individuelle doit être entretenu correctement et inspecté régulièrement pour s'assurer qu'il reste en bon état.

Il convient de se demander si les équipements de protection individuelle portés pour d'autres risques sont compatibles avec des CEM puissants. Ainsi, le port de bottines de sécurité à pointes en acier peut être contre-indiqué dans un environnement présentant des champs magnétiques puissants, tandis que les champs magnétiques à basse fréquence, s'ils sont suffisamment puissants, peuvent provoquer un échauffement de l'insert en acier. Certaines combinaisons de protection intègrent des composants électroniques, qui peuvent subir des interférences dans les champs puissants. Les protections auditives actives peuvent rencontrer des problèmes similaires.

10. PRÉPARATION AUX SITUATIONS D'URGENCE

Les employeurs qui utilisent des équipements ou qui effectuent des activités susceptibles de causer des incidents dommageables devraient mettre en place des plans d'urgence en vue de gérer les conséquences de ces incidents. Dans ce contexte, les incidents dommageables incluent les situations dans lesquelles une personne est blessée ou tombe malade, ainsi que les quasi-accidents ou les circonstances indésirables. Les incidents dommageables incluent les situations dans lesquelles une valeur limite d'exposition (VLE) a été dépassée mais où personne n'a été blessé (et qui ne font pas l'objet d'une dérogation). On citera par exemple le cas d'un monteur d'antennes qui entre par inadvertance dans la zone d'exclusion d'un émetteur haute puissance avant l'arrêt de celui-ci.

Des incidents dommageables peuvent également découler d'effets indirects, comme des interférences avec un dispositif médical implanté ou une atmosphère inflammable. On peut également citer l'exemple d'un objet ferromagnétique attiré dans le cylindre d'une unité de RMN par le champ magnétique statique puissant (l'«effet projectile»).

Tableau 10.1 — Scénarios à aborder dans les plans d'urgence

Les plans d'urgence doivent aborder les mesures à prendre et les responsabilités dans les cas suivants:
Exposition effective d'un travailleur dépassant une VLE (pas de dérogation applicable)
Incident dommageable causé par un effet indirect
Soupçon d'exposition d'un travailleur dépassant une VLE
Quasi-accident ou conséquence indésirable découlant d'un effet indirect

10.1. Élaboration des plans

L'évaluation des risques préparée en application de l'article 4 de la directive CEM devrait permettre à l'employeur de recenser les incidents dommageables raisonnablement prévisibles (voir le chapitre 5 du présent guide). Une fois que l'employeur aura recensé ces incidents dommageables potentiels et compris leur nature, il sera possible d'élaborer des plans afin d'en gérer les conséquences. Dans certains cas, il peut arriver que les fabricants décrivent des procédures d'urgence dans leur propre documentation. Ces procédures doivent prévaloir.

La plupart des employeurs possèdent déjà des plans d'urgence, et il est parfois possible de couvrir les incidents dommageables potentiels découlant de CEM par ces modalités existantes. Certains plans d'urgence incluent des dispositions relatives à l'administration des premiers soins et aux examens médicaux ultérieurs (voir le chapitre 11 du présent guide). Dans tous les cas, le niveau de détail et la complexité des plans dépendent du risque. Il est généralement recommandé de répéter les plans d'urgence afin de déceler les lacunes éventuelles et de garder leurs dispositions à l'esprit.

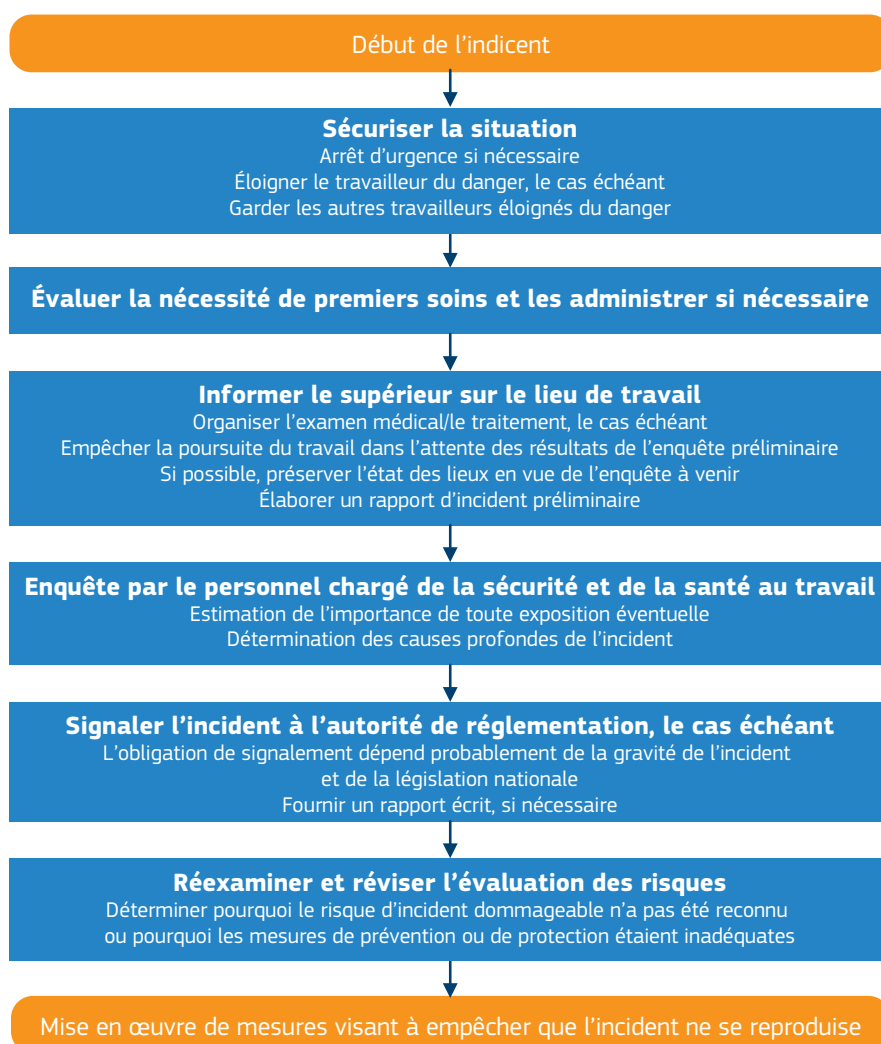
10.2. Réaction aux incidents dommageables

La réaction à un incident dommageable est inévitablement dynamique et guidée par la nature et la gravité de cet incident. Le schéma 10.1 illustre une séquence typique d'événements en réaction à un incident. Toutes les mesures citées ne sont pas nécessairement adéquates face à chaque incident dommageable.

Le rapport initial d'incident dommageable doit fournir autant d'informations que possible afin d'aider l'enquête ouverte ensuite. Le rapport inclut normalement les éléments suivants:

- une description de la nature de l'incident dommageable;
- la manière dont l'incident dommageable s'est produit;
- des informations détaillées concernant toutes les personnes impliquées et leur localisation pendant l'incident dommageable;
- une description détaillée des blessures subies;
- les caractéristiques de la source de CEM concernée:
 - fréquence,
 - puissance,
 - courants et tensions de fonctionnement,
 - cycle de fonctionnement (le cas échéant).

Schéma 10.1 — Séquence d'événements lors d'une réaction typique à un incident



Le rapport de l'Institut finlandais de la santé au travail (Alenko et al, 2014) fournit des informations supplémentaires sur la gestion des expositions accidentelles aux champs RF. Ce rapport inclut en annexe des modèles de rapport initial d'incident et de rapport technique

11. RISQUES, SYMPTÔMES ET SURVEILLANCE DE LA SANTÉ

L'article 8 de la directive CEM concerne la surveillance de la santé des travailleurs, qui devrait se conformer aux exigences de l'article 14 de la directive-cadre. Les modalités de surveillance de la santé en matière de champs électromagnétiques dérivent en général des systèmes déjà en place dans les États membres. Les dossiers de santé doivent être disponibles et communiqués conformément à la législation et aux pratiques nationales.

11.1. Risques et symptômes

Le chapitre 2 résume les effets de l'exposition aux champs électromagnétiques et fournit des détails supplémentaires concernant les effets sur la santé décrits à l'annexe B. Les expositions supérieures aux valeurs limites d'exposition (VLE) peuvent avoir des effets sur les tissus nerveux et les muscles (champs à basse fréquence) ou causer un échauffement (champs à haute fréquence). Le contact avec des objets métalliques peut provoquer des chocs et des brûlures sur les deux gammes de fréquences. En général, des champs ou des expositions nettement supérieurs aux VA ou aux VLE sont nécessaires pour provoquer des blessures. Les VA et les VLE intègrent une marge de sécurité, de sorte qu'une seule exposition de courte durée au-delà de la limite ne peut avoir de conséquences négatives.

11.1.1. Champs magnétiques statiques (entre 0 et 1 Hz) ⁽¹⁾

Les champs magnétiques statiques d'une densité de flux supérieure à 0,5 mT peuvent causer des interférences avec les dispositifs médicaux implantés actifs, comme les stimulateurs et défibrillateurs cardiaques, ou avec les dispositifs médicaux portés à même le corps comme les pompes à insuline. Ces interférences pourraient avoir de graves conséquences.

Une exposition à des champs magnétiques statiques nettement supérieurs aux VLE relatives aux effets sur la santé pourrait entraîner une modification du flux sanguin dans les membres ou du rythme cardiaque. Ces effets ne sont pas encore bien compris à l'heure actuelle, et il est possible qu'ils ne présentent pas de risques pour la santé.

La présence ou les mouvements dans des champs magnétiques puissants peuvent causer des vertiges, nausées et autres effets sensoriels. Ces champs peuvent aussi entraîner des modifications moins visibles de l'attention, de la concentration et d'autres fonctions intellectuelles qui pourraient avoir une incidence néfaste sur la performance au travail et la sécurité. Une exposition de l'ensemble du corps supérieure à 8 T ou les situations marquées par un changement rapide de la densité de flux peuvent induire une stimulation nerveuse et une contraction involontaire des muscles lors des mouvements rapides. Ces effets sont réversibles, et les symptômes disparaissent normalement dès la fin de l'exposition.

⁽¹⁾ Du point de vue scientifique, les champs magnétiques statiques ont une fréquence de 0 Hz. Aux fins de la directive CEM toutefois, ils sont définis comme ayant une fréquence comprise entre 0 et 1 Hz.

11.1.2. Champs magnétiques à basse fréquence (entre 1 Hz et 10 MHz)

L'exposition à des champs à basse fréquence inférieurs à la valeur déclenchant l'action (VA) basse peut entraîner une interférence avec le fonctionnement normal des dispositifs médicaux implantés actifs ou des dispositifs médicaux portés à même le corps. Tout dysfonctionnement pourrait avoir des conséquences potentiellement graves. La présence d'implants métalliques passifs peut engendrer des champs électriques plus puissants localisés dans certaines parties du corps, et l'implant lui-même peut s'échauffer par induction, ce qui risque de provoquer une blessure thermique.

Le premier signe d'une exposition excessive d'autres travailleurs peut être la description par le travailleur concerné de la perception d'images vagues et instables (phosphènes) qui peuvent le distraire ou le gêner. La sensibilité maximale se produit cependant à 16 Hz, et des puissances de champ très élevées sont nécessaires pour générer des phosphènes à d'autres fréquences — bien au-delà des valeurs normalement rencontrées par les travailleurs. Les travailleurs peuvent également ressentir des vertiges ou des nausées, et l'exposition peut entraîner une modification subtile de leurs capacités de raisonnement, de résolution de problèmes et de prise de décisions, avec les conséquences négatives qui en découlent pour leurs résultats et leur sécurité au travail. Comme dans le cas de l'exposition aux champs magnétiques statiques, ces effets sont réversibles et les symptômes disparaissent normalement dès la fin de l'exposition.

Une stimulation nerveuse est possible, entraînant une sensation de fourmillement ou des douleurs. Des soubresauts incontrôlés ou autres contractions musculaires sont également possibles, et les champs externes très puissants peuvent même avoir des effets sur le cœur (arythmie). Dans la pratique, ces effets nécessitent la plupart du temps des puissances de champ nettement supérieures à celles rencontrées habituellement sur les lieux de travail.

L'exposition à des champs proches de la limite supérieure de cette gamme de fréquences peut également entraîner des effets d'échauffement (voir le point 11.1.4).

11.1.3. Champs électriques à basse fréquence (entre 1 Hz et 10 MHz)

Les champs électriques à basse fréquence produisent des effets similaires à ceux des champs magnétiques sur les tissus nerveux et les muscles. En général, cependant, les premiers signes de la présence de champs électriques puissants sont généralement le mouvement ou la vibration des petits poils du corps ou le fait que les travailleurs ressentent des chocs électriques en cas de contact avec des objets conducteurs non reliés à la terre dans le champ. La vibration des poils peut être gênante ou causer une distraction, et les chocs électriques peuvent être irritants, désagréables ou douloureux selon l'intensité du champ. Le contact avec des objets présents dans des champs puissants peut aussi entraîner des brûlures.

11.1.4. Champs à haute fréquence (entre 100 kHz et 300 GHz)

L'exposition à des champs à haute fréquence inférieurs à la valeur déclenchant l'action (VA) concernée peut entraîner une interférence avec le fonctionnement normal des dispositifs médicaux implantés actifs ou des dispositifs médicaux portés à même le corps. Tout dysfonctionnement pourrait avoir des conséquences potentiellement graves. Les implants médicaux passifs métalliques peuvent constituer des antennes absorbantes, ce qui entraîne une augmentation locale de l'exposition des tissus aux radiofréquences et un risque de lésion.

Le premier signe d'exposition à des champs à haute fréquence peut être une sensation de chaleur, lorsque le champ provoque un échauffement du corps ou d'une partie du corps du travailleur. Ce n'est cependant pas toujours le cas, et une sensation de chaleur n'est pas un signal fiable. Il est également possible d'«entendre» les champs pulsés compris entre 300 kHz et 6 GHz, et les travailleurs exposés peuvent donc parfois entendre des cliquetis, des vrombissements ou des sifflements.

Une exposition prolongée de l'ensemble du corps peut entraîner une augmentation de la température corporelle. Une hausse de température de quelques degrés à peine peut entraîner une confusion mentale, une fatigue, des maux de têtes et autres symptômes de stress thermique. Les charges de travail physiquement lourdes et le travail dans des conditions chaudes et humides augmentent la probabilité de ces effets. La gravité des symptômes dépend également de la condition physique du travailleur, de sa déshydratation éventuelle et des vêtements qu'il porte.

Une exposition partielle du corps peut provoquer un échauffement localisé ou des «points chauds» dans les muscles ou les organes internes, et aussi provoquer des brûlures superficielles qui apparaissent instantanément en cas d'exposition. Des lésions internes graves sont possibles sans brûlures visibles au niveau de la peau. Une surexposition localisée importante peut endommager les muscles et les tissus avoisinants des membres exposés (syndrome des loges médiales). Ces dommages se manifestent instantanément ou au bout de quelques jours au plus. De manière générale, la plupart des tissus tolèrent sans préjudice de brèves augmentations de la température. Une température supérieure à 41 °C pendant plus de 30 minutes provoque par contre des lésions.

Une exposition entraînant un échauffement substantiel des testicules peut provoquer une baisse temporaire de la numération des spermatozoïdes, et l'échauffement peut augmenter le risque de fausse couche en début de grossesse.

On sait que les yeux sont sensibles à la chaleur, et une exposition très élevée nettement supérieure à la VLE peut entraîner une inflammation de la sclère, de l'iris ou de la conjonctive. Les symptômes possibles sont notamment des rougeurs, une douleur dans les yeux, une sensibilité à la lumière et une contraction des pupilles. L'apparition de cataractes (opacification du cristallin) est un effet tardif rare mais possible de l'exposition, et elle peut se produire des semaines ou des mois après l'exposition. Aucun cas de cataracte apparaissant des années après l'exposition n'a été signalé.

Pour les champs à plus haute fréquence (aux alentours de 6 GHz et au-delà), l'absorption de l'énergie devient de plus en plus superficielle. Ces champs sont absorbés par la cornée, mais seules des expositions nettement supérieures à la VLE sont susceptibles de causer des brûlures. La peau absorbe elle aussi ces champs à haute fréquence et, si l'exposition est suffisamment élevée, elle peut causer des douleurs et des brûlures.

Les travailleurs peuvent subir des chocs électriques ou des brûlures de contact après avoir touché une antenne ou un objet métallique de grande dimension non mis à la terre, par exemple une voiture, présente dans le champ. Des effets similaires peuvent se produire lorsqu'un travailleur non relié à la terre touche un objet métallique relié à la terre. Ces brûlures peuvent être superficielles ou en profondeur à l'intérieur du corps. Les implants métalliques, y compris les obturations dentaires métalliques et les perçages corporels (ou encore les bijoux et certains pigments de tatouages) peuvent concentrer le champ, provoquant un échauffement localisé et des brûlures thermiques. Une exposition élevée de la main peut aussi endommager les nerfs.

Les rapports d'incidents concernant des travailleurs surexposés semblent indiquer que d'autres symptômes sont également possibles. Ces symptômes sont notamment des maux de tête, des perturbations intestinales, une léthargie et des sensations persistantes de «picotements» dans les tissus exposés.

Une surexposition réelle ou supposée peut entraîner des réactions de stress.

Tableau 11.1 — Effets et symptômes associés à une exposition supérieure aux VLE relatives aux effets sur la santé

Champ	Fréquence	Effets et symptômes possibles
Champs magnétiques statiques	Entre 0 et 1 Hz	Interférence avec des dispositifs médicaux Nausées et vertiges; effets sur la circulation sanguine, le rythme cardiaque, le fonctionnement du cerveau (possibles au-delà de 7 T) Stimulation des nerfs et contraction des muscles (mouvements rapides)
Champs magnétiques à basse fréquence	Entre 1 Hz et 10 MHz	Interférence avec des dispositifs médicaux Sensations visuelles Stimulation nerveuse entraînant une sensation de picotement ou de douleur Contraction musculaire, arythmie cardiaque
Champs électriques à basse fréquence	Entre 1 Hz et 10 MHz	Choc électrique et brûlure superficielle (contact avec des objets)
Champs à haute fréquence	100 kHz et plus	Interférence avec des dispositifs médicaux Sensation de chaleur Stress thermique Choc électrique et brûlure superficielle ou profonde (contact avec des objets) Autres symptômes possibles

Les champs intermédiaires (entre 100 kHz et 10 MHz) entraînent une combinaison des symptômes produits par les basses et hautes fréquences.

11.2. Surveillance de la santé

Une surveillance routinière de la santé des travailleurs doit être effectuée si la législation ou les pratiques nationales l'exigent. Cependant, en l'absence de risques connus ou de symptômes liés à l'exposition à des champs électromagnétiques inférieurs aux VLE, il n'y a pas lieu de procéder à des examens médicaux réguliers. La surveillance doit être justifiée par d'autres raisons.

Les travailleurs à risques particuliers en cas d'exposition à des champs électromagnétiques sont notamment les femmes enceintes et les personnes portant des dispositifs médicaux implantés actifs ou passifs ou des dispositifs à même le corps. Ces travailleurs devraient consulter régulièrement les personnes qui assurent le suivi de leur santé au travail pour s'assurer qu'ils comprennent parfaitement les restrictions supplémentaires éventuelles qu'ils doivent respecter dans leur environnement de travail. Ces consultations sont également l'occasion pour ces travailleurs de signaler tout effet indésirable ou inattendu sur leur santé et permettent le suivi de leur situation.

Un examen médical peut également être indiqué pour les travailleurs qui subissent un effet inattendu ou indésirable sur leur santé.

11.3. Examen médical

Les surexpositions accidentelles entraînant une blessure ou un autre préjudice doivent être traitées comme tout autre accident de travail conformément à la législation et aux pratiques en vigueur dans le pays concerné.

Un travailleur qui a subi un choc ou des brûlures, qui ressent une douleur ou dont la température corporelle a augmenté peut nécessiter la consultation d'un professionnel de la santé. Ces effets doivent être traités de la façon habituelle conformément aux systèmes en place sur le lieu de travail. Les travailleurs qui ont subi des chocs ou des brûlures doivent bénéficier du suivi d'un clinicien possédant les compétences adéquates. Pour les autres travailleurs, le suivi des symptômes peut être assuré par leur propre médecin généraliste ou par le médecin chargé de leur santé au travail.

Aucune analyse spécifique ne doit être effectuée à la suite d'une surexposition à un champ électromagnétique. Par exemple, rien n'indique que l'exposition à un champ électromagnétique entraîne une modification des paramètres sanguins comme le nombre de globules, la teneur en urée ou en électrolytes ou encore la fonction hépatique. Un examen des yeux peut par contre être indiqué en cas de surexposition à des champs à haute fréquence. Cet examen doit en principe être répété trois mois au plus tard après le premier contrôle. Il est normalement réalisé par un ophtalmologue.

11.4. Dossiers

Les travailleurs qui ont subi une exposition supérieure aux VLE, ou dont on pense qu'ils l'ont subie, doivent avoir la possibilité de subir un examen médical. Cet examen devrait être gratuit et pouvoir être effectué pendant les heures de travail. La tenue des dossiers doit être conforme à la législation et aux pratiques nationales.

Les dossiers devraient contenir un résumé des actions accomplies et se présenter sous une forme permettant leur consultation à une date ultérieure dans le respect de la confidentialité. Chaque travailleur doit pouvoir accéder sur demande à son dossier personnel.

Les informations détaillées éventuellement disponibles concernant la surexposition ou la surexposition soupçonnée doivent être consignées le plus rapidement possible après l'événement. Le dossier doit inclure l'intensité et la durée de l'exposition ainsi que la fréquence du champ (afin d'estimer la profondeur de pénétration du champ à l'intérieur du corps). Il importe également de déterminer si l'exposition concerne l'ensemble du corps ou certaines parties uniquement, et si le travailleur possédait un stimulateur cardiaque ou autre dispositif médical. L'Institut finlandais de la santé au travail (Alanko et al, 2014) fournit des exemples de dossiers dans son rapport consacré au travail dans des champs électromagnétiques avec un stimulateur cardiaque.

Section 5

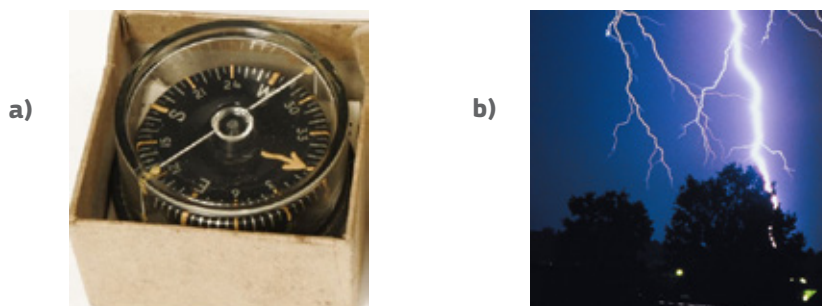
DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE

ANNEXE A

NATURE DES CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES

Les champs électromagnétiques qui nous sont sans doute les plus familiers sont ceux qui se produisent dans la nature. On pense que le champ magnétique terrestre que nous décelons à la surface de la terre est produit par des courants électriques générés loin sous la surface, dans le noyau de fer en fusion du globe. Même si nous ne comprenons pas entièrement son origine, l'interaction entre ce champ et les matériaux utilisés dans les boussoles est utilisée depuis des siècles pour la navigation. De même, la charge électrique produite à l'intérieur des nuages d'orage peut entraîner des tensions très élevées entre ces nuages et la surface de la terre. Ces tensions produisent des champs électriques entre les nuages et la terre qui peuvent entraîner d'importantes décharges soudaines de courant électrique entre le nuage et le sol — des éclairs.

Illustration A.1 — Sources naturelles de champs électromagnétiques: a) une boussole utilisée pour indiquer la direction du champ magnétique statique de la terre; b) les éclairs, des décharges à haute tension entre les nuages et la terre



A.1. Découverte de l'électromagnétisme

L'être humain a conscience des effets de l'électricité statique et du magnétisme depuis l'Antiquité, mais on peut considérer que la compréhension des phénomènes électromagnétiques n'a commencé à progresser qu'avec les travaux de Luigi Galvani, qui a découvert en 1780 qu'il pouvait faire bouger les pattes d'une grenouille en utilisant de l'électricité produite à partir de deux métaux différents. Une dizaine d'années plus tard, Alessandro Volta a appliqué ce principe dans sa pile voltaïque.

Les découvertes se sont accélérées en Europe et, en 1820, Hans Christian Ørsted a démontré le lien entre les courants électriques et les champs magnétiques en parvenant à dévier l'aiguille d'une boussole au moyen d'un fil traversé par un courant électrique. André-Marie Ampère a découvert que des câbles traversés par un courant électrique exerçaient une force l'un sur l'autre, et Michael Faraday a étudié l'induction magnétique.

Quelques années plus tard, James Clerk Maxwell a formulé la théorie de l'électromagnétisme sur une base mathématique et publié son *Traité d'électricité et de magnétisme* en 1873. Les idées de Maxwell sur les ondes électromagnétiques restent aujourd'hui encore le fondement de la théorie électromagnétique.

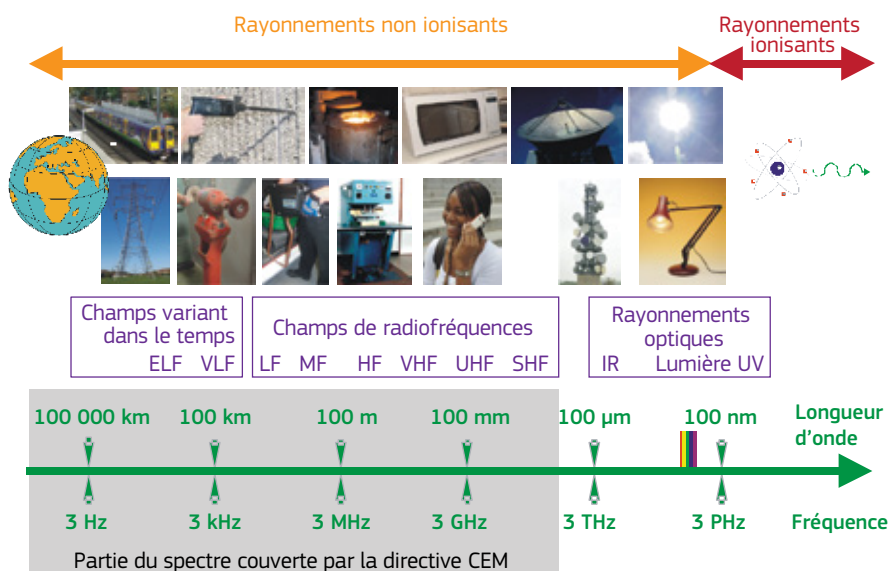
Heinrich Hertz a confirmé les idées de Maxwell en générant et en détectant des ondes électromagnétiques en 1885 et, dix ans plus tard, Guglielmo Marconi a utilisé cette découverte pour transmettre des messages sur de longues distances au moyen de signaux radio. Nikola Tesla a construit le premier générateur de courant alternatif en 1892, une étape capitale pour la production d'électricité.

Les champs électromagnétiques sont omniprésents dans le monde moderne. On peut difficilement imaginer une société moderne sans appareils électriques. Le XX^e siècle a connu une augmentation massive de l'utilisation de l'énergie électrique à des fins industrielles et domestiques. La radiodiffusion et la télédiffusion ont progressé de façon similaire, tandis que la fin du siècle et le début du XXI^e siècle ont connu une révolution des télécommunications avec l'arrivée des téléphones mobiles et autres appareils sans fil aujourd'hui largement répandus. Les champs électromagnétiques sont aussi largement utilisés dans des applications spécialisées comme la radionavigation et les applications médicales.

A.2. Le spectre électromagnétique

Le spectre électromagnétique, présenté à l'illustration A.2, couvre un large éventail de rayonnements de fréquences et de longueurs d'onde différentes. Le lien entre la fréquence et la longueur d'onde est expliqué à l'annexe C. La partie de ce spectre concernée par la directive CEM va des champs statiques (0 Hz) aux champs électromagnétiques variant dans le temps ayant une fréquence maximale de 300 GHz (0,3 THz). Ce spectre inclut les rayonnements communément appelés «champs statiques», les champs variant dans le temps et les ondes radio (y compris les micro-ondes). Les autres parties du spectre électromagnétique non couvertes par la directive CEM incluent notamment le spectre optique (infrarouges, spectre visible et ultraviolets) et le spectre des rayonnements ionisants. Ces parties du spectre sont couvertes respectivement par la directive sur les rayonnements optiques artificiels (2006/25/CE) et par la directive relative aux normes de sécurité de base (NSB) (2013/59/Euratom).

Illustration A.2 — Le spectre électromagnétique

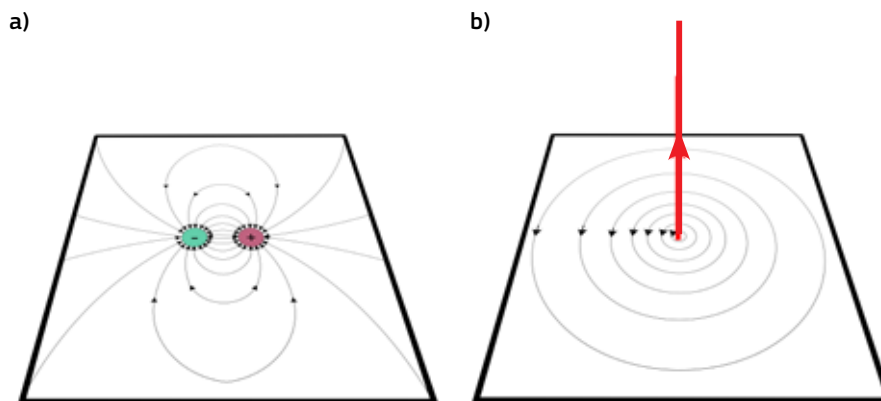


Les rayonnements électromagnétiques dans la gamme de fréquences couverte par la directive CEM ne possèdent pas une énergie suffisante pour enlever des électrons aux atomes d'une matière, et sont donc classés comme «non ionisants». Les rayons X et les rayons gamma sont des rayonnements électromagnétiques à haute énergie capables de supprimer ces électrons en orbite, c'est pourquoi ils sont classés comme des rayonnements ionisants.

A.3. Production de champs électromagnétiques

Les charges électriques produisent un champ électrique. Lorsqu'elles se déplacent, créant ainsi un courant électrique, il y a également production d'un champ magnétique. La directive CEM s'efforce de parer aux risques pour la santé et pour la sécurité dus à ces champs électriques et magnétiques sur le lieu de travail.

Illustration A.3 — Représentation des lignes de champ autour: a) de charges électriques; b) d'un courant électrique, indiqué par une ligne rouge



La production d'un champ magnétique autour d'un aimant permanent est due à la somme de tous les champs magnétiques produits par l'alignement du mouvement des électrons au sein du matériau concerné. Dans un matériau non magnétique, cet alignement n'a pas lieu et les minuscules champs magnétiques générés autour de chaque atome s'annulent mutuellement.

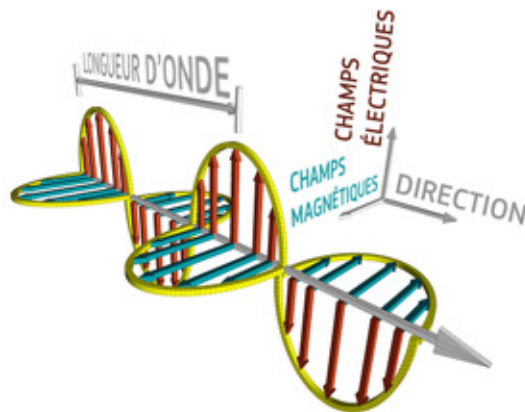
A.3.1. Champs variant dans le temps

Si la charge électrique d'un objet évolue dans le temps ou si le flux de charge (courant) varie, il y a production de champs variant dans le temps. La nature des champs variant dans le temps est définie par la fréquence des oscillations. Aux basses fréquences, on peut considérer que le champ électrique et le champ magnétique sont indépendants. À mesure que la fréquence augmente vers le spectre de radiofréquences, les champs deviennent plus étroitement couplés: un champ électrique variant dans le temps induit un champ magnétique, et inversement. C'est cette interaction entre les champs électriques et magnétiques qui permet aux rayonnements électromagnétiques de parcourir de longues distances.

A.3.2. Champs électromagnétiques rayonnants

L'interaction entre les champs électriques et magnétiques aux radiofréquences permet le rayonnement d'énergie depuis le point de production. Dans le champ lointain, les deux composantes, le champ électrique et le champ magnétique, oscillent à angle droit l'un par rapport à l'autre et à angle droit par rapport au sens de déplacement des ondes. L'onde se déplace à la vitesse de la lumière. La conception de l'émetteur permet d'émettre un rayonnement dans toutes les directions ou de le concentrer dans une direction particulière.

Illustration A.4 — Le rayonnement électromagnétique se compose d'un champ magnétique et d'un champ électrique qui oscillent à angle droit l'un par rapport à l'autre avec une onde voyageant à la vitesse de la lumière.



ANNEXE B

EFFETS DES CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES SUR LA SANTÉ

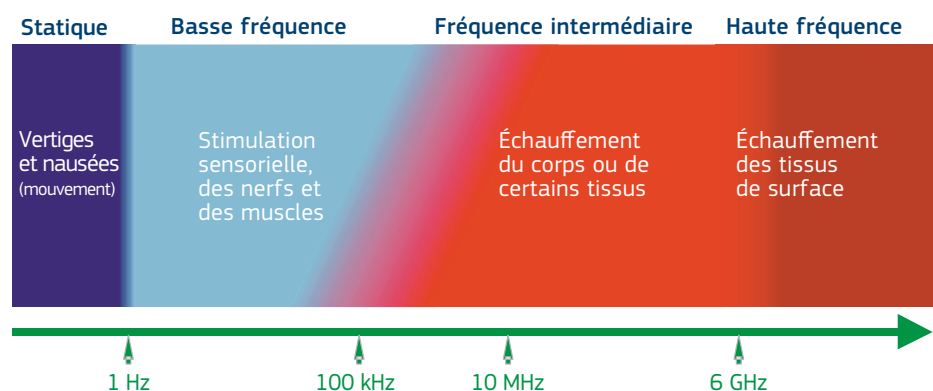
B.1. Introduction

La nature de toute réaction causée par l'exposition à un champ électromagnétique dépend en premier lieu de la fréquence du champ en question. En effet, différentes fréquences interagissent de différentes façons avec le corps, de sorte que les champs à basse fréquence ne produisent pas les mêmes effets que les champs à haute fréquence : les basses fréquences provoquent une stimulation des nerfs ou des muscles, tandis que les champs à haute fréquence provoquent un échauffement.

Sur la base de leurs effets sur les personnes, on peut répartir les champs électromagnétiques en quatre grandes gammes de fréquences (illustration B.1) : les champs compris entre 0 et 1 Hz (champs statiques), ceux dont la fréquence est comprise entre 1 Hz et 100 kHz (champs à basse fréquence), ceux dont la fréquence est comprise entre 100 kHz et 10 MHz (champs à fréquence intermédiaire) et les champs d'une fréquence supérieure à 10 MHz (champs à haute fréquence). Au-delà de quelques GHz, l'échauffement se limite de plus en plus à la surface du corps.

La directive CEM considère les effets liés à l'action d'un champ sur le système nerveux comme des effets non thermiques, tandis que l'échauffement provoqué par l'exposition à des champs de plus de 100 kHz est considéré comme un effet thermique.

Illustration B.1 — Représentation schématique des principaux effets des CEM indiquant les principaux seuils de fréquence utilisés dans la directive CEM pour définir les valeurs limites d'exposition et les valeurs déclenchant l'action



L'importance de la réaction à une fréquence donnée dépend de l'intensité du champ. Les champs moins puissants provoquent principalement des effets de perception ou sensoriels, tandis que les champs plus puissants provoquent des réactions plus graves. Quelle que soit la fréquence, aucune réaction ne se produit en deçà d'un certain seuil d'exposition.

La directive CEM assure la protection des travailleurs exposés en définissant une série de valeurs limites d'exposition (VLE). Pour chaque gamme de fréquences, elle définit une valeur inférieure pour limiter les effets sensoriels et une valeur supérieure pour limiter les effets sur la santé (voir le tableau B.1). Ces valeurs sont fondées sur les recommandations de la Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants (CIPRNI) et tiennent compte uniquement des effets à court terme de l'exposition fondés sur des mécanismes connus d'interaction biophysique.

Tableau B.1 — Synthèse des effets sur la santé et des effets sensoriels utilisés pour limiter l'exposition dans les différentes gammes de fréquences

Champ et fréquence	Effets sensoriels	Effets sur la santé
Champ magnétique statique entre 0 et 1 Hz	Vertiges, nausées, goût métallique	Modification de la circulation sanguine dans les membres et des fonctions cérébrales Modification de la fonction cardiaque
Champs à basse fréquence entre 1 Hz et 10 MHz	Phosphènes (perçus comme des éclairs de lumière) (variation mineure de la fonction cérébrale entre 1 et 400 Hz)	Fourmillement ou douleur (stimulation nerveuse) Contractions musculaires brèves Perturbation du rythme cardiaque
Champs à haute fréquence entre 100 kHz et 6 GHz	Effet d'audition de micro-ondes	Échauffement excessif de tout ou partie du corps, brûlures
Champs à haute fréquence entre 6 et 300 GHz		Lésions oculaires ou cutanées localisées dues à la chaleur

NB: Les effets des champs de fréquence intermédiaire (entre 100 kHz et 10 MHz) sont une combinaison des effets des champs à basse fréquence et à haute fréquence.

Il est toujours possible qu'une exposition répétée à long terme entraîne des risques encore non identifiés pour la santé, mais la directive CEM précise qu'elle ne couvre pas les effets à long terme suggérés.

B.2. Champs magnétiques statiques (entre 0 et 1 Hz)

Les personnes au repos ne subissent généralement aucun effet des champs magnétiques statiques, sauf peut-être à des puissances très élevées pouvant avoir des effets sur le cœur ou le cerveau (voir le tableau B.1). Des effets se produisent par contre lorsque les personnes se déplacent dans ces champs. Le mouvement entraîne la production de champs électriques dans les tissus et ces champs peuvent avoir un effet sur les tissus nerveux. Certaines études récentes semblent indiquer que ces effets pourraient aussi toucher des personnes stationnaires. L'ampleur des champs électriques induits dépend des gradients temporels et spatiaux.

Les organes de l'équilibre dans l'oreille sont particulièrement sensibles, ce qui provoque des sensations de vertige lorsqu'on traverse un champ ou que l'on bouge rapidement la tête à l'intérieur d'un champ. La langue peut également ressentir les effets du champ, avec la production de sensations de goûts. Certaines personnes travaillant à proximité d'appareils d'IRM ont également signalé des nausées et d'autres symptômes. Tous ces effets sont passagers et prennent fin lorsque le mouvement s'arrête ou ralentit.

Il n'existe aucun élément probant indiquant que l'exposition peut causer des dommages permanents ou des effets néfastes graves. Le fait de se déplacer lentement dans le champ contribue à empêcher ces effets, et une restriction de l'induction magnétique externe à 2 T permet de protéger le travailleur.

B.3. Champs à basse fréquence (entre 1 Hz et 100 kHz)

B.3.1. Champs électriques à basse fréquence

Les champs électriques à basse fréquence à l'extérieur du corps peuvent induire des champs électriques dans les tissus du corps. La surface du corps assure toutefois une protection importante, de sorte que le champ induit à l'intérieur du corps est nettement moins puissant que le champ externe.

En principe, les champs électriques induits pourraient produire des effets similaires à ceux des champs induits par une exposition à des champs magnétiques à basse fréquence (voir le point B.3.2). L'effet de protection a toutefois pour conséquence que le champ électrique induit par les champs électriques externes que l'on rencontre typiquement sur les lieux de travail est généralement trop faible pour produire des effets néfastes.

Les champs électriques à basse fréquence produisent également un autre effet que ne produisent pas les champs magnétiques. Un travailleur qui se trouve dans un champ électrique d'intensité suffisante peut ressentir une sensation de picotement ou de fourmillement de la peau. Cet effet se produit parfois en dessous d'une ligne à haute tension par temps sec. Il s'explique par le fait que le champ électrique à basse fréquence génère une charge à la surface du corps, et cette charge électrique provoque le mouvement et la vibration des poils cutanés (à une fréquence équivalant au double de celle du champ à basse fréquence). On peut ressentir des sensations similaires lorsque des poils vibrent contre les vêtements.

B.3.2. Champs magnétiques à basse fréquence

Les champs magnétiques à basse fréquence induisent des champs électriques dans le corps humain, et ceux-ci peuvent provoquer une stimulation des organes sensoriels dans le cas de champs peu puissants ou une stimulation des nerfs et des muscles (en particulier dans les bras et les jambes) dans le cas de champs puissants. Les effets sur les organes sensoriels ne sont pas néfastes mais peuvent être gênants pour les travailleurs ou constituer une distraction. Les effets des champs plus puissants peuvent être désagréables, voire douloureux.

Différents tissus présentent une sensibilité maximale à différentes fréquences, de sorte que les effets ressentis changent également avec la fréquence.

Tableau B.2 — Lieux d'interaction et sensibilités maximales pour différents effets

Effet	Lieu d'interaction	Sensibilité maximale (Hz)
Goût métallique	Récepteurs de la langue	< 1 Hz
Vertiges, nausées Stimulation des nerfs et des muscles	Oreille interne (système vestibulaire) Champs électriques induits par la circulation sanguine dans les tissus	< 0,1 – 2 Hz
Phosphènes	Cellules rétinienne dans l'œil	~ 20 Hz
Sensation tactile et douleur Contraction induite des muscles Effets sur le cœur	Nerfs périphériques Nerfs périphériques et muscles Cœur	~ 50 Hz

Les yeux semblent très sensibles aux effets des champs électriques induits, et les phosphènes, des sensations visuelles fuyantes, scintillantes, à la périphérie du champ de vision sont l'effet le plus souvent signalé. Les phosphènes sont similaires à l'effet produit lorsqu'on masse doucement des yeux fermés. Le fait de limiter le champ électrique induit dans le système nerveux permet d'empêcher ces effets et assure la protection du travailleur.

Ces effets des charges de surface ne sont toutefois pas limités aux personnes, et tout objet métallique ou conducteur, comme un véhicule ou une clôture non reliée à la terre, peut également être chargé par le champ électrique. Toute personne touchant ces objets recevrait un léger choc électrique. Un seul choc pourrait surprendre, mais le fait de recevoir des chocs répétés en touchant un objet peut devenir ennuyeux, ou pire. Il est également possible de recevoir un choc lorsqu'une personne qui n'est pas elle-même reliée à la terre touche un objet relié à la terre. Afin d'assurer la protection nécessaire, il peut être nécessaire de prodiguer une formation spécifique aux personnes qui travaillent dans ces conditions, d'assurer une liaison correcte à la terre des objets et des travailleurs, et d'utiliser des chaussures et des gants isolants et des vêtements de protection.

B.4. Champs à fréquence intermédiaire

Les champs intermédiaires représentent une zone de transition entre les champs à basse fréquence et les champs à haute fréquence. Dans cette gamme de fréquences, les effets sur le système nerveux sont remplacés progressivement par des effets d'échauffement, les premiers étant prépondérants à 100 kHz et les derniers à 10 MHz.



Message clé: champs à fréquence intermédiaire

Les champs à fréquence intermédiaire sont définis dans le présent guide comme des champs dont la fréquence est comprise entre 100 kHz et 10 MHz et qui peuvent produire à la fois des effets non thermiques et des effets thermiques.

Il se peut que d'autres définitions des champs à fréquence intermédiaire soient utilisées ailleurs. L'Organisation mondiale de la santé, par exemple, définit les champs à fréquence intermédiaire comme les champs dont la fréquence est comprise entre 300 Hz et 10 MHz.

B.5. Champs à haute fréquence

L'exposition d'une personne à des champs dont la fréquence dépasse 100 kHz entraîne un échauffement dû à l'absorption d'énergie. Selon la situation, l'exposition peut entraîner un échauffement de l'ensemble du corps ou un échauffement localisé de certaines parties du corps, comme les membres ou la tête.

Les adultes en bonne santé sont généralement en mesure de réguler efficacement la température globale de leur corps et de maintenir un équilibre entre les mécanismes entraînant la production de chaleur et ceux qui provoquent des pertes de chaleur. Il se peut toutefois que les mécanismes habituels d'évacuation de la chaleur ne puissent faire face à une absorption d'énergie trop rapide, ce qui entraîne une augmentation progressive et régulière de la température du corps d'environ 1 °C, voire plus, avec pour conséquence un choc thermique. Cet échauffement a des conséquences néfastes sur la capacité de la personne concernée à travailler en toute sécurité, mais en outre, une augmentation prolongée de plusieurs degrés de la température interne du corps peut elle-même être dangereuse.

En limitant la vitesse d'absorption de l'énergie (débit d'absorption spécifique de l'énergie, DAS), il est possible de prévenir les troubles liés à l'échauffement et de protéger le travailleur. Étant donné que l'échauffement n'est pas instantané et que le corps peut supporter une charge thermique accrue pendant de brèves périodes, on calcule la moyenne des valeurs limites d'exposition sur un intervalle de six minutes. Cette approche permet également l'exposition à des DAS supérieurs pendant de courtes périodes, pour autant que la moyenne ne soit pas dépassée.

Par ailleurs, les valeurs limites d'exposition sont suffisamment prudentes pour qu'il ne soit pas nécessaire de tenir compte d'autres facteurs susceptibles d'influencer la régulation thermique, comme un travail manuel lourd ou le fait de travailler dans des environnements chauds et humides.

Dans de nombreux contextes industriels, toutefois, l'exposition n'est pas uniforme et l'énergie est absorbée uniquement par certaines parties du corps, comme les mains et les poignets. Si l'on appliquait la limite relative à l'ensemble du corps dans les situations de ce type, les zones exposées pourraient subir des dégâts (puisque l'énergie absorbée serait concentrée dans une masse de tissus nettement moins importante). C'est pourquoi la directive CEM définit aussi des valeurs limitant l'exposition de certaines parties du corps.

Ces valeurs sont déterminées de façon à empêcher l'échauffement excessif des régions sensibles du corps, à savoir l'œil (le cristallin) et les testicules (chez les hommes). On sait que le fœtus en développement est lui aussi particulièrement sensible aux effets de l'hyperthermie chez la mère, et les travailleuses enceintes doivent être considérées comme des travailleurs à risques particuliers.

Aux fréquences les plus élevées, 6 GHz et au-delà, les champs ne pénètrent pas le corps à un degré significatif et l'échauffement se limite dans une large mesure à la peau. La protection est assurée en limitant l'énergie absorbée sur une petite superficie de peau.

Les champs de radiofréquences pulsés provoquent une perception sensorielle appelée «audition de micro-ondes». Les personnes possédant une ouïe normale peuvent percevoir des champs pulsés modulés dont la fréquence est comprise entre 200 MHz et 6,5 GHz. Selon les caractéristiques de modulation du champ, la sensation décrite est celle d'un bourdonnement, d'un cliquetis ou d'un petit bruit sec. Les durées de pulsation permettant de percevoir le champ sont typiquement de l'ordre de quelques dizaines de microsecondes.

Comme dans le cas des champs électriques à basse fréquence, la personne qui touche un objet conducteur dans un champ à haute fréquence risque de subir un choc ou une brûlure. La directive CEM gère également ce risque.

ANNEXE C

GRANDEURS ET UNITÉS

UTILISÉES POUR LES CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES

Les risques dus aux champs électromagnétiques dépendent en premier lieu de la fréquence et de l'intensité du champ concerné. Pour évaluer le danger posé par un champ électromagnétique particulier, il faut pouvoir définir ce champ en termes de grandeurs physiques établies. Les points suivants décrivent les grandeurs utilisées dans la directive CEM.

Les grandeurs propres aux CEM peuvent être exprimées de différentes façons, en particulier sur les affichages des instruments de mesure, où l'espace est parfois limité. Le fait de se familiariser avec les différentes formes des unités utilisées permet de mieux exploiter les informations fournies. Quelques exemples:

- des préfixes peuvent être utilisés pour modifier la magnitude de l'unité, de sorte que 1 V, 1 000 mV et 1 000 000 µV représentent tous la même valeur. Le tableau C.1 présente les préfixes couramment utilisés;
- l'utilisation d'un chiffre en indice ou en exposant après un chiffre ou une unité indique la puissance à laquelle cette valeur est portée. Ainsi, «m²» se lit mètre carré, et son utilisation indique qu'une superficie est mesurée;
- les unités peuvent être exprimées de différentes façons. Par exemple, 100 volts par mètre, 100 V/m, 100 V.m⁻¹, 100 Vm⁻¹ et 100 Vm⁻¹ représentent tous la même valeur.

Tableau C.1 — Préfixes utilisés avec les unités SI

Nom	Symbole	Facteur de multiplication
Téra	T	10 ¹² , ou 1 000 000 000 000
Giga	G	10 ⁹ , ou 1 000 000 000
Méga	M	10 ⁶ , ou 1 000 000
Kilo	k	10 ³ , ou 1 000
Milli	m	10 ⁻³ , ou 0,001
Micro	µ	10 ⁻⁶ , ou 0,000001
Nano	n	10 ⁻⁹ , ou 0,000000001



Message clé: notation utilisée dans la directive CEM

Les unités peuvent être exprimées dans différents formats. Dans la directive CEM, les unités sont exprimées au format Vm⁻¹. C'est également la notation utilisée par le présent guide.

La directive CEM rompt avec l'usage scientifique en utilisant une virgule comme séparateur décimal.

C.1. Fréquence (f)

Les valeurs déclenchant l'action (VA) et les valeurs limites d'exposition (VLE) indiquées dans la directive CEM sont définies en fonction de la fréquence du champ électromagnétique. La fréquence est normalement représentée par la lettre f .

La fréquence d'un champ électromagnétique correspond au nombre de fois par seconde que le sommet de la vague électromagnétique passe par un point donné. Elle représente le nombre d'oscillations par seconde et constitue l'une des propriétés fondamentales des ondes.

L'unité de fréquence est le Hertz, abrégé en Hz.

La fréquence est étroitement liée à la longueur d'onde d'un champ électromagnétique, représentée par le symbole λ . La longueur d'onde est mesurée en mètres (m).

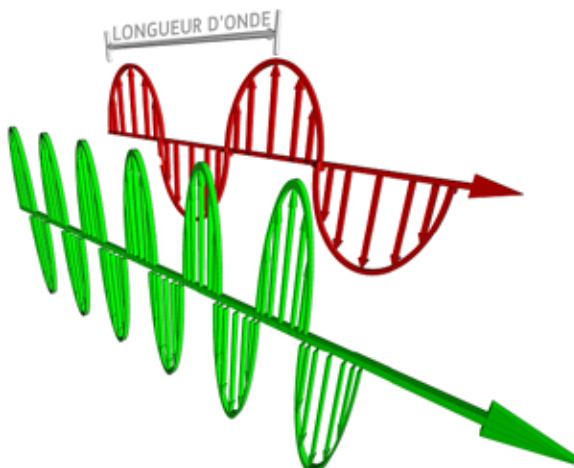
Le nombre de passages de sommets de l'onde par un point donné en une seconde dépend de la longueur d'onde, puisque toutes les ondes électromagnétiques voyagent à la même vitesse dans le vide. Les champs ayant des longueurs d'onde plus longues ont des fréquences inférieures (illustration C.1).

La fréquence est liée à la longueur d'onde par l'expression

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

dans laquelle c désigne la vitesse de la lumière dans le vide ($3,0 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$).

Illustration C.1 — Ondes électromagnétiques avec indication de la longueur d'onde. Une onde dont la longueur d'onde est plus élevée a une fréquence moins élevée (rouge); les ondes de longueur d'onde moins élevée ont une fréquence plus élevée (vert)



C.2. Intensité de champ électrique (E)

L'intensité de champ à un point donné d'un champ électrique est la force qui agit sur une charge positive unitaire placée à ce point. Il s'agit d'une grandeur vectorielle possédant à la fois une magnitude et une direction. L'intensité d'un champ électrique est similaire à la pente d'une colline. Plus la pente est raide, plus la force poussant les objets à rouler vers le bas est élevée. Dans le cas d'un champ électrique, plus l'intensité est élevée, plus la force exercée sur une particule chargée est élevée.

L'intensité d'un champ électrique est normalement représentée par la lettre E et se mesure en volts par mètre, en abrégé Vm^{-1} .

Il peut exister des champs électriques à l'extérieur et à l'intérieur du corps. Les VA pour les champs électriques de moins de 10 MHz et les champs électromagnétiques de plus de 100 kHz sont définies par rapport à l'intensité du champ électrique externe. Les VLE relatives aux effets non thermiques présentées à l'annexe II de la directive CEM sont définies en termes d'intensité du champ électrique interne à l'intérieur du corps.

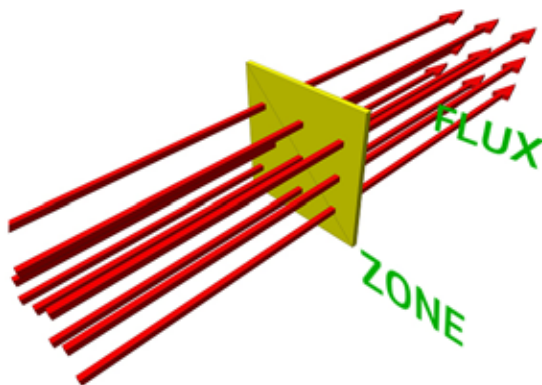
C.3. Induction magnétique (B)

L'induction magnétique (densité de flux magnétique) mesure le flux magnétique traversant une zone donnée (illustration C.2). L'induction magnétique est plus élevée lorsque les lignes de champ sont plus nombreuses dans une zone donnée, de sorte que la densité des lignes de flux est élevée. L'induction magnétique génère une force exercée sur des charges circulantes.

L'induction magnétique mesure la «quantité de magnétisme». Il s'agit d'une grandeur scalaire qui tient compte de l'intensité et de l'étendue d'un champ magnétique.

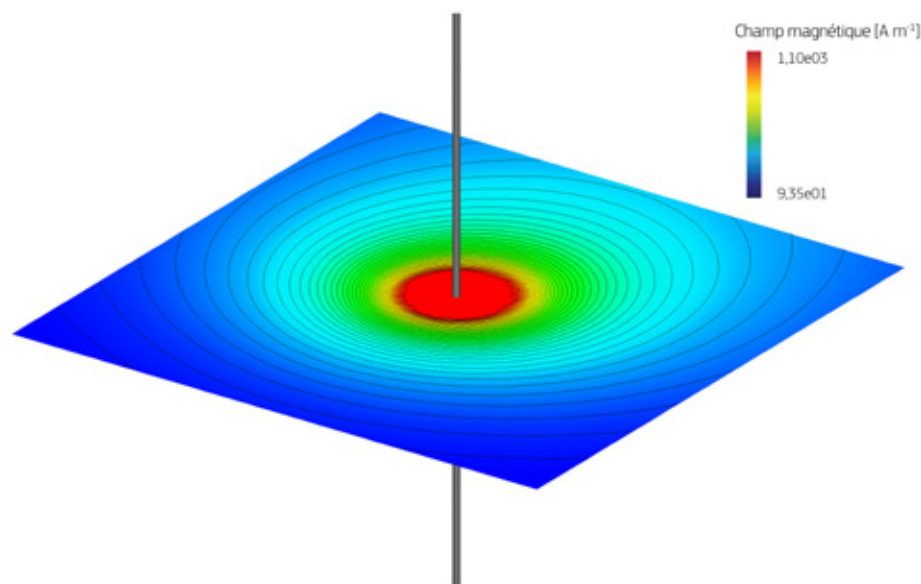
L'induction magnétique est normalement représentée par la lettre B et quantifiée en teslas (T).

Illustration C.2 — Flux magnétique (rouge) traversant une zone donnée (jaune). L'induction magnétique représente la quantité de flux magnétique par unité d'espace et est exprimée en teslas.



Les VLE relatives à l'exposition à des champs compris entre 0 et 1 Hz sont définies en termes d'induction magnétique, tout comme les VA pour les champs magnétiques compris entre 1 Hz et 10 MHz et les champs électromagnétiques de plus de 100 kHz.

Illustration C.3 — Répartition spatiale de l'intensité d'un champ magnétique autour d'un câble traversé par un courant de 70 A à 50 Hz



C.4. Intensité de champ magnétique (H)

Tout comme l'induction magnétique, l'intensité de champ magnétique mesure l'importance d'un champ magnétique. L'intensité d'un champ magnétique est représentée par la lettre H et se mesure en ampères par mètre, en abrégé Am^{-1} . La directive CEM n'utilise pas la notion d'intensité de champ magnétique, mais cette grandeur est utilisée par les lignes directrices de la CIPRNI et de nombreux appareils de mesure des champs magnétiques affichent des résultats exprimés dans cette grandeur.

Dans un espace sans obstacle, l'intensité de champ magnétique peut être convertie en une induction magnétique équivalente selon l'équation suivante:

$$B [\mu\text{T}] \approx H \times 1,25 [\text{Am}^{-1}]$$

Dès lors, si H a une valeur de 800 Am^{-1}

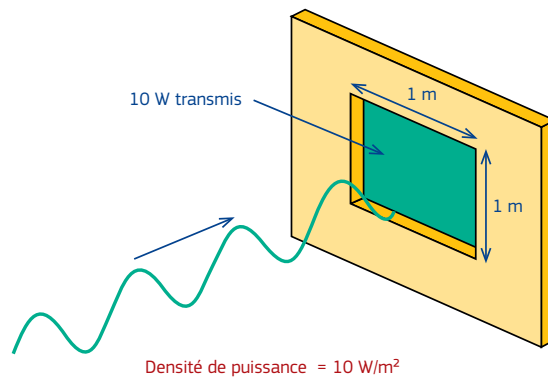
B est à peu près égal à $800 \times 1,25 \mu\text{T} = 1\,000 \mu\text{T} = 1 \text{ mT}$

C.5. Densité de puissance des radiofréquences (S)

Aux fréquences très élevées (au-delà de 6 GHz), lorsque la profondeur de pénétration dans le corps est faible, les VLE et les VA sont présentées en termes de densité de puissance et ont la même valeur numérique. La densité de puissance est définie comme la puissance rayonnée, mesurée en watts, atteignant une surface mesurée en mètres carrés. Elle est représentée par le symbole S et exprimée en watts par mètre carré (Wm^{-2}).

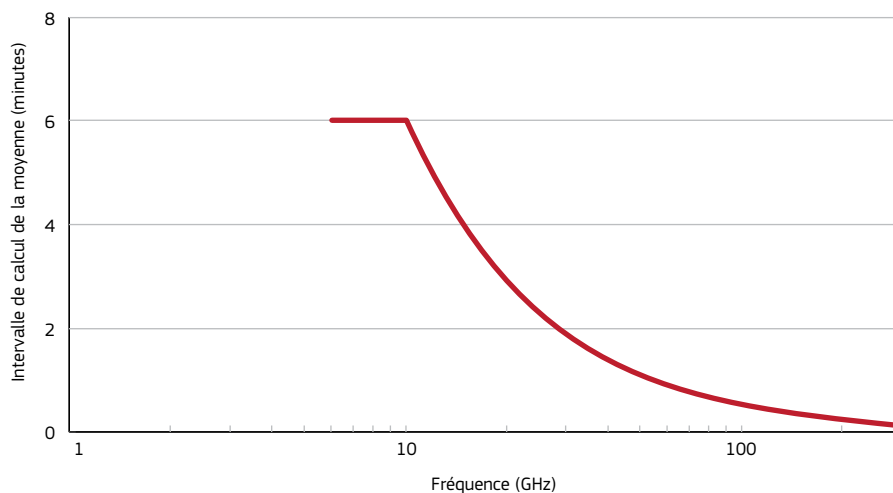
Pour comparer une densité de puissance à la VLE ou à la VA correspondante, on peut en calculer la moyenne sur une surface exposée de 20 cm^2 , pour autant que la densité de puissance moyenne sur chaque cm^2 de surface exposée ne soit pas supérieure à 20 fois la VLE ou la VA (c'est-à-dire $1\,000 \text{ Wm}^{-2}$).

Illustration C.4 — La densité de puissance est la puissance rayonnée par unité de surface.



On peut également calculer la densité de puissance moyenne sur un intervalle qui dépend de la fréquence du rayonnement. La formule applicable à cet intervalle est indiquée aux notes A3-1 et B1-4 de l'annexe III de la directive CEM. Elle est présentée au graphique C.5.

Graphique C.5 — Graphique indiquant en quoi le temps de calcul de la densité de puissance moyenne dépend de la fréquence



C.6. Débit d'absorption spécifique (DAS) de l'énergie

Le débit d'absorption spécifique (DAS) de l'énergie permet de quantifier la vitesse à laquelle une unité de masse de tissu dans le corps absorbe l'énergie produite par un rayonnement électromagnétique. La vitesse d'absorption de l'énergie est liée aux effets thermiques des CEM.

Le débit d'absorption spécifique de l'énergie est exprimé en watts par kilogramme, ou Wkg^{-1} .

Le débit d'absorption spécifique de l'énergie permet d'estimer l'élévation de la température du corps provoquée par une exposition de l'ensemble du corps. Dans cette situation, on calcule le DAS moyen sur la masse du corps du travailleur. La possibilité d'un échauffement des tissus, et donc d'effets néfastes pour la santé, augmente avec l'augmentation du DAS. Le DAS moyen sur l'ensemble du corps d'un travailleur

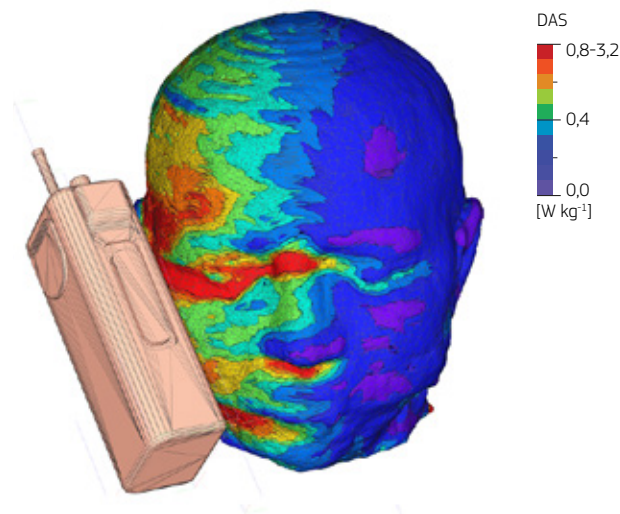
atteint généralement son niveau le plus élevé à la fréquence de résonance du corps du travailleur. La fréquence de résonance dépend de la taille et de la forme du corps humain ainsi que de son orientation par rapport au champ électromagnétique incident. Pour un travailleur de taille et de poids moyens, la résonance se produit à environ 65 MHz lorsque le travailleur est isolé de la terre électrique et que le champ incident est polarisé verticalement.

Le DAS localisé s'applique lorsque l'absorption du champ électromagnétique incident a lieu dans une petite partie du corps, par exemple la tête en cas d'exposition à un combiné TETRA (illustration C.6). On calcule le DAS moyen sur une masse de 10 g de tissus connectés ou contigus dans le corps. Le DAS sur 10 g de tissus contigus constitue une représentation plus exacte de l'absorption localisée d'énergie et une meilleure mesure de la répartition du DAS dans le corps.

Lorsque les tissus du corps absorbent l'énergie provenant d'un champ radié, il faut un certain temps pour que les tissus arrivent à un équilibre thermique. C'est pourquoi on calcule le DAS pour l'ensemble du corps et le DAS localisé moyens sur un intervalle bien défini (six minutes).

Les VLE relatives aux effets sur la santé de l'exposition à des champs électromagnétiques compris entre 100 kHz et 6 GHz sont exprimées en termes de DAS pour l'ensemble du corps et de DAS localisé.

Illustration C.6 — Répartition du débit d'absorption spécifique (DAS) de l'énergie dans la tête due à une exposition à un combiné TETRA (Terrestrial Trunked Radio) de 380 MHz



C.7. Absorption spécifique (AS) de l'énergie

L'absorption spécifique (AS) de l'énergie est définie comme une énergie absorbée par une unité de masse de tissus biologiques; elle est exprimée en joule par kilogramme (J kg^{-1}). Dans la directive CEM, elle est utilisée pour limiter les effets des rayonnements micro-ondes pulsés.

Les VLE relatives aux effets sensoriels de l'exposition à des champs électromagnétiques compris entre 300 MHz et 6 GHz sont exprimées dans la directive en termes d'AS localisée moyenne sur 10 g de tissus.

C.8. Courant de contact (I_c)

Un contact avec des objets conducteurs passifs dans un champ électromagnétique peut générer des courants de contact à l'intérieur du corps. Ces courants peuvent provoquer des chocs, des brûlures ou un échauffement localisé. Des valeurs déclenchant l'action ont été définies afin de limiter cet effet. Les courants de contact sont représentés par le symbole I_c et sont exprimés en milliampères (mA).

C.9. Courant induit dans les extrémités (I_L)

Le courant induit dans les extrémités (dans les membres) est le courant déchargé à la terre depuis une personne exposée à un champ électrique mais qui ne touche pas un objet conducteur. On peut le mesurer au moyen d'une bobine à pinces placée autour du membre (illustration C.7) ou en mesurant le courant passant à la terre. Les courants induits dans les extrémités sont représentés par le symbole I_L et sont exprimés en milliampères (mA).

Illustration C.7 — Pince à courant utilisée pour mesurer le courant dans les membres pendant l'utilisation d'un poste de soudage diélectrique de 27 MHz



ANNEXE D

ÉVALUATION DE L'EXPOSITION

La présente annexe fournit aux employeurs une vue d'ensemble du processus d'évaluation de l'exposition dans le cadre du travail dans la perspective de la directive CEM. Elle aborde des considérations particulières impliquant des fréquences multiples et des expositions non uniformes. Le but recherché n'est pas de définir des protocoles de mesure détaillés en vue d'analyser des équipements ou des processus de travail particuliers. Avec le temps, le Cenelec et d'autres organismes de normalisation produiront des normes techniques à ces fins.

Les CEM sont des agents physiques complexes qui varient dans le temps et dans l'espace. En fonction de la situation particulière sur le lieu de travail, l'exposition peut être dominée par la composante électrique ou la partie magnétique de l'onde. L'onde peut osciller à une fréquence donnée ou se composer de nombreuses fréquences avec des oscillations ou pulsations irrégulières. La fréquence et l'amplitude peuvent également varier dans le temps au cours du cycle de fonctionnement.

Dans certains contextes industriels, il est nécessaire de procéder à des mesures à des fins de comparaison avec les valeurs déclenchant l'action (VA) de la directive CEM. Dans certaines situations, il peut même être nécessaire d'utiliser des techniques computationnelles afin d'évaluer l'exposition par rapport aux valeurs limites d'exposition (VLE) définies par la directive CEM. De manière générale, les méthodes d'évaluation plus sophistiquées prennent plus de temps et sont plus coûteuses, mais aboutissent à de meilleures estimations de l'exposition susceptibles de réduire les distances de conformité.

Quelle que soit la situation, l'évaluation doit tenir compte du scénario d'exposition le plus pessimiste pour déterminer si le lieu de travail est conforme ou non à la directive CEM.

D.1. Évaluation de l'exposition — principes généraux

Les schémas D.1 (effets non thermiques) et D.2 (effets thermiques) ainsi que les points D.1.1 à D.1.3 présentent une approche possible de l'évaluation de la conformité composée de trois phases principales. Des approches différentes sont requises pour les CEM à basse fréquence et à haute fréquence afin de tenir compte des différentes façons dont ces champs agissent sur les personnes.

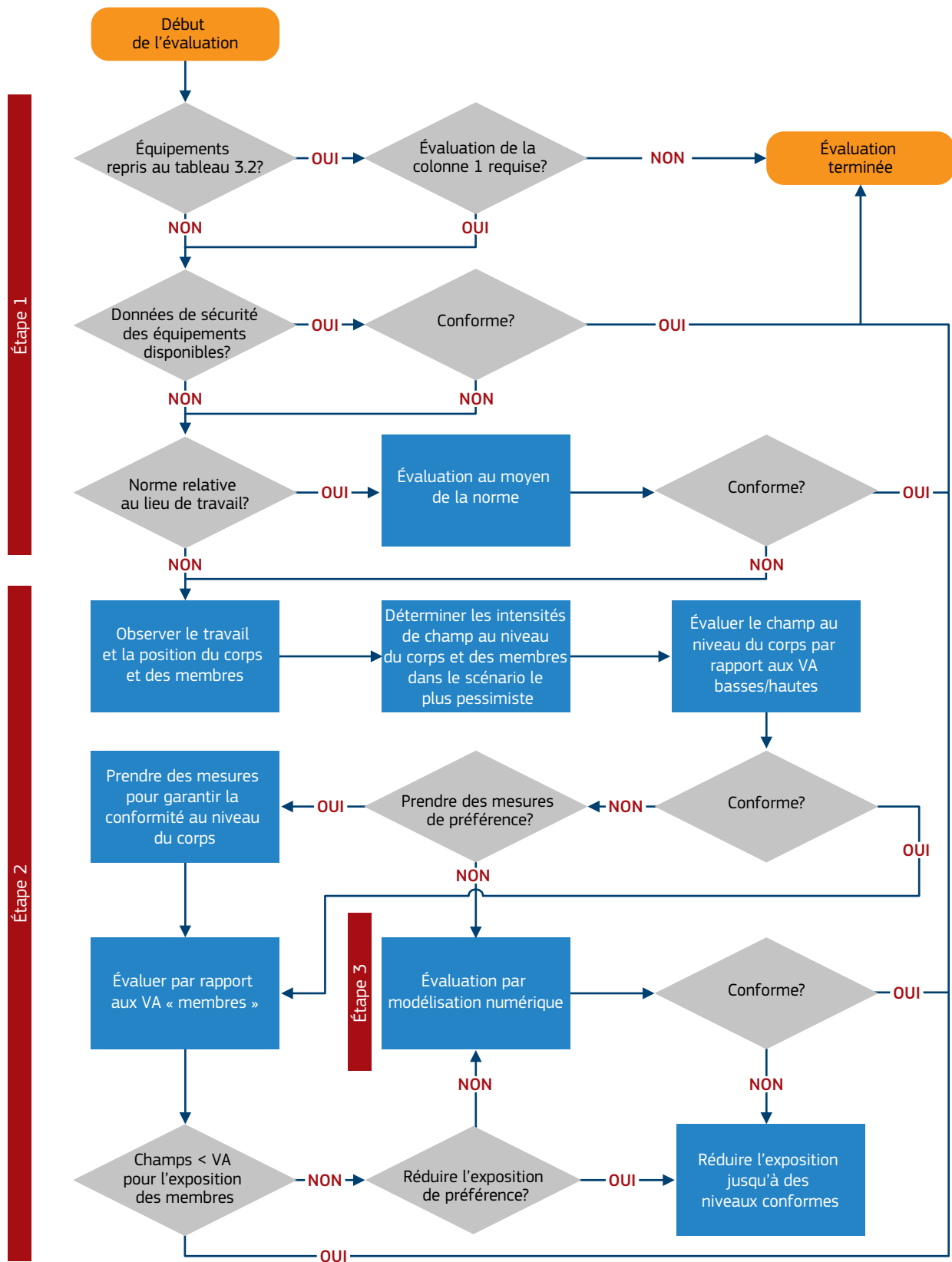
D.1.1. Phase 1 — Évaluation initiale

Les employeurs ont le droit d'utiliser les données fournies par les fabricants ou les bases de données d'évaluations génériques afin de démontrer leur conformité avec la directive CEM si ces informations sont disponibles. En général, cette démarche devrait permettre aux employeurs d'effectuer les évaluations en interne, réduisant au minimum la nécessité de recourir à des sources d'assistance spécialisées comme les organismes chargés de la sécurité, les consultants et les établissements de recherche.

La première phase consiste à recenser et à énumérer tous les équipements, situations et activités sur le lieu de travail susceptibles de générer des CEM, puis de déterminer lesquels sont conformes à la directive CEM et lesquels nécessitent une évaluation plus détaillée (phase 2 ou 3), par exemple en les comparant au tableau du chapitre 3.

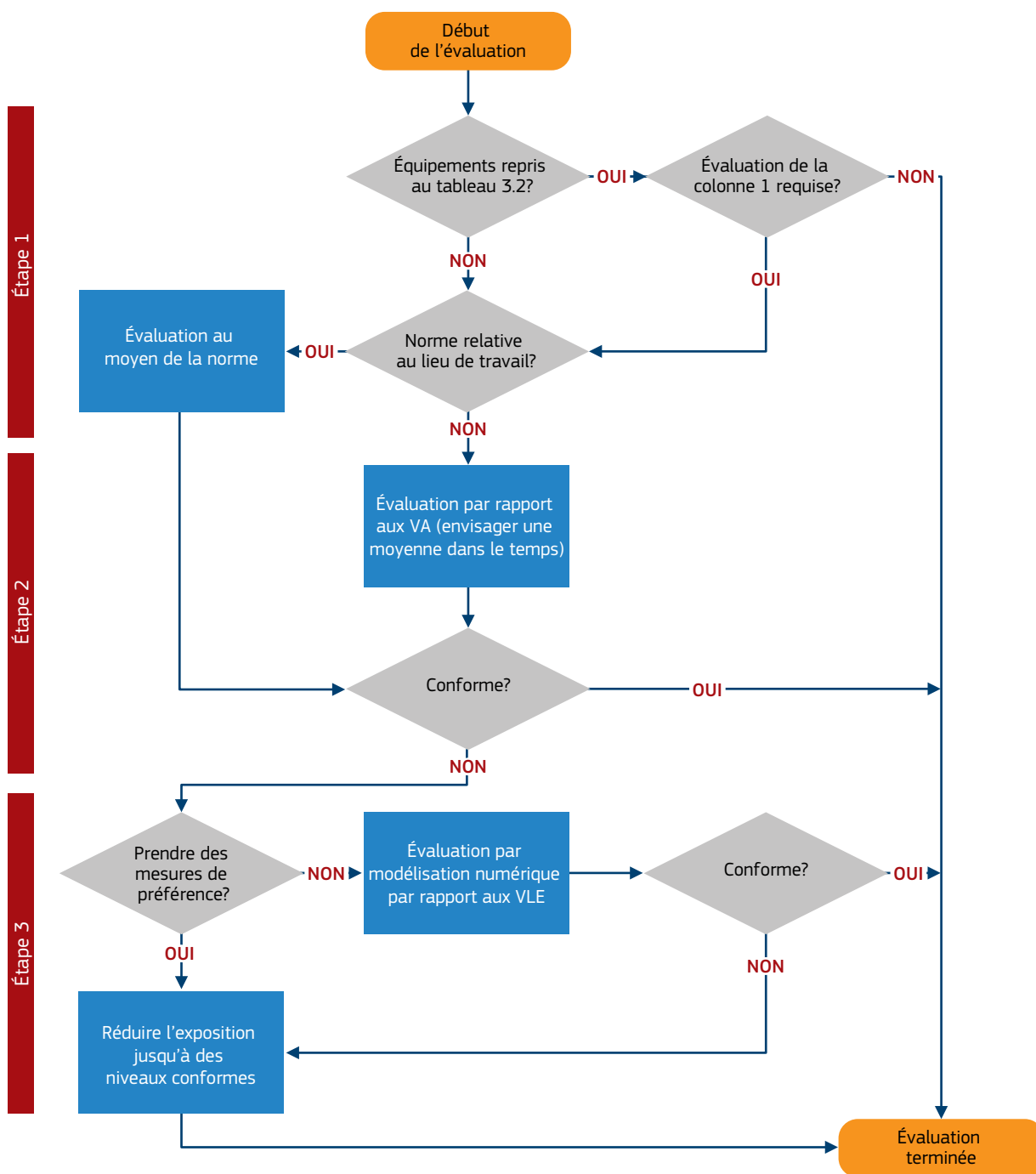
La plupart des équipements, activités et situations ne nécessitent pas d'évaluation de phase 2 ou de phase 3 puisqu'ils ne génèrent pas de champs ou uniquement des champs de très faible intensité.

Schéma D.1 — Diagramme indiquant les différentes étapes de l'évaluation des CEM sur le lieu de travail du point de vue des effets non thermiques



NB: Le diagramme se réfère aux VA et VLE relatives aux effets non thermiques telles que définies à l'annexe II de la directive CEM. L'évaluation doit être effectuée séparément pour les champs électriques et les champs magnétiques.

Schéma D.2 — Diagramme indiquant les différentes étapes de l'évaluation des CEM sur le lieu de travail du point de vue des effets thermiques



NB: Le diagramme se réfère aux effets thermiques tels que définis à l'annexe III de la directive CEM. L'évaluation doit être effectuée séparément pour les champs électriques et les champs magnétiques.

La directive «machines» (voir l'annexe G) impose spécifiquement aux fabricants de machines de fournir des informations concernant les champs potentiellement dangereux générés par leur équipement. Les fabricants d'équipement ne sont cependant pas tenus de démontrer la conformité avec la directive CEM. Néanmoins, on peut s'attendre à ce que de nombreux fabricants reconnaissent l'intérêt commercial de fournir à leurs clients les informations dont ces derniers ont besoin pour démontrer leur conformité avec la directive CEM.

À l'avenir, on peut s'attendre à ce que des normes soient élaborées aux fins de démontrer la conformité avec la directive CEM. Ces normes seront informatives plutôt que normatives, mais elles devraient préciser la base des informations à fournir par les fabricants. Les informations communiquées par les fabricants seront normalement reprises dans les manuels fournis avec l'équipement. Dans le cas contraire, il peut être nécessaire de contacter le fabricant ou le fournisseur de l'équipement afin de lui demander toutes les informations disponibles.

Pour qu'un équipement soit considéré comme conforme dès la phase 1, il faut qu'il soit installé, utilisé et entretenu conformément aux consignes du fabricant. Il convient également de déterminer si la situation d'exposition risque de varier pendant les activités de maintenance, d'entretien ou de réparation. Dans ce cas, une évaluation plus détaillée (phase 2) peut s'avérer nécessaire.

Les lieux de travail conformes dès la phase 1 ne nécessitent pas d'évaluation plus poussée; il suffit de documenter les résultats de l'évaluation dans le cadre de l'évaluation globale des risques. Lorsqu'il est impossible de démontrer la conformité du lieu de travail à la phase 1, une évaluation allant jusqu'à la phase 2, voire la phase 3, peut s'avérer nécessaire.

D.1.2. Phase 2 — Évaluation par rapport aux valeurs déclenchant l'action

Certains types d'équipements, d'activités et de situations, comme ceux qui ont fait l'objet d'une réponse affirmative à la colonne 1 du tableau 3.2, nécessitent une évaluation plus poussée et détaillée. Cette évaluation peut se fonder sur des informations provenant des fabricants ou d'autres sources. Cependant, dans les cas où des informations de ce type ne sont pas aisément disponibles, il est normalement nécessaire d'analyser la conformité par des mesures ou des procédés computationnels. En général, les approches fondées sur des mesures sont utilisées pour évaluer la conformité aux VA, tandis que les techniques plus complexes de modélisation numérique sont nécessaires pour évaluer la conformité aux VLE.

D.1.2.1. Phase préparatoire

Lors de la préparation d'une évaluation à la phase 2, commencez par examiner les données connues concernant l'équipement, l'activité ou la situation. Notez des informations détaillées concernant le déroulement du travail, ainsi que les informations fournies le cas échéant par le fabricant ou le fournisseur.

Pour définir l'approche d'évaluation adéquate, il est primordial de bien comprendre le déroulement du travail ainsi que les caractéristiques de l'équipement générateur de champs. Ces informations incluent normalement des données relatives à la fréquence, à la tension, à la puissance et au cycle de fonctionnement.

- Consultez le guide d'utilisation du fabricant et les spécifications techniques fournies avec l'équipement pour vous familiariser avec l'équipement et avec la façon de l'utiliser.
- Réfléchissez à la façon dont le travail est effectué et à la position de l'opérateur et des autres travailleurs sur le lieu de travail. Réfléchissez également à la position des travailleurs pendant les travaux d'entretien et de réparation, qui peuvent nécessiter une évaluation différente.
- Pensez aux personnes qui seront présentes dans la zone de travail. Y a-t-il des travailleuses enceintes ou d'autres travailleurs portant un implant médical ou un dispositif médical à même le corps?

D.1.2.2. Phase de mesures de délimitation

Dans la plupart des situations, il sera nécessaire de procéder à des mesures pilotes ou de délimitation sur le lieu de travail afin d'analyser la nature du champ à évaluer. Ces mesures sont effectuées au début de l'analyse et contribuent à déterminer les types de mesures et les instruments nécessaires pour évaluer correctement les champs. Le tableau D.1 fournit quelques exemples des facteurs à prendre en considération lors de la phase de délimitation.

Tableau D.1 — Éléments à prendre en compte pour la phase de mesures de délimitation de la phase 2

Attribut des CEM	Exemples de considérations	Conséquences pour l'évaluation
Grandeur physique pertinente	S'agit-il d'un champ électrique, magnétique ou les deux?	Détermine le type d'instruments requis pour effectuer les mesures.
Fréquence et amplitude	Le champ varie-t-il sous la forme d'une onde continue à une seule fréquence ou s'agit-il d'une onde complexe composée de fréquences multiples?	Détermine le type d'instruments requis pour effectuer les mesures. Les ondes sinusoïdales simples à une fréquence particulière peuvent être évaluées au moyen d'instruments simples à large bande, et les résultats peuvent être comparés directement aux VA. Les ondes complexes peuvent nécessiter l'utilisation de techniques spectrales sophistiquées afin d'identifier les différentes composantes de fréquences, ainsi que des analyses complexes telles que les approches par RMS, pics ou moyenne pondérée pour la comparaison avec les VA (voir le point D.3).
Caractéristiques spatiales	L'intensité du champ varie-t-elle au sein de la zone concernée (risque d'exposition non uniforme)?	Tenez compte de la taille de la sonde et de l'emplacement et du nombre de mesures. Il convient de procéder à des mesures pour saisir les situations d'exposition les plus pessimistes (voir le point D.2).
Caractéristiques temporelles	La fréquence ou l'intensité du champ varient-elles pendant le cycle de fonctionnement?	Détermine les instruments requis ainsi que le moment et la durée des mesures. Vous disposerez peut-être de compteurs avec journal, auquel cas il convient de tenir compte de la fréquence d'échantillonnage et de la période d'intégration pour une mesure. Il convient de procéder à des mesures pour saisir les situations d'exposition les plus pessimistes. Le défi consiste à enregistrer le champ pendant une durée suffisante et à une fréquence d'échantillonnage suffisante pour saisir la valeur de champ maximale.

D.1.2.3. Grandeur physique pertinente

Aux basses fréquences, il y a lieu d'évaluer les champs magnétiques et les champs électriques séparément. De nombreux procédés industriels utilisent des équipements à courant élevé qui produisent des champs magnétiques. Les champs électriques puissants sont plus rares sur les lieux de travail parce qu'il existe relativement peu d'applications utilisant des tensions élevées ou des conducteurs libres (non blindés). Les champs magnétiques sont nettement plus difficiles à bloquer.

Il importe également de déterminer si l'exposition se fait dans le champ lointain, à un endroit distant de la source, ou dans la région du champ proche. Le champ lointain, à proximité de la limite du champ, est régi principalement par la longueur d'onde du champ et par la taille de la source. Dans le champ lointain, il existe une relation simple entre les champs électrique et magnétique définie par l'impédance de l'onde. Il est donc possible d'évaluer uniquement le champ électrique ou le champ magnétique pour déterminer l'exposition globale.

La relation entre le champ magnétique et le champ électrique dans le champ proche, à proximité de la source, est beaucoup moins facile à prédire, parce que les champs peuvent varier considérablement sur de très courtes distances, au point où il est nécessaire de les évaluer séparément. Il est souvent difficile d'effectuer des mesures dans le champ proche parce que les niveaux de champ peuvent varier sur de très courtes distances et qu'il peut y avoir couplage entre le capteur lui-même et le champ, ce qui fausse la mesure. Dans les environnements industriels caractérisés par des procédés de transmission de puissance et d'échauffement, la taille de la source et la fréquence du signal dictent l'évaluation séparée des champs électrique et magnétique.

Il n'est pas toujours possible de prendre des mesures utiles dans le champ proche. Dans ce cas, l'autre solution consiste à réaliser une évaluation de phase 3, fondée sur une modélisation numérique.

D.1.2.4. Variation spatiale

Dès le début de l'analyse, il est important de déterminer la répartition du champ par rapport à la position du travailleur et la façon dont le champ varie sur l'ensemble du poste de travail. L'évaluation doit prendre en considération l'endroit où le champ présente son intensité maximale par rapport à la position du travailleur. Dans de nombreux cas, le champ s'atténue rapidement à mesure que l'on s'éloigne de sa source.

Si le champ varie considérablement sur de très courtes distances, il convient d'accorder une grande attention à la taille de la sonde. En effet, les sondes volumineuses risquent alors d'afficher des relevés incorrects. Dans de telles circonstances, il est parfois préférable de se fonder sur les VA relatives à l'exposition des membres selon la partie du corps exposée. Les VA relatives aux membres sont moins restrictives que les autres valeurs déclenchant l'action.

Les approches du calcul de la moyenne dans l'espace et de la démonstration de la conformité dans des situations d'exposition non uniforme sont abordées au point D.2 de la présente annexe.

D.1.2.5. Caractérisation de la forme d'onde

De nombreux CEM rencontrés sur les lieux de travail varient sous la forme d'une onde continue de même fréquence. Dans ce cas, il est possible d'effectuer une évaluation relativement simple au moyen d'instruments simples à large bande. Certains types d'équipements industriels produisent des ondes complexes composées d'une série de fréquences différentes. Dans ce cas, il y a lieu d'utiliser des instruments sophistiqués, comme un analyseur de spectre ou un instrument de capture d'ondes, pour échantillonner le signal.

Les évaluations portant sur des fréquences multiples et des formes d'onde complexes sont abordées en détail au point D.3 de la présente annexe.

D.1.2.6. Variation dans le temps

Il importe de déterminer comment la fréquence ou l'intensité (amplitude) du champ varient dans le temps. Dans certaines situations, il est possible que le champ change au cours du cycle de fonctionnement. Dans ce cas, l'évaluation doit tenir compte des changements de fréquence et d'intensité du champ et déterminer à quel moment il atteint son niveau maximal.

Les changements dans le temps peuvent être intentionnels, comme dans le cas de la modulation de signaux utilisée pour transmettre des informations dans les systèmes de télécommunications, ou accidentels, comme dans le cas des signaux

harmoniques générés pendant les processus d'échauffement par induction ou lorsqu'une commutation rapide du courant ou un redressement AC est utilisé pour contrôler l'alimentation électrique de certains types d'équipements industriels. Il est important de recenser les signaux harmoniques éventuels dans la mesure où les VA et les VLE varient avec la fréquence. Le point D.3 aborde la façon de gérer les expositions à des fréquences multiples dans l'évaluation de l'exposition.

De nombreux instruments modernes possèdent une fonctionnalité de journalisation permettant d'enregistrer le champ à des intervalles d'échantillonnage prédéfinis, sur des périodes pouvant atteindre plusieurs heures. La fréquence d'échantillonnage est sélectionnée en fonction de la vitesse de variation du champ dans le temps. Si la fréquence d'échantillonnage est trop faible par rapport à la variation du champ, il est possible de manquer le pic d'intensité maximale et de sous-estimer l'exposition. Il convient de prendre aussi en considération la période d'intégration de l'instrument, c'est-à-dire le temps mis par le compteur pour traiter et enregistrer le signal. En effet, si le champ change rapidement pendant la période d'intégration, il existe un risque de sous-estimer ou de surestimer l'exposition. La plupart des instruments modernes nécessitent une période d'intégration d'au moins une seconde. Par conséquent, si le champ change plus fréquemment, il est recommandé de saisir le signal de pic ou la forme d'onde complète.

D.1.2.7. Champs magnétiques statiques

La directive CEM inclut des VLE pour les champs magnétiques externes compris entre 0 Hz et 1 Hz. Les mouvements dans les champs magnétiques statiques produisent des champs électriques induits à l'intérieur du corps similaires aux effets produits par les champs à basse fréquence variant dans le temps. L'évaluation des CEM nécessaire dans une situation de ce type est abordée au point D.4.

D.1.2.8. Phase d'analyse principale

Aspects de la réalisation de mesures liés à la sécurité

Outre les considérations de sécurité normales dans un contexte de travail, il convient de veiller à ce que la personne qui effectue les mesures ne soit pas elle-même exposée à des CEM dépassant les VA ou VLE et ne coure aucun risque de subir des effets indirects. Il est recommandé de commencer les mesures à une certaine distance de la source des champs. Cette approche permet d'éviter que la personne chargée des relevés ne soit exposée à des champs dépassant les VA ou VLE et de protéger l'instrument contre les dégâts éventuels dans les champs de forte intensité que l'on peut rencontrer à proximité d'une source puissante.

Dans les champs magnétiques statiques, il convient d'éviter le risque de projection d'objets. Dans les champs électriques puissants, il y a lieu d'éviter les microchocs excessifs et les courants de contact.

Il convient d'effectuer au préalable une analyse des risques adaptée et de prendre des mesures de protection ou de prévention adéquates. Ces mesures peuvent être principalement de nature organisationnelle.

Approche des relevés

Il convient d'accorder une grande attention à l'emplacement, au moment et à la durée des mesures. La première chose à faire est typiquement de discuter avec les travailleurs pour connaître les tâches qu'ils accomplissent, et de les regarder travailler pendant un certain temps afin de déterminer la position du corps et des membres en vue des mesures. Les évaluations doivent tenir compte de toutes les activités normalement accomplies, qu'il s'agisse des opérations de base, du nettoyage, de l'élimination de bourrages, de la maintenance et des interventions d'entretien/de réparation si celles-ci sont effectuées en interne.

L'approche la plus fréquemment adoptée pour procéder à des relevés consiste à prendre des mesures ponctuelles dans des endroits bien définis du lieu de travail ou dans des endroits précis autour des sources de CEM. Comme indiqué ci-dessus, ces endroits doivent correspondre aux zones occupées par les travailleurs pendant leur travail. On notera toutefois que les VA définies dans la directive sont des valeurs applicables en l'absence d'un corps, et le travailleur ne doit donc pas être présent pendant la prise de mesures (voir ci-dessous). Afin de tenir compte de toute variation possible du champ dans le temps, des compteurs avec journalisation peuvent être réglés pour enregistrer le champ en différents endroits pendant la prise des mesures ponctuelles.

Il est de bon usage de répéter les prises de mesures aux mêmes endroits à différents intervalles afin de s'assurer que les relevés sont stables et que les compteurs fonctionnent correctement.

Les champs électriques sont plus difficiles à mesurer que les champs magnétiques. En effet, les champs électriques sont facilement perturbés par les objets avoisinants, y compris par le corps humain. La directive CEM définit des VA applicables à des champs non perturbés, et il convient donc de veiller à ce que le corps des travailleurs ou des personnes chargées du relevé se trouve à bonne distance de la sonde de mesure (et la sonde à bonne distance de tout objet métallique) lors de la prise de mesures.

Instruments

Pour que l'évaluation soit valide, il importe d'utiliser des instruments adéquats pour la prise de mesures. Le choix de ces instruments dépend de la nature du CEM à évaluer. Il convient d'accorder de l'attention aux spécifications techniques de l'instrument afin de s'assurer qu'il est à même de mesurer le signal pertinent. Dans certaines situations, il peut être nécessaire de mesurer à la fois le champ électrique et le champ magnétique. Si l'on sait que la source fonctionne à des fréquences dépassant quelques dizaines de MHz et que l'opérateur se trouve dans le champ lointain, il est possible de déduire l'intensité du champ magnétique de celle du champ électrique et inversement sur la base de l'impédance de l'espace sans obstacle [$Z_0 = 377 \text{ Ohms } (\Omega)$]. Une autre exigence importante est que les instruments soient étalonnés sur la base de normes traçables pour s'assurer qu'ils fonctionnent correctement. Commencez toujours le relevé en réglant l'instrument sur sa plage de mesure la plus élevée afin de réduire autant que possible le risque de le surcharger.

Les instruments possédant un capteur sur un seul axe mesurent une seule composante du champ. Lorsqu'on a recours à un capteur de ce type, il importe de l'utiliser selon trois orientations orthogonales à l'endroit du relevé afin de pouvoir calculer le champ qui en découle. Certains instruments plus sophistiqués possèdent trois capteurs orientés de manière orthogonale, capables de mesurer le champ résultant. Il convient de veiller aussi à la taille de la sonde, qui doit être plus petite que le volume de variation du champ. La norme IEC 61786-1 fournit de plus amples informations concernant les tailles de sonde adéquates.

De nombreux instruments modernes peuvent être paramétrés de façon à mesurer les pics d'intensité ou les valeurs moyennes quadratiques (root-mean-square, RMS) en vue d'une comparaison directe avec les valeurs limites fixées par la directive CEM. Les VA de la directive CEM sont normalement indiquées sous la forme de valeurs RMS. Les dispositifs de mesure à moyenne quadratique ne conviennent cependant pas nécessairement pour mesurer les champs produits par des équipements de soudage par points ou d'identification par radiofréquences (RFID), dont le signal est parfois pulsé et qui peuvent présenter des variations de champ nettement plus rapides que l'intervalle de calcul de la moyenne de l'instrument. Dans les situations caractérisées par des signaux complexes, il est préférable d'évaluer l'exposition selon la méthode de crête pondérée (voir le point D.3).

Le tableau D.2 résume certains des principaux facteurs à prendre en considération pour sélectionner les instruments adéquats.

Tableau D.2 — Facteurs à prendre en considération pour sélectionner les instruments adéquats

Caractéristiques du CEM à évaluer	Exigences applicables aux instruments
Fréquence	L'instrument doit être capable de réagir à toute la gamme de fréquences du signal évalué.
Amplitude	L'instrument doit posséder une gamme dynamique suffisamment large pour mesurer les intensités de champ probables.
Caractéristiques de modulation	L'instrument doit être en mesure de détecter différents schémas de modulation.
Variation temporelle/cycle de fonctionnement	Tenez compte de la fréquence d'échantillonnage et du temps d'intégration de l'instrument ainsi que de la durée de la période de journalisation.
Variation spatiale	La sonde doit être plus compacte que le volume de variation du champ.
Emplacement: intérieur/extérieur/les deux Poids/Durabilité de l'instrument	Les relevés à l'extérieur loin de toute alimentation électrique sur secteur peuvent nécessiter des batteries offrant une autonomie suffisante. L'instrument est-il adapté à des relevés réalisés à l'extérieur?

Paramètres des rapports

Le tableau D.3 présente des exemples de paramètres clés à enregistrer dans le cadre de l'évaluation du lieu de travail.

Si l'évaluation de phase 2 indique que les champs ambiants sont inférieurs aux VA, le lieu de travail est conforme à la directive CEM et l'évaluation peut s'arrêter là (schéma D.1).

S'il existe un risque de dépassement des VLE ou des VA pour les champs statiques, l'employeur doit prendre des mesures de prévention ou de protection adéquates.

Aux basses fréquences, en cas de dépassement des VA basses, l'employeur doit procéder à une évaluation plus poussée par rapport aux VA hautes. Si les mesures sont inférieures aux VA hautes, l'employeur peut choisir de prendre des mesures de protection ou de prévention, et notamment la formation des travailleurs, ou de procéder à une évaluation de phase 3 afin de démontrer la conformité aux VLE relatives aux effets sensoriels.

Tableau D.3 — Exemples de paramètres à enregistrer sur une fiche de relevé

Paramètre	Commentaire
Date et heure du relevé	Référence
Nom du contact/Emplacement précis/ Structures	Référence
Lieux de travail évalués	Description de l'équipement présent, y compris un résumé des spécifications de fonctionnement
Tâche ou activité évaluée	Opération de routine, maintenance ou nettoyage
Grandeur physique pertinente	Champ électrique, champ magnétique ou densité de puissance

Description de l'instrument de mesure	Compteur à bande large ou étroite, réponse en fréquence, gamme dynamique, fréquence d'échantillonnage, date d'étalonnage et incertitude
Stratégie de mesure	Pic/Moyenne quadratique Résultante, x, y, z Mesures ponctuelles ou étendues Lieux d'échantillonnage (inclure diagramme ou plan, le cas échéant) Fréquence d'échantillonnage

Si les champs mesurés dépassent les VA hautes, il y a lieu de prendre en considération l'étendue spatiale du champ par rapport à la partie du corps exposée du travailleur et, le cas échéant, de comparer les champs aux VA pour l'exposition des membres. Si l'exposition n'est pas localisée, ou si l'exposition localisée dépasse les VA pour l'exposition des membres, l'employeur a le choix entre deux possibilités: il peut soit prendre des mesures de protection ou de prévention, soit passer à une évaluation de phase 3 afin d'évaluer la conformité avec les VLE (voir le point D.1.3).

Aux hautes fréquences, si les champs ambiants dépassent les VA, l'employeur peut également choisir entre des mesures de protection ou de prévention et la réalisation d'une évaluation de phase 3.

En cas de dépassement des VA applicables aux courants de contact, l'employeur doit prendre des mesures de prévention ou de protection adéquates.

D.1.3. Phase 3 — Évaluation par rapport aux valeurs limites d'exposition (VLE)

D.1.3.1. Introduction

La directive CEM définit des VLE destinées en premier lieu à réduire les champs électriques induits ainsi que des débits d'absorption spécifiques (DAS) à l'intérieur du corps. Ces valeurs ne sont pas faciles à mesurer, c'est pourquoi l'évaluation de phase 3 fait généralement appel à des techniques sophistiquées de modélisation numérique afin de déterminer la conformité avec les VLE. Il existe toutefois des approches par mesure.

Les VA fournissent des estimations prudentes des champs ambiants maximaux auxquels le corps entier d'un travailleur peut être exposé sans dépasser les VLE concernées. Si les relevés indiquent un risque de dépassement des VA pour une situation d'exposition donnée, il peut être nécessaire de procéder à une évaluation dosimétrique afin de déterminer la conformité avec les VLE.

Il est possible de recourir à des modèles numériques pour déterminer si les champs électromagnétiques engendrés par un appareil vont entraîner un dépassement des VLE. Les simulations et l'utilisation de la dosimétrie computationnelle créent un lien entre les VA (champs électromagnétiques non perturbés mesurés de l'extérieur) et les VLE (doses modélisées représentant l'action du champ électromagnétique sur le corps humain). Ces simulations sont utilisées pour traduire les paramètres des champs électromagnétiques, mesurés en l'absence d'un corps, en doses présentes dans le corps.

Les doses quantifiées par les VLE sont notamment l'intensité des champs électriques induits, le débit d'absorption spécifique (DAS) de l'énergie et la densité de puissance. Les effets sur la santé, et donc les doses quantitatives, dépendent de la fréquence du champ incident. Aux basses fréquences, la directive définit les VLE en termes d'intensité de champs électriques induits, tandis qu'aux fréquences plus élevées, elle utilise les DAS et les densités de puissance (tableau D.4).

Tableau D.4 — Effets biologiques néfastes potentiels, VLE et VA

Fréquence	Effet biologique néfaste potentiel	Dose VLE (simulation numérique)	VA d'exposition (typiquement mesurée)
Entre 1 Hz et 10 MHz	Effets sur le système nerveux central (SNC) et le système nerveux périphérique (SNP)	Champs électriques induits dans les tissus stimulés en V/m	Intensité du champ électrique, induction magnétique, courants induits et de contact
Entre 100 kHz et 6 GHz	Échauffement des tissus	DAS en W/kg AS en J/kg	(Intensité du champ électrique) ² , (induction magnétique) ² , courants induits et de contact
Entre 6 GHz et 300 GHz	Échauffement des surfaces	Densité de puissance en W/m ²	(Intensité du champ électrique) ² , (induction magnétique) ² et densité de puissance

D.1.3.2. Interactions entre les champs électromagnétiques et les tissus humains

Champs à basse fréquence

Aux basses fréquences, on peut considérer que les champs électriques et magnétiques sont découplés («approximation quasi statique»), et ils peuvent donc être traités séparément.

Champ électrique externe

Le corps humain provoque une perturbation importante des champs électriques à basse fréquence incidents. Dans la majorité des situations d'exposition, le champ électrique externe est orienté verticalement par rapport au sol. Le corps humain est un bon conducteur aux basses fréquences, et les champs électriques internes induits à l'intérieur du corps sont inférieurs à raison de plusieurs ordres de grandeur au champ appliqué à l'extérieur.

La répartition des charges induites à la surface du corps par l'exposition à un champ électrique externe n'est pas uniforme. Il en résulte une orientation principalement verticale des courants internes induits à l'intérieur du corps. Un autre facteur ayant une grande incidence sur l'importance et la répartition spatiale de ces champs électriques induits à l'intérieur du corps est le contact entre la personne et la terre électrique. Les champs électriques internes les plus élevés sont induits lorsque le corps est en contact parfait avec la terre avec les deux pieds. Plus le corps est isolé de la terre électrique, plus les champs électriques induits dans les tissus sont faibles. Voilà pourquoi le port de bottines de travail isolantes peut, dans certaines circonstances, apporter une certaine protection contre les effets des champs à basse fréquence.

Champ magnétique externe

Contrairement aux champs électriques appliqués, les champs magnétiques appliqués ne sont pas perturbés par le corps humain. Le champ magnétique dans les tissus humains est identique au champ magnétique externe, parce que la perméabilité magnétique des tissus est identique à celle de l'air. Les tissus peuvent contenir des matériaux magnétiques, comme de la magnétite, mais en quantités si faibles que l'on peut les ignorer dans la pratique.

La principale interaction entre un champ magnétique externe et le corps humain est le flux de courant lié à l'induction de Faraday dans les tissus humains conducteurs. Dans les tissus hétérogènes composés de différentes régions de conductivité, le courant circule également aux interfaces entre ces régions.

Champs à haute fréquence

Aux hautes fréquences, on peut considérer le corps humain comme une antenne conductrice imparfaite. Des champs et courants électriques sont induits dans les tissus du corps. Si le corps se trouve debout sur un sol plat, les courants induits traversent le corps verticalement et rejoignent la terre par les pieds. Les champs et courants magnétiques induits entraînent des effets thermiques à l'intérieur des tissus humains, aussi bien localement que dans le corps entier. L'ampleur et la répartition spatiale de ces champs électriques induits dépendent dans une large mesure de la configuration de l'exposition et de la fréquence.

Le corps possède une fréquence de résonance naturelle liée à sa taille. Les champs électromagnétiques de radiofréquences sont absorbés plus efficacement aux fréquences proches de cette fréquence de résonance. Aux fréquences inférieures à 1 MHz environ, le corps humain absorbe très peu d'énergie de RF. Une absorption importante se produit à la fréquence de résonance comprise entre 60 et 80 MHz lorsque le corps est isolé et entre 30 et 40 MHz lorsque le corps est relié à la terre. De plus, certaines parties du corps peuvent elles-mêmes induire une résonance. La tête adulte entre en résonance à environ 400 MHz. Si le corps est en position assise, le haut et le bas du corps possèdent chacun leur propre fréquence de résonance. La fréquence à laquelle la quantité d'énergie RF maximale est absorbée dépend donc de la taille et de la posture du corps. En général, l'échauffement par RF diminue à mesure que la fréquence dépasse la fréquence de résonance. L'échauffement aux fréquences supérieures a par contre tendance à se concentrer à la surface du corps puisque la profondeur de pénétration du champ incident diminue.

D.1.3.3. Valeurs limites d'exposition

Les VLE représentent les doses quantitatives à l'intérieur du corps censées protéger contre les effets néfastes pour la santé de l'exposition d'un être humain à des champs électromagnétiques. Les VLE appliquées dépendent de la fréquence du champ étudié.

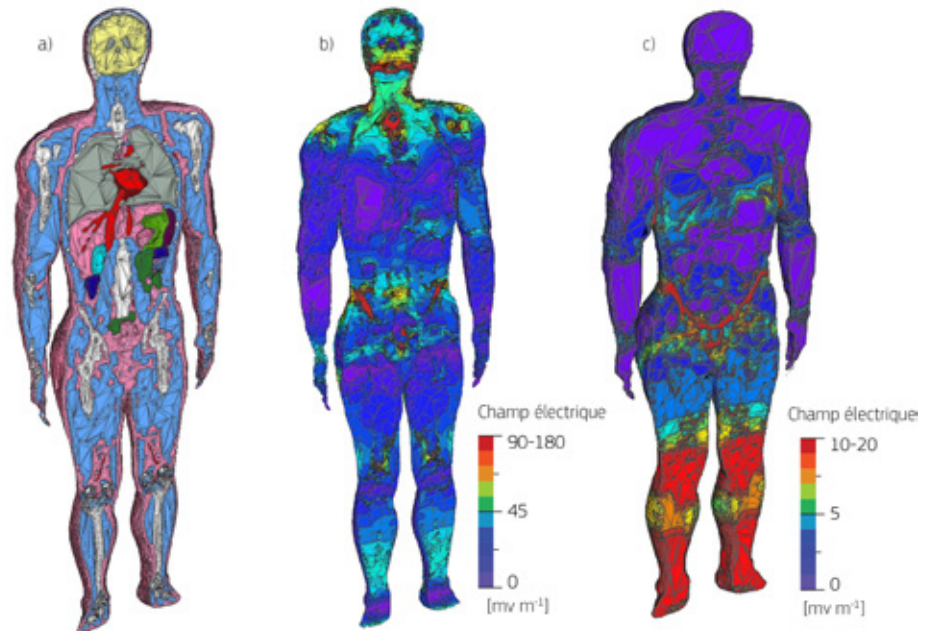
Basse fréquence

Aux basses fréquences (entre 1 Hz et 10 MHz), la principale grandeur dosimétrique est le champ électrique interne induit à l'intérieur du corps humain. En effet, les seuils applicables à la stimulation des tissus nerveux humains sont définis par l'ampleur et la variation spatiale de ces champs électriques internes. L'unité de mesure du champ électrique est le volt par mètre (Vm^{-1}).

En cas d'exposition à des champs électriques à basse fréquence, des champs électriques internes sont produits à l'intérieur du corps. Ces champs perturbent considérablement le champ incident. Le champ électrique externe induit des charges non uniformes à la surface du corps et engendre des champs électriques internes à l'intérieur du corps susceptibles de générer des courants dans le corps.

En cas d'exposition à des champs magnétiques à basse fréquence, des champs électriques internes sont produits par le champ magnétique, avec induction d'un champ électrique et des courants associés dans les tissus humains. Des champs sont également produits par le passage de courants entre des régions présentant des conductivités de tissus différentes à l'intérieur du corps. L'illustration D.3 montre comment ces champs électriques induits sont absorbés à l'intérieur du corps sous l'effet d'une exposition à des champs électriques et magnétiques externes à basse fréquence.

Illustration D.3 — Exposition à basse fréquence: coupes du corps humain montrant: a) les organes internes du corps; b) les champs électriques internes provoqués par l'exposition à un champ magnétique externe à basse fréquence; c) les champs électriques internes provoqués par l'exposition à un champ électrique externe à basse fréquence

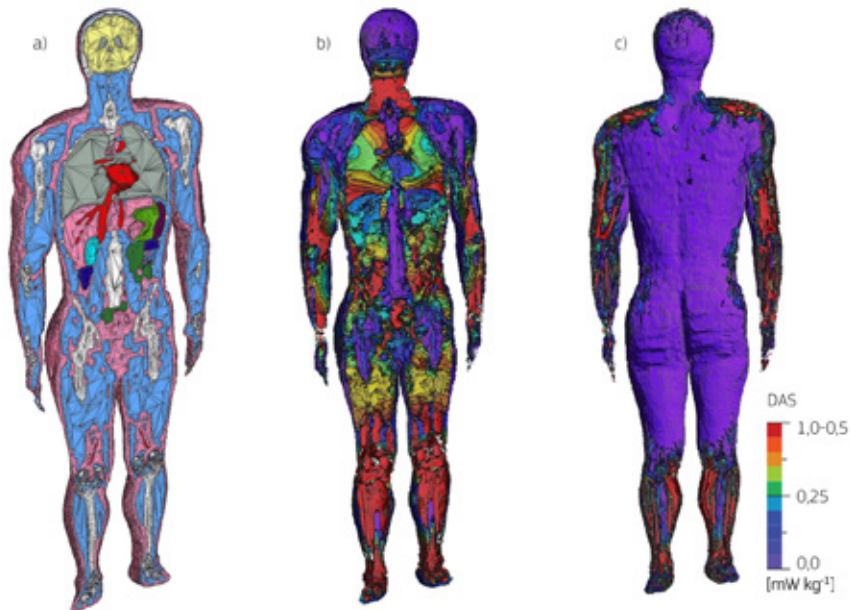


Haute fréquence

Aux hautes fréquences (entre 100 kHz et 300 GHz), la principale mesure dosimétrique de l'absorption du champ magnétique est le débit d'absorption spécifique (DAS). En effet, les principaux effets biologiques néfastes de l'exposition à des champs magnétiques à ces fréquences sont causés par l'échauffement des tissus.

On peut définir le DAS comme la puissance absorbée par unité de masse. Il s'exprime en watts par kilogramme (Wkg⁻¹). La directive CEM utilise le DAS comme grandeur de dose, étant donné qu'il est étroitement corrélé avec l'échauffement des tissus humains. L'illustration D.4 illustre la répartition du DAS dans le corps humain lors d'une exposition à un champ électromagnétique à haute fréquence.

Illustration D.4 — Exposition à haute fréquence: coupes du corps humain montrant : a) les organes internes du corps; b) le DAS engendré dans les tissus par l'exposition à un champ électromagnétique de 40 MHz; c) le DAS engendré dans les tissus par une exposition à un champ électromagnétique de 2 GHz



Les doses internes (champs électriques et DAS) utilisées pour définir les VLE ne peuvent pas être évaluées de façon précise par mesure, puisqu'il n'existe pas de moyen non invasif de mesurer l'intensité des champs à l'intérieur du corps humain. Les doses VLE ont été mesurées dans des animaux, mais les données disponibles sont limitées et ces mesures n'offrent qu'une précision assez médiocre. Il n'est en outre pas possible d'extrapoler directement à l'homme les résultats d'études sur animaux en raison des différences physiologiques entre les espèces dans de nombreux domaines. La simulation numérique de l'absorption électromagnétique par l'homme, et donc de la conformité avec les VLE de la directive CEM, permet d'étudier directement les grandeurs de doses internes.

D.1.3.4. Évaluation de la conformité avec les VLE

Afin de calculer les grandeurs de dose à l'intérieur du corps requises à des fins de comparaison avec les VLE, il est nécessaire de posséder une représentation du corps humain, une méthode numérique permettant de modéliser l'interaction entre le champ électromagnétique et les tissus biologiques et une représentation de la source du champ électromagnétique.

Modèle humain

Lorsqu'il est exposé à des champs électromagnétiques, le corps humain peut être considéré comme une antenne réceptrice. Les caractéristiques anatomiques, géométriques et électriques du corps sont donc d'une importance vitale pour évaluer la conformité aux VLE.

Dans le passé, on a utilisé des structures homogènes simples telles que des sphères, sphéroïdes, cylindres, disques et cubes en remplacement du corps afin d'évaluer les grandeurs de doses internes. Pour ces formes homogènes, on utilise une seule valeur de conductivité et de permittivité. Cette valeur représente une valeur moyenne sur le corps entier et ne dépend généralement pas de la fréquence. L'utilisation de structures simples de ce type facilite la simulation numérique de l'exposition aux champs électromagnétiques. Ces approches génèrent cependant des résultats imprécis qui surestiment de manière significative l'exposition réelle.

Illustration D.5 — Modèle humain: exemple de modèle masculin hétérogène réaliste sur le plan anatomique. Le modèle présente le squelette et les organes internes (gauche), la couche musculaire (centre) et la couche cutanée (droite).



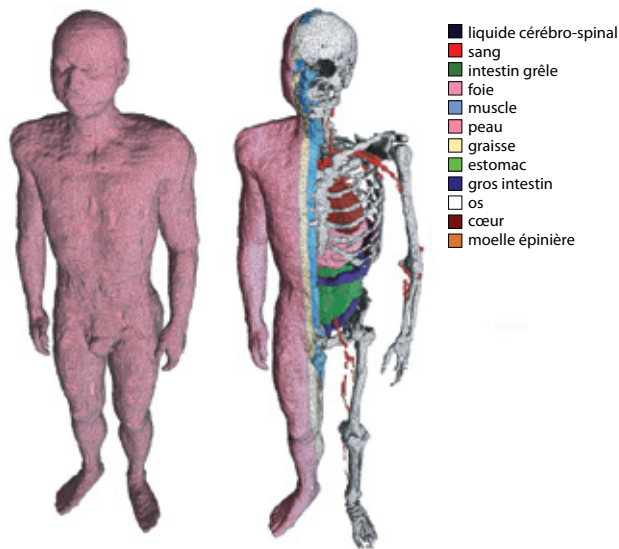
Pour évaluer l'exposition aux champs électromagnétiques, il est recommandé d'utiliser des modèles hétérogènes du corps humain qui soient réalistes sur le plan anatomique. À l'heure actuelle, plusieurs organisations ont mis au point une variété de modèles hétérogènes du corps humain (hommes, femmes, femmes enceintes, différentes postures, etc.) possédant une anatomie réaliste et avec l'identification de nombreux tissus. Étant donné les investissements requis pour produire un modèle de ce type, leur utilisation entraîne généralement un certain coût. Il existe en outre inévitablement des différences entre les modèles disponibles, et on peut donc s'attendre à ce qu'ils produisent des résultats légèrement différents.

Les modèles anatomiquement réalistes sont généralement créés en segmentant de manière informatique en différents types de tissus les données issues d'images du corps par résonance magnétique. Un soin tout particulier est apporté au réalisme anatomique de ces modèles. Les illustrations D.5 et D.6 montrent des exemples de modèles adultes masculins hétérogènes. Ces modèles se composent bien souvent de plus de 30 tissus et organes distincts. Le modèle peut se fonder sur des voxels (volume-pixels) ou des surfaces.

Lorsqu'il est utilisé dans des simulations utilisant une méthode numérique telle que le calcul de différences finies dans le domaine temporel, le corps humain est typiquement représenté par des cellules cubiques (voxels) de 1 à 2 mm de côté. Les voxels se voient attribuer des valeurs de conductivité et de permittivité sur la base des valeurs mesurées pour différents organes et tissus.

Afin de calculer les grandeurs de doses dans les modèles humains présentés, il y a lieu de préciser les caractéristiques diélectriques des tissus qui les composent. Si l'on suppose que les différents tissus sont largement homogènes, les propriétés électriques peuvent être décrites par deux paramètres, à savoir la conductivité (σ) et la permittivité (ϵ). Pour les tissus biologiques, ces caractéristiques varient avec la fréquence. En général, la conductivité d'un tissu augmente et la permittivité diminue à mesure que la fréquence augmente.

Illustration D.6 — Modèle humain: coupe d'un modèle humain hétérogène montrant les types de tissus sélectionnés



Les caractéristiques diélectriques varient considérablement d'un tissu à l'autre (voir <http://nirem.fiac.cnr.it/tissprop/>). Les tissus à forte teneur en eau, par exemple les fluides corporels, présentent une dépendance à la fréquence presque nulle en deçà de 100 kHz. La proportion d'eau ou de fluide présente dans un tissu humain est un facteur important pour les propriétés diélectriques de ce tissu et la façon dont ces propriétés changent avec la fréquence. De ce fait, les tissus présentant un comportement similaire en cas d'exposition à des champs électromagnétiques peuvent être regroupés en fonction de leur teneur en eau. Le sang et le liquide cérébro-spinal, par exemple, ont une teneur en eau élevée et sont de relativement bons conducteurs. Les poumons, la peau et la graisse sont de relativement mauvais conducteurs, tandis que le foie, la rate et les muscles présentent une conductivité moyenne.

Méthodes numériques

Différentes méthodes numériques ont été utilisées pour évaluer l'absorption des champs électromagnétiques dans des modèles humains hétérogènes et anatomiquement réalistes. Les méthodes numériques adéquates sont limitées par les caractéristiques électriques fortement hétérogènes du corps humain et par les formes tout aussi complexes des organes internes et externes.

Les méthodes utilisées avec succès pour la dosimétrie à haute définition des champs électromagnétiques sont notamment la méthode des différences finies (DF) dans le domaine de fréquence et le domaine temporel (DFDT), la méthode des éléments finis (EF) et la technique par intégration finie (TIF).

Ces méthodes fournissent une solution directe aux équations différentielles de Maxwell. Elles divisent généralement le domaine de calcul en un lattis en 3 dimensions de cellules ou de surfaces qui se voient attribuer des propriétés électriques discrètes. Dans le cas des méthodes utilisant des différences finies, le code informatique tourne en boucle dans le temps et l'espace et évalue les valeurs de champ dans chaque cellule jusqu'à obtenir une convergence vers la solution.

Chaque méthode présente des avantages et des restrictions. Toutes les méthodes ainsi que certains codes informatiques ont fait l'objet de vérifications poussées par le biais de comparaisons avec des solutions analytiques et des résultats expérimentaux afin de s'assurer que les résultats produits par ces méthodes sont représentatifs pour une grande variété de situations d'exposition à des champs électromagnétiques.

D.1.3.5. Calcul de moyennes: champ électrique induit du 99^e centile, DASCE et DAS localisé

Champ électrique induit du 99^e centile

Pour limiter les effets néfastes des champs électriques induits présents dans le corps du travailleur, il importe de définir la région sur laquelle est calculé le champ électrique moyen présent dans le corps. Un compromis pratique répondant à l'exigence d'une base biologique saine et aux contraintes de calcul consiste à définir le champ électrique présent dans le corps comme une moyenne vectorielle du champ électrique dans un petit volume de tissus contigus de $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$.

Les méthodes numériques utilisées pour calculer les champs électriques induits à l'intérieur du corps utilisent bien souvent un modèle humain découpé en cellules ou voxels. Dans les cas où la méthode utilisée n'emploie pas de cellules, par contre, il convient de définir un algorithme adéquat de calcul de moyennes qui calcule le champ électrique sur un volume de $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$ dans le code numérique. Pour un tissu donné, la valeur du 99^e centile du champ électrique est la valeur à retenir pour la comparaison avec la valeur limite d'exposition (CIPRNI, 2010).

DAS «moyenne sur le corps entier» (DASCE)

La VLE pour le DASCE vise à offrir une protection contre les effets d'échauffement du corps entier. Pour calculer le DAS «corps entier», on additionne les débits d'absorption dans tous les voxels du corps humain et on divise le résultat obtenu par la masse du corps.

DAS localisés

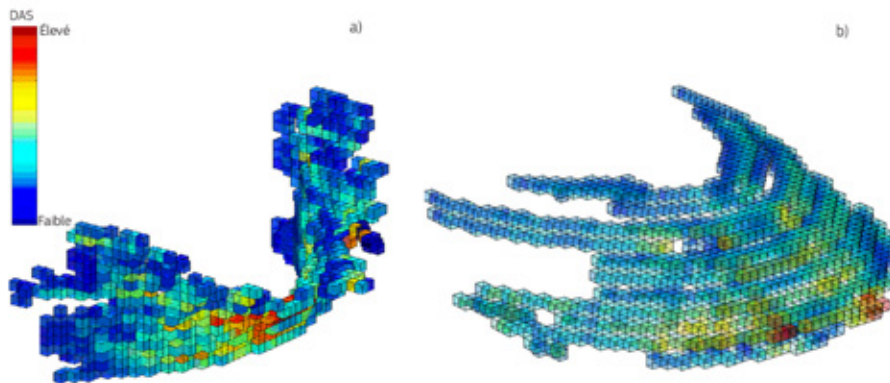
La directive CEM définit des VLE pour les DAS localisés afin de protéger contre l'échauffement localisé du corps humain, causé principalement par les sources de rayonnements électromagnétiques dans le champ proche.

Pour le calcul du DAS localisé en cas d'exposition à des champs électromagnétiques compris entre 100 kHz et 6 GHz, la directive CEM dispose que la masse utilisée pour calculer la moyenne devrait être 10 g de tissus contigus (connectés), choisis librement. L'estimation de l'exposition doit utiliser la valeur maximale de DAS localisé dans le corps.

La procédure à suivre pour calculer le DAS localisé sur une région contiguë de 10 g est la suivante. Une cellule présentant le DAS maximal est sélectionnée dans une coupe horizontale du modèle humain. On examine ensuite les six cellules voisines en contact avec la première cellule afin de trouver celle qui présente le débit d'absorption le plus élevé. Une fois cette opération terminée, on additionne les puissances et les masses. On examine ensuite les cellules voisines correspondantes afin de créer un ensemble contigu de cellules d'une masse égale à 10 g, et le DAS est calculé pour cette région contiguë. Cette procédure utilise environ 1 000 cellules (chiffre variable selon la densité du tissu concerné) pour une définition de voxel de 2 mm, puisque chaque cellule possède un volume de $0,008 \text{ cm}^3$. Cette procédure est répétée pour chaque coupe horizontale, et la valeur de DAS maximale de toutes les régions connectées de l'ensemble du modèle humain est choisie à l'issue du processus.

L'illustration D.7 présente des exemples de DAS localisés moyens sur une région contiguë de 10 g. Cette illustration montre les régions contiguës de 10 g présentant les DAS les plus élevés dans un modèle humain exposé à un champ électromagnétique d'ondes planes de 100 MHz et 3,4 GHz.

Illustration D.7 — Régions contiguës: DAS moyen sur des régions contiguës (connectées) de 10 g dans un modèle humain exposé: a) à un champ électromagnétique de 100 MHz; b) à un champ électromagnétique de 3,4 GHz. Les couleurs utilisées vont du bleu foncé (DAS faible) au rouge foncé (DAS élevé)



D.2. Démonstration de la conformité pour les expositions non uniformes

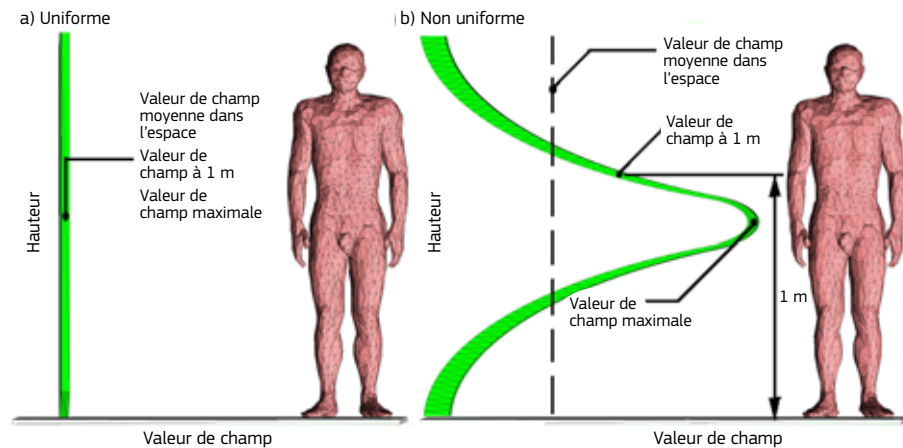
D.2.1. Introduction

L'exposition à un champ électromagnétique peut être décrite comme uniforme ou non uniforme. Aux hautes fréquences, on entend par «champ électromagnétique uniforme» une onde étendue au point où elle semble posséder la même amplitude en tous les points du plan perpendiculaire à la direction de son déplacement. Le champ uniforme est un modèle idéal permettant de décrire l'onde comme une onde complète se dirigeant dans une seule direction. Aux basses fréquences, un champ uniforme est un champ qui reste identique dans l'ensemble du volume défini, par exemple un champ électrique entre deux plaques parallèles infinies.

Il est aisé de déterminer la valeur de champ utilisée pour évaluer la conformité avec les VA dans le cas d'un champ électromagnétique uniforme, puisque cette valeur reste identique tout au long d'une ligne perpendiculaire à la direction de déplacement de l'onde (illustration D.8). Lorsqu'un champ présente ce type d'uniformité, ou qu'il est relativement uniforme (dans une marge de 20 %), la mesure du champ en un seul endroit de l'espace occupé par le travailleur est généralement suffisante.

Les dispositifs qui produisent des rayonnements électromagnétiques peuvent créer des conditions d'exposition non uniformes sur la hauteur du corps s'ils sont placés à proximité de la personne ou dans un environnement où le champ produit présente des variations sous l'effet de la réverbération par le sol ou d'une diffusion provoquée par des objets à proximité.

Illustration D.8 — Exemples d'exposition uniforme et non uniforme: variation du champ avec la distance par rapport au sol pour: a) un champ uniforme; b) un dipôle typique. L'illustration montre la valeur de champ moyenne dans l'espace, la valeur de champ maximale et la valeur de champ à 1 m.



La détermination d'une valeur de champ unique en vue d'une comparaison avec les VA n'est pas évidente si le champ varie de manière significative dans la zone occupée par le travailleur. Dans cette situation d'exposition, il est possible d'utiliser la valeur de champ maximale à l'emplacement du corps du travailleur, mais cette approche aboutit à une évaluation extrêmement prudente. Certains organismes recommandent d'utiliser une seule valeur de champ à une hauteur de 1 m. Dans de nombreux cas cependant, cette valeur n'est pas représentative.

Dans ces situations non uniformes, il convient de définir une méthode adéquate pour obtenir une valeur de champ unique. Dans de tels cas, la directive permet d'utiliser le calcul d'un champ moyen dans l'espace. Il est recommandé de mesurer ou de calculer des valeurs moyennes dans l'espace, qui donnent une indication plus représentative de l'exposition dans les situations dans lesquelles le champ varie tout au long de la hauteur du corps humain.

D.2.2. Questions liées à l'exposition non uniforme

La directive définit des VA en termes de valeur unique pour une fréquence particulière. Ces VA ont été définies de manière à garantir le respect des VLE pertinentes. Dans le cas contraire, il convient de prendre les mesures de prévention ou de protection définies à l'article 5.

Cependant, si le champ n'est pas uniforme à l'intérieur de la zone occupée par le travailleur [comme dans l'illustration D.8.b)], l'intensité du champ électrique ou l'induction magnétique varie en fonction de l'endroit où le champ est mesuré. On peut alors se demander à juste titre quelle valeur de champ il convient de comparer aux VA.

Dans les situations d'exposition de ce type, la directive recommande d'utiliser la valeur de champ maximale sur le volume concerné ou la moyenne dans l'espace. Dans les cas où une source très localisée se trouve à proximité du corps, la conformité avec les VLE devrait être déterminée par dosimétrie.

Dans les notes B1-3 et B2-3 de l'annexe II concernant les effets non thermiques, la directive affirme ce qui suit:

«Les VA représentent les valeurs maximales calculées ou mesurées à la position du corps du travailleur. Cela entraîne une évaluation prudente de l'exposition et un respect automatique des VLE dans toutes les conditions d'exposition non uniformes. Afin de

simplifier l'évaluation du respect des VLE, effectuée conformément à l'article 4, dans des conditions non uniformes particulières, des critères de calcul de la moyenne spatiale des champs mesurés, fondés sur une dosimétrie bien établie, seront fixés dans le guide pratique évoqué à l'article 14. Dans le cas d'une source très localisée située à une distance de quelques centimètres du corps, le champ électrique induit est déterminé cas par cas par dosimétrie.»

Dans la note B1-3 de l'annexe III concernant les effets thermiques, la directive affirme ce qui suit:

«VA(E) et VA(B) représentent les valeurs maximales calculées ou mesurées à la position du corps du travailleur. Cela entraîne une évaluation prudente de l'exposition et un respect automatique des VLE dans toutes les conditions d'exposition non uniformes. Afin de simplifier l'évaluation du respect des VLE, effectuée conformément à l'article 4, dans des conditions non uniformes particulières, des critères de calcul de la moyenne spatiale des champs mesurés, fondés sur une dosimétrie bien établie, seront fixés dans les guides pratiques visés à l'article 14. Dans le cas d'une source très localisée située à une distance de quelques centimètres du corps, le respect des VLE est déterminé cas par cas par dosimétrie.»

D.2.2.1. Valeur de champ maximale

Il s'agit de la façon la plus simple d'évaluer le respect des limites définies par la directive, mais aussi de la méthode donnant l'exposition la plus prudente de l'exposition du travailleur à un champ. Aucune moyenne dans l'espace n'est calculée. La mesure ou le calcul du champ non perturbé, c'est-à-dire sans la présence du travailleur, se fait en un point occupé par le travailleur lorsque le champ est à son intensité maximale. Le champ est évalué en l'absence du travailleur parce que la présence d'un travailleur peut, dans certaines situations d'exposition, fausser la valeur du champ. On notera qu'aux basses fréquences, seul le champ électrique est affecté par la présence d'un travailleur. Les êtres humains ne sont pas magnétiques et les courants induits ne sont pas suffisants pour avoir une incidence sur le champ.

Dans la section intitulée «Moyenne spatiale des champs électriques et magnétiques externes», la CIPRNI (2010) affirme:

«Les valeurs de référence ont été définies pour des conditions d'exposition dans lesquelles la variation du champ électrique ou magnétique dans l'espace occupé par le corps est relativement modeste. Dans la plupart des cas, cependant, la distance par rapport à la source du champ est si faible que la répartition du champ est non uniforme ou localisée sur une petite partie du corps. Dans de tels cas, la mesure de l'intensité de champ maximale à l'endroit occupé par le corps permet toujours une évaluation sûre, quoique très prudente, de l'exposition.»

D.2.2.2. Moyenne dans l'espace

L'évaluation du champ dans l'espace en cas d'exposition non uniforme peut être effectuée de différentes façons. Trois approches couramment utilisées, par ordre de complexité décroissante, consistent à calculer la moyenne du champ dans l'espace sur:

- un volume occupé par le travailleur ou une partie du travailleur;
- un plan transversal occupé par le travailleur ou une partie du travailleur;
- une ligne de la zone occupée par le travailleur ou une partie du travailleur.

On trouve une description détaillée de ces approches dans différentes normes et lignes directrices internationales, par exemple, IEEE C95.3 (2002), CENELEC EN 50357 (2001), IEC 62226 (2001), IEC 62233 (2005), IEC 62110 (2009). Plus la procédure de calcul

de la moyenne est complexe, plus la valeur qui en découle se rapproche du champ non uniforme. Il est toutefois admis qu'à des fins de conformité, il peut être difficile de déterminer les valeurs de champ sur un volume projeté ou une zone projetée, dans la mesure où ces approches nécessitent de nombreux points de relevé. Les méthodes de calcul de moyenne sur une ligne peuvent fournir une représentation suffisamment fidèle d'un champ électromagnétique non uniforme, c'est pourquoi les points suivants les recommandent.

a) Exposition à des champs électriques et magnétiques compris entre 1 Hz et 10 MHz

Les valeurs moyennes dans l'espace de l'intensité du champ électrique (E_{avg}) ou de l'induction magnétique (B_{avg}) devraient être calculées au moyen des formules suivantes:

$$E_{avg} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i \quad \text{équation 1}$$

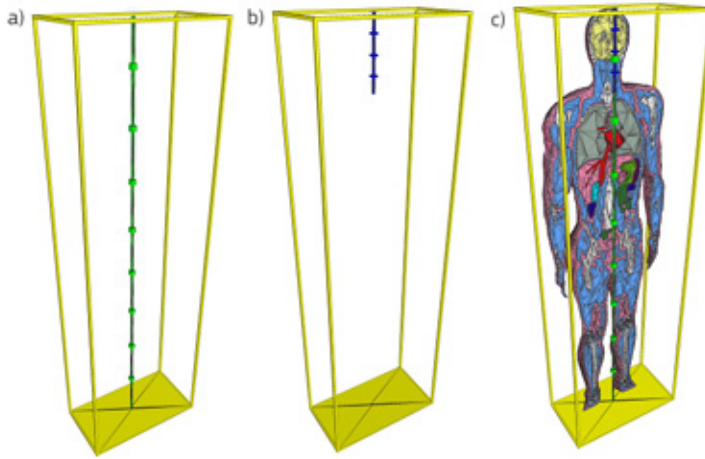
$$B_{avg} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n B_i \quad \text{équation 2}$$

où n désigne le nombre de points de mesure, E_i et B_i désignent respectivement l'intensité du champ électrique et l'induction magnétique mesurées au i^{e} point.

La position de la ligne sur laquelle il y a lieu de calculer la valeur moyenne du champ varie selon que la valeur moyenne dans l'espace qui en découle doit être comparée à une VA basse, à une VA haute ou à une VA pour l'exposition des membres. Les VA hautes visent à assurer une protection contre la stimulation des nerfs périphériques dans la tête et le tronc. Dès lors, s'il est prévu de comparer la valeur E_{avg} ou B_{avg} à la VA haute, un simple scan linéaire des champs sur la hauteur de la tête et du tronc en passant par le centre de la zone projetée sera généralement suffisant. Les VA basses visent à protéger contre les effets sensoriels au niveau du système nerveux central et de la tête. Dès lors, s'il est prévu de comparer la valeur E_{avg} ou B_{avg} à la VA basse, un simple scan linéaire des champs sur la hauteur de la tête et du tronc en passant par le centre de la zone projetée sera généralement adéquat. Enfin, les VA pour l'exposition des membres visent à assurer une protection contre la stimulation des nerfs dans les membres. Dès lors, s'il est prévu de comparer la valeur B_{avg} à la VA basse, un simple scan linéaire des champs sur la hauteur du membre en passant par le centre de la zone projetée sera généralement suffisant.

Pour calculer la moyenne dans l'espace sur les régions de la tête, de la tête et du tronc ou des membres, on considère qu'il convient de prendre au moins trois points de mesure séparés par une distance uniforme. Des mesures de champ supplémentaires, obtenues par exemple par l'utilisation d'un équipement à archivage des données ou calculant lui-même la moyenne spatiale, sont acceptables et peuvent fournir une image plus détaillée de la répartition spatiale du champ.

Illustration D.9 — a) calcul du champ moyen dans l'espace sur une ligne verticale dans la zone occupée par le travailleur, b) calcul du champ moyen dans l'espace sur une ligne verticale dans la zone où se situe la tête du travailleur, c) points de calcul de la moyenne avec vue de coupe du travailleur en place



b) Exposition à des champs électriques et magnétiques compris entre 100 kHz et 300 GHz

Les valeurs moyennes dans l'espace de l'intensité du champ électrique (E_{avg}), de l'induction magnétique (B_{avg}) et de la densité de puissance (W_{avg}) devraient être calculées au moyen des formules suivantes:

$$E_{avg} = \frac{1}{\sqrt{n}} \left[\sum_{i=1}^n E_i^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{équation 3}$$

$$B_{avg} = \frac{1}{\sqrt{n}} \left[\sum_{i=1}^n B_i^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{équation 4}$$

$$W_{avg} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n W_i \quad \text{équation 5}$$

où n désigne le nombre de points de mesure, E_i , B_i et W_i désignent respectivement l'intensité du champ électrique, l'induction magnétique et la densité de puissance mesurées au i^{e} point.

Les VA relatives à l'exposition à des champs électriques et magnétiques compris entre 100 kHz et 300 GHz sont définies en vue de protéger contre les effets néfastes pour la santé causés par l'échauffement du corps. Dès lors, s'il est prévu de comparer la valeur E_{avg} ou B_{avg} à la VA relative aux effets thermiques, un simple scan linéaire sur une ligne verticale, avec un espacement uniforme entre les points, entre le sol et une hauteur de 2 m en passant par le centre de la zone projetée, est suffisant.

Pour calculer une moyenne dans l'espace adéquate pour la plupart des situations d'exposition, on considère qu'il convient de prendre la moyenne d'au moins dix points de mesure séparés par une distance uniforme sur toute la hauteur du travailleur. Les points de mesure de l'intensité du champ sont indiqués sous la forme de cubes verts dans l'illustration D.9.a). Des mesures d'intensité de champ supplémentaires, obtenues

par exemple par l'utilisation d'un équipement à archivage des données ou calculant lui-même la moyenne spatiale, sont acceptables et peuvent fournir une image plus détaillée de la répartition spatiale du champ.

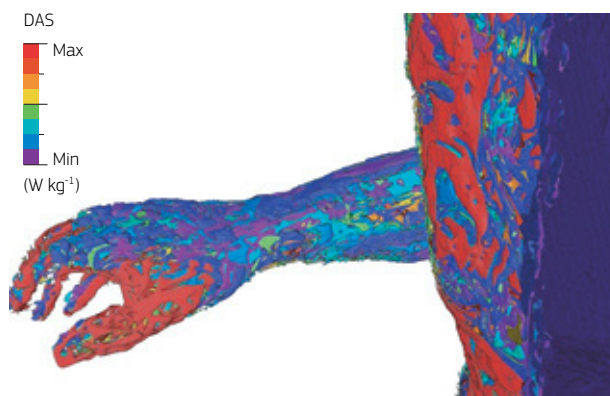
Dans les situations de ce type, les relevés doivent être effectués avec des capteurs de champ placés à au moins 0,2 m de tout objet ou de toute personne afin d'éviter les effets de couplage. On notera que les valeurs moyennes dans l'espace dépendent aussi des caractéristiques spatiales des champs de radiofréquences par rapport à la posture du travailleur exposé.

D.2.2.3. Évaluation dosimétrique en vue d'une comparaison directe avec les VLE

Dans les cas où la source du champ électromagnétique se trouve à quelques centimètres du corps, la directive recommande de déterminer la conformité selon une approche de dosimétrie en vue d'une comparaison directe avec les VLE.

Seuls des calculs numériques permettent de déterminer avec précision les champs électriques induits à l'intérieur du corps aux basses fréquences, ou le DAS et la densité de puissance aux fréquences élevées. La procédure utilisée pour calculer les doses internes a été présentée aux points précédents de la présente annexe. L'illustration D.10 présente un exemple d'évaluation dosimétrique au moyen de calculs numériques.

Illustration D.10 — Détermination des grandeurs de dose, en l'espèce le DAS dans la main et le torse du fait de l'exposition à un câble non blindé, en vue d'une comparaison directe avec les VLE. La directive recommande cette approche afin de démontrer la conformité pour les sources très localisées de champs électromagnétiques situées à quelques centimètres du corps.



D.2.2.3.1. Concepts dosimétriques sous-jacents

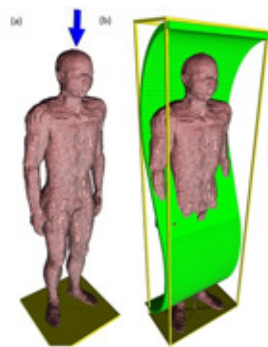
Le concept et la précision des techniques d'évaluation des expositions non uniformes peuvent être examinés au moyen d'exemples.

a) Exemple 1: calcul du champ moyen dans l'espace en cas d'exposition à une onde plane réfléchie

Lorsqu'une onde électromagnétique réfléchie interagit avec l'onde entrante, il peut y avoir production d'une onde stationnaire. En certains endroits, les deux ondes s'annulent et créent un champ nul, tandis qu'aux crêtes de l'onde stationnaire, l'intensité du champ électrique est doublée. Cette situation est représentée par l'illustration D.11.

Ici, un travailleur est exposé à un champ polarisé horizontalement par le haut, le champ étant orienté de l'avant à l'arrière. L'onde est réfléchiée par le plan de sol conducteur vers la zone occupée par le travailleur. Si un seul relevé est effectué dans cette zone, il peut donner une valeur située entre zéro et l'intensité maximale du champ. Il est donc très probable que ce relevé unique de l'intensité du champ ne soit pas représentatif de la situation d'exposition. L'illustration D.12 représente le résultat sur le travailleur de l'exposition à cette onde stationnaire à 200 MHz. On constate que le lieu d'absorption est déterminé principalement par l'emplacement des pics et des creux de l'onde stationnaire.

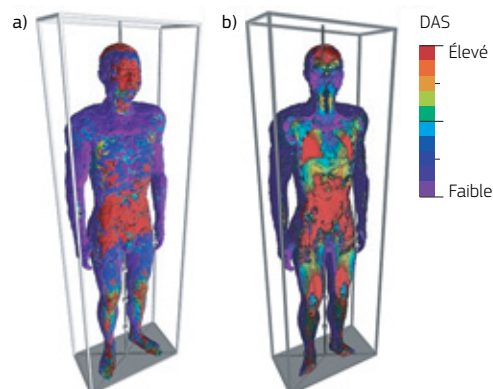
Illustration D.11 — Exemple 1: modèle humain exposé à un champ électromagnétique réfléchi vers la zone qu'il occupe. Cette zone est indiquée sous la forme d'une case jaune. L'onde stationnaire est indiquée en vert



$$E_{spa} = \left[\frac{\int E^2(z) dz}{\int dz} \right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{équation 6}$$

L'intégrale de l'équation 6 nous donne une réponse précise quant à l'intensité moyenne linéaire du champ dans la zone occupée par le travailleur.

Illustration D.12 — Exemple 1, diagrammes de DAS: répartitions des DAS dans : a) le corps entier; b) des coupes transversales d'un modèle humain sous l'effet de l'exposition à un champ électrique polarisé horizontalement, aligné de l'avant à l'arrière, avec rayonnement d'une onde plane à 200 MHz depuis le haut dans une situation avec mise à la terre



Étant donné que la moyenne du champ dans l'espace est calculée au moyen d'un nombre fini de mesures, on peut s'attendre à ce que la valeur calculée se rapproche de la solution exacte à mesure que le nombre de mesures augmente, conformément au calcul par intégrale. C'est en effet le cas de manière générale. Cependant, à des fins d'évaluation de la conformité, une dizaine de points de mesure est généralement suffisante. Même lorsque le nombre de mesures est relativement limité, les différences entre la valeur exacte du champ électrique moyen dans l'espace et la valeur calculée sur la base de x mesures est généralement faible. On notera toutefois, par exception à ce principe, que ce n'est pas le cas lorsqu'un nœud de l'onde stationnaire se trouve à proximité d'un point de mesure.

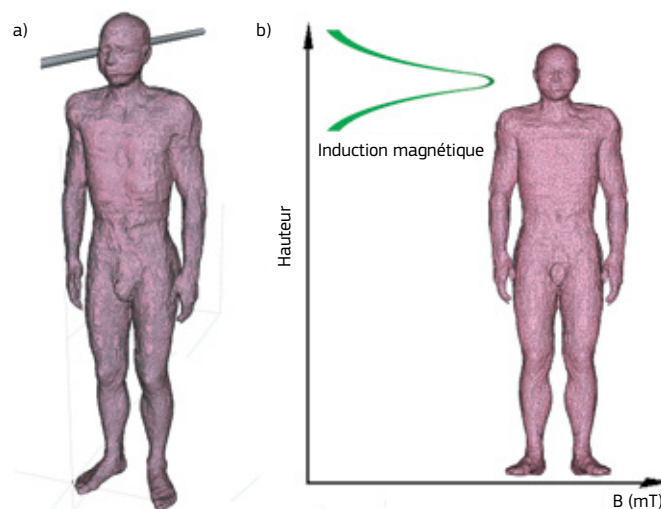
Même s'il est possible de représenter le champ moyen dans l'espace sur la base de dix points de mesure, un plus grand nombre de mesures fournit une valeur plus précise du champ moyen. Plus les points de mesure sont nombreux, plus la précision augmente, c'est pourquoi il est recommandé, dans la mesure du possible, d'utiliser des appareils de mesure modernes capables de relever 200 à 300 valeurs sur toute la longueur du corps (par exemple, une sonde déplacée en dix secondes avec une fréquence d'enregistrement de 32 points par seconde produit 320 mesures).

Lorsque la source d'un champ électromagnétique se trouve à proximité du corps, il se peut que le champ incident dans la zone occupée par le corps ne soit pas uniforme. C'est le cas, par exemple, lorsqu'un fil électrique est placé à proximité de la tête (illustration D.13).

b) Exemple 2: calcul du champ moyen dans l'espace en cas d'exposition à un câble à 50 Hz

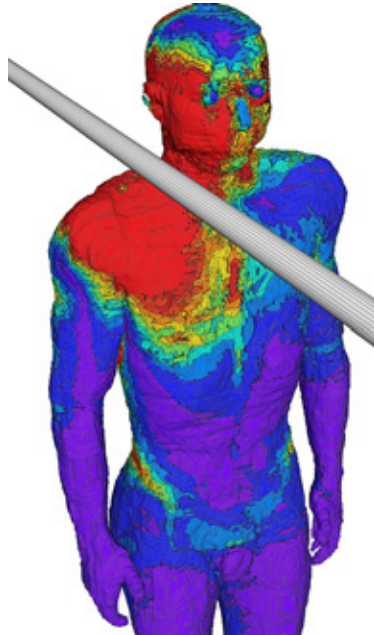
L'illustration D.14 présente la répartition du champ électrique induit en cas d'exposition au niveau de la tête à un fil tendu traversé par un courant de 50 Hz. Comme on le voit, l'absorption du champ électromagnétique est relativement localisée au niveau de la tête et des épaules.

Illustration D.13 — Exemple 2: a) modèle humain exposé à un fil électrique tendu; b) variation du champ avec la hauteur



Les recherches ont montré que, pour les sources localisées de champs à très basse fréquence, 3 points de mesure suffisaient. Pour cet exemple d'un champ de 50 Hz, la différence entre un calcul fondé sur 3 points de mesure au niveau de la tête et un calcul fondé sur un nombre infini de points est d'environ 8 %. Il est évidemment possible de réduire cette différence si on le souhaite en prenant davantage de mesures sur une ligne verticale avec un espacement uniforme.

Illustration D.14 — Exemple 2: répartition du champ électrique induit par l'exposition à un fil électrique à 50 Hz situé près de la tête



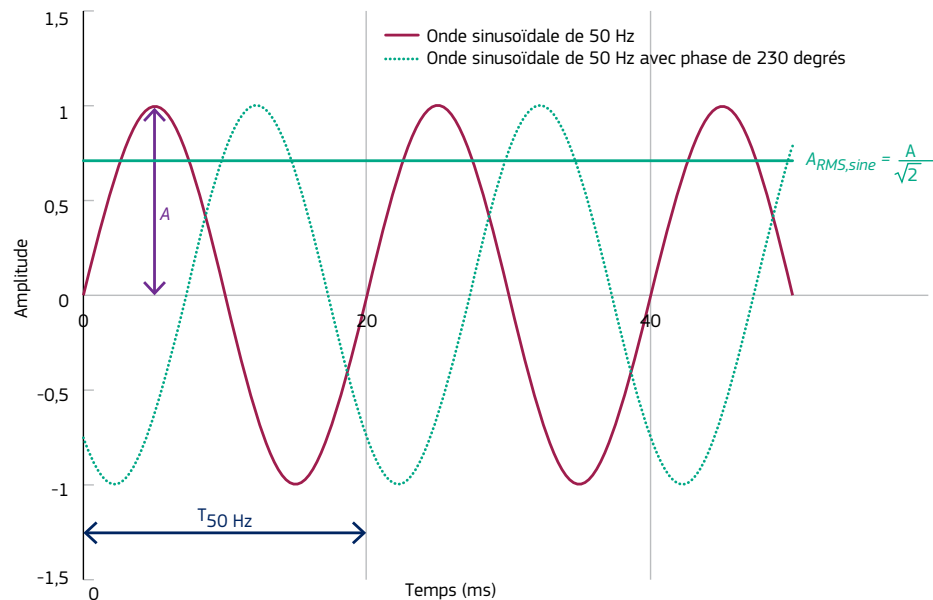
Message clé: calcul de valeurs moyennes dans l'espace

Pour le calcul de valeurs de champ moyennes dans l'espace, trois points de mesure sont généralement adéquats pour évaluer l'exposition à des basses fréquences, ou dix points de mesure pour les relevés de radiofréquences. Le gain en précision diminue de plus en plus avec chaque point de mesure supplémentaire, de sorte qu'il n'est généralement pas nécessaire d'utiliser plus de dix points. Si le calcul de la moyenne dans le temps est difficile pour une situation d'exposition, il convient d'utiliser la valeur de champ mesurée la plus élevée.

D.3. Évaluation des expositions à des fréquences multiples

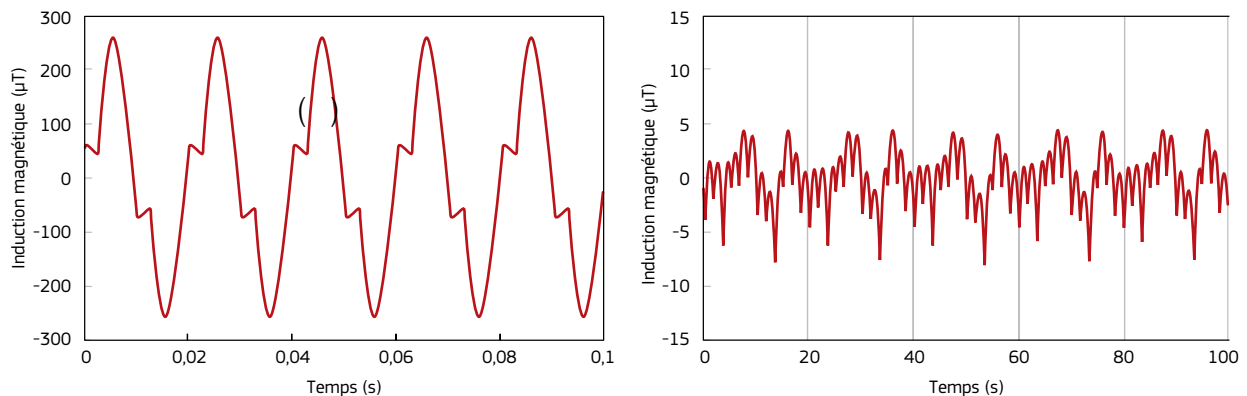
Comme indiqué au chapitre 3 et à l'annexe II, les champs électriques et magnétiques à basse fréquence externes variant dans le temps induisent des champs électriques internes. La variation du champ dans le temps est décrite par une forme d'onde. Pour un champ externe décrit par une onde sinusoïdale simple (graphique D.15), le champ électrique induit dans le corps est proportionnel à l'amplitude du champ externe et à sa fréquence.

Graphique D.15 — Onde sinusoïdale de 50 Hz. Les ondes sinusoïdales sont périodiques et présentent une fréquence f exprimée sous la forme $1/T$, T étant la période de l'onde (par exemple, $T = 20$ ms pour une onde sinusoïdale de 50 Hz). La moyenne quadratique (RMS) d'une onde sinusoïdale correspond à l'amplitude maximale divisée par $\sqrt{2}$. L'effet de phase fait glisser l'onde sinusoïdale le long de l'axe du temps.



Les sources de champs électriques et magnétiques de moins de 10 MHz présentent bien souvent des formes d'onde qui s'écartent (parfois de manière significative) d'une sinusoïde parfaite (graphique D.15) tout en restant périodiques (graphique D.16), c'est-à-dire que la forme d'onde se répète dans le temps. Ces types de formes d'ondes complexes correspondent à l'addition d'une série d'ondes sinusoïdales de fréquences différentes que l'on appelle typiquement «composantes spectrales». Pour une forme d'onde donnée, chacune de ces composantes spectrales est décrite par une amplitude et une phase. À titre d'analogie, une couleur donnée peut être décomposée en différentes quantités de couleurs primaires (rouge, vert et bleu). La couleur correspond à la forme d'onde, le rouge, le vert et le bleu sont les composantes spectrales, et l'intensité de chaque couleur primaire correspond à l'amplitude de chaque composante spectrale. Le spectre de la forme d'onde fournit les informations spectrales (fréquences, amplitudes, phases). Il est généralement obtenu par une analyse de Fourier sur la forme d'onde, ou par mesure directe au moyen d'un instrument à bande étroite (mais ce dernier ne fournit pas nécessairement d'informations sur la phase).

Graphique D.16 — Exemple de formes d'onde complexes d'induction magnétique autour de systèmes de détection des fissures. À droite, une périodicité de 20 ms est mise en exergue par un quadrillage pointillé vertical.



D.3.1. Effets non thermiques (entre 1 Hz et 10 MHz)

L'évaluation du respect des VA (et VLE) aux basses fréquences (inférieures à 10 MHz) peut être effectuée de différentes façons, certaines méthodes étant plus prudentes que d'autres, mais plus faciles à appliquer.



Message clé: évaluation de fréquences multiples

La méthode utilisant la technique de crête pondérée dans le domaine temporel est la méthode de référence recommandée par la directive CEM. Il est possible d'utiliser d'autres méthodes, comme la méthode des fréquences multiples décrite au point D.3.1.2, pour autant que ces méthodes donnent des résultats plus ou moins équivalents (ou plus prudents).

D.3.1.1. La méthode de mesure utilisant la technique de crête pondérée

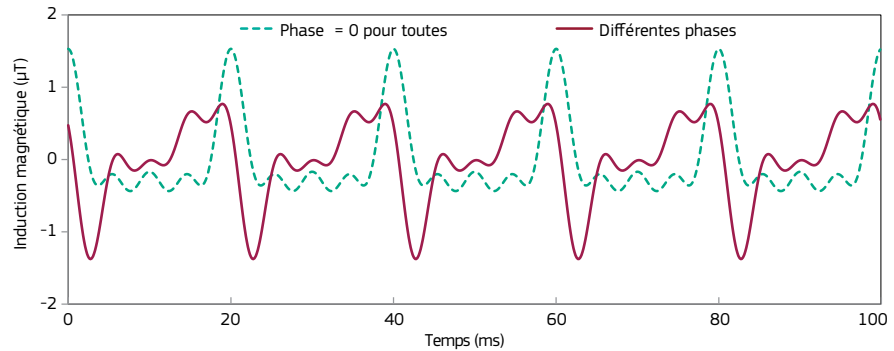
La méthode utilisant le technique de crête pondérée (weighted peak method, WPM) tient compte à la fois de l'amplitude et des phases des composantes spectrales composant le signal (voir le graphique D.17 pour l'effet des phases spectrales sur la forme d'onde et l'indice d'exposition). On parle de «crête pondérée» parce que la forme d'onde est pondérée par les VA dépendant des fréquences et que l'amplitude maximale de la forme d'onde pondérée donne l'indice d'exposition. La pondération (le filtrage) peut se faire dans le domaine des fréquences ou le domaine temporel. Cette méthode convient également pour évaluer le respect des valeurs limites d'exposition (VLE) relatives aux effets sensoriels et aux effets sur la santé.



Message clé: indice d'exposition (IE)

L'indice d'exposition représente l'exposition observée divisée par la valeur limite. Si l'indice d'exposition est inférieur à 1, l'exposition respecte les valeurs limites.

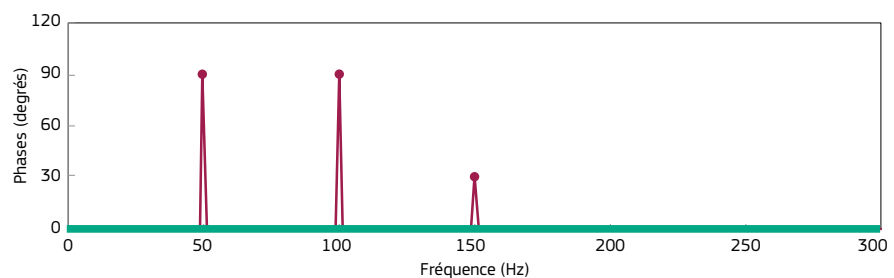
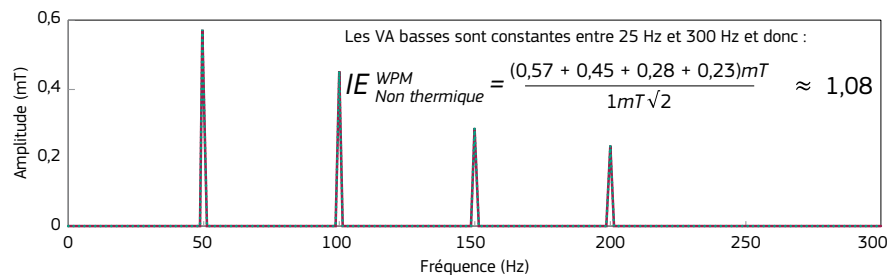
Graphique D.17 — Exemple de l'effet des phases des composantes spectrales sur la forme d'onde (graphique supérieur). Les deux formes d'onde se composent d'ondes cosinusoïdales à 50 Hz, 100 Hz, 150 Hz et 200 Hz (graphique inférieur). La seule différence entre les deux formes d'onde est que, pour l'une, toutes les phases des quatre composantes spectrales ont été fixées à 0 (ligne pointillée verte), tandis que les phases des trois composantes spectrales de l'autre (ligne rouge continue) ont été modifiées (graphique du milieu).



Les VA basses sont constantes entre 25 Hz et 300 Hz et donc pour toutes les VA :

$$\text{Toutes phases 0 : } IE_{\text{Non thermique}}^{\text{WPM}} = \frac{1,53 \text{ mT}}{1 \text{ mT} \sqrt{2}} \approx 1,08 \Rightarrow \text{Non conforme}$$

$$\text{Différentes phases : } IE_{\text{Non thermique}}^{\text{WPM}} = \frac{1,38 \text{ mT}}{1 \text{ mT} \sqrt{2}} \approx 0,97 \Rightarrow \text{Conforme}$$



Technique de crête pondérée dans le domaine temporel

Pour appliquer la technique de crête pondérée dans le domaine temporel, la pondération est effectuée au moyen de filtres RC avec des gains variables selon la fréquence qui reflètent la façon dont la VA dépend de l'amplitude et de la fréquence (illustration D.18). L'utilisation de filtres RC entraîne de légères différences d'amplitude et de phase du filtre par rapport aux valeurs individuelles indiquées dans la directive ⁽¹⁾ (graphiques D.19 et D.20), mais les filtres RC représentent un comportement biologique plus réaliste et la CIPRNI estime ces différences acceptables (CIPRNI, 2010; Jokela, 2000).

⁽¹⁾ L'amplitude ponctuelle du filtre est l'inverse de la VA, et la phase ponctuelle du filtre est donnée par l'équation 7.

Illustration D.18 — Étapes de calcul pour la technique de crête pondérée dans le domaine temporel

Technique de crête pondérée dans le domaine temporel

Filtrez le signal au moyen de filtres de type RC (analogiques ou numériques) de façon à obtenir une forme d'onde pondérée

Multipliez la forme d'onde pondérée par le gain adéquat afin d'obtenir une forme d'onde à l'échelle

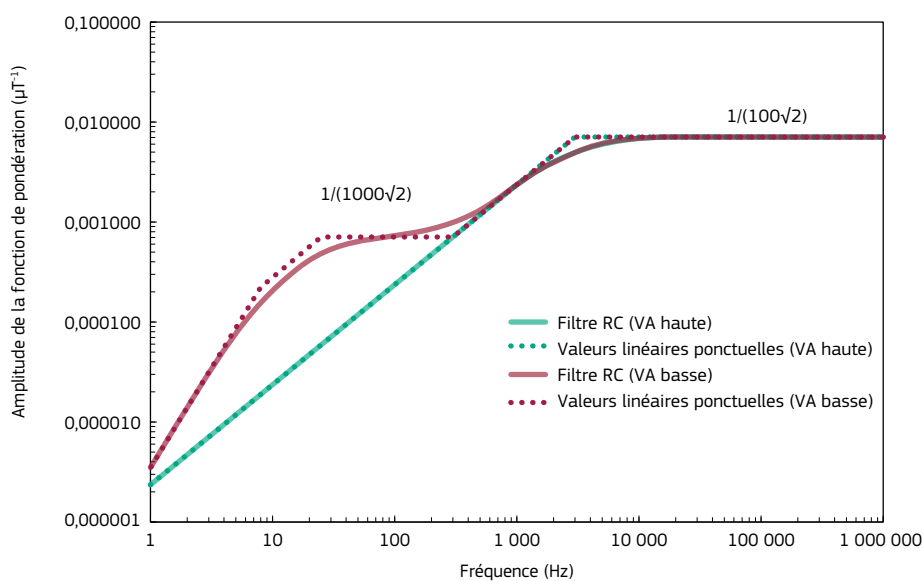
Prenez la valeur absolue de la forme d'onde

L'indice d'exposition correspond à la crête de la forme d'onde pondérée

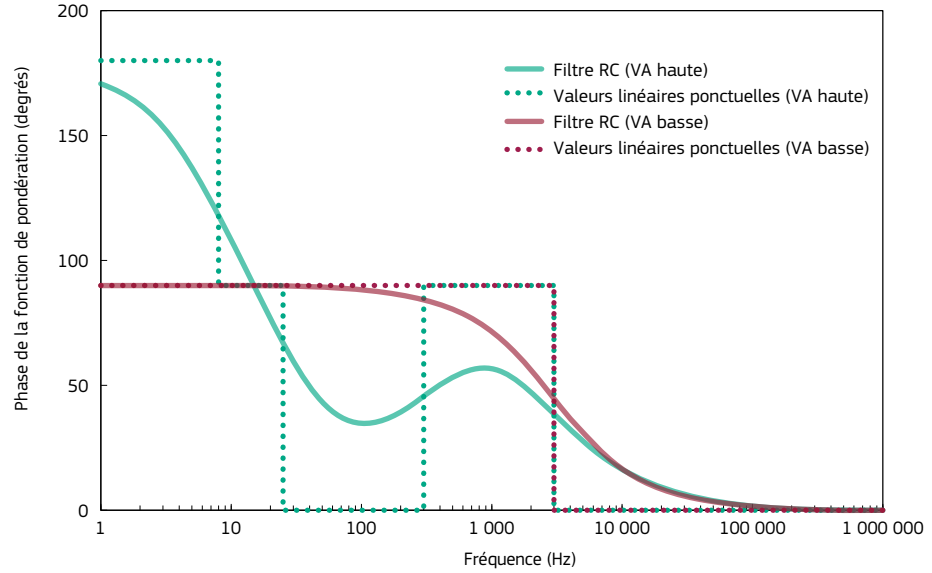
Procédez à cette analyse pour chaque grandeur pertinente (champ électrique, champ magnétique, courant de contact)

Le filtrage dans le domaine temporel peut être effectué en appliquant un post-traitement à la forme d'onde mesurée ou de façon numérique, par exemple au moyen d'un équipement disponible dans le commerce et possédant cette capacité de filtrage (cette fonctionnalité est parfois appelée *Shaped Time Domain* ou STD). En cas d'utilisation d'équipement disponible dans le commerce, l'utilisateur doit s'assurer que l'équipement en question utilise les VA concernées (par opposition à d'autres normes d'exposition ou méthodes).

Graphique D.19 — Amplitude de la fonction de pondération pour la technique de crête pondérée: valeurs linéaires ponctuelles utilisées dans le domaine de fréquence (tel que défini au point ci-dessous) et valeurs approximatives (filtres RC) utilisées dans le domaine temporel



Graphique D.20 — Phase de la fonction de pondération pour la technique de crête pondérée: valeurs linéaires ponctuelles utilisées dans le domaine de fréquence (tel que défini au point ci-dessous) et valeurs approximatives (filtres RC) utilisées dans le domaine temporel



Technique de crête pondérée dans le domaine de fréquence

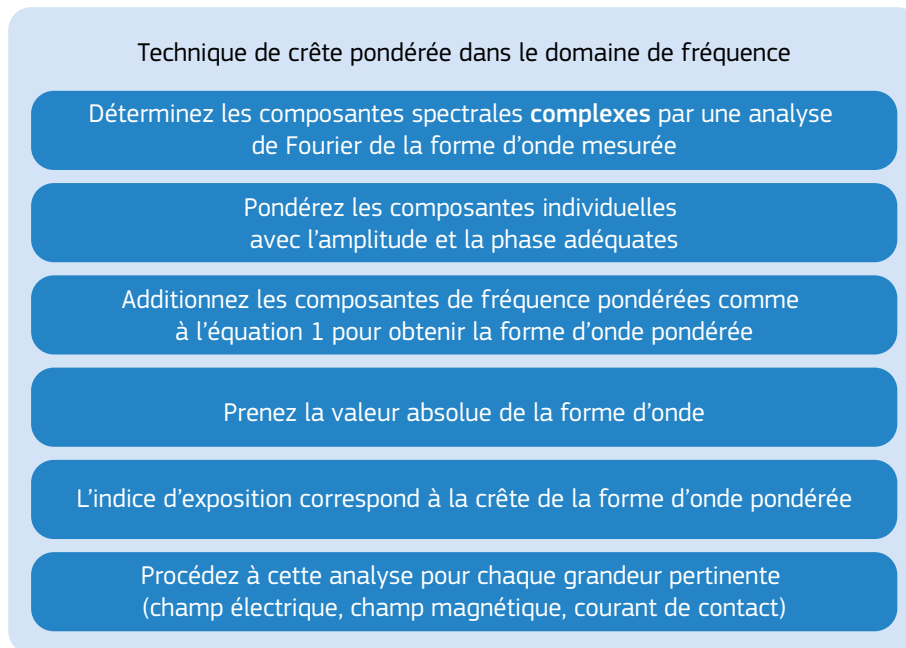
L'illustration D.21 présente les étapes pour l'application de la technique de crête pondérée dans le domaine de fréquence. Celle-ci est également décrite dans les lignes directrices de la CIPRNI de 2010 (CIPRNI, 2010). Pour calculer la forme d'onde pondérée, l'amplitude de chaque composante spectrale est divisée par les VA concernées (ou les VLE concernées si les amplitudes analysées sont celles de champs électriques internes), et une phase φ_f est ajoutée à la phase de chaque composante spectrale. Les informations spectrales pondérées sont ensuite reconverties dans le domaine temporel au moyen de:

$$IE_{non-thermal}^{WP} = \text{Maximum} \left\{ \left| \sum_f \frac{|A_f|}{AL_f \sqrt{2}} * \cos(2\pi f t + \theta_f + \varphi_f) \right| \right\} \quad \text{équation 7}$$

où $|A_f|$ et θ_f désignent respectivement l'amplitude maximale (intensité du champ électrique ou induction magnétique) et la phase de la composante spectrale à la fréquence f et AL_f désigne la VA pertinente à cette fréquence. La phase φ_f est une fonction de fréquence définie à l'annexe des lignes directrices de 2010 de la CIPRNI (CIPRNI, 2010).

$$\varphi_f = \begin{cases} 180^\circ, f \text{ or } AL_f \propto 1/f^2 \\ 90^\circ, f \text{ or } AL_f \propto 1/f \\ 0^\circ, f \text{ or } AL_f = \text{constant} (\propto f^0) \\ -90^\circ, f \text{ or } AL_f \propto f \end{cases} \quad \text{équation 8}$$

Illustration D.21 — Étapes de calcul pour la technique de crête pondérée dans le domaine de fréquence



Il s'agit des valeurs ponctuelles visées au graphique D.20. Comme indiqué ci-dessus, cette méthode convient pour évaluer le respect des valeurs limites d'exposition (VLE) relatives aux effets sensoriels et aux effets sur la santé. Pour évaluer le respect des VLE, $|A_f|$ et θ_f désignent l'amplitude et la phase des champs électriques induits (internes) et les VA sont remplacées par des VLE aux équations 7 et 8. Comme dans les calculs relatifs aux effets non thermiques, la $\sqrt{2}$ est supprimée de l'équation en cas d'utilisation de VLE, puisque ces valeurs sont des valeurs maximales et non des moyennes quadratiques.

D.3.1.2. Autre méthode: règle des fréquences multiples

Au lieu de la technique de crête pondérée, il est possible d'utiliser la règle des fréquences multiples (RFM), plus simple à appliquer mais plus prudente. Dans les cas où des expositions proches des VA (ou VLE) aux basses fréquences sont probables, il se peut que cette méthode ne convienne pas. Elle aboutit en effet à des estimations très prudentes parce qu'elle ignore les phases des composantes spectrales et suppose que les ondes sinusoïdales des composantes spectrales coïncident, de sorte que le champ total change rapidement dans le temps (CIPRNI, 2010).

La méthode RFM est décrite aux équations 3 à 6 des lignes directrices de la CIPRNI (CIPRNI, 2010), mais il convient d'utiliser les VA et les VLE au lieu des niveaux de référence et des restrictions de base respectivement:

$$IE_{non-thermal, X}^{MFR} = \sum_{f=1 \text{ Hz}}^{10 \text{ MHz}} \frac{X_f}{AL(X)_f} \quad \text{équation 9}$$

où X_f désigne l'amplitude (moyenne quadratique), à la fréquence f , de la grandeur externe mesurée (ou calculée) et où $AL(X)_f$ désigne la VA pertinente à la fréquence f . On entend par «VA pertinente» la VA à la fréquence de la composante spectrale, mais aussi le type de VA requis pour l'évaluation (intensité du champ électrique, induction magnétique, VA basse, haute, de contact) tel que défini au tableau B.2 de l'annexe II de la directive. En cas d'évaluation par rapport aux VLE, X_f désigne l'amplitude de l'intensité du champ électrique induit (pic d'intensité et non moyenne quadratique) à la fréquence f et $AL(X)_f$ est remplacée par ELV_f . L'illustration D.22 présente les étapes à suivre pour calculer l'indice d'exposition selon la méthode d'addition de fréquences multiples.

Illustration D.22 — Étapes de calcul pour la règle des fréquences multiples**Méthode alternative :****Règle des fréquences multiples (simple à appliquer mais prudente)**

Déterminez l'amplitude des composantes spectrales par des mesures de spectre ou une analyse de Fourier de la forme d'onde mesurée

Calculez les différents indices d'exposition (IE) à chaque fréquence

Additionnez tous les IE individuels sur la gamme de fréquences requise, comme à l'équation 3

Procédez à cette analyse pour chaque grandeur pertinente (champ électrique, champ magnétique, courant de contact)

La méthode d'addition de fréquences multiples est relativement simple, et de nombreux équipements sont en mesure d'effectuer cette évaluation automatiquement pour les lignes directrices CIPRNI. Ces équipements conviennent pour évaluer le respect des VA pour autant que l'ensemble correct de VA ait été chargé dans l'appareil. Cette méthode convient également pour évaluer le respect des valeurs limites d'exposition (VLE) relatives aux effets sensoriels et aux effets sur la santé.

Les tableaux D.5.a à D.5.d présentent une comparaison des indices d'exposition au moyen de la technique de crête pondérée dans le domaine de fréquence et au moyen de la méthode des fréquences multiples, ainsi que des indices obtenus directement au moyen de la fonctionnalité STD (crête pondérée dans le domaine de temps) d'une sonde disponible dans le commerce.

Tableau D.5.a — Machine à souder par points 50 Hz (50 kVA). Mesures prises à une distance de 0,3 m, à la hauteur du point de soudage

Méthode	VA basses	VA hautes	VA pour l'exposition des membres
RFM ^(a)	3,18	1,70	0,57
Crête pondérée ^(a)	0,94	0,45	0,15
STD ^(b)	0,83	0,34	0,13

^(a) Les calculs ont été effectués dans le domaine de fréquence sur la base d'une trace avec $N = 4096$, $T = 0,84$ s (c'est-à-dire que la fréquence maximale prise en considération était d'environ 2 kHz).

^(b) Les mesures STD ont été effectuées au moyen d'un équipement possédant une gamme de fréquences comprise entre 1 Hz et 400 kHz.

Tableau D.5.b — Poste de soudage 2 kHz (mesures prises à une distance de 0,33 m du centre de la pince de soudage)

Méthode	VA basses	VA hautes	VA pour l'exposition des membres
RFM ^(a)	4,52	3,44	1,15
Crête pondérée ^(a)	1,08	0,81	0,27
STD ^(b)	–	1,00	–

^(a) Les calculs ont été effectués dans le domaine de fréquence sur la base d'une trace avec N = 4096, T = 0,5 s (c'est-à-dire que la fréquence maximale prise en considération était de 4 kHz).

^(b) Les mesures STD ont été effectuées au moyen d'un équipement possédant une gamme de fréquences comprise entre 1 Hz et 400 kHz.

Tableau D.5.c — Stimulateur magnétique transcrânien (SMT)

Méthode	VA basses	VA hautes	VA pour l'exposition des membres
RFM ^(a)	21,88	21,81	7,27
Crête pondérée ^(a)	13,43	13,23	4,41
STD ^(b)	–	12,22	4,11

^(a) Les calculs ont été effectués dans le domaine de fréquence sur la base d'une trace avec T = 5 ms (c'est-à-dire que la fréquence maximale prise en considération était de 409 kHz).

^(b) Les mesures STD ont été effectuées au moyen d'un équipement possédant une gamme de fréquences comprise entre 1 Hz et 400 kHz.

Tableau D.5.d — Machine à souder au galet de 100 kVA (mesure prise à 28 cm devant et sous le point de soudage)

Méthode	VA basses	VA hautes	VA pour l'exposition des membres
RFM ^(a)	4,30	2,59	0,86
Crête pondérée ^(a)	1,09	0,61	0,20
STD ^(a)	1,13	0,59	0,16

^(a) Les calculs ont été effectués dans le domaine de fréquence sur la base d'une trace avec T = 333 ms (c'est-à-dire que la fréquence maximale prise en considération était de 6,1 kHz).

^(b) Les mesures STD ont été effectuées au moyen d'un équipement possédant une gamme de fréquences comprise entre 1 Hz et 400 kHz.

S'il existe des composantes spectrales non négligeables au-delà de 100 kHz, il convient de prendre en considération les effets thermiques et de les évaluer séparément des effets non thermiques. Cet aspect est abordé au point suivant.

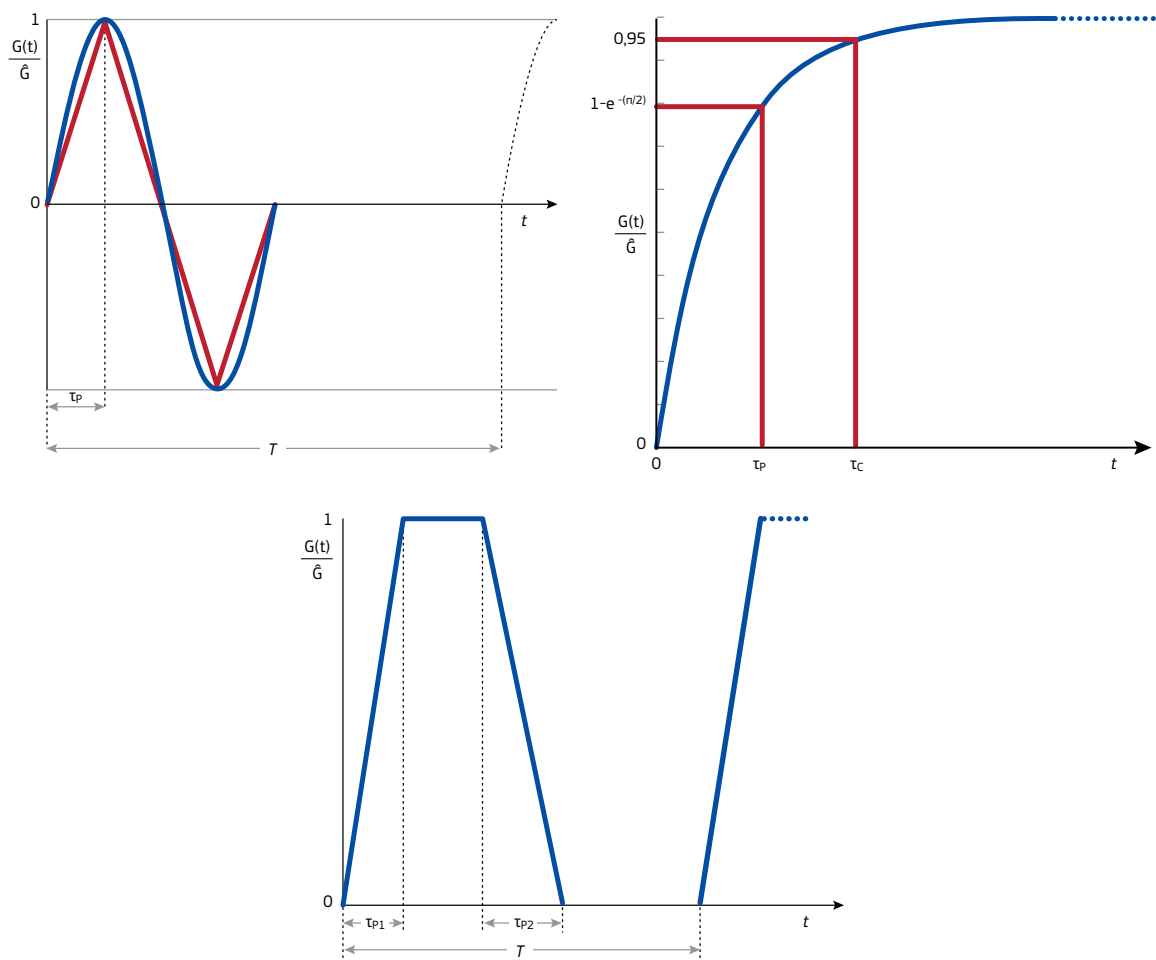
D.3.1.3. Autre méthode: évaluation simple sur une base physiologique

Dans le domaine de temps, les champs pulsés peuvent être décomposés en composantes sinusoïdales, trapézoïdales, triangulaires ou exponentielles simples, multiples ou de champ constant (voir le graphique D.23). De ce fait, il est possible de procéder à une évaluation simplifiée dans la zone des basses fréquences au moyen des paramètres décrits ci-après (Heinrich, 2007). Cette méthode se fonde sur la physiologie, et en particulier sur le mécanisme de stimulation, comme suit:

- 1) les effets de stimulation se produisent uniquement en cas de dépassement du seuil bien défini;
- 2) les impulsions inférieures à ce seuil, même très longues, ne peuvent engendrer aucune stimulation;
- 3) si les impulsions sont très courtes, des intensités élevées sont nécessaires.

La procédure d'évaluation est reprise dans le règlement relatif à la prévention des accidents de l'assurance sociale allemande contre les accidents (BGV B11, 2001). On notera cependant que ce règlement de 2001 n'utilise pas les valeurs déclenchant l'action ni les valeurs limites d'exposition de la nouvelle directive 2013/35/UE.

Graphique D.23 — Courbes de signal (impulsions) de forme sinusoïdale (en haut à gauche), exponentielle (en haut à droite) et trapézoïdale ou triangulaire (en bas)



Les champs liés à ces types de courbes de signal (graphique D.23) sont décrits par les paramètres supplémentaires suivants:

G	Au lieu de la grandeur G , utilisez l'intensité du champ électrique E , l'intensité du champ magnétique H ou l'induction magnétique B
	$G(t)$ désigne la fonction temporelle, $\hat{G}$ la valeur de crête
T	Durée de l'impulsion ou largeur de l'impulsion avec la rupture suivante

τ_p	Durée dans le temps d'une modification de champ pour les courbes de signal sinusoïdales, triangulaires ou trapézoïdales, allant de zéro à la valeur de crête positive ou négative ou de la valeur de crête positive ou négative à zéro respectivement. L'analyse de τ_p pour les courbes de signal exponentielles doit être réalisée selon le diagramme ci-dessus. Si les durées dans le temps individuelles τ_{pi} diffèrent, toutes ces valeurs τ_{pi} doivent être incluses pour la suite des calculs.
T_I	Temps d'intégration, où $T_I = \begin{cases} T & \text{where } T \leq 1 \text{ s} \\ 1 \text{ s} & \text{in all other cases} \end{cases}$
τ_{pmin}	La valeur la moins élevée de toutes les durées dans le temps τ_{pi} : $\tau_{pmin} = \min_i (\tau_{pi})$
τ_c	Grandeur auxiliaire pour définir les courbes de signal exponentielles Si les durées dans le temps individuelles τ_{ci} diffèrent, toutes ces valeurs τ_{ci} doivent être incluses pour la suite des calculs.
τ_D	Somme de la durée de toutes les variations de champ i au cours d'un intervalle de temps T_p pour: — les courbes de signal sinusoïdales, triangulaires et trapézoïdales: $\tau_D = \sum_i \tau_{pi}$ — les courbes de signal exponentielles: $\tau_D = \sum_i \tau_{ci}$
f_p	Fréquence d'une variation de champ, où: $f_p = \frac{1}{4 \cdot \tau_{pmin}}$
V, V_{max}	Facteur de pondération, facteur de pondération maximal $V = \begin{cases} \sqrt{\frac{T_I}{\tau_D}} & \text{where } \sqrt{\frac{T_I}{\tau_D}} \leq V_{max} \\ V_{max} = 2.6 & \text{in all other cases} \end{cases}$
$\left \frac{dB(t)}{dt} \right _{p,max}$	Dérivée temporelle maximale de l'induction magnétique $\left \frac{dB(t)}{dt} \right _{p,max} = \omega \hat{B} \cdot V = 2\pi \cdot f_p \sqrt{2} \cdot B \cdot V$
$\left \frac{dB(t)}{dt} \right _{p,mean}$	Dérivée temporelle moyenne de l'induction magnétique $\left \frac{dB(t)}{dt} \right _{p,mean} = \frac{\omega \hat{B} \cdot V}{\pi/2} = 4 \cdot f_p \sqrt{2} \cdot B \cdot V$

Tableau D.6 — Valeurs déclenchant l'action de la dérivée temporelle maximale de l'induction magnétique $\left| \frac{dB(t)}{dt} \right|_{p,mean}$ en (T/s) conformément au tableau B.2 de la directive 2013/35/UE

Gamme de fréquences	VA basse	VA haute	VA pour une exposition des membres à un champ magnétique localisé
1 Hz < f_p < 8 Hz	$1,8 \cdot V/f_p$	$2,7 \cdot V$	$8 \cdot V$
8 Hz < f_p < 25 Hz	$0,2 \cdot V$	$2,7 \cdot V$	$8 \cdot V$
25 Hz < f_p < 300 Hz	$0,01 \cdot f_p \cdot V$	$2,7 \cdot V$	$8 \cdot V$
300 Hz < f_p < 3 kHz	$2,7 \cdot V$	$2,7 \cdot V$	$8 \cdot V$
3 kHz < f_p < 10 MHz	$0,001 \cdot f_p \cdot V$	$0,001 \cdot f_p \cdot V$	$0,003 \cdot f_p \cdot V$

Tableau D.7 — Valeurs déclenchant l'action de la dérivée temporelle moyenne de l'induction magnétique en (T/s) conformément au tableau B.2 de la directive 2013/35/UE, moyenne calculée sur l'intervalle de temps τ_p

Gamme de fréquences	VA basse	VA haute	VA pour une exposition des membres à un champ magnétique localisé
1 Hz < f_p < 8 Hz	$1,15 \cdot V/f_p$	$1,7 \cdot V$	$5,1 \cdot V$
8 Hz < f_p < 25 Hz	$0,13 \cdot V$	$1,7 \cdot V$	$5,1 \cdot V$
25 Hz < f_p < 300 Hz	$6 \cdot 10^{-3} \cdot f_p \cdot V$	$1,7 \cdot V$	$5,1 \cdot V$
300 Hz < f_p < 3 kHz	$1,7 \cdot V$	$1,7 \cdot V$	$5,1 \cdot V$
3 kHz < f_p < 10 MHz	$6 \cdot 10^{-4} \cdot f_p \cdot V$	$6 \cdot 10^{-4} \cdot f_p \cdot V$	$2 \cdot 10^{-3} \cdot f_p \cdot V$

Si les valeurs déclenchant l'action sont appliquées pour cette procédure, les valeurs limites d'exposition de la directive 2013/35/UE sont automatiquement respectées.

Les facteurs de pondération V , V_{max} et les tableaux de valeurs déclenchant l'action pour cette procédure d'évaluation sont adaptés aux exigences de la directive 2013/35/UE.

D.3.2. Effets thermiques (entre 100 kHz et 300 GHz)

D.3.2.1. Évaluation par rapport aux VA

Les effets thermiques sont pertinents pour les champs électromagnétiques possédant des composantes spectrales non négligeables au-delà de 100 kHz, et l'IE total relatif aux effets thermiques est défini dans [CIPRNI, 1998]:

$$IE_{thermal,X} = \sum_{f=100 \text{ kHz}}^{300 \text{ GHz}} \frac{X_f^2}{AL(X)_{thermal,X}^2} \quad \text{équation 10}$$

où X_f désigne l'amplitude (moyenne quadratique) à la fréquence f et X représente l'intensité du champ électrique, l'induction magnétique ou le courant de contact. $AL(X)_{thermal,f}$ est la valeur déclenchant l'action pour les effets thermiques à la fréquence f , telle que définie aux tableaux B1, B2 et B3 de l'annexe III de la directive. Si la

comparaison est effectuée par rapport à l'intensité d'un champ, X_f^2 doit représenter une moyenne calculée sur un intervalle de six minutes pour les fréquences inférieures à 6 GHz, ou une durée définie par $\tau = 68/f^{1.05}$ minutes (f étant exprimée en GHz) pour les fréquences de plus de 6 GHz. Pour les courants de contact, l'addition est effectuée uniquement entre 100 kHz et 110 MHz et aucune moyenne dans le temps n'est nécessaire.

La pente de la forme d'onde du CEM n'a pas d'incidence sur l'échauffement des tissus, c'est pourquoi la technique de crête pondérée n'est pas utilisée pour évaluer le respect des valeurs déclenchant l'action définies afin d'éviter les effets thermiques.

Pour les pulsations RF dont les fréquences porteuses sont supérieures à 6 GHz, la crête de densité de puissance moyenne définie sur la largeur de l'impulsion doit être inférieure à 50 kWm⁻², soit 1 000 fois la VA pour la densité de puissance (tableau B.1, annexe III de la directive).

Tout comme dans les calculs relatifs aux effets non thermiques, lorsque les champs externes varient considérablement dans le corps du travailleur, il peut s'avérer nécessaire d'inclure une moyenne des niveaux d'exposition dans l'espace adaptée à la partie du corps concernée par la valeur limite utilisée. Cet aspect est abordé au point D.2 ci-dessus.

Évaluation par rapport aux VA pour les courants induits dans les extrémités (entre 10 MHz et 110 MHz)

L'évaluation des courants induits dans les extrémités utilise la même équation que pour les champs électriques et magnétiques, mais seules les fréquences situées entre 10 MHz et 110 MHz sont prises en considération. On notera que I_{Lp}^2 , le carré du courant induit dans les extrémités à la fréquence f , doit désigner une valeur moyenne déterminée sur un intervalle de six minutes.

D.3.2.2. Évaluation par rapport aux VLE

Évaluation par rapport aux VLE relatives aux effets sur la santé (entre 100 kHz et 300 GHz)

L'indice d'exposition pour les effets thermiques sur la santé, tel que décrit par [CIPRNI, 1998], est déterminé par:

$$IE_{thermal,ELV} = \frac{1}{ELV(SAR)} \sum_{f=100 \text{ kHz}}^{6 \text{ GHz}} W_i \langle SAR_f \rangle + \frac{1}{ELV(S)} \sum_{f>6 \text{ GHz}}^{300 \text{ GHz}} \langle S_f \rangle \quad \text{équation 11}$$

où

$\langle SAR_f \rangle$ désigne la valeur moyenne (sur un intervalle de six minutes) du débit d'absorption spécifique (DAS) à la fréquence f , en W/kg;

$ELV(SAR)$ désigne la VLE relative au débit d'absorption spécifique (DAS) en W kg⁻¹, telle que définie au tableau A.1 de l'annexe III de la directive;

$\langle S_f \rangle$ désigne la densité de puissance moyenne à la fréquence f , en Wm⁻², calculée sur 20 cm² de surface exposée et sur une période définie par $\tau = 68/f^{1.05}$ (f étant exprimée en GHz);

$ELV(S)$ désigne la VLE relative à la densité de puissance, égale à 50 Wm⁻², telle que définie au tableau A.1 de l'annexe III de la directive.

Pour évaluer le DAS localisé, par opposition à la valeur moyenne sur le corps entier, il y a lieu de calculer le DAS moyen sur 10 g de tissus contigus. Le DAS maximal ainsi obtenu doit être la valeur utilisée dans l'équation 10. Le point D.2 fournit de plus amples informations concernant le calcul de la moyenne.

Évaluation par rapport aux VLE relatives aux effets sensoriels (entre 300 MHz et 6 GHz)

L'exposition de la tête à un rayonnement de micro-ondes pulsées d'une fréquence comprise entre 300 MHz et 6 GHz peut provoquer des effets sensoriels auditifs. Afin d'éviter de tels effets, il convient de respecter les VLE relatives à l'absorption spécifique, avec un indice d'exposition défini par:

$$IE_{\text{auditory ELV}} = \frac{1}{ELV(SAR)} \sum_{f=300 \text{ MHz}}^{6 \text{ GHz}} SA_f \quad \text{équation 12}$$

où

SA_f désigne l'absorption spécifique (AS) à la fréquence f dans la tête, en J kg^{-1} , supposée égale à la valeur maximale des valeurs moyennes sur 10 g de tissus, et où $ELV(SA)$ est égale à 10 mJ kg^{-1} .

D.3.3. Évaluation des CEM dont la fréquence est comprise entre 100 kHz et 10 MHz

En cas de présence de signaux RF dont la fréquence est comprise entre 100 kHz et 10 MHz, y compris les harmoniques de signaux fondamentaux d'une fréquence inférieure à 100 kHz, il y a lieu de démontrer le respect des valeurs limites relatives aux effets thermiques et aux effets non thermiques. Cette preuve peut être apportée par une comparaison entre les niveaux de champs internes et les VLE, mais il est plus habituel de comparer les niveaux de champs externes aux VA adéquates.

Les graphiques 6.2 et 6.7 indiquent l'évaluation requise en fonction de la gamme de fréquences de la source (pour assurer la conformité aux VA et VLE respectivement). Dans de nombreux cas, les caractéristiques de fréquence de la source font qu'un seul type d'effet (thermique ou non thermique) est pertinent. Toutefois, lorsque la fréquence de la source est comprise entre 100 kHz et 10 MHz (gamme indiquée en rouge dans les graphiques 6.2 et 6.7), ces deux effets sont pertinents et il y a donc lieu de respecter les valeurs concernées pour chacun d'eux, comme l'indique le tableau D.8 (pour les VA).

Prenons par exemple le cas d'un environnement où il est établi qu'un travailleur est exposé à un signal fondamental de 75 kHz accompagné d'harmoniques importantes à 225 kHz, 375 kHz et 525 kHz. Toutes ces fréquences sont inférieures à 10 MHz et doivent donc être intégrées à l'évaluation de l'indice d'exposition non thermique pour les champs électriques, les champs magnétiques et, le cas échéant, les courants de contact à toutes les fréquences relevées sur toute la gamme comprise entre 1 Hz et 10 MHz. Il se peut que ces valeurs intègrent une contribution provenant de signaux de fréquence d'alimentation (50/60 Hz) et des harmoniques correspondantes. En outre, les signaux de 225 kHz, 375 kHz et 525 kHz doivent être inclus dans l'évaluation de l'indice d'exposition thermique pour cet environnement, puisque ces fréquences se situent dans la gamme comprise entre 100 kHz et 300 GHz. Toutes les autres fréquences relevées à l'intérieur de cette gamme doivent également être intégrées au calcul de l'indice d'exposition thermique. La conformité aux VA pour les effets thermiques peut être évaluée au moyen des valeurs relatives à l'intensité des champs électriques ou des champs magnétiques externes, mais il convient aussi, le cas échéant, d'évaluer l'indice

d'exposition aux courants de contact. Tous les indices d'exposition (non thermiques, thermiques et relatifs aux courants de contact) doivent être inférieurs à 1. Dans le cas contraire, il convient d'imposer des contraintes au niveau du travailleur ou de la source afin de garantir la conformité. Il est parfois impossible de démontrer le respect des VA. Il y a alors lieu de démontrer si possible le respect des VLE, mais cette approche peut engendrer des coûts considérables.

Tableau D.8 — Liste non exhaustive d'exemples et d'exigences de respect des VA correspondantes selon la gamme de fréquences de la source. Les abréviations et les équations sont expliquées aux points suivants

Gamme de fréquences de la source	Mesure requise	Équations à utiliser	Exigences de respect des VA	Exemples de source
Entre 1 Hz et 100 kHz	B, E, I_c	Équation 6 ou équation 8	$IE_{non-thermal,X}^M \leq 1$ $X = \{B, E, I_c\}$ et $M = \{(1) \text{ ou } (2)\}$	Lignes de transmission du secteur de l'électricité Induction par particules magnétiques
Entre 100 kHz et 10 MHz	B, E, I_c	Équation 6 ou équation 8 et équation 9	Idem que ci-dessus, plus: $IE_{thermal,X} \leq 1$ Pour $X = \{B, E, I_c\}$	Système de surveillance électronique des articles Stations de radiodiffusion AM Systèmes de communication par lignes électriques
Entre 10 MHz et 110 MHz	B, E, I_c, I_L	Équation 9	$IE_{thermal,X} \leq 1$ Pour $X = \{B, E, I_c, I_L\}$	Stations de radiodiffusion FM Machine de soudage plastique
Entre 110 MHz et 300 GHz	B, E (B ou E si exposition dans le champ lointain)	Équation 9	$IE_{thermal,X} \leq 1$ Pour $X = \{B, E\}$ ($X = \{B \text{ ou } E\}$ si exposition dans le champ lointain)	Stations de communications mobiles Radars militaires

Il convient de souligner que les effets non thermiques sont instantanés, alors que, du fait des mécanismes de thermorégulation du corps humain, l'apparition des effets thermiques dépend de la durée ou du facteur d'utilisation de l'exposition. C'est pourquoi l'évaluation des effets non thermiques sur la santé utilise l'exposition instantanée maximale, tandis que, pour l'évaluation des effets thermiques sur la santé, la directive CEM permet de calculer l'exposition moyenne sur un intervalle de six minutes pour les fréquences inférieures à 10 GHz et sur une durée de $\tau = 68/f^{1,05}$ minutes (f étant exprimée en GHz) pour les fréquences supérieures à 10 GHz. Si la comparaison est effectuée par rapport aux VA relatives à l'intensité de champ, à l'induction magnétique ou aux courants induits dans les extrémités, la moyenne dans le temps doit être calculée sur la base de valeurs au carré.

D.4. Évaluation de l'exposition à des champs magnétiques statiques

D.4.1. Introduction

Les principaux effets provoqués par le déplacement d'un corps ou de certaines parties d'un corps dans un champ magnétique statique sont la stimulation du système nerveux périphérique (SNP) et des effets sensoriels passagers tels que le vertige, la nausée, un goût métallique et des sensations visuelles comme les phosphènes rétinien.

La directive CEM fixe des valeurs limites pour les champs magnétiques statiques pour deux types de conditions de travail:

- les conditions normales (non contrôlées);
- les conditions contrôlées, dans lesquelles des mesures préventives telles que le contrôle des mouvements et l'information des travailleurs ont été adoptées.

L'évaluation de la conformité en ce qui concerne les mouvements dans des champs magnétiques statiques dépend de l'environnement de travail, normal ou contrôlé, et il peut être nécessaire de considérer différents effets. Ce processus est illustré par le schéma D.24. La conformité dans des conditions de travail normales garantit la conformité dans des conditions de travail contrôlées. Dans les environnements de travail contrôlés, toutefois, seul le respect des VLE et des VA relatives à la stimulation des nerfs périphériques doit être démontré.

Les VLE définies au tableau A.1 de l'annexe II de la directive CEM pour l'induction magnétique externe s'appliquent aux champs magnétiques statiques. Les mouvements à travers un gradient de champ magnétique statique induisent des champs électriques à basse fréquence à l'intérieur du corps. Dans ce cas, il convient de fonder l'évaluation des expositions sur les VLE définies aux tableaux A.2 et A.3 et sur les VA du tableau B.2 de l'annexe II de la directive CEM. D'autres orientations (CIPRNI, 2014) ont été publiées concernant la façon de limiter l'exposition aux champs électriques induits par un mouvement à travers des champs magnétiques induits. Ces orientations se fondent sur les meilleures données factuelles disponibles, mais au moment d'élaborer le présent guide, elles n'avaient pas été intégrées à la directive CEM. Les valeurs concernées sont résumées au tableau D.9.

Les orientations de la CIPRNI ne sont pas contraignantes et utilisent une terminologie différente de celle de la directive CEM. Les restrictions de base sont des valeurs à ne pas dépasser, équivalentes du point de vue conceptuel aux VLE de la directive CEM. Les niveaux de référence sont dérivés de façon prudente des restrictions de base, mais sont définis sous la forme de grandeurs plus faciles à évaluer. Les niveaux de référence sont équivalents sur le plan conceptuel aux valeurs déclenchant l'action utilisées dans la directive CEM.

Tableau D.9 — Restrictions de base et niveaux de référence pour limiter l'exposition due aux mouvements dans un champ magnétique statique dans le cadre du travail (CIPRNI, 2014)

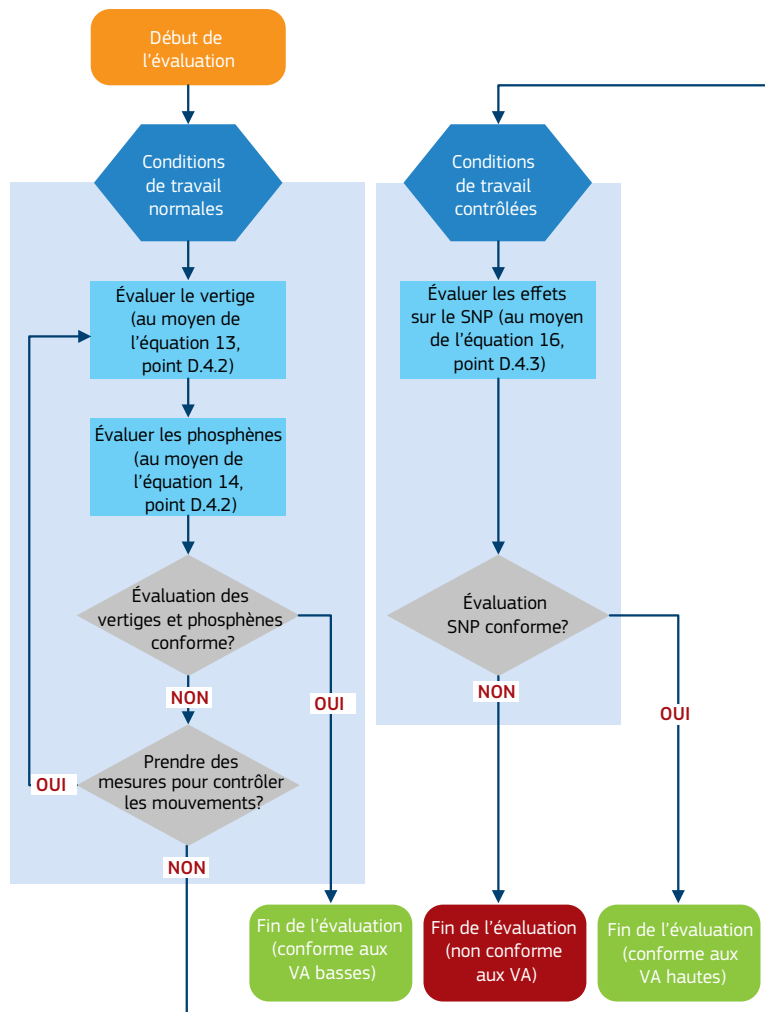
Fréquence [Hz]	Restrictions de base Intensité du champ électrique interne ($Vm^{-1}_{(crête)}$)		Valeurs de référence Dérivée temporelle de l'induction magnétique ($Ts^{-1}_{(crête)}$)	
	Effets sensoriels ¹	Effets sur la santé ²	Effets sensoriels ¹	Effets sur la santé ²
Entre 0 et 0,66	1,1	1,1	2,7	2,7
Entre 0,66 et 1	0,7/f	1,1	1,8/f	2,7

NB: 1 — Restrictions visant à réduire la perception de phosphènes dans les conditions de travail normales.

2 — Restrictions visant à réduire l'apparition des effets sur le SNP dans les conditions de travail contrôlées.

3 — Afin d'empêcher les vertiges dus aux mouvements dans un champ magnétique statique, la variation maximale de l'induction magnétique (ΔB) sur n'importe quel intervalle de 3 secondes ne devrait pas dépasser 2 T. Dans des conditions de travail contrôlées, cette valeur ne peut pas être dépassée (CIPRNI, 2014).

Schéma D.24 — Processus d'évaluation de la conformité en cas de mouvement dans des champs magnétiques statiques



D.4.2. Conditions de travail normales

Dans des conditions de travail normales, les restrictions applicables aux expositions dues aux mouvements dans des champs magnétiques statiques se fondent sur les effets sensoriels tels que les vertiges, nausées et phosphènes. Le spectre des champs induits par le mouvement s'étend jusqu'à 25 Hz et devrait être pris en considération pour sélectionner les VLE relatives aux effets sensoriels (tableau A.3 de l'annexe II de la directive) et les restrictions de base de la CIPRNI (tableau D.9). Il est généralement suffisant de comparer les expositions aux VA basses (tableau B.2 de l'annexe II de la directive CEM) et aux niveaux de référence de la CIPRNI (tableau D.9).

Réduction maximale de l'effet de vertige

Il est possible de réduire les effets sensoriels tels que les vertiges et nausées dus aux mouvements à l'intérieur d'un champ magnétique statique en se déplaçant aussi lentement que possible dans le champ. Dès lors, afin de réduire le plus possible la possibilité de vertiges et de nausées, la variation de l'induction magnétique ΔB au cours de tout intervalle de 3 secondes ne devrait pas dépasser 2 T :

$$|\Delta B|_{3s} \leq 2 \text{ T}$$

équation 13

Réduction maximale des phosphènes

Afin de réduire le plus possible les phosphènes, il y a lieu d'appliquer les VLE relatives aux effets sensoriels (annexe II, tableau A.3) et les restrictions de base (tableau D.9) pour l'intensité E_f du champ électrique interne. Étant donné qu'il n'est pas possible de déterminer aisément l'intensité d'un champ électrique interne, il est généralement plus pratique d'évaluer la conformité au moyen des niveaux de référence (tableau D.9) et de la dérivée dans le temps des VA basses (annexe II, tableau B.2).

Le champ électrique induit par les mouvements à travers un champ magnétique statique est non sinusoïdal et présente un spectre pouvant atteindre 25 Hz. Il y a donc lieu de tenir compte des composantes de fréquence présentes en utilisant la technique de crête pondérée (voir le point D.3).

L'indice d'exposition pour dB/dt est donné par l'équation suivante sur la base d'une fonction de pondération liée à la fréquence et à la phase:

$$IE_{\text{movement}}^{\text{phosphene}} = \text{Maximum} \left\{ \sum_{f=0}^{25 \text{ Hz}} \frac{|A_f|}{RL_f} * \cos(2\pi f t + \theta_f + \varphi_f) \right\} \quad \text{équation 14}$$

où $|A_f|$ et θ_f désignent l'amplitude et la phase de la composante spectrale à la fréquence f de la dérivée dans le temps de l'induction magnétique dB/dt , et où RL_f désigne la valeur de référence relative aux effets sensoriels à cette fréquence. La phase φ_f (appelée «angle de phase du filtre») est fonction de la dépendance à la fréquence de RL_f et présente les valeurs de 90° , 180° et 90° sur les gammes de fréquences comprises entre 0 et 0,66 Hz, 0,66 et 8 Hz et 8 et 25 Hz respectivement, sachant que la dépendance à la fréquence de RL_f est de f^0 , $1/f$ et f^0 . Les valeurs de phase de la fonction de filtre pour dB/dt sont définies à l'annexe des lignes directrices 2010 de la CIPRNI (CIPRNI, 2010) et expliquées au point D.3.

Lorsqu'on applique l'équation ci-dessus pour calculer l'indice d'exposition pour dB/dt , il convient d'être attentif au fait que les niveaux de référence pour le dB/dt de crête sont définis uniquement en deçà de 1 Hz. Au-delà de 1 Hz, des VA sont définies (annexe II, tableau B.2) sous la forme de moyennes quadratiques (RMS) de l'induction magnétique, mais pas sous la forme de dérivées dans le temps. Il est cependant possible d'utiliser ces VA pour calculer la RL_f équivalente pour le dB/dt de crête au-delà de 1 Hz:

$$\left(\frac{dB}{dt} \right)_{RL, \text{peak}} = 2 \sqrt{2} \pi f B_{\text{lowAL}, \text{rms}} \quad \text{équation 15}$$

où $B_{\text{lowAL}, \text{rms}}$ désigne la moyenne quadratique de la VA basse pour l'induction magnétique à la fréquence f et $\left(\frac{dB}{dt} \right)_{RL, \text{peak}}$ désigne la RL_f convertie pour la dB/dt de crête à cette fréquence.

D.4.3. Conditions de travail contrôlées

Comme indiqué au point D.4.2 ci-dessus, le champ électrique induit inclut des composantes dont les fréquences peuvent atteindre 25 Hz, et il y a lieu d'en tenir compte pour sélectionner les VLE relatives aux effets sur la santé (annexe II, tableau A.2) et les restrictions de base (tableau D.9) appropriées. Ici aussi, il est généralement plus indiqué de comparer les expositions aux VA basses (annexe II, tableau B.2) et aux niveaux de référence relatifs aux effets sur la santé (tableau D.9).

Empêcher la stimulation du système nerveux périphérique

Afin d'empêcher la stimulation du système nerveux périphérique, la restriction de base de la CIPRNI et les VLE relatives aux effets sur la santé limitent l'intensité du champ interne E_i à $1,1 \text{ Vm}^{-1}$. Les niveaux de référence de la CIPRNI et la dérivée dans le temps des VA hautes correspondants ont une valeur de $2,7 \text{ Ts}^{-1}$. Étant donné que le niveau de référence et la dérivée dans le temps de la VA haute sont tous deux constants sur la gamme de fréquences pertinente, l'indice d'exposition est obtenu en additionnant les composantes spectrales aux fréquences inférieures ou égales à 25 Hz sans pondération spectrale de l'amplitude (la phase de filtre φ_f est fixée à zéro pour toutes les composantes spectrales), mais en tenant compte des phases des composantes spectrales de dB/dt :

$$IE_{\text{mouvement}}^{\text{PNS}} = \frac{1}{2,7} * \text{Maximum} \left\{ \sum_{f=0}^{25 \text{ Hz}} |A_f| * \cos(2\pi f t + \theta_f) \right\} \quad \text{équation 16}$$

où $|A_f|$ et θ_f désignent l'amplitude et la phase de la composante spectrale dB/dt à la fréquence f . L'expression entre parenthèses dans l'équation 16 est équivalente à l'utilisation de la valeur absolue de la forme d'onde dB/dt (de sorte que toutes les valeurs de dB/dt sont positives). L'indice d'exposition correspond alors à la valeur de crête de cette forme d'onde divisée par $2,7 \text{ Ts}^{-1}$.

D.5. Considérations liées à l'incertitude

La finalité d'une mesure ou d'un calcul est de déterminer la «valeur réelle» ⁽¹⁾ de la grandeur analysée, et tout écart est imputable à l'incertitude.

La directive impose aux employeurs de tenir compte de l'incertitude et de la documenter dans le cadre de l'évaluation globale de l'exposition. L'article 4 dispose que «l'évaluation tient compte des incertitudes liées aux mesures ou aux calculs, telles que des erreurs numériques, la modélisation des sources, la géométrie spectrale et les propriétés électriques des tissus et des matériaux, déterminées conformément aux bonnes pratiques applicables».

Pour l'employeur qui effectue une évaluation de la conformité, l'une des principales difficultés est de démontrer l'exactitude des mesures ou des calculs par rapport aux VA et aux VLE de la directive. Pour acquérir cette assurance, il peut déterminer les sources de l'incertitude, quantifier leur influence et démontrer que cette influence reste dans des limites acceptables.

Les normes internationales comme le guide 98-3:2008 de l'ISO/IEC constituent une bonne source de conseils pratiques pour la mesure de l'incertitude, et le Cenelec et d'autres organismes de normalisation ont publié des normes qui décrivent différentes bonnes pratiques pour gérer l'incertitude en comparant les grandeurs d'exposition électromagnétique aux valeurs limites (voir l'annexe H).

Idéalement, l'incertitude globale doit être faible par rapport à la différence entre la valeur mesurée ou calculée et la VA ou la VLE. Si l'incertitude est très importante, l'évaluation du respect ou du non-respect d'une valeur limite par une valeur d'exposition suscitera généralement une confiance moindre et il peut être souhaitable de répéter l'évaluation en utilisant des méthodes ou des instruments qui réduisent cette incertitude.

Il existe deux approches générales reconnues pour gérer l'incertitude dans une évaluation de conformité et chacune possède ses points forts et ses faiblesses. La première est une approche de comparaison directe ou de «partage des risques», dans

⁽¹⁾ La valeur réelle est elle-même assortie d'une certaine incertitude puisqu'il s'agit d'une estimation fondée sur les connaissances et données actuelles.

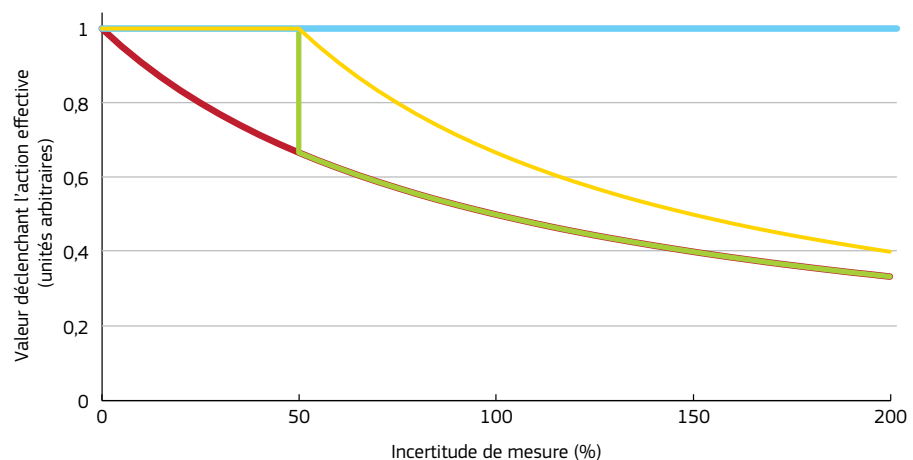
laquelle la valeur mesurée ou calculée est comparée directement aux VA ou aux VLE. La deuxième approche est l'approche additive, dans laquelle l'incertitude est ajoutée à la valeur mesurée ou calculée avant la comparaison de cette valeur avec la VA ou la VLE appropriée. Ces deux approches supposent une évaluation minutieuse de l'incertitude, mais la deuxième, par sa nature même, offre plus de transparence.

Il est possible d'utiliser différentes combinaisons de ces deux approches, et le choix d'une approche donnée dépendra probablement de facteurs tels que les coutumes et pratiques nationales ou les circonstances d'exposition. L'effet des différentes approches est illustré au graphique D.25. Différentes approches peuvent se justifier dans les cas où l'incertitude n'est pas excessive, puisque les VA et VLE reposent sur des restrictions qui intègrent elles-mêmes des facteurs de réduction afin d'assurer une marge de «sécurité» suffisante pour empêcher les effets sensoriels et les effets sur la santé.

D.5.1. Incertitudes relatives aux mesures

Dans tout système de mesure, l'incertitude provient en général d'une combinaison de facteurs, parmi lesquels *l'erreur systématique* liée au fonctionnement de l'instrument de mesure et *l'erreur aléatoire* que peuvent engendrer les modalités de réalisation de la mesure. Il importe d'avoir conscience de la possibilité de recenser les sources d'erreur potentielles et de quantifier l'incertitude maximale associée à chacune de ces sources. De manière générale, il existe deux façons de produire une estimation quantifiée de l'incertitude. L'estimation peut dériver de l'évaluation statistique de relevés répétés (évaluation de type A) ou se fonder sur une variété d'autres informations telles que l'expérience passée, les certificats d'étalonnage, les spécifications du fabricant, les informations publiées, des calculs et le sens commun (évaluation de type B).

Graphique D.25 — Comparaison de différentes approches pour gérer l'incertitude. La ligne bleue illustre l'effet de la non-prise en compte de l'incertitude. La ligne rouge illustre l'effet de l'approche additive. La ligne verte présente un exemple de l'approche du «partage des risques». Dans cet exemple, la valeur mesurée est comparée directement pour autant que l'incertitude soit inférieure à 50 %. Lorsque l'incertitude dépasse cette valeur, l'approche additive est utilisée. La ligne jaune illustre une autre approche de «partage des risques»: lorsque l'incertitude dépasse 50 %, une approche additive est appliquée à partir de ce point.



Une fois que les différentes sources d'erreur ont été recensées et que les incertitudes qui en découlent ont été quantifiées, il est possible de calculer leur effet cumulé en suivant les règles reconnues qui régissent la «propagation de l'incertitude». Cette approche permet d'estimer l'incertitude totale associée à une mesure, qui peut être exprimée sous la forme d'un «intervalle de confiance». Le pourcentage de confiance associé à l'intervalle de confiance est obtenu par l'application d'un facteur de couverture k associé à une courbe de probabilité en cloche. Un k de 1 correspond à un degré de confiance de 68 %, un k de 2 à 95 % et un k de 3 à 99,7 %.

L'évaluation de l'incertitude de mesure peut s'avérer compliquée dans de nombreux environnements de travail, et il n'existe aucune approche unique applicable à toutes les situations. Il existe par contre différentes bonnes pratiques communément reconnues, comme l'utilisation d'instruments présentant une faible incertitude de mesure, et l'étalonnage traçable des instruments (qui réduit l'erreur systématique). L'application de bonnes techniques de mesure, comme le fait de répéter les mesures en cours d'évaluation et d'en calculer la moyenne, peut contribuer à réduire l'erreur aléatoire.

De nombreuses normes Cenelec applicables aux produits tendent à adopter une approche hybride par laquelle une mesure peut être comparée directement aux valeurs limites tant qu'un degré d'incertitude prédéfini n'est pas dépassé. En cas de dépassement du degré maximal, l'incertitude est prise en considération directement dans les mesures ou les valeurs limites afin de rendre les critères de conformité plus stricts et de compenser cette incertitude excessive.

En général, les degrés d'incertitude maximaux autorisés pour les mesures de champs électromagnétiques sont du même ordre de grandeur que les valeurs d'exactitude et de précision qu'il est possible d'atteindre avec les équipements et les procédures d'étalonnage couramment utilisés.

Les normes techniques constituent des sources d'informations utiles sur la façon de combiner différents éléments d'incertitude pour produire une estimation globale. Les budgets liés à l'incertitude peuvent être des outils précieux pour évaluer l'incertitude relative à l'exposition aux champs électromagnétiques, et ils sont évoqués dans différentes normes de produits en rapport avec les champs électromagnétiques. C'est le cas notamment de la norme EN 50413, une norme de mesure par défaut que l'on peut appliquer dans les situations pour lesquelles aucune norme propre à la technologie ou au secteur concerné n'est disponible.

Lorsqu'on applique une gamme d'incertitude acceptable, il convient de s'assurer que l'exposition du travailleur ne dépasse pas les VA ou les VLE de la directive. L'article 5 de la directive dispose en effet que «les travailleurs ne sont pas soumis à des expositions supérieures aux VLE applicables aux effets sur la santé et aux VLE applicables aux effets sensoriels, à moins que les conditions prévues, soit à l'article 10, paragraphe 1, points a) ou c), soit à l'article 3, paragraphes 3 ou 4, ne soient remplies. Si, en dépit des mesures prises par l'employeur, les VLE relatives aux effets sur la santé et les VLE relatives aux effets sensoriels sont dépassées, l'employeur prend immédiatement des mesures pour ramener l'exposition au-dessous de celles-ci».

D.5.2. Incertitudes relatives aux calculs de l'exposition

Dans le contexte des calculs de l'exposition interne et externe, il peut exister de nombreuses sources d'erreurs numériques si les modèles ne sont pas établis correctement. Il est donc important d'analyser l'incertitude associée à la dosimétrie. On peut classer les différentes sources d'incertitude en trois catégories, décrites ci-après.

D.5.2.1. Incertitudes liées aux méthodes numériques

C'est le cas par exemple des erreurs liées au calcul d'une grandeur de dose interne, comme le DAS. Pour déterminer le DAS, qu'il s'agisse de son importance ou de sa répartition, il importe de calculer correctement le champ électrique à l'intérieur du corps. S'il est nécessaire de calculer la moyenne d'une valeur spatiale de crête sur une masse spécifique, comme une zone contiguë de 10 g comme le prévoit l'annexe III de la directive, l'évaluation du DAS sur un cube, par exemple, aura pour conséquence d'introduire des erreurs. Si les conditions limites pour la simulation numérique ne sont pas fixées correctement, des erreurs seront introduites dans la solution par la réflexion du champ électromagnétique sur un objet vers le domaine de calcul. En outre, la discrétisation de la solution, par exemple la représentation de la situation par des cubes, peut entraîner des erreurs d'escalier susceptibles de causer des problèmes importants pour les calculs portant sur des basses fréquences.

D.5.2.2. Incertitudes liées au modèle du dispositif électromagnétique

Pour simuler une situation d'exposition, il est nécessaire de créer un modèle représentatif du dispositif produisant le champ électromagnétique. Si les dimensions, la position, la puissance de sortie, les caractéristiques d'émission, etc. sont mal représentées, des erreurs peuvent alors être introduites dans la solution. Le positionnement du dispositif est particulièrement important si la source du champ est proche du corps, étant donné que le champ produit par la plupart des appareils s'estompe rapidement avec la distance.

D.5.2.3. Incertitudes liées au modèle du corps humain

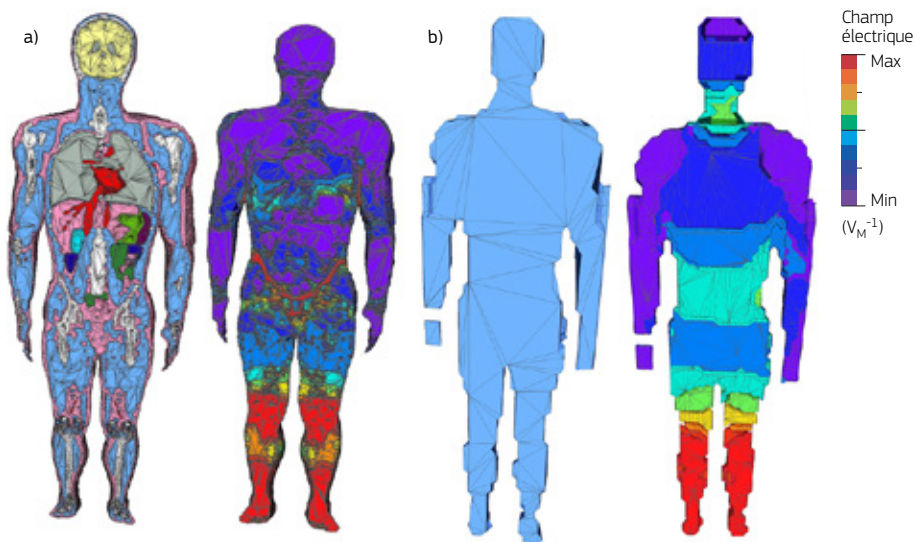
Si le modèle du corps n'est pas représentatif du travailleur exposé en termes d'anatomie, de posture, etc., des erreurs peuvent être introduites dans les résultats. Par exemple, un modèle homogène simple du corps peut produire des valeurs de doses internes, comme les champs électriques induits et les DAS, fort différentes de celles obtenues par des calculs effectués sur la base de modèles hétérogènes réalistes du point de vue anatomique. Ces modèles simples du corps humain, lorsqu'ils sont utilisés dans des simulations numériques, peuvent aussi engendrer des phénomènes artificiels, comme l'apparition de DAS localisés ou de champs électriques induits maximaux dans des endroits profonds du corps (illustration D.26).

Pour atténuer les inexactitudes dans le calcul des doses, on recommande notamment les pratiques suivantes:

- comparaison avec les résultats obtenus au moyen d'autres méthodes numériques pour la même situation d'exposition. Si les résultats obtenus sont similaires, cela tend à valider la simulation numérique utilisée pour une configuration d'exposition donnée;
- comparaison des résultats numériques avec les résultats de mesures. Les simulations des grandeurs de champ externes comme l'intensité des champs électriques et magnétiques devraient être comparées aux valeurs mesurées éventuellement disponibles afin de valider le modèle de la source de champ électromagnétique;
- comparaison des résultats provenant de différentes organisations (comparaisons entre laboratoires). La comparaison des résultats numériques avec d'autres données publiées pour la même configuration d'exposition ou une configuration similaire peut donner aux évaluateurs un degré de confiance plus élevé dans la validité des résultats produits;

- tests de convergence: les méthodes numériques utilisées pour utiliser les grandeurs de doses internes à l'intérieur du corps sont souvent itératives par nature (par exemple, méthodes DFDT, DFPS, MEF, etc.), et elles convergent donc généralement vers une solution. En cas de faibles convergence et stabilité d'une solution, il est fort probable que les résultats obtenus par la simulation soient inexacts.

Illustration D.26 — Répartition du champ électrique induit par une exposition à un champ électrique externe de 50 Hz dans: a) un modèle humain hétérogène de haute qualité avec une résolution de 2 mm; b) un modèle humain homogène de mauvaise qualité d'une résolution de 16 mm. L'utilisation de modèles humains homogènes de mauvaise qualité et de basse résolution peut introduire des erreurs dans les valeurs calculées.



Message clé: incertitude

Toutes les mesures et tous les calculs s'accompagnent d'incertitudes, et il y a lieu de quantifier systématiquement ces incertitudes et d'en tenir compte dans l'interprétation des résultats. L'approche adoptée pour gérer l'incertitude variera en fonction de la législation et des pratiques nationales. L'approche utilisée est souvent celle du «partage des risques», mais certaines autorités peuvent imposer de recourir à une approche additive.

ANNEXE E

EFFETS INDIRECTS ET TRAVAILLEURS À RISQUES PARTICULIERS

La directive CEM impose aux employeurs de tenir compte des effets indirects et des travailleurs à risques particuliers dans leurs évaluations des risques. Toutefois, hormis les trois exceptions reprises au tableau E.1 ci-dessous (voir le point 6.2 pour des informations plus détaillées), elle ne définit pas de valeurs déclenchant l'action ni d'autres orientations concernant ce qui constitue une situation de champ sûr. La présente annexe donne une explication plus poussée des difficultés rencontrées pour définir des conditions de champ sûres et fournit des orientations supplémentaires aux employeurs qui doivent évaluer les risques pour ces situations.

Tableau E.1 — Référencement croisé vers des informations plus détaillées dans le présent guide pour les VA relatives aux effets indirects

VA relatives aux effets indirects	Points
Interférence entre des champs magnétiques statiques et des dispositifs médicaux implantés actifs	6.2.1
Attraction et projection d'objets par des champs magnétiques statiques	6.2.1
Courants de contact engendrés par des champs variant dans le temps < 110 MHz	6.2.2

E.1. Effets indirects

Les effets indirects se produisent lorsqu'un objet présent dans un champ électromagnétique devient un danger pour la sécurité ou la santé. La directive CEM recense cinq effets indirects que toute évaluation des risques devrait prendre en considération:

- interférence avec des équipements et dispositifs médicaux électroniques;
- risque de projection d'objets ferromagnétiques dans des champs magnétiques statiques;
- amorçage de dispositifs électro-explosifs (détonateurs);
- inflammation d'atmosphères inflammables;
- courants de contact.

Il y a lieu de prendre également en considération tout autre effet indirect susceptible de se produire (voir le point E.1.6).

En général, les effets indirects se produisent uniquement dans des conditions spécifiques et il est souvent aisé de déterminer que ces conditions ne sont pas réunies sur un lieu de travail donné, ce qui signifie que le risque est déjà minime. Il arrive pourtant parfois que ce ne soit pas le cas et, dans ces situations, une évaluation plus détaillée est requise.

E.1.1. Interférence avec des équipements et dispositifs médicaux électroniques

Les CEM peuvent causer des interférences avec le bon fonctionnement des équipements médicaux électroniques, tout comme avec n'importe quel autre équipement électronique. Cependant, étant donné que ces équipements peuvent jouer un rôle crucial dans le traitement médical, les conséquences de l'interférence peuvent être graves.

Depuis le 30 juin 2001, tous les équipements médicaux électroniques mis sur le marché ou mis en service dans l'Union européenne doivent respecter les *exigences essentielles* de la directive 93/42/CEE relative aux dispositifs médicaux, telle que modifiée. Dans la pratique, une grande partie des équipements mis en service après le 1^{er} janvier 1995 respectent également la directive relative aux dispositifs médicaux.

Ces exigences essentielles incluent l'obligation de concevoir et de fabriquer les dispositifs de façon à supprimer ou à réduire les risques associés à des conditions d'environnement raisonnablement prévisibles telles que des champs magnétiques, des influences électriques externes ou des décharges électrostatiques.

Dans la pratique, les fabricants assurent le respect des exigences essentielles de la directive relative aux dispositifs médicaux en fabriquant leurs produits conformément à une norme harmonisée appropriée. En ce qui concerne l'immunité aux interférences, la principale norme est la norme EN 60601-1-2. Il peut cependant exister des exigences dans d'autres normes. Les exigences essentielles concernant la protection contre les CEM sont identiques dans la directive relative aux dispositifs médicaux et la directive sur les dispositifs médicaux implantés actifs (voir ci-dessous), mais leur interprétation dans les normes harmonisées ne l'est pas. Jusqu'à sa 3^e version incluse (2007), la norme EN 60601-1-2 exigeait que les fonctions essentielles d'un équipement ne puissent pas être compromises par une exposition:

- à des champs magnétiques à fréquence industrielle inférieurs ou égaux à 3 A/m (3,8 μ T);
- à des intensités de champ électrique allant jusqu'à 3 V/m à des fréquences comprises entre 80 MHz et 2,5 GHz (les champs présentent typiquement une modulation d'amplitude à 1 kHz);
- pour les équipements de maintien de la vie, la résistance aux champs électriques entre 80 MHz et 2,5 GHz est poussée à 10 V/m.

Ces valeurs constituent une base permettant d'évaluer le risque d'interférences avec les équipements médicaux électroniques.

La 4^e version (2014) de la norme EN 60601-1-2 se penche sur le problème de la cohérence entre la directive relative aux dispositifs médicaux et la directive sur les dispositifs médicaux implantés actifs. Elle impose aux fabricants d'indiquer les environnements d'utilisation adaptés et d'augmenter les niveaux d'immunité pour les dispositifs dont l'utilisation est prévue dans un contexte de soins à domicile.

Cette norme reconnaît que le respect de ces niveaux d'immunité serait difficile pour les équipements conçus pour contrôler les paramètres physiologiques. Elle autorise dès lors une immunité plus faible pour ces équipements, dont on peut s'attendre à ce qu'ils soient utilisés dans des environnements présentant de faibles champs.

E.1.2. Risque de projection d'objets ferromagnétiques dans des champs magnétiques statiques

Dans les champs magnétiques statiques puissants, les objets ferromagnétiques peuvent subir des forces d'attraction importantes susceptibles de provoquer un mouvement de l'objet. Dans certaines circonstances, le mouvement de ces objets peut en faire des projectiles dangereux. Le risque de mouvement dépend d'un certain nombre de facteurs, parmi lesquels le gradient du champ magnétique, la masse et la forme de l'objet et le matériau qui le compose.

La directive CEM définit une VA de 3 mT afin de limiter le risque de projection d'objets ferromagnétiques dans le champ périphérique de sources magnétiques statiques puissantes (> 100 mT).

E.1.3. Amorçage de dispositifs électro-explosifs (détonateurs)

Il est admis que, dans certaines conditions, un CEM peut provoquer l'amorçage de dispositifs électro-explosifs (détonateurs). Cet effet dépend de la présence sur le lieu de travail de dispositifs électro-explosifs et d'intensités de champ suffisantes pour les amorcer. Il est donc peu probable qu'il constitue un problème dans la plupart des lieux de travail, mais certains employeurs, dans le secteur de la défense par exemple, devront le prendre en considération.

Étant donné que les dispositifs électro-explosifs peuvent présenter un risque en l'absence d'un CEM puissant, leur entreposage et leur utilisation font normalement l'objet d'un contrôle strict, avec des restrictions applicables aux activités autorisées à proximité, y compris la production de CEM.

Il existe un rapport technique européen (CLC/TR 50426) fournissant des orientations relatives à l'évaluation du risque d'amorçage de dispositifs à fil à exploser. Ce rapport présente des approches possibles pour évaluer le risque qu'un champ dégage une énergie suffisante pour provoquer l'amorçage.

Un autre rapport technique européen potentiellement utile (CLC/TR 50404) fournit des orientations relatives à l'évaluation des risques et précise des mesures à prendre pour éviter l'amorçage de matériaux explosifs sous l'effet de l'électricité statique.

E.1.4. Incendies et explosions résultant de l'inflammation d'atmosphères inflammables

On sait que l'interaction entre les champs électromagnétiques et certains objets peut provoquer des décharges d'étincelles susceptibles d'enflammer des atmosphères inflammables. Étant donné que cet effet nécessite la présence à la fois d'une atmosphère inflammable et d'intensités de champ suffisantes pour les enflammer, il ne constituera probablement pas un problème pour la majorité des lieux de travail, mais les employeurs de certains secteurs doivent en tenir compte.

Les atmosphères inflammables peuvent présenter un risque d'inflammation par différentes sources, et l'approche normale consiste donc à recenser les zones dans lesquelles des atmosphères de ce type peuvent être présentes et à y limiter les activités autorisées. Ces restrictions incluent typiquement des restrictions sur la production de CEM dans la zone concernée.

Il existe un rapport technique européen (CLC/TR 50427) fournissant des orientations relatives à l'évaluation du risque d'inflammation par inadvertance d'atmosphères inflammables par des CEM à radiofréquences. Ce rapport présente des approches en vue d'évaluer l'énergie susceptible d'être dégagée par le champ et de la comparer à l'énergie requise pour enflammer différentes catégories de matériaux inflammables.

Un autre rapport technique européen potentiellement utile (CLC/TR 50404) fournit des orientations relatives à l'évaluation des risques et précise des mesures à prendre pour éviter l'inflammation des atmosphères inflammables sous l'effet de l'électricité statique.

E.1.5. Courants de contact

Un contact entre une personne et un objet conducteur dans un champ électromagnétique, lorsque l'un des deux est relié à la terre et l'autre non, peut provoquer le passage d'un courant vers la terre au point de contact. Ce courant peut causer des chocs et des brûlures.

La directive CEM définit des VA pour les courants de contact destinés à éviter les chocs douloureux. Il est possible qu'une personne touchant l'objet concerné perçoive l'interaction à des niveaux de courants de contact inférieurs aux VA. Cet effet n'est pas néfaste, mais il peut être gênant et il est possible de le réduire en suivant les conseils donnés au point 9.4.8.

E.1.6. Effets indirects non spécifiés

Il y a lieu de prendre également en considération tout autre effet indirect susceptible de se produire. Les interactions à prendre en considération sont notamment:

- l'interaction entre des champs et des blindages ou des structures métalliques dans l'environnement de travail, qui peut provoquer un échauffement et des risques thermiques;
- l'interaction entre des champs et des systèmes électroniques et de contrôle sur le lieu de travail, entraînant des interférences et des dysfonctionnements;
- l'interaction entre des champs et des objets ou composants métalliques portés à même le corps ou transportés à proximité du corps;
- l'interaction entre des champs et des composants ou équipements électroniques portés à même le corps ou transportés à proximité du corps.

E.2. Travailleurs à risques particuliers

La directive CEM décrit quatre groupes de travailleurs susceptibles d'être exposés à des risques particuliers dus aux CEM sur le lieu de travail:

- les travailleurs qui portent des dispositifs médicaux implantés actifs (DMIA);
- les travailleurs qui portent des dispositifs médicaux implantés passifs;
- les travailleurs portant des dispositifs médicaux à même le corps;
- les travailleuses enceintes.

Les employeurs doivent également avoir conscience de la possibilité que certains groupes de travailleurs non définis à l'heure actuelle courent eux aussi des risques spécifiques (voir le point E.2.5).

Il se peut que ces travailleurs ne soient pas protégés de manière adéquate par les VA et les VLE fixées par la directive. Lorsque les employeurs déterminent l'existence de risques possibles pour ces groupes de travailleurs, il convient de fournir des informations lors de la formation d'intégration des nouvelles recrues et des séances d'information des visiteurs du site. Ces travailleurs doivent également être invités et encouragés à se faire connaître auprès de la direction afin de permettre la réalisation d'une évaluation des risques spécifique.

E.2.1. Travailleurs portant des dispositifs médicaux implantés actifs (DMIA)

E.2.1.1. Contexte

Il existe de nombreux dispositifs actifs susceptibles d'être implantés dans le corps à des fins médicales, par exemple:

- les stimulateurs cardiaques;
- les défibrillateurs;
- les implants cochléaires;
- les implants de tronc cérébral;
- les prothèses de l'oreille interne;
- les neurostimulateurs;
- les pompes de perfusion implantées;
- les codeurs rétinien.

De manière générale, les dispositifs possédant des fils les reliant aux patients à des fins de détection ou de stimulation sont plus sensibles aux interférences que les dispositifs qui n'en possèdent pas. En effet, les fils forment une boucle susceptible de provoquer un couplage avec le champ électromagnétique. Même parmi les dispositifs avec fils, la sensibilité peut varier selon les fonctionnalités et les mesures prises. Les dispositifs conçus pour détecter des signaux neurophysiologiques à l'intérieur du corps seront souvent les plus sensibles aux interférences, puisqu'ils sont conçus pour réagir aux petites variations de tension au niveau des fils. De telles variations de tension peuvent facilement être provoquées par l'interaction avec des champs électromagnétiques, mais l'importance de la tension induite dépend de la longueur, du type et de la position des fils à l'intérieur du corps. En général, les dispositifs munis d'un seul fil susceptible de former une grande boucle effective entraînent un couplage fort avec le champ, tandis que les dispositifs bipolaires sont généralement moins sensibles puisqu'ils forment des boucles effectives nettement plus petites.

Les stimulateurs cardiaques possèdent généralement un interrupteur à lame (un type de commutateur magnétique) susceptible d'être actionné par des champs magnétiques puissants afin de faire passer le dispositif du mode «demande» au mode «stimulation». Certains DMIA sont conçus pour détecter les signaux de radiofréquences ou à couplage inductif à des fins de programmation, tandis que d'autres, comme les implants cochléaires, utilisent parfois le couplage inductif dans le cadre de leur fonctionnement normal. Tous ces dispositifs sont conçus pour être sensibles aux champs extérieurs, et sont donc sensibles aux interférences en présence de champs spécifiques.

Depuis le 1^{er} janvier 1995, tous les DMIA mis sur le marché dans l'Union européenne doivent respecter les *exigences essentielles* de la directive 90/385/CEE relative aux dispositifs médicaux implantés actifs, telle que modifiée. Ces exigences essentielles incluent l'obligation de concevoir et de fabriquer les dispositifs de façon à supprimer ou à réduire les risques associés à des conditions d'environnement raisonnablement prévisibles telles que des champs magnétiques, des influences électriques externes et des décharges électrostatiques.

Dans la pratique, les fabricants assurent le respect des exigences essentielles de la directive relative aux DMIA en fabriquant leurs produits conformément à une norme harmonisée appropriée. Les normes harmonisées pertinentes sont notamment la norme EN 45502-1 et la série EN 45502-2-X de normes particulières. Les exigences d'immunité de ces normes découlent des niveaux de référence définis par la recommandation 1999/519/CE du Conseil, mais elles excluent tout calcul de la moyenne dans le temps pour les champs de radiofréquences et partent de l'hypothèse que le dispositif est implanté conformément aux bonnes pratiques médicales.

E.2.1.2. Orientations en matière d'évaluation

Approche générale

La première étape consiste à dresser la liste des équipements et des activités présents sur le lieu de travail et à déterminer si certains travailleurs portent des DMIA. On notera que tous les salariés ne déclarent pas le port d'un DMIA, et certaines données indiquent que jusqu'à 50 % des salariés refusent de divulguer cette information par crainte de conséquences négatives pour leur emploi. L'employeur devra tenir compte de cette réticence lorsqu'il tente d'obtenir des informations.

Si tous les équipements et activités recensés relèvent de la colonne 1 du tableau 3.2, des mesures supplémentaires ne seront normalement pas nécessaires, sauf dans le cas où l'on sait qu'un travailleur porte un DMIA particulièrement sensible (voir ci-dessous).

S'il n'est pas possible d'identifier les travailleurs portant des DMIA, aucune mesure supplémentaire n'est normalement nécessaire. Les employeurs doivent toutefois rester attentifs à la possibilité que de nouveaux travailleurs ou visiteurs portent des DMIA, ou que des travailleurs existants se fassent installer un DMIA.

En cas d'identification de travailleurs portant des DMIA, l'employeur doit réunir un maximum d'informations concernant les dispositifs concernés. Le travailleur doit apporter sa collaboration à ce processus et, le cas échéant, il est recommandé de demander l'aide d'un médecin spécialisé en médecine du travail ou du praticien chargé de soigner le travailleur.

Si le travailleur porte un dispositif relativement ancien ou si on l'a averti que son DMIA était implanté d'une façon qui le rend particulièrement sensible, il y a lieu de réaliser une évaluation spécifique. Cette évaluation doit se fonder sur les caractéristiques connues du dispositif.

Dans la plupart des autres situations, il devrait être possible de réaliser une évaluation générale comme indiqué ci-dessous. Si cette évaluation révèle que les activités de travail normales du travailleur sont susceptibles d'engendrer des conditions dangereuses, la solution la plus simple consiste normalement à apporter des modifications au poste de travail ou aux activités de travail. Si ces ajustements sont difficiles, l'employeur peut envisager une évaluation spécifique.

DMIA anciens

Les DMIA antérieurs au 1^{er} janvier 1995 ne présentent pas toujours la même immunité aux interférences dues aux CEM que les dispositifs modernes. Il est difficile de savoir combien de ces dispositifs anciens sont encore en service. Les batteries qui alimentent les DMIA ont une durée de vie limitée, et il est possible que le dispositif entier ou certains de ses éléments soient remplacés en même temps que les batteries. Dans le cas des stimulateurs cardiaques, par exemple, il est d'usage de remplacer l'ensemble du générateur d'impulsions en même temps que les batteries, même si d'autres éléments, comme les fils, restent normalement en place. Les stimulateurs cardiaques représentent encore la majorité des implants, et c'était certainement le cas avant 1995 également. Il y a peu de chances que ces stimulateurs anciens puissent être perturbés par des champs magnétiques statiques de moins de 0,5 mT, des champs électriques à basse fréquence de moins de 2 kV/m et des champs magnétiques à basse fréquence de moins de 20 µT.

Avertissements spécifiques

Tous les patients porteurs d'un DMIA reçoivent la consigne générale d'éviter les situations susceptibles de provoquer des interférences. Il y a lieu de respecter ces mises en garde, mais elles n'ont pas d'incidence sur l'évaluation des risques selon l'approche d'évaluation générale décrite ci-après. Cependant, il peut parfois exister des raisons médicales d'implanter un DMIA dans une configuration non standard ou avec des paramètres non standard, ce qui peut nécessiter des mises en garde spécifiques. L'état de santé du patient peut lui aussi justifier des mises en garde spécifiques. Dans les cas

où le travailleur concerné a reçu des mises en garde spécifiques, il y a lieu de réaliser une évaluation spécifique.

Évaluation générale

L'approche à adopter pour l'évaluation générale suit celle décrite dans la norme EN 50527-1 et repose sur les exigences d'immunité des normes harmonisées relatives aux DMIA. Il ne devrait donc pas y avoir d'interférences pour autant que les champs, autres que les champs magnétiques statiques, ne dépassent pas les valeurs instantanées des niveaux de référence de la recommandation 1999/519/CE du Conseil. Les DMIA ne devraient pas non plus être perturbés par des champs magnétiques statiques de moins de 0,5 mT.

Évaluation spécifique

Dans certaines situations, il peut être nécessaire de réaliser une évaluation spécifique. Une évaluation de ce type sera généralement nécessaire dans les cas suivants:

- certains travailleurs portent des DMIA anciens (voir ci-dessus);
- certains travailleurs ont reçu des mises en garde spécifiques;
- il est difficile d'adapter le poste de travail ou l'activité de travail de façon à s'assurer que l'exposition ne dépasse pas les niveaux de référence de la recommandation 1999/519/CE du Conseil.

L'annexe A de la norme EN 50527-1 donne de plus amples informations concernant les évaluations spécifiques. Des orientations supplémentaires sont également disponibles dans le document BGI/GUV-I 5111 de l'Association de l'assurance sociale allemande contre les accidents.

E.2.2. Travailleurs portant des dispositifs médicaux implantés passifs

Il existe de nombreux implants médicaux pouvant être métalliques, comme les articulations artificielles, broches, plaques, vis, agrafes chirurgicales, pinces pour anévrismes, stents, prothèses de valves cardiaques, anneaux d'annuloplastie, implants contraceptifs métalliques, boîtiers de DMIA et obturations dentaires.

Lorsque ces dispositifs sont composés de matériaux ferromagnétiques, ils peuvent subir des couples et des forces en présence de champs magnétiques statiques puissants. Les données factuelles disponibles à ce jour indiquent qu'une induction magnétique statique inférieure ou égale à 0,5 mT ne produit pas un effet suffisant pour représenter un danger pour la santé (CIPRNI, 2009). Ces valeurs sont conformes à la VA définie par la directive CEM pour empêcher les interférences avec les DMIA dans les champs magnétiques statiques.

À l'intérieur de champs variant dans le temps, les implants métalliques peuvent perturber le champ électrique induit à l'intérieur du corps, donnant lieu à des régions localisées de champs puissants. Les implants métalliques peuvent également s'échauffer par induction, ce qui entraîne un échauffement et des lésions thermiques aux tissus environnants. Cet effet peut aller jusqu'à provoquer la défaillance de l'implant.

Il existe peu de données susceptibles de servir de base à l'évaluation des risques pour les personnes porteuses d'implants passifs. L'un des facteurs à prendre en considération est la fréquence du CEM, puisque la pénétration du champ dans le corps diminue à mesure que la fréquence augmente, de sorte qu'il n'y a généralement que peu ou pas d'interaction entre les champs à haute fréquence et la plupart des implants, noyés dans une masse de tissus environnants.

Un échauffement par induction suffisant pour causer des lésions thermiques aux tissus avoisinants nécessite l'extraction d'une puissance suffisante provenant du champ. Cette extraction dépend des dimensions et de la masse de l'implant ainsi que de l'intensité et de la fréquence du champ accessible. On considère cependant que le respect de la recommandation 1999/519/CE du Conseil assure normalement une protection adéquate, même si des champs plus puissants peuvent être justifiés dans certaines circonstances.

E.2.3. Travailleurs portant des dispositifs médicaux à même le corps

Les dispositifs médicaux portés à même le corps relèvent du champ d'application de la directive relative aux dispositifs médicaux (93/42/CEE, telle que modifiée). Dès lors, en l'absence d'informations plus précises, les facteurs à prendre en considération pour l'évaluation sont les mêmes que pour les interférences avec d'autres équipements médicaux électroniques, abordées au point E.1.1.

De manière générale toutefois, on s'attend à ce que les dispositifs portés à même le corps ne soient pas plus sensibles que les DMIA, et les dispositifs qui ne sont pas conçus pour détecter des paramètres physiologiques sont probablement moins sensibles que les DMIA. Il est donc toujours recommandé de contacter le fabricant pour obtenir des informations concernant la résistance aux interférences.

E.2.4. Travailleuses enceintes

Des effets néfastes dus à l'exposition de la mère à des champs magnétiques à basse fréquence ont été signalés. Dans l'ensemble, cependant, on considère que les données liant ces effets à une exposition à des champs à basse fréquence sont très peu probantes (CIPRNI, 2010). Selon un groupe d'experts pourtant, le système nerveux en cours de développement in utero pourrait être sensible aux champs électriques induits variant dans le temps (NRPB, 2004). Ce même groupe a conclu qu'une limitation de l'intensité du champ électrique induit à environ 20 mV/m devrait apporter une protection adéquate au système nerveux en cours de développement in utero. Selon les calculs effectués, ce résultat peut être obtenu par le respect des niveaux de référence applicables aux champs à basse fréquence définis dans la recommandation 1999/519/CE du Conseil.

Il existe des données factuelles probantes indiquant qu'une augmentation de la température du corps de la mère a des effets néfastes sur la grossesse, et le système nerveux central semble particulièrement sensible. Il a été conclu qu'une limitation du DAS moyen pour le corps entier à 0,1 W/kg chez les femmes enceintes devrait assurer une protection adéquate (NRPB, 2004). Cette valeur est similaire à la restriction de base à 0,08 W/kg pour l'exposition aux radiofréquences définie dans la recommandation 1999/519/CE du Conseil.

Dès lors, pour la plupart des employeurs, une approche pragmatique serait de limiter l'exposition des femmes enceintes en se fondant sur les niveaux de référence indiqués dans la recommandation 1999/519/CE du Conseil. Cette approche devrait assurer une protection adéquate aux basses comme aux hautes fréquences.

E.2.5. Travailleurs à risques particuliers non spécifiés

Les employeurs doivent avoir conscience du fait qu'il peut exister des groupes de travailleurs non définis à l'heure actuelle susceptibles de présenter des risques particuliers, comme les travailleurs prenant certains médicaments pour des problèmes médicaux reconnus.

ANNEXE F

ORIENTATIONS EN MATIÈRE D'IRM

L'imagerie par résonance magnétique (IRM) est une technologie médicale d'une importance capitale pour diagnostiquer et traiter les maladies, ainsi qu'un outil précieux pour la recherche médicale. Cette technique est largement répandue dans toute l'Union européenne, avec des dizaines de millions de scans par an, et implique l'exposition délibérée de patients ou de volontaires à des champs électromagnétiques puissants afin de générer des images détaillées, notamment une cartographie du métabolisme et de l'activité du cerveau. Bien que complémentaire d'autres technologies d'imagerie comme la tomodensitométrie (TDM), l'IRM présente l'avantage de ne pas nécessiter d'exposition à un rayonnement ionisant, et elle n'a pas d'effets connus à long terme sur la santé.

L'exposition de patients et de volontaires à des champs électromagnétiques à l'intérieur du scanner ne relève pas du champ d'application de la directive CEM. La répartition du champ électromagnétique à l'intérieur du scanner est déterminée principalement par des considérations d'efficacité du scan et de qualité d'image. Par ailleurs, les fabricants s'efforcent de réduire le plus possible l'ampleur des champs de dispersion en dehors du scanner, ce qui réduit l'exposition du personnel travaillant à proximité de l'équipement. Les champs magnétiques statiques peuvent dépasser les valeurs déclenchant l'action (VA) pour les effets indirects (voir le chapitre 6). En outre, dans certaines circonstances, il se peut que des travailleurs soient exposés à des champs dépassant une valeur limite d'exposition (VLE) (voir le tableau F.1). La définition des VLE intègre toutefois une marge de sécurité, de sorte qu'une exposition supérieure à la VLE n'entraîne pas nécessairement d'effets pour les travailleurs. L'exposition routinière de patients et de volontaires aux champs intenses à l'intérieur d'un scanner IRM est considérée comme sans danger (CIPRNI, 2004, 2009).

L'importance de l'IRM en tant que technologie essentielle du secteur de la santé est reconnue, et l'article 10 de la directive accorde une dérogation conditionnelle à l'obligation de respecter les VLE. Les présentes orientations ont été établies en concertation avec les parties prenantes du monde de l'IRM afin de fournir des conseils pratiques aux employeurs quant à la façon de respecter ces conditions, le cas échéant. Les prestataires de soins de santé qui proposent des examens par IRM ont accès à des experts en radiographie, en radiologie et en physique médicale qu'il convient de consulter pour garantir la conformité. Les fabricants et les établissements de recherche possèdent eux aussi des experts de ce type et devraient également les consulter.

F.1. Conception et fabrication des équipements d'IRM

Les scanners IRM sont conçus pour générer un environnement électromagnétique complexe dans le cylindre de la machine, constitué de trois composantes principales:

- des champs magnétiques statiques. La plupart des systèmes utilisés en milieu hospitalier fonctionnent à 1,5 ou 3 T, mais les systèmes ouverts privilégiés pour les procédures d'intervention utilisent normalement des inductions magnétiques moins élevées (entre 0,2 et 1 T). Il existe également un petit nombre de scanners à champ puissant pouvant atteindre 9,4 T utilisés principalement à des fins de recherche;
- des champs magnétiques à basse fréquence à gradient commuté. Les scanners utilisent trois gradients orthogonaux activés et désactivés en succession rapide afin de produire des informations de position sur les signaux RM mesurés. Il s'agit de formes d'ondes pulsées complexes variant selon le type de scan réalisé. Les formes d'ondes pulsées sont équivalentes aux fréquences comprises entre 0,5 et 5 kHz;

- des champs de radiofréquences appliqués à la fréquence de Larmor, qui dépend de l'induction magnétique statique (entre 62 et 64 MHz et entre 123 et 128 MHz pour les scanners à 1,5 T et 3 T respectivement).

Tableau F.1 — Comparaison de l'exposition des travailleurs due à l'IRM avec les valeurs limites, et effets causés par cette exposition

Exemple d'exposition du travailleur	Valeurs limites	Effets signalés
Champ magnétique statique		
1,0 T; 1,5 T; 3,0 T; 7,0 T	2 T; 8 T	Vertiges en l'absence de mouvement
< 2 m/s équivalent à < 3 T/s 0,3 V/m (crête) dans le cerveau ou 2 V/m (crête) dans le corps	0,05 V/m (RMS) (VLE relative aux effets sensoriels) 0,8 V/m (RMS) (VLE relative aux effets sur la santé)	Vertiges et nausées
Champs à gradient commuté		
Entre 100 et 1 500 Hz Limité par les valeurs de SNP du patient, qui correspondent aux valeurs estimées pour dB/dt et aux moyennes quadratiques (RMS) des champs E induits au niveau du cerveau et du tronc Aux endroits normaux du patient < 40 T/s (RMS) = 4 V/m dans le cerveau < 40 T/s (RMS) = 8 V/m au niveau du tronc Aux endroits accessibles les plus pessimistes pour les travailleurs en intervention < 120 T/s (crête) = 8 V/m dans le cerveau < 40 T/s (crête) = 2 V/m au niveau du tronc	0,8 V/m (rms)	Sensation de picotement, douleur ou contraction musculaire en cas de dépassement des limites relatives au SNP en mode contrôlé. Les travailleurs en IRM n'ont jamais signalé d'effets sur le SNC. Les cas signalés connus proviennent de SMT à des valeurs > 500 T/s ou > 50-100 V/m
Champs de radiofréquences		
42, 64, 128, 300 MHz DAS corps entier limité à < 4 W/kg dans l'isocentre correspondant au DAS corps entier < 0,4 W/kg avec insertion à moitié << 0,1 W/kg à l'ouverture	0,4 W/kg	Sensation de chaleur et transpiration en cas d'exposition > 2 W/kg

Données fournies par COCIR. Des données plus détaillées concernant l'exposition des travailleurs sont disponibles dans Stam, 2014.

Tous les scanners IRM destinés à l'établissement de diagnostics ou à des applications thérapeutiques sur des personnes et mis sur le marché ou mis en service dans l'Union européenne depuis le 30 juin 2001 doivent respecter les *exigences essentielles* de la directive relative aux dispositifs médicaux (93/42/CEE). Cette directive impose notamment à ces équipements l'obligation générale de ne pas mettre en danger la sécurité et la santé de leurs utilisateurs, ni d'autres personnes le cas échéant. Les fabricants sont tenus de sélectionner des solutions de conception et de fabrication modernes permettant d'éliminer les risques ou de les réduire le plus possible. Afin d'aider les fabricants à respecter les exigences essentielles, et conformément au mandat qui lui avait été confié par la Commission européenne, le Comité européen de normalisation électrotechnique (Cenelec) a publié une norme de produit relative aux appareils à résonance magnétique utilisés pour le diagnostic médical (EN 60601-2-33).

La version actuelle de la norme EN 60601-2-33 impose notamment aux fabricants de fournir des informations relatives à la répartition des champs dans l'espace. Ces informations se trouvent en général dans les manuels d'utilisation des scanners. Elles

sont disponibles pour tous les systèmes à résonance magnétique et devraient aider les employeurs à repérer les zones dans lesquelles un dépassement des VLE est possible. Les scanners doivent également fournir des informations concernant la sortie de gradient et le débit d'absorption spécifique (DAS) de l'énergie des radiofréquences avant le début de chaque scan. Les scanners doivent également intégrer des mesures de sauvegarde afin d'assurer une protection contre les expositions excessives. Il est possible que les exigences évoquées dans ce paragraphe ne s'appliquent pas à certains équipements anciens hérités du passé.

F.2. Exposition des travailleurs pendant l'utilisation d'un appareil d'IRM dans le secteur de la santé

Les scanners IRM sont conçus pour générer des champs puissants mais soigneusement contrôlés dans le cylindre du scanner tout en réduisant le plus possible les champs de dispersion en dehors de l'appareil. Les champs s'estompent donc très rapidement à mesure que l'on s'éloigne de l'ouverture du scanner, ce qui entraîne typiquement des gradients de champ élevés dans l'espace à proximité du scanner et des champs nettement moins puissants à des distances plus importantes. Les données disponibles semblent indiquer que seul le travail à l'intérieur du cylindre du scanner ou à proximité immédiate de l'ouverture peut entraîner des expositions dépassant les VLE.

L'exposition des travailleurs qui ne doivent pas s'approcher de l'ouverture du scanner est toujours conforme, et il n'est donc pas nécessaire de l'évaluer. L'évaluation de l'exposition des travailleurs qui sont amenés à s'approcher de l'ouverture ou à entrer dans le cylindre du scanner est un processus complexe. Elle nécessite une connaissance détaillée de la répartition spatiale des champs à l'intérieur et à l'extérieur du scanner ainsi qu'une compréhension de la façon dont le personnel se déplace par rapport au scanner dans l'accomplissement de son travail, un facteur qui dépend dans une large mesure des tâches à accomplir. En outre, les évaluations devraient idéalement se fonder sur des techniques de modélisation numérique afin de pouvoir comparer directement les expositions aux VLE. Les évaluations de ce type dépassent les capacités de la plupart des établissements chargés de réaliser des procédures IRM de routine.

Afin de fournir des informations concernant les expositions des travailleurs dues à une série de procédures typiques et à différents types d'équipement, la Commission européenne a financé une évaluation dans quatre centres de résonance magnétique dans différents pays. Ce projet détaillé a permis d'évaluer les mouvements et les positions des travailleurs au cours de différentes procédures, et d'établir une cartographie des champs et une dosimétrie par ordinateur (Capstick et al, 2008). Les résultats de cette étude et d'autres études antérieures (analysées dans Stam 2008) sont riches en informations, mais il convient d'aborder leurs conclusions détaillées avec une certaine prudence. Les résultats se fondent sur l'ancienne directive CEM et utilisent des métriques d'exposition différentes. Ils se limitent en outre à un nombre relativement réduit de scanners et de scénarios d'exposition. Des analyses récentes semblent indiquer une possibilité de dépassement des VLE dans certaines circonstances (Stam, 2014; Mc Robbie, 2012).

Les données de mesure pour les champs à gradients commutés doivent être traitées avec une prudence particulière puisque, dans de nombreux cas, les valeurs déclenchant l'action de la directive CEM actuelle sont moins restrictives que celles commentées dans les études d'exposition antérieures. La comparaison avec les valeurs déclenchant l'action aboutit généralement à une évaluation prudente par rapport à l'utilisation des VLE, de sorte qu'il est préférable d'utiliser ces dernières, qui nécessitent toutefois la plupart du temps une certaine expertise en matière de dosimétrie informatique complexe.

F.2.1. Expositions par rapport aux VLE

F.2.1.1. Champs magnétiques statiques

Pour tous les scanners à champ de faible intensité (moins de 2 T en fonctionnement) et pour la majorité des procédures de routine au moyen de scanners fonctionnant à plus de 2 T, les expositions aux champs magnétiques statiques respectent les VLE relatives aux effets sensoriels. Pour toutes les autres procédures utilisant des scanners fonctionnant à 8 T au maximum, les expositions aux champs magnétiques statiques respectent les VLE relatives aux effets sur la santé.

F.2.1.2. Mouvements à l'intérieur de champs magnétiques statiques

Les mouvements à l'intérieur des champs magnétiques statiques puissants générés par un scanner IRM induisent des champs électriques à l'intérieur des tissus du corps, et il est possible que les champs induits dépassent les VLE définies par la directive CEM. À des vitesses de mouvement normales, cet effet se produira uniquement dans le cylindre du scanner et à faible distance de l'ouverture (généralement à 1 m au plus selon les informations disponibles). Ce problème se pose en particulier pendant le paramétrage du patient, qui peut nécessiter des mouvements de rotation complexes de la tête de l'opérateur.

F.2.1.3. Champs à gradient commuté

Pour la majorité des procédures de routine, l'exposition à des champs à gradient commuté ne dépasse pas les VLE relatives aux effets sensoriels ou aux effets sur la santé. Pour une minorité de procédures toutefois, lorsque des travailleurs doivent se trouver à proximité de l'ouverture du scanner (normalement moins de 1 m), il peut y avoir un dépassement des VLE. Ce dépassement des VLE est même très probable pour un très petit nombre de procédures, notamment si le travailleur doit se pencher à l'intérieur du scanner. Les expositions effectives dépendent de plusieurs facteurs, et notamment du nombre de gradients actifs simultanément et des caractéristiques des gradients, l'imagerie à haute vitesse provoquant en général des expositions plus importantes. Le tableau F.2 fournit des exemples de procédures relevant de chaque catégorie.

F.2.1.4. Champs de radiofréquences

Les VLE relatives aux radiofréquences sont exprimées sous forme d'une moyenne sur un intervalle de six minutes, et les expositions sont généralement conformes aux VLE dans les cas où un travailleur doit se pencher dans le scanner (par exemple, pour observer un patient), pour autant que cette manœuvre ne dure pas plus de quelques minutes. Les expositions plus longues sont elles aussi souvent conformes.

F.3. Dérogation pour l'IRM

L'importance de l'IRM en tant que technologie essentielle du secteur de la santé est reconnue, et l'article 10 de la directive CEM accorde une dérogation non discrétionnaire mais conditionnelle à l'obligation de respecter les VLE. Cette dérogation concerne l'exposition des travailleurs dans le cadre d'activités liées à l'installation, à l'essai, à l'utilisation, au développement, à l'entretien d'équipements d'IRM ou à la recherche dans ce domaine, pour autant que toutes les conditions suivantes soient remplies:

- i) l'évaluation des risques effectuée conformément à l'article 4 a montré que les VLE étaient dépassées;

- ii) compte tenu de l'état des connaissances du moment, toutes les mesures techniques et/ou organisationnelles ont été appliquées;
- iii) les circonstances du dépassement des VLE sont dûment justifiées;
- iv) les caractéristiques du lieu de travail, de l'équipement de travail ou des pratiques de travail ont été prises en compte;
- v) l'employeur démontre que les travailleurs sont encore protégés contre les effets nocifs pour la santé et les risques pour la sécurité, y compris en veillant à ce que les instructions fournies par le fabricant en vue d'une utilisation sûre conformément à la directive 93/42/CEE relative aux dispositifs médicaux soient suivies.

Tableau F.2 — Risque de dépassement des VLE pertinentes pour les expositions à des champs de gradients au cours de différents examens par IRM

Risque de dépassement des VLE	Procédure
Élevé	Placement de fil guide (avec scannage en temps réel) Techniques avec intervention, par exemple IRM cardiovasculaire d'intervention IRM fonctionnelle (stimulation physique du patient à l'intérieur du scanner) Ajustement d'électrodes d'électroencéphalogramme (activité de recherche)
Moyen	Anesthésie générale (observation de l'état du patient pendant le scannage) Test de résistance cardiaque (observation de l'état du patient pendant le scannage) Nettoyage/contrôle des infections à l'intérieur du scanner (pas de scannage) Réconfort d'un enfant pendant le scannage (la personne qui réconforte l'enfant reste en dehors du scanner, mais à moins de 1 m de l'ouverture)
Faible	Scans de routine (aucun travailleur présent dans la pièce) Biopsie (patient ne se trouve pas dans le scanner/pas de scannage) Administration manuelle d'un agent de contraste (pas de scannage)

On notera que la dérogation s'applique uniquement aux VLE, qui visent à empêcher les effets directs des champs électromagnétiques sur les personnes. L'utilisation d'appareils d'IRM peut engendrer d'autres dangers susceptibles de créer des risques pour la sécurité, avec des conséquences potentiellement graves. Les opérateurs doivent s'assurer que ces risques sont gérés de façon adéquate. Ces autres dangers peuvent notamment inclure des interférences avec:

- des dispositifs médicaux implantés actifs ou passifs;
- des dispositifs médicaux portés à même le corps;
- des équipements médicaux électroniques;
- des implants cosmétiques ou médicaux.

On peut citer encore les dangers potentiels suivants:

- risque de projection dû au mouvement de matériaux ferromagnétiques dans un champ magnétique puissant;
- bruit;
- hélium liquide.

F.4. Respect des conditions de la dérogation

Ce point fournit des orientations aux employeurs pour leur permettre de déterminer s'ils respectent les conditions de la dérogation.

F.4.1. Évaluation des risques visant à déterminer si les VLE sont dépassées

Le chapitre 5 fournit des orientations spécifiques pour la réalisation d'évaluations des risques dans le contexte de la directive CEM. L'équipement d'imagerie par résonance magnétique utilise des champs puissants pour générer des images, et il existe donc souvent un potentiel de dépassement des VLE. En général pourtant, l'intensité du champ électrique ne dépassera les VLE qu'à l'intérieur du scanner ou à proximité étroite de l'ouverture (voir le point F.1), et la plupart des procédures d'IRM (97 % selon les estimations) ne nécessitent pas la présence de membres du personnel à ces endroits pendant le scannage.

L'évaluation des expositions dépasse probablement les capacités de la plupart des établissements qui effectuent des procédures IRM de routine, c'est pourquoi il est normalement acceptable de se fonder sur des données publiées ainsi que sur les informations relatives à l'exposition prévue fournies par les systèmes de scanners.

L'élément essentiel pour évaluer le risque est donc de déterminer si des membres du personnel doivent pénétrer dans les zones où un dépassement des VLE est possible (typiquement à 1 m ou moins de l'ouverture). Les opérateurs accèdent à cette zone pendant les opérations de routine et la prise en charge des patients, mais normalement pas pendant le fonctionnement du scanner. Lorsqu'un membre du personnel doit d'approcher à moins de 1 m de l'ouverture, le fait de se déplacer lentement devrait suffire à maintenir les champs électriques induits par le mouvement en deçà de la VLE pertinente. L'examen du tableau F.2 et des données d'exposition publiées (voir le point F.2) devrait aider les employeurs à déterminer quelles procédures peuvent éventuellement entraîner des expositions aux champs à gradients commutés dépassant les VLE.

Dans la mesure du possible, il est recommandé au personnel de ne pas entrer dans le cylindre du scanner (voir le point F.6.4). On notera cependant que, dans les cas où un membre du personnel est obligé d'entrer dans le cylindre du scanner, par exemple pour le contrôle des infections, cette tâche est effectuée à un moment où les champs à gradients commutés et les champs de RF sont coupés, de sorte qu'il y a lieu de tenir compte uniquement de l'exposition au champ magnétique statique. Comme indiqué au point F.2, les VLE relatives aux effets sur la santé ne sont pas dépassées pour les scanners dont le fonctionnement génère une induction magnétique maximale de 8 T. Pour autant que des mesures soient prises pour informer les travailleurs et prévenir les risques pour la santé, il est acceptable de dépasser temporairement les VLE relatives aux effets sensoriels.

F.4.2. Application de mesures techniques et organisationnelles conforme à l'état des connaissances

F.4.2.1. Mesures techniques

La conception et la construction des scanners intègrent systématiquement des mesures techniques visant à confiner les champs à l'intérieur du cylindre, et tous les scanners possèdent des modes de fonctionnement visant à limiter les émissions. Les fabricants

développent et améliorent en permanence leurs appareils, et prennent notamment des mesures visant à confiner les champs afin de respecter les exigences de la directive relative aux dispositifs médicaux. Il découle de ces exigences de conformité qu'au moment de la construction et de l'installation, les mesures techniques intégrées aux scanners correspondent à l'état des connaissances. La modification d'un équipement RM après son installation est difficile sur le plan technique et nécessiterait normalement une réévaluation du respect de la directive relative aux dispositifs médicaux. Cette nouvelle évaluation dépasse généralement les capacités des établissements qui utilisent ces équipements.

En principe, il devrait être possible de sélectionner les paramètres de fonctionnement (comme les caractéristiques des gradients ou l'intensité des champs de radiofréquences) de façon à réduire les expositions dans les situations où des travailleurs doivent être présents dans le cylindre ou à proximité de l'ouverture du scanner. Dans la pratique cependant, la sélection des paramètres de fonctionnement du scanner est guidée principalement par les besoins cliniques, et les procédures au cours desquelles des travailleurs doivent se pencher dans le scanner (comme les procédures avec intervention) sont souvent celles qui nécessitent des scans rapides, entraînant des expositions élevées. Il y a donc probablement peu de marge de manœuvre pour réduire les expositions en appliquant cette approche. Dans les cas où une certaine flexibilité est possible, il est recommandé de choisir des paramètres de scannage moins puissants et des expositions aux radiofréquences réduites lorsque des membres du personnel sont susceptibles de devoir s'approcher du scanner. Le choix des paramètres de scannage adéquats doit cependant rester une question de jugement clinique.

F.4.2.2. Mesures organisationnelles

Il est recommandé aux employeurs qui exploitent des scanners IRM de suivre les recommandations indiquées aux points F.5 et F.6 ci-après.

F.4.3. Circonstances justifiant le dépassement des VLE

Les circonstances dans lesquelles le dépassement des VLE est dûment justifié dépendent des applications concernées. Pour le diagnostic et les traitements, la nécessité de réaliser certaines procédures est toujours une question de jugement clinique. Dans le cas de procédures au cours desquelles des travailleurs sont amenés à pénétrer dans la zone proche de l'ouverture indiquée sur le plan (voir le point F.5.3 ci-après), l'employeur devrait consulter les professionnels de la santé concernés afin d'envisager d'autres moyens éventuels d'atteindre l'objectif recherché en tenant compte des besoins cliniques et de la sécurité du patient.

Les fabricants devraient tenir compte de considérations similaires pour organiser leur travail, et en particulier de la nécessité de faire en sorte que leur équipement produise des images de qualité adéquate pour un usage clinique. Les établissements de recherche devraient suivre un processus analogue à celui appliqué pour les soins aux patients en tenant compte de la qualité des données obtenues et de la sécurité des volontaires.

F.4.4. Caractéristiques du lieu de travail, de l'équipement de travail ou des pratiques de travail

Il est recommandé aux employeurs de prendre note du contenu du point F.1 ci-dessus et de suivre les recommandations indiquées aux points F.5 et F.6 ci-après.

F.4.5. Protection des travailleurs et utilisation sûre

Comme indiqué au point F.1, l'équipement d'IRM conforme à la norme EN 60601-2-33 intègre des mesures visant à protéger contre les expositions excessives. Néanmoins, en cas de dépassement des VLE, il existe un risque que les travailleurs les plus sensibles aux champs ressentent certains effets. C'est pourquoi il importe que les travailleurs amenés à pénétrer dans la zone d'accès contrôlé (voir le point F.5.1) reçoivent des informations concernant les conséquences possibles de l'exposition de façon qu'ils puissent les reconnaître, le cas échéant, et limiter leur exposition de façon appropriée. Tous les événements de ce type doivent faire l'objet d'un rapport au chef d'unité ou à la personne responsable, qui doit prendre les mesures adéquates.

Les scanners IRM sont des appareils médicaux ou de recherche complexes et hautement techniques, et leurs opérateurs ont reçu une formation poussée. Ces équipements intègrent de nombreux systèmes de sécurité, parmi lesquels des mesures de protection visant à éviter les expositions excessives et des systèmes d'avertissement automatiques. Pour autant que les employeurs possèdent des systèmes visant à garantir que les opérateurs utilisent l'équipement conformément aux instructions du fabricant et prêtent attention aux systèmes d'avertissement automatiques, l'équipement devrait être sans danger pour les patients et les travailleurs, comme l'exige la directive relative aux dispositifs médicaux (93/42/CEE).

F.4.6. Travailleuses enceintes

Lorsqu'une travailleuse annonce qu'elle est enceinte, l'employeur devrait réexaminer l'évaluation des risques existante afin de déterminer si elle répond aux besoins. Si des changements s'avèrent nécessaires, il convient d'effectuer une évaluation spécifique des risques. Des orientations plus détaillées sont disponibles au chapitre 5 et à l'annexe E du présent guide.

F.5. Organisation de l'installation d'IRM

Les établissements peuvent réduire l'exposition des travailleurs en adoptant une approche structurée de l'organisation des installations d'IRM, et en particulier en divisant la zone en fonction de l'importance des champs susceptibles d'être rencontrés. Cette démarche permet de restreindre plus facilement l'accès aux zones dans lesquelles le risque d'exposition dépassant les VLE est plus élevé. En général, la plupart des centres d'IRM possèdent déjà un système de restriction des accès fondé sur d'autres dangers (voir la liste à puces au point F.3). L'approche décrite ci-dessous se fonde sur les propositions de bonnes pratiques publiées dans d'autres documents et développe les approches existantes dans le contexte de la directive CEM.

F.5.1. Zone d'accès contrôlé

La norme EN 60601-2-33 définit le concept de zone d'accès contrôlé et précise qu'une zone de ce type est requise pour tout équipement d'IRM qui génère un champ de dispersion de plus de 0,5 mT à l'extérieur de son couvercle fixé de façon permanente, ou qui ne respecte pas le niveau d'interférence électromagnétique défini par la norme EN 60601-1-2. La désignation d'une zone d'accès contrôlé constitue donc déjà une pratique standard dans le secteur de la santé.

À l'intérieur de la zone d'accès contrôlé, il existe un risque d'interférences avec les dispositifs médicaux implantés actifs et autres équipements médicaux. Il existe également un risque d'attraction des matériaux ferromagnétiques, qui peuvent également subir l'application d'un couple.

L'accès à cette zone doit être limité, de préférence au moyen d'une porte à accès contrôlé, avec une signalétique adéquate. Il convient de prendre les dispositions organisationnelles adéquates pour contrôler l'accès à la zone (voir le point F.6 ci-après).

F.5.2. Salle du scanner

L'entrée dans la salle du scanner devrait être limitée aux travailleurs qui ont besoin d'y accéder pour des raisons opérationnelles. Les personnes qui entrent dans cette salle ne doivent pas y rester plus longtemps que nécessaire pour exécuter leurs tâches.

Le gradient spatial du champ magnétique est à son maximum à proximité immédiate de l'ouverture du scanner. Les champs à gradients commutés dans cette zone peuvent aussi être suffisamment puissants pour créer un risque de dépassement de la VLE lorsque le scanner est en fonctionnement. Il y a donc lieu de repérer cette zone sur un plan affiché dans la salle du scanner. La zone en question sera définie sur la base du champ le plus restrictif entre le champ à gradients spatiaux et le champ à gradients commutés, normalement selon l'avis du fabricant. Dans les cas où cette information spécifique n'est pas disponible (pour un scanner ancien, par exemple), l'option par défaut devrait être de délimiter une zone dans un rayon de 1 m de l'ouverture (rayon mesuré depuis l'axe central). Une zone de cette dimension est normalement adéquate. Le plan devrait avertir les travailleurs des risques plus importants liés au travail dans cette zone. Les travailleurs devraient entrer dans la zone uniquement s'ils y sont tenus pour s'acquitter de leurs tâches et ne devraient pas y rester plus longtemps que nécessaire. Tout membre du personnel qui pénètre dans la zone doit s'assurer qu'il se déplace suffisamment lentement pour éviter les effets néfastes.

F.5.3. Agencement de la salle du scanner

La salle du scanner doit être agencée de façon à éviter autant que possible les situations dans lesquelles le personnel est obligé de travailler à proximité du scanner. Les équipements d'anesthésie et autres équipements mobiles devraient donc être placés aussi loin que possible du scanner dans le respect des bonnes pratiques médicales. De même, il y a lieu d'automatiser au maximum l'administration des médicaments et des agents de contrastes, tout en gardant à l'esprit que cette approche n'est pas toujours possible en toute sécurité, et que le facteur déterminant est le jugement clinique. Par exemple, la perfusion manuelle est souvent considérée comme une option plus sûre pour les patients jeunes ou gravement malades, et la décision est toujours affaire de jugement clinique.

F.6. Organisation du travail

F.6.1. Zone d'accès contrôlé

La zone d'accès contrôlé doit faire l'objet de dispositions organisationnelles adéquates, qui doivent être documentées. Le travail dans la zone d'accès contrôlé doit être placé sous la supervision directe d'un membre du personnel en position d'autorité, par exemple le technicien en radiologie en chef pour la journée.

Le personnel médical et les visiteurs qui se trouvent dans la zone d'accès contrôlé doivent se trouver en permanence sous la supervision d'un travailleur spécialisé en RM.

L'un des éléments les plus importants des mesures organisationnelles est le contrôle visant à identifier les personnes à risques du fait de la présence d'implants actifs ou passifs, ou d'autres facteurs de risques comme des perçages corporels ou des tatouages à forte teneur en fer. Les mêmes critères de contrôle sont appliqués aux patients et aux personnes chargées des soins.

Il y a lieu de prendre également des dispositions pour contrôler l'accès en dehors des heures de travail normales (par exemple, par le personnel de nettoyage et de sécurité, les pompiers et les ouvriers de maintenance du bâtiment).

Il convient de contrôler également les objets introduits dans la zone pour s'assurer que les objets ferromagnétiques sont identifiés comme étant «sans danger pour la RM» ou compatibles RM sous conditions (MR Safe ou MR Conditional) selon le cas. Ce contrôle devrait être couvert par des procédures locales.

F.6.2. Formation du personnel

Les membres du personnel amenés à travailler dans la zone d'accès contrôlé doivent bénéficier d'une formation à la sécurité des équipements d'IRM. Cette formation devrait sensibiliser les travailleurs aux points suivants:

- effets possibles des mouvements à l'intérieur d'un champ magnétique statique puissant;
- effets des champs à gradients commutés puissants;
- effets des champs de radiofréquences;
- risque de projection d'objets par attraction des matériaux ferromagnétiques et risques dus à l'action d'un couple sur ces matériaux;
- risque d'interférence avec les dispositifs médicaux implantés actifs;
- risque d'interférence avec les équipements médicaux électroniques;
- importance des restrictions d'accès et du contrôle des personnes ou objets entrant dans la zone d'accès contrôlé;
- importance de se déplacer lentement autour et à l'intérieur du scanner;
- répartition spatiale des champs autour du scanner;
- autres dangers, notamment les bruits et les gaz cryogéniques;
- procédures d'évacuation en cas d'extinction d'un aimant supraconducteur;
- procédures dans les situations d'urgence.

La formation doit normalement être adaptée à l'installation concernée, et elle est donc organisée en interne par une personne possédant les connaissances et l'expérience adéquates. On peut s'attendre à ce que les organisations professionnelles européennes concernées produisent des orientations plus détaillées concernant les exigences de formation.

Les autres membres du personnel susceptibles d'avoir accès à la zone d'accès contrôlé, comme le personnel de nettoyage et de sécurité, les pompiers et les ouvriers de maintenance du bâtiment, doivent également recevoir une formation de sensibilisation adaptée aux zones dans lesquelles ils peuvent être amenés à pénétrer. Cette formation ne doit cependant pas être aussi détaillée que pour le personnel RM.

F.6.3. Salle du scanner

Les membres du personnel amenés à pénétrer dans la zone à proximité de l'ouverture repérée sur le plan doivent veiller à se déplacer suffisamment lentement pour que tout effet passager reste acceptable. Des orientations plus détaillées sur la restriction des mouvements à l'intérieur de champs magnétiques statiques ont été publiées (CIPRNI, 2014). Ces orientations sont abordées plus en détail au point D.4. Les membres du personnel doivent avoir conscience des effets des champs à gradients commutés et de l'importance de ne pas s'approcher dans la zone repérée sur le plan, sauf dans les cas où la procédure exécutée le nécessite, et ne pas rester dans cette zone plus longtemps que nécessaire.

En cas de scannage actif avec des travailleurs présents à proximité ou à l'intérieur du cylindre, il est possible que ceux-ci ressentent une stimulation de leur système nerveux périphérique. Les scanners modernes sont conçus afin de limiter la stimulation du système nerveux périphérique chez la plupart des gens, mais les personnes les plus sensibles peuvent malgré tout ressentir certains effets et devraient avoir conscience des symptômes afin que des mesures puissent être prises pour limiter ces effets. Les travailleurs qui ressentent des effets dus à leur exposition doivent le signaler immédiatement au personnel chargé de la gestion des installations qui devrait, si nécessaire, mettre à jour l'évaluation des risques et les mesures de prévention.

Les effets directs sur les travailleurs peuvent entraîner des risques pour la sécurité d'autres personnes. Ainsi, les vertiges ou perturbations visuelles ressentis par des travailleurs en raison d'un mouvement rapide à l'intérieur du champ statique pourraient avoir une incidence néfaste sur leur capacité à prodiguer des soins adéquats au patient.

F.6.4. Entrée dans le scanner

Les membres du personnel ne doivent pas recevoir l'ordre de pénétrer dans le cylindre du scanner si cette opération n'est pas absolument essentielle. Le temps passé dans le cylindre du scanner, par exemple pour le nettoyer ou pour réconforter un patient, devrait être tenu au minimum nécessaire pour accomplir la tâche concernée. Les membres du personnel doivent se demander si la procédure est indispensable ou s'il serait possible d'obtenir le même résultat sans pénétrer dans le cylindre. Les travailleurs qui connaissent mal les effets des mouvements à l'intérieur d'un champ magnétique statique puissant peuvent être exposés à un risque plus important.

Dans de nombreux cas, il est possible d'appliquer des approches simples telles que la visualisation à distance (au moyen d'un miroir, par exemple) pour surveiller le patient pendant le scannage ou pour inspecter le cylindre du scanner. De même, certaines procédures de nettoyage peuvent se faire au moyen d'outils à long manche. Une utilisation réfléchie de ces approches permettra de réduire la nécessité d'avoir des travailleurs présents dans le cylindre.

S'il est indispensable que des membres du personnel entrent dans le scanner, il y a lieu de désactiver les champs de radiofréquences et les champs à gradients commutés, sauf si leur fonctionnement est absolument nécessaire. Si des champs à gradients commutés sont nécessaires, il convient si possible de les limiter à un seul gradient et de ralentir la vitesse d'acquisition du scan afin de limiter l'ampleur des expositions. De même, si des champs de radiofréquences sont requis, il convient de les maintenir à la puissance minimale permettant d'atteindre l'objectif du travail.

F.7. IRM dans l'environnement de recherche

Il est admis que le travail effectué dans un environnement de recherche est généralement moins routinier, et qu'il peut nécessiter des activités plus importantes des travailleurs à proximité du scanner. Néanmoins, de manière générale, il devrait être possible de suivre les principes généraux présentés ci-dessus pour le scannage des patients en les adaptant si nécessaire pour répondre aux besoins spécifiques de la recherche. La Société internationale pour la résonance magnétique en médecine (*International Society of Magnetic Resonance in Medicine*, Calamante et al, 2014) a élaboré une série de conseils détaillés pour l'utilisation sûre d'équipements d'IRM dans un environnement de recherche.

ANNEXE G

EXIGENCES D'AUTRES TEXTES EUROPÉENS

G.1. Base juridique de la législation européenne

La législation européenne est régie par trois traités fondamentaux:

- le traité sur l'Union européenne;
- le traité sur le fonctionnement de l'Union européenne (TFUE);
- le traité instituant la Communauté européenne de l'énergie atomique.

Le TFUE (anciennement traité de Rome) fournit la base législative des directives abordées ci-après.

G.2. Directives relatives à la santé et à la sécurité

Le TFUE définit l'objectif d'encourager les améliorations de l'environnement de travail en ce qui concerne la santé et la sécurité des travailleurs. Afin de contribuer à la réalisation de cet objectif, il permet l'adoption de directives fixant des exigences minimales.

G.2.1. Directive-cadre

En 1989, la directive-cadre 89/391/CEE a été adoptée en tant que directive générale dans ce domaine. Elle définit des principes généraux de prévention et de protection des travailleurs dans le contexte des maladies et accidents professionnels. Elle impose des obligations aux employeurs dans les domaines suivants:

- évaluation des risques (voir le chapitre 5);
- prévention des risques (voir le chapitre 9);
- dispositions relatives aux premiers secours, à la lutte contre l'incendie, à l'évacuation des travailleurs et aux mesures à prendre en cas de danger grave et immédiat;
- documentation des accidents;
- information, participation et formation des travailleurs;
- surveillance de la santé conformément à la législation et aux pratiques nationales;
- protection des groupes à risques particulièrement sensibles.

La directive-cadre impose également aux travailleurs:

- d'utiliser correctement l'équipement, les substances et les équipements de protection individuelle;
- de signaler à l'employeur toute situation présentant un danger grave et immédiat ainsi que toute défectuosité constatée dans les systèmes de protection;
- de coopérer avec l'employeur dans la mise en œuvre de mesures de protection de la santé et de la sécurité.

La directive-cadre prévoit l'adoption de directives individuelles qui fournissent principalement des détails supplémentaires quant à la façon d'atteindre les objectifs de la directive-cadre dans des situations spécifiques. La directive CEM est l'une des nombreuses directives individuelles qui viennent compléter les exigences générales de la directive-cadre. Certaines de ces autres directives peuvent présenter un intérêt pour le travail avec des CEM et sont présentées brièvement ci-dessous. Pour des informations plus concrètes concernant l'une de ces directives, vous pouvez consulter ces directives elles-mêmes, les actes législatifs qui les transposent en droit national et les guides officiels éventuellement disponibles.

G.2.2. Directive relative aux équipements de travail

La directive relative aux équipements de travail (2009/104/CE) impose aux employeurs de faire en sorte que les équipements de travail mis à disposition des travailleurs soient sûrs et adaptés au lieu de travail dans lequel ils sont destinés à être utilisés. Elle impose également aux employeurs de s'assurer que l'équipement de travail est correctement entretenu de façon qu'il reste conforme tout au long de sa durée de vie utile. L'employeur doit procéder à des inspections ou à des tests pour s'assurer que l'équipement est correctement installé et qu'il fonctionne correctement, et il doit en documenter les résultats.

Dans les cas où un équipement de travail est susceptible de générer des risques spécifiques, l'employeur a l'obligation de limiter son utilisation aux personnes tenues de l'utiliser et de veiller à ce que les réparations, les modifications et les activités de maintenance ou d'entretien soient effectuées exclusivement par des membres du personnel désignés.

Les employeurs sont tenus de fournir à leurs salariés des informations relatives aux conditions d'utilisation de l'équipement de travail, aux situations anormales prévisibles et aux dangers qui les concernent. Les travailleurs doivent également recevoir une formation adéquate.

G.2.3. Directive «lieu de travail»

La directive «lieu de travail» (89/654/CEE) impose des obligations aux employeurs afin qu'ils fournissent un lieu de travail sûr, propre et bien entretenu.

G.2.4. Directive sur la signalisation de sécurité et/ou de santé

La directive sur la signalisation de sécurité et/ou de santé (92/58/CEE) impose aux employeurs de veiller à ce que des signaux relatifs à la sécurité et/ou à la santé soient affichés dans les endroits où il est impossible d'éviter ou de réduire les dangers. Les travailleurs et leurs représentants doivent recevoir des instructions concernant la signification des signaux et les mesures à prendre lorsque ces signaux sont affichés.

Les exigences minimales applicables à ces signaux sont décrites dans les annexes de la directive.

G.2.5. Directive relative aux travailleuses enceintes

La directive sur les travailleuses enceintes (92/85/CEE) impose aux employeurs d'évaluer les risques pour la sécurité et la santé dus à l'exposition à une série d'agents physiques, biologiques et chimiques, y compris les rayonnements non ionisants. Les résultats de l'évaluation et les mesures éventuelles à prendre doivent être

communiqués aux travailleuses enceintes, qui ont récemment accouché ou qui allaitent ainsi qu'aux travailleuses susceptibles de se trouver dans ces situations. Lorsque des risques sont repérés, l'employeur est tenu de les éviter en adaptant les conditions de travail, en transférant la travailleuse vers un autre poste ou en lui accordant un congé.

La directive protège également les travailleuses enceintes contre l'obligation de travailler la nuit en cas de contre-indication médicale. Elle accorde des droits en matière de congé de maternité et assure une protection contre le licenciement motivé par la grossesse ou le congé de maternité.

G.2.6. Directive relative aux jeunes travailleurs

La directive relative aux jeunes travailleurs (94/33/CE) institue un système de protection concernant toutes les personnes de moins de 18 ans. Hormis quelques exceptions bien définies, les États membres sont tenus d'interdire le travail des enfants soumis à l'obligation de scolarité à plein temps (et en tout cas des mineurs de moins de 15 ans).

Les employeurs sont tenus de réaliser une évaluation des risques tenant compte en particulier des risques résultant d'un manque d'expérience, de l'absence de la conscience des risques existants ou virtuels, ou du développement non encore achevé des jeunes. Les employeurs sont également tenus de mettre en place des mesures visant à protéger la sécurité et la santé des jeunes. L'évaluation doit être effectuée avant que les jeunes commencent leur travail et lors de toute modification importante des conditions de travail. Les jeunes travailleurs et leurs représentants doivent être informés du résultat de l'évaluation et des mesures adoptées.

G.2.7. Directive relative à l'utilisation des équipements de protection individuelle

La directive relative à l'utilisation d'équipements de protection individuelle (89/656/CEE) fait obligation aux employeurs de veiller à l'utilisation d'équipements de protection individuelle dans les situations où il n'est pas possible d'éviter les risques ni de les limiter suffisamment par des moyens techniques ou organisationnels. Tout équipement de protection individuelle fourni doit respecter les prescriptions européennes en matière de conception et de fabrication et doit:

- être adapté aux risques encourus, sans accroître lui-même le risque;
- correspondre aux conditions en vigueur sur le lieu de travail;
- tenir compte des exigences ergonomiques et de l'état de santé du travailleur;
- être à la taille de la personne qui le porte, au besoin après ajustement.

Les équipements de protection individuelle doivent être fournis aux travailleurs gratuitement, en bon ordre de fonctionnement et dans des conditions conformes aux règles d'hygiène. L'employeur doit effectuer une évaluation pour s'assurer que cet équipement est adapté et, si nécessaire, compatible avec les autres équipements de protection individuelle.

Les travailleurs doivent être formés correctement à l'utilisation de tous les équipements de protection individuelle qui leur sont fournis.

G.3. Directives produits

Le TFUE interdit les restrictions quantitatives des échanges entre les États membres de l'Union européenne ou les mesures ayant des effets similaires. En vertu de la jurisprudence, les restrictions à la libre circulation des produits à l'intérieur de l'Union européenne peuvent être justifiées uniquement sur la base d'une non-conformité avec des *exigences essentielles*. Cette jurisprudence a entraîné la nécessité de définir les exigences essentielles et d'uniformiser l'évaluation de la conformité.

Ces problèmes ont été abordés dans un premier temps par la *nouvelle approche* de la réglementation relative aux produits, instaurant les principes suivants:

- l'harmonisation législative devrait être limitée à l'adoption des exigences essentielles auxquelles doivent correspondre les produits mis sur le marché de l'Union, s'ils doivent bénéficier de la libre circulation dans l'Union;
- les spécifications techniques des produits correspondant aux exigences essentielles fixées par les directives devraient être énoncées dans des normes harmonisées;
- les produits fabriqués conformément aux normes harmonisées bénéficient d'une présomption de conformité aux exigences essentielles correspondantes;
- l'application de normes harmonisées ou d'autres normes est laissée à la discrétion du fabricant qui garde la possibilité d'appliquer d'autres spécifications techniques pour satisfaire aux exigences, auquel cas il est tenu de démontrer l'application de ces autres spécifications.

La nouvelle approche a été remplacée aujourd'hui par le nouveau cadre législatif, qui révisé et renforce des aspects du système antérieur.

Cette approche de la législation relative aux produits permet de réglementer de larges groupes de produits partageant des exigences essentielles communes. À ce jour, 27 directives ont été adoptées selon ce système, dont quelques-unes seulement sont susceptibles de présenter un intérêt en matière de sécurité des CEM sur le lieu de travail. Ces directives sont présentées ci-après.

G.3.1. Équipements électriques

Les équipements électriques mis sur le marché dans l'Union européenne sont soumis aux exigences de la directive «basse tension» (2006/95/CE). Cette directive a fait l'objet d'une refonte en 2014, et les États membres sont tenus de transposer la nouvelle directive «basse tension» (2014/35/UE) dans leur législation nationale, au plus tard pour le 20 avril 2016. Hormis certaines exceptions spécifiques, les directives «basse tension» s'appliquent aux équipements électriques conçus pour fonctionner à des tensions de courant alternatif comprises entre 50 et 1 000 V ou des tensions de courant continu comprises entre 75 et 1 500 V.

L'une des exigences des directives «basse tension» est que ces équipements ne doivent pas mettre en danger la santé ni la sécurité des personnes, des animaux domestiques ni des biens matériels lorsqu'ils sont installés et entretenus correctement et utilisés de la façon prévue. La directive contient une disposition particulièrement pertinente pour le présent guide, à savoir l'obligation de prendre les mesures techniques nécessaires pour faire en sorte que l'équipement concerné ne produise aucun rayonnement qui soit source de danger.

G.3.2. Machines

Les machines commercialisées dans l'Union européenne sont soumises aux exigences de la directive «machines» (2006/42/CE). Celle-ci s'applique de manière générale à tout ensemble de pièces ou d'organes liés entre eux dont au moins un est mobile, et équipé ou destiné à être équipé d'un système d'entraînement. À l'exception des dispositifs de levage, les équipements entraînés uniquement par la force humaine ou animale sont exclus du champ d'application de la directive. Ce large champ d'application s'accompagne d'un certain nombre d'exclusions et d'ajouts spécifiques.

La directive «machines» vise à faire en sorte que les machines ne présentent aucun risque pour la santé ou la sécurité. Elle contient des exigences spécifiques visant à éliminer les émissions ou les rayonnements indésirables ou à les réduire à des niveaux sans effets néfastes sur les personnes. Les émissions de rayonnements non ionisants pendant le paramétrage, l'utilisation et le nettoyage doivent être limitées à des niveaux sans effets néfastes sur les personnes.

Les fabricants de machines sont tenus de fournir des informations relatives aux risques résiduels dans les instructions fournies avec la machine. Ils sont également tenus de fournir des informations concernant les émissions probables susceptibles de porter préjudice aux personnes, et notamment aux personnes portant des dispositifs médicaux implantés.

G.3.3. Équipements radio

Les équipements hertziens (équipements radio) commercialisés dans l'Union européenne sont soumis aux exigences de la directive concernant les équipements hertziens et les équipements terminaux de télécommunications (1999/5/CE). Cette directive va cependant être abrogée à partir du 13 juin 2016 et remplacée par la directive concernant les équipements radioélectriques (2014/53/UE). Dans le cadre des dispositions transitoires, les équipements radio conformes à la directive 1999/5/CE pourront continuer d'être commercialisés jusqu'au 13 juin 2017. La directive «radio» s'applique à tout équipement conçu pour émettre ou recevoir intentionnellement des ondes radioélectriques dans un but de radiocommunication ou de radiorepérage (qui utilise les ondes radio afin de déterminer la position, la vitesse ou d'autres caractéristiques d'un objet ou des informations relatives à ces paramètres). La directive concernant les équipements hertziens et les équipements terminaux de télécommunications possède un champ d'application plus large et inclut, par exemple, les équipements destinés à assurer une connexion à un réseau public.

Ces deux directives intègrent les mêmes exigences en matière de santé et de sécurité que les directives «basse tension» (voir le point G.3.1), mais sans restriction relative à des limites de tension.

G.3.4. Équipements médicaux

Les équipements médicaux électroniques commercialisés sur le marché de l'Union européenne sont soumis aux exigences de la directive relative aux dispositifs médicaux (93/42/CEE) ou de la directive relative aux dispositifs médicaux implantables actifs (90/385/CEE). Ces deux directives sont présentées plus en détail aux points E.2.1.1 (directive relative aux dispositifs médicaux implantés actifs) et E.2.3 (directive relative aux dispositifs médicaux).

G.3.5. Équipements de protection individuelle

Les équipements de protection individuelle commercialisés dans l'Union européenne sont soumis aux exigences de la directive relative aux équipements de protection individuelle (89/686/CEE). Sous réserve de certaines exclusions spécifiques, on entend par

«équipement de protection individuelle» tout dispositif ou appareil destiné à être porté ou tenu par une personne afin de la protéger contre un ou plusieurs dangers pour sa santé et sa sécurité.

La directive relative aux équipements de protection individuelle dispose que les équipements de protection individuelle peuvent être mis sur le marché et en service uniquement s'ils préservent la santé et garantissent la sécurité de leurs utilisateurs dès lors qu'ils sont dûment entretenus et utilisés conformément aux fins prévues. Les équipements de protection individuelle ne peuvent pas compromettre la santé ou la sécurité d'autres personnes, d'animaux ni de biens.

G.3.6. Sécurité générale des produits

La directive relative à la sécurité générale des produits (2001/95/CE) vise à garantir la sécurité des produits destinés à être utilisés par les consommateurs. Lorsque ces produits relèvent du champ d'application de l'une des directives adoptées selon la nouvelle approche ou le nouveau cadre législatif, les exigences de cette directive prévalent en principe sur celles de la directive relative à la sécurité générale des produits. Bien que la directive relative à la sécurité générale des produits vise à protéger les consommateurs, elle s'applique aux produits achetés en vue d'être utilisés par une entreprise, pour autant qu'ils soient destinés à être utilisés par les consommateurs.

La directive relative à la sécurité générale des produits exige que les produits ne présentent aucun risque ou seulement des risques réduits à un niveau bas compatibles avec leur utilisation prévue et considérés comme acceptables dans le respect d'un niveau élevé de protection de la santé et de la sécurité. Ces exigences s'appliquent dans toutes les conditions d'utilisation raisonnablement prévisibles, y compris les conditions d'installation, de mise en service et d'entretien.

G.3.7. Compatibilité électromagnétique

Les équipements susceptibles de provoquer des perturbations électromagnétiques ou d'en subir les effets et qui sont mis sur le marché ou en service dans l'Union européenne sont soumis aux exigences de la directive relative à la compatibilité électromagnétique (2004/108/CE). Cette directive a récemment subi une refonte. La nouvelle directive relative à la compatibilité électromagnétique (2014/30/UE) entrera en vigueur le 20 avril 2016, et la directive existante sera abrogée à cette même date. Tout équipement mis sur le marché avant le 20 avril 2016 et conforme à la directive 2004/108/CE peut continuer d'être mis sur le marché après cette date. Il existe des exceptions spécifiques au champ d'application des directives, notamment pour les équipements qui relèvent du champ d'application de la directive concernant les équipements hertziens et les équipements terminaux de télécommunications (voir point G.3.3) et les équipements aéronautiques. Les exigences de compatibilité électromagnétique applicables aux aéronefs sont définies par le règlement (CE) n° 6/2008, et les véhicules à quatre roues et plus sont régis par le règlement (CE) n° 661/2009.

Les directives relatives à la compatibilité électromagnétique ne contiennent aucune disposition visant spécifiquement à garantir la santé et la sécurité des personnes. Elles contiennent par contre des exigences visant à limiter les perturbations électromagnétiques afin d'empêcher les interférences avec d'autres équipements, et elles exigent que les équipements présentent une résistance aux perturbations leur permettant de fonctionner dans leur environnement prévu sans dégradation inacceptable. Ces exigences peuvent avoir des conséquences pour la sécurité du point de vue de certains effets indirects.

G.4. Recommandation du Conseil européen

Afin de protéger les citoyens, le Conseil de l'Union européenne a adopté une recommandation relative à la limitation de l'exposition du public aux champs électromagnétiques (1999/519/CE). Cette recommandation crée un cadre afin de protéger le public contre les effets néfastes connus sur la santé susceptibles de résulter de l'exposition à des champs électromagnétiques. Elle n'aborde pas la protection des travailleurs.

La recommandation du Conseil n'est pas contraignante, mais elle établit un système de restrictions de base, des valeurs à ne pas dépasser équivalentes du point de vue conceptuel aux VLE utilisées dans la directive CEM.

Étant donné que les restrictions de base sont définies principalement par des grandeurs à l'intérieur du corps qu'il n'est pas possible de mesurer facilement, la recommandation du Conseil établit aussi un système de niveaux de référence définis en termes de grandeurs de champs externes plus facile à évaluer. Les niveaux de référence sont dérivés des restrictions de base au moyen d'approches prudentes, de sorte que si le niveau de référence n'est pas dépassé, la restriction de base sous-jacente ne sera pas dépassée. Cependant, étant donné que le calcul des niveaux de référence se fonde sur les hypothèses les plus pessimistes, il est souvent possible de dépasser les niveaux de référence sans dépasser les restrictions de base. À cet égard, les niveaux de référence sont équivalents sur le plan conceptuel aux valeurs déclenchant l'action utilisées dans la directive CEM.

Il est recommandé aux États membres, lorsqu'ils appliquent le système des restrictions de base et des niveaux de référence, de prendre en considération les risques et les avantages des technologies générant des champs électromagnétiques. Il leur est également recommandé de fournir des informations au public et de promouvoir et d'analyser les recherches relatives aux effets des champs électromagnétiques sur la santé.

La recommandation du Conseil invite également la Commission européenne à contribuer à la protection du public. La Commission est invitée à travailler à l'établissement de normes européennes à l'appui du système de protection décrit, à encourager la recherche portant sur les effets à court et à moyen terme de l'exposition à des champs électromagnétiques, de promouvoir l'instauration d'un consensus international dans ce domaine et de passer en revue les questions couvertes par la recommandation.

Le système de protection décrit dans la recommandation du Conseil a été largement adopté comme cadre de protection du public. Les niveaux de référence qui y sont définis, en particulier, ont servi de base à la gestion des expositions dans de nombreux espaces accessibles au public. Les niveaux de référence ont également été utilisés pour guider l'élaboration de normes pour l'immunité électromagnétique des dispositifs médicaux implantés actifs.

ANNEXE H

NORMES EUROPÉENNES ET INTERNATIONALES

Des normes techniques relatives aux CEM ont été élaborées par différents organismes tels que la Commission électrotechnique internationale (CEI), le Comité européen de normalisation électrotechnique (Cenelec) et d'autres autorités de normalisation.

Le Cenelec a déjà élaboré une série de normes d'exposition dans le contexte professionnel en lien avec l'évaluation des CEM. Ces normes ont toutefois été élaborées afin de démontrer la conformité avec la directive CEM précédente. Il convient donc de ne pas utiliser les normes datant de 2013 ou antérieures à 2013 pour évaluer la conformité avec la directive CEM actuelle.

Certaines normes existantes permettent d'évaluer la conformité par rapport à la recommandation du Conseil (1999/519/CE). En vertu de l'article 4, paragraphe 6, de la directive CEM, les employeurs ne sont pas tenus d'effectuer des évaluations de l'exposition pour les lieux de travail ouverts au public donc une évaluation a déjà démontré qu'ils respectaient la recommandation du Conseil (1999/519/CE). Cette clause est soumise à la condition que l'exposition des travailleurs soit conforme à celle du public et à l'absence de risques pour la santé et la sécurité.

Le Cenelec publie également des normes produits harmonisées par rapport à différentes directives produits (voir le point G.3). La rubrique consacrée aux entreprises du site internet de la Commission présente des listes de normes harmonisées par rapport à chaque directive produit. Les fabricants et les fournisseurs peuvent se servir de ces normes pour démontrer leur respect des exigences de sécurité en matière de CEM. Dans les cas où l'équipement est destiné à une utilisation par le public et respecte les niveaux de sécurité plus stricts requis pour les équipements de ce type, et pour autant qu'aucun autre équipement ne soit utilisé, le lieu de travail est réputé conforme à la recommandation du Conseil (1999/519/CE).

Comme indiqué ci-dessus, lorsque des normes sont élaborées, elles relèvent en général de l'un ou de l'autre type: des normes d'émissions ou des normes d'exposition.

- Les normes d'émission concernent les émissions des équipements et donnent aux fabricants un moyen de démontrer que le champ émis par un produit ne dépassera pas une certaine limite. Cette limite est définie en général soit par les VA ou les VLE de la directive CEM, soit par les valeurs de la recommandation du Conseil (1999/519/CE). Il est important de noter que ces évaluations partent de l'hypothèse que l'équipement concerné est utilisé comme prévu. L'évaluation peut ne pas être valide dans les cas où l'équipement n'est pas utilisé de la façon prévue par le fabricant.
- Les normes d'évaluation de l'exposition définissent généralement une façon normalisée d'évaluer les expositions dans des secteurs particuliers ou pour des technologies particulières. Les évaluations des lieux de travail doivent tenir compte de la façon dont l'équipement est utilisé et couvrir tous les aspects du travail avec l'équipement concerné, y compris son nettoyage et sa maintenance.

De manière générale, les normes d'émission visent à faire en sorte que l'exposition totale aux émissions d'un dispositif soit suffisamment faible pour que l'utilisation de cet équipement, même à proximité d'autres sources de CEM, n'entraîne aucun dépassement des limites d'exposition.

On notera que ces normes concernent l'évaluation d'équipements individuels, tandis que la directive CEM porte sur l'exposition des travailleurs à toutes les sources. L'exposition à plusieurs sources individuellement conformes pourrait entraîner une exposition combinée dépassant une VA ou une VLE. En général cependant, les champs s'estompent rapidement avec la distance, de sorte que si les différents équipements sont séparés par une distance suffisante, les champs résultants sont normalement conformes.

Le Cenelec travaille actuellement à l'élaboration de nouvelles normes techniques qui seront axées sur la conformité avec la directive CEM actuelle. Ces normes seront publiées au fur et à mesure de leur adoption, mais il faudra probablement un certain temps pour élaborer un ensemble complet de normes. Néanmoins, toute personne chargée d'effectuer une évaluation devrait vérifier s'il existe une norme pertinente pour la directive CEM actuelle.

Au sein du Cenelec, les travaux d'élaboration de nouvelles normes pour l'évaluation des expositions sont effectués par le Comité technique CLC/TC106X: champs électromagnétiques dans l'environnement humain. La page du site internet du Cenelec consacrée au comité TC106X présente l'état d'avancement de l'élaboration des nouvelles normes.

ANNEXE I

RESSOURCES

I.1. Organes consultatifs/de réglementation

I.1.1. Union européenne

Pays	Organisation	Site internet
Allemagne	Ministère fédéral du travail et des affaires sociales	www.bmas.bund.de
Autriche	Bundesministerium für Arbeit, Soziales und Konsumentenschutz	www.bmask.gv.at/site
Belgique	Service public fédéral «Emploi, travail et concertation sociale»	www.employment.belgium.be
Bulgarie	Centre national de la santé publique et d'analyses	ncphp.government.bg/en
Chypre	Ministère du travail et de la sécurité sociale	www.mlsi.gov.cy
Croatie	Ministère du travail et du système des pensions	www.mrms.hr
Danemark	Autorité danoise pour l'environnement de travail	www.at.dk
Espagne	Institut national de sécurité et d'hygiène au travail	www.meyss.es
Estonie	Inspection du travail d'Estonie	www.ti.ee
Finlande	Ministère des affaires sociales et de la santé	www.riskithaltuun.fi
France	Ministère du travail, de l'emploi et du dialogue social	www.travail.gouv.fr
Grèce	Ministère du travail et des affaires sociales	www.mathra.gr
Hongrie	Institut national de recherche en radiobiologie	www.osski.hu
Irlande	Autorité de la santé et de la sécurité	www.hsa.ie
Italie	Institut national d'assurance contre les accidents au travail	www.inail.it
Lettonie	Inspection du travail de la République de Lettonie	www.vdi.gov.lv
Lituanie	Département du travail, ministère de la sécurité sociale et du travail	www.socmin.lt/en
Luxembourg	Inspection du travail et des mines	www.itm.lu/de/home.html
Malte	Autorité de la santé et de la sécurité au travail	www.ohsa.org.mt
Pays-Bas	Institut national pour la santé publique et l'environnement (RIVM)	www.rivm.nl
Pologne	Institut central de protection au travail	www.ciop.pl
Portugal	Autoridade para as Condições de Trabalho	www.act.gov.pt
République tchèque	Ministère du travail et des affaires sociales	www.mpsv.cz/cs
Roumanie	Institut national de recherche et de développement sur la sécurité au travail	www.protectiamuncii.ro
Royaume-Uni	Administration de la santé et de la sécurité Public Health England	www.hse.gov.uk www.gov.uk/government/organisations/public-health-england
Slovaquie	Ministère du travail, des affaires sociales et de la famille	www.employment.gov.sk/en
Slovénie	Ministère du travail, de la famille et des affaires sociales	www.gov.si
Suède	Autorité suédoise pour l'environnement de travail	www.av.se

I.1.2. Organisations internationales

Organisation	Site internet
Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants	www.icnirp.de
Organisation mondiale de la santé	www.who.int
Confédération européenne des syndicats	www.etuc.org
European Public Health Alliance (Alliance européenne pour la santé publique)	www.epha.org
Agence européenne pour la santé et la sécurité au travail	osha.europa.eu
Commission internationale de la santé au travail	www.icohweb.org

I.2. Associations professionnelles

Organisation	Site internet
Conseil des employeurs européens du métal, de l'ingénierie et des technologies	www.ceemet.org
Association des constructeurs européens d'automobiles	www.acea.be
Euro Chlor	www.eurochlor.org
Réseau européen des gestionnaires de réseau de transport d'électricité — REGRT-E	www.entsoe.eu
European Coordination Committee of the Radiological Electromedical and Healthcare IT Industry (COCIR)	www.cocir.org
Union du secteur de l'électricité — Eurelectric	www.eurelectric.org

I.3. Documents d'orientation nationaux

Pays	Documents
Allemagne	BGV B11, Unfallverhütungsvorschrift, Elektromagnetische Felder BGR B11, Berufsgenossenschaftliche Regel, Elektromagnetische Felder BGI 5011, Beurteilung magnetischer Felder von Widerstandsschweißeinrichtungen BGI/GUV-I 5111, Beeinflussung von Implantaten durch elektromagnetische Felder IFA Report 4/2013, Elektromagnetische Felder an handgeführten Mittelfrequenz-/Inverter-Punktschweißzangen IFA-Report 5/2011, Elektromagnetische Felder an Anlagen, Maschinen und Geräten IFA-Report 2/2009, Electromagnetic fields at handheld spot-welding guns Hannah Heinrich (2007). Assessment of non-sinusoidal, pulsed, or intermittent exposure to low frequency electric and magnetic fields, Health Physics, 92, (6) BMAS-Forschungsbericht FB 400-E, Electromagnetic fields at workplace, ISSN 0174-4992
Belgique	Arrêté n° 7 portant sur des exigences minimales pour la sécurité et la santé au travail, <i>Moniteur belge</i> n° 88, 1999
Danemark	Ordonnance exécutive n° 559 sur l'«accomplissement du travail» Ordonnance exécutive n° 513 modifiant l'ordonnance exécutive n° 559 sur l'«accomplissement du travail» Ikke-ioniserende stråling, Vejledning om ikke-ioniserende stråling med frekvenser under 300 GHz D.6.1.1, Maj 2002 At-VEJLEDNING, ARBEJDSSTEDETS INDRETNING — A.1.8, Gravide og ammendes arbejdsmiljø
Estonie	Töökeskonna füüsikaliste ohutegurite piirnormid ja ohutegurite parameetrite mõõtmise kord
Finlande	Toimintamalli RF-kenttien aiheuttamissa tapaturmaisissa ylialtistumistilanteissa, Tommi Alanko, Harri Lindholm, Soile Jungewelter, Maria Tiikkaja, Maila Hietanen (2013), ISBN 978-952-261-349-3 (PDF, FI), ISBN 978-952-261-393-6 (PDF, EN) Sydäntahdistimen häiriötön toiminta työympäristön sähkömagneettisissa kentissä, Maria Tiikkaja, Maila Hietanen, Tommi Alanko, Harri Lindholm (2012), ISBN 978-952-261-212-0 (print), ISBN 978-952-261-213-7 (pdf, FI), ISBN 978-952-261-295-3 (pdf, EN) Turvallinen työskentely tukiasemien lähellä, Tommi Alanko, Maila Hietanen (2006), ISBN (vihko) 951-802-707-2, ISBN (PDF) 951-802-708-0 Sähkömagneettiset kentät työympäristössä — Opaskirja työntekijöiden altistumisen arvioimiseksi, Maila Hietanen, Patrick von Nandelstadh, Tommi Alanko, ISBN 951-802-614-9, ISSN 1458-9311 Työntekijöiden altistuminen tukiasemien radiotaajuisille kentille, Tommi Alanko, Maila Hietanen, Patrick von Nandelstadh (2006), ISBN 951-802-667-X, ISSN 1458-9311 Sydäntahdistinpotilaan työhön paluun tukeminen — Sähkömagneettisten häiriöriskien hallinta, Maria Tiikkaja, Maila Hietanen, Tommi Alanko ja Harri Lindholm (2012), ISBN 978-952-261-204-5 (nid.) ISBN 978-952-261-205-2 (PDF)

France	Hygiène et sécurité du travail n° 233, décembre 2013 (soudage par résistance) INRS, Exposition des travailleurs aux risques dus aux champs électromagnétiques, Guide d'évaluation des risques
Grèce	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΑΤΙΚΟΥ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΤΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟΥ ΣΤΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ ΤΟΥ ΠΥΡΗΝΙΚΟΥ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΥ (NMR), 5ο Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας, Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών, Αθήνα, 9-10 Μαΐου 2014
Lettonie	Atgādne par elektromagnētisko lauku, Aktualizēts 2011.gada jūnijā
Lituanie	Norme d'hygiène (NH) lituanienne 110:2001 Champ électromagnétique d'une fréquence de 50 Hz sur le lieu de travail. Valeurs acceptables des paramètres et exigences de mesure, et travail n° 660/174 du 21 décembre 2001 Norme d'hygiène (NH) lituanienne 80:2011 Champ électromagnétique sur le lieu de travail et dans l'environnement de vie. Valeurs acceptables des paramètres et exigences de mesure dans la gamme de radiofréquences de 10 kHz à 300 GHz, approuvée par le décret du ministre de la santé et n° V-199 du 2 mars 2011 Règles relatives à la détermination des intensités de champs électrostatiques permises sur les lieux de travail, approuvées par le décret du ministre de la santé, et n° 28 du 18 janvier 2001
Luxembourg	Conditions d'exploitation pour les émetteurs d'ondes électromagnétiques à haute fréquence, ITM-CL 179.4
Pologne	EU Directive, ICNIRP Guidelines and Polish Legislation on Electromagnetic Fields, <i>International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (JOSE)</i> , 12(2), 125-136 Exposure of Workers to Electromagnetic Fields. A Review of Open Questions on Exposure Assessment Techniques, <i>International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (JOSE)</i> , 15(1), 3-33
Roumanie	<i>Monitorul oficial al Romaniei</i> Anul 175 (XIX) — Nr. 645, Vineri, 21 septembrie 2007

I.4. Documents d'orientation de l'industrie

Organisation	Document d'orientation
Euro Chlor	Electromagnetic Fields in the Chlorine Electrolysis Units: Health Effects, Recommended Limits, Measurement Methods and Possible Prevention Actions. HEALTH 3. 3 ^e édition, 2014

ANNEXE J

GLOSSAIRE, ABRÉVIATIONS ET SYMBOLES UTILISÉS DANS LES DIAGRAMMES

J.1. Glossaire

Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants (CIPRNI)	Organe composé d'experts scientifiques indépendants visant à diffuser des informations et des conseils concernant les dangers potentiels pour la santé de l'exposition à des rayonnements non ionisants.
Contrôle de l'ingénierie	Mesures de sécurité de conception délibérément technique devant être utilisées comme méthode fondamentale pour réduire l'exposition aux rayonnements. Moyen physique d'empêcher l'accès aux rayonnements.
Courant de contact	Le courant électrique qui traverse une personne lorsque celle-ci touche un objet conducteur à l'intérieur d'un champ électromagnétique.
Danger	Toute chose susceptible de causer un dommage. Le danger peut concerner les personnes, les biens ou l'environnement.
Densité de courant	Le courant électrique ou le passage d'une charge électrique à travers un support conducteur, comme les tissus, par unité de section. Unité: ampère par mètre carré. Symbole: A/m ² .
Densité de puissance	Puissance de rayonnement incidente sur une unité de surface (Wm ⁻²).
Dérogation	La révocation partielle d'une loi ou d'une réglementation dans des circonstances particulières.
Diélectrique	Un isolant électrique susceptible d'être polarisé par un champ électrique appliqué.
Dipôle	Une antenne composée d'une tige conductrice portant le fil de connexion en son centre.
Dispositif à fil à exploser	Détonateur utilisant un courant électrique pour vaporiser un fil: le choc et la chaleur qui en découlent provoquent la détonation du matériau explosif avoisinant.
Dosimétrie	Le calcul ou l'évaluation de l'énergie déposée à l'intérieur du corps humain.
Électrolyse industrielle	Un procédé utilisé à grande échelle par lequel un courant électrique stimule une réaction chimique non spontanée.
Événement raisonnablement prévisible	Événement qui, dans des circonstances données, peut être prévu de façon relativement précise et dont la probabilité ou la fréquence n'est pas faible ou très faible.
Facteur de risque	Le produit de la probabilité d'un événement lié à un danger et du résultat ou du préjudice qui en résulte.
Fréquence	Nombre de cycles d'une oscillation par unité de temps. Symbole: f. Unité: Hz.
Imagerie par résonance magnétique	Une technique d'imagerie médicale utilisant des champs magnétiques puissants et des champs électromagnétiques à haute fréquence afin de produire des images détaillées de l'intérieur du corps.
Indice d'exposition	L'exposition observée divisée par la valeur limite. Si l'indice d'exposition est inférieur à 1, l'exposition respecte les valeurs limites.
Induction	L'induction (électromagnétique) désigne la production d'une tension sur un conducteur électrique exposé à un champ magnétique variant dans le temps.

Inspection par particules magnétiques	Une méthode de détection des fissures et autres défauts dans un matériau magnétique au moyen d'une poudre magnétique et de champs magnétiques.
Interverrouillage (voir «Interverrouillage de sécurité»)	Un dispositif mécanique, électrique ou autre visant à empêcher le fonctionnement d'un équipement dans des conditions définies.
Interverrouillage de sécurité	Un dispositif mécanique, électrique ou autre visant à empêcher le fonctionnement d'un équipement dans des conditions définies.
Joule	L'unité de mesure de l'énergie, correspondant au travail effectué par une force d'un newton déplaçant un objet sur un mètre. Symbole: J.
Longueur d'onde	La distance entre des points similaires sur les cycles successifs d'une onde. Unité: mètre. Symbole: m.
Mesures administratives	Mesures de sécurité de nature non technique, par exemple: contrôle essentiel, formation à la sécurité et avis de mise en garde.
Norme produit	Document précisant les caractéristiques essentielles d'un produit afin d'assurer l'uniformité de fabrication et l'interopérabilité.
Norme technique	Document définissant une approche normalisée d'un processus.
Orthogonal	À angle droit (90 degrés).
Phosphènes	Éclairs de lumière perçus par une personne sans que de la lumière atteigne ses yeux.
Rayonnement de radiofréquence	Rayonnement électromagnétique souvent défini comme présentant des fréquences comprises entre 100 kHz et 300 GHz.
Rayonnement électromagnétique	Le rayonnement électromagnétique est une forme de rayonnement possédant des composantes de champ électrique et de champ magnétique, que l'on peut décrire comme des ondes se propageant à la vitesse de la lumière. Dans certaines circonstances, on peut considérer que les rayonnements électromagnétiques prennent la forme de particules appelées photons.
Rayonnements non ionisants	Rayonnements n'entraînant pas d'ionisation dans les tissus vivants. C'est le cas, par exemple, des rayonnements ultraviolets, de la lumière, des rayons infrarouges et des rayonnements de radiofréquence.
Risque	Probabilité d'une blessure ou d'un dommage.
Sécurité positive	Un composant à sécurité positive est un composant dont la défaillance n'augmente pas le danger, c'est-à-dire que la défaillance le met dans une condition de sécurité. En mode de défaillance, le système est rendu inopérant ou non dangereux.
Sinusoidal	Variant d'une façon que l'on peut représenter par une fonction trigonométrique fondée sur le sinus.
Spectre électromagnétique	Le spectre électromagnétique désigne la gamme de toutes les fréquences possibles de rayonnements électromagnétiques. Il va des ondes courtes telles que les rayons x aux ondes longues (micro-ondes, ondes de télévision et radio), en passant par les rayonnements visibles.
Tension	L'unité de différence de potentiel électrique. Symbole: V.
Transmission	Le passage d'un rayonnement à travers un support. Si tous les rayonnements ne sont pas absorbés, on dit que le rayonnement qui traverse le support est «transmis». Dépend de la longueur d'onde, de la polarisation, de l'intensité de rayonnement et du matériau de transmission.
Walkie-talkie	Dispositif de communication bidirectionnelle portatif utilisant les gammes de radiofréquence non soumises à licence. Aussi appelé «émetteur-récepteur portatif».
Watt	Unité de mesure de la puissance, équivalente à une énergie d'un joule pendant une seconde. Symbole: W.
Wi-Fi	Système permettant de connecter des équipements électroniques, comme des ordinateurs, à un réseau local au moyen d'une communication par radiofréquences.

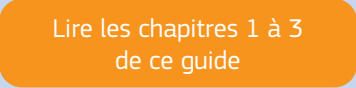
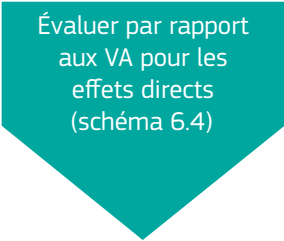
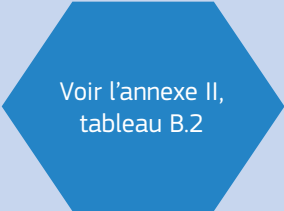
J.2. ABRÉVIATIONS

AS	Absorption spécifique
CEM	Champs électromagnétiques
Cenelec	Comité européen de normalisation électrotechnique
CIPRNI	Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants
DAS	Débit d'absorption spécifique
DASCE	DAS moyen sur le corps entier
DECT	Télécommunications numériques sans fil avancées (<i>Digital Enhanced Cordless Telecommunications</i>)
DF	Différence finie
DFDT	Différence finie dans le domaine temporel
DFPS	Différence finie des potentiels scalaires
DMIA	Dispositif médical implanté actif
DVD	Disque numérique versatile (Digital versatile disc)
ELF	Fréquence extrêmement basse
HF	Haute fréquence
IE	Indice d'exposition
IR	Infrarouge
IRM	Imagerie par résonance magnétique
LF	Basse fréquence
MA	Modulation d'amplitude
MEF	Méthode des éléments finis
MF	Moyenne fréquence
NSB	Normes de sécurité de base
OIRA	Évaluation interactive des risques en ligne (<i>Online interactive risk assessment</i>)
PRE	Puissance rayonnée effective
RC	Résistance/Condensateur
RF	Radiofréquence
RFID	Identification par radiofréquences (<i>Radiofrequency identification</i>)
RFM	Règle des fréquences multiples
RMN	Résonance magnétique nucléaire
RMS	Moyenne quadratique (<i>root-mean-square</i>)
SHF	Hyper haute fréquence
SNC	Système nerveux central
STD	<i>Shaped time domain</i>
TETRA	<i>Terrestrial Trunked Radio</i>

TI	Technologies de l'information
TV	Télévision
UHF	Ultra haute fréquence
UV	Ultraviolet
VA	Valeur déclenchant l'action
VHF	Très haute fréquence
VLE	Valeur limite d'exposition
VLf	Très basse fréquence
WLAN	Réseau local sans fil (<i>Wireless local area network</i>)
WPM	Méthode de mesure utilisant la technique de crête pondérée (<i>weighted peak method</i>)

J.3. Symboles utilisés dans les diagrammes

Tableau J.3 — Symboles des diagrammes utilisés dans le présent guide

Symbole	Description	Signification dans le présent guide
	Terminateur	Indique le début et la fin d'une procédure
	Décision	Pose une question afin de guider l'utilisateur vers l'une des deux voies alternatives marquées «oui» et «non»
	Processus	Indique le processus à accomplir afin de progresser
	Connecteur hors page	Utilisé pour créer un lien avec un autre diagramme. Ces connecteurs utilisent des codes de couleur pour indiquer les points d'entrée et de sortie.
	Préparation	Indique à l'utilisateur qu'il doit effectuer un travail préparatoire pour cette partie du diagramme. Se réfère à une case utilisant un code de couleur

ANNEXE K

BIBLIOGRAPHIE

K.1. Chapitre 5 — L'évaluation des risques dans le contexte de la directive CEM

Occupational Health and Safety Management Systems — Guidelines for the implementation of OHSAS 18001. PHSAS 18002:2000.

Forschungs Bericht 400-E, Electromagnetic fields at workplaces — A new scientific approach to occupational health and safety. ISSN 0174-4992.

K.2. Chapitre 9 — Mesures de protection et de prévention

ISO (Organisation internationale de normalisation) (2011). Symboles graphiques — Couleurs de sécurité et signaux de sécurité — Signaux de sécurité enregistrés ISO7010.

Melton, G., et Shaw, R. (2014), *Electromagnetic fields in the welding environment*, RR1018, HSE, London.

K.3. Chapitre 11 — Risques, symptômes et surveillance de la santé

Alanko, T., Lindholm, H., Jungewelter, S., Tiikkaja, M., et Hietanen, M. (2014), *Operating model for managing accidental overexposure to RF- fields*, Helsinki, Institut finlandais de la santé au travail. ISBN 978-952-261-393-6.

K.4. Annexe D — Évaluation de l'exposition

De Santis, V., Chen, X. L., Laakso, I., et Hirata, A. (2013), «On the issues related to compliance of LF pulsed exposures with safety standards and guidelines», *Phys Med Biol*, Vol. 58, pp. 8597 à 8607.

HVBG (2001), Accident Prevention Regulation Electromagnetic Fields. BGVB11 <http://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/v-b11.pdf>

Heinrich, H. (2007), «Assessment of non-sinusoidal, pulsed, or intermittent exposure to low frequency electric and magnetic fields», *Health Phys*, Vol. 92, N° 6, pp. 541-6.

CIPRNI (1998), «ICNIRP guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic fields and electromagnetic fields (up to 300GHz)», *Health Phys*, Vol. 74, N° 4, pp. 494 à 522.

CIPRNI (2010), «ICNIRP guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz-100 kHz)», *Health Phys*, Vol. 99, N° 6, pp. 818 à 836.

CIPRNI (2014), «ICNIRP guidelines for limiting exposure to electric fields induced by movement of the human body in a static magnetic field and by time-varying magnetic fields below 1 Hz», *Health Phys*, Vol. 106, N° 3, pp. 418 à 425.

ISO/IEC Guide 98-3:2008, Incertitude de mesure — partie 3: guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM:1995).

Jokela, K. (2000), «Restricting exposure to pulsed and broadband magnetic fields», *Health Phys*, Vol. 79, N° 4, pp. 373-88.

K.5. Annexe E — Effets indirects et travailleurs à risques particuliers

Association de l'assurance sociale allemande contre les accidents (2012). Beeinflussung von Implantaten durch elektromagnetische felder. BGI/GUV-I 5111.

NRPB (2004), «Review of the scientific evidence for limiting exposure to electromagnetic fields (0-300GHz)», *Documents of the NRPB*, Vol. 15, N° 3.

K.6. Annexe F — Imagerie par résonance magnétique

Calamante, F., Faulkner, WH Jr, Ittermann, B., Kanal, E., Kimbrell, V., Owman, T., Reeder, S.B., Sawyer, A.M., Shellock, F.G., et van den Brink, J.S., au nom du Comité de sécurité de l'ISMRM (2014), «MR system operator: minimum requirements for performing MRI in human subjects in a research setting», *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, doi:10.1002/jmri.24717.

Capstick, M., McRobbie, D., Hand, J., Christ, A., Kühn, S., Hansson Mild, K., Cabot, E., Li, Y., Melzer, A., Papadaki, A., Prüssmann, K., Quest, R., Rea, M., Ryf, S., Oberle, M., et Kuster, N. (2008), «An investigation into occupational exposure to electromagnetic fields for personnel working with and around medical magnetic resonance imaging equipment», Project Report VT/2007/017.

Cenelec (Comité européen de normalisation électrotechnique) (2010). Appareils électromédicaux — partie 2-33: exigences particulières pour la sécurité de base et les performances essentielles des appareils à résonance magnétique utilisés pour le diagnostic médical. EN60601-2-33.

CIPRNI (Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants) (2004), «Medical magnetic resonance (MR) procedures: protection of patients», *Health Phys*, Vol. 87, pp. 197 à 216.

CIPRNI (2009), Amendment to the ICNIRP «statement on medical magnetic resonance (MR) procedures: protection of patients», *Health Phys*, Vol. 97, N° 3, pp. 259 à 261.

McRobbie, DW (2012), «Occupational exposure in MRI», *Br J Radiol*, Vol. 85, pp. 293 à 312.

MRI Working Group (2008), *Using MRI safely — practical rules for employees*, RIVM, Bilthoven, Pays-Bas.

Stam, R. (2008), *The EMF Directive and protection of MRI workers*, RIVM Report 610703001/2008, RIVM, Bilthoven, Pays-Bas.

Stam, R. (2014), «The revised electromagnetic fields directive and worker exposure in environments with high magnetic flux densities», *Ann Occup Hyg*, Vol. 58, N° 5, pp. 529 à 541.

ANNEXE L

DIRECTIVE 2013/35/UE

I

(Actes législatifs)

DIRECTIVES

DIRECTIVE 2013/35/UE DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL

du 26 juin 2013

concernant les prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux agents physiques (champs électromagnétiques) (vingtième directive particulière au sens de l'article 16, paragraphe 1, de la directive 89/391/CEE) et abrogeant la directive 2004/40/CE

LE PARLEMENT EUROPÉEN ET LE CONSEIL DE L'UNION EUROPÉENNE,

vu le traité sur le fonctionnement de l'Union européenne, et notamment son article 153, paragraphe 2,

vu la proposition de la Commission européenne,

après transmission du projet d'acte législatif aux parlements nationaux,

vu l'avis du Comité économique et social européen ⁽¹⁾,

après consultation du Comité des régions,

statuant conformément à la procédure législative ordinaire ⁽²⁾,

considérant ce qui suit:

(1) Selon le traité, le Parlement européen et le Conseil peuvent arrêter, par voie de directives, des prescriptions minimales afin de promouvoir des améliorations, en particulier du milieu de travail, pour garantir un meilleur niveau de protection de la santé et de la sécurité des travailleurs. Ces directives doivent éviter d'imposer des contraintes administratives, financières et juridiques telles qu'elles contrarieraient la création et le développement de petites et moyennes entreprises.

(2) L'article 31, paragraphe 1, de la charte des droits fondamentaux de l'Union européenne dispose que tout travailleur a droit à des conditions de travail qui respectent sa santé, sa sécurité et sa dignité.

(3) À la suite de l'entrée en vigueur de la directive 2004/40/CE du Parlement européen et du Conseil du 29 avril 2004 concernant les prescriptions minimales

de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux agents physiques (champs électromagnétiques) (dix-huitième directive particulière au sens de l'article 16, paragraphe 1, de la directive 89/391/CEE) ⁽³⁾, de graves préoccupations ont été exprimées par les parties prenantes, notamment par la communauté médicale, quant aux effets éventuels de la mise en œuvre de cette directive sur l'utilisation de procédures médicales reposant sur l'imagerie médicale. Des préoccupations ont également été exprimées quant à l'incidence de la directive sur certaines activités industrielles.

(4) La Commission a examiné avec attention les arguments avancés par les parties prenantes et a décidé, après plusieurs consultations, de repenser complètement certaines dispositions de la directive 2004/40/CE sur la base de nouvelles données scientifiques fournies par des experts reconnus sur le plan international.

(5) La directive 2004/40/CE a été modifiée par la directive 2008/46/CE du Parlement européen et du Conseil ⁽⁴⁾, qui en a reporté de quatre ans le délai de transposition, puis par la directive 2012/11/UE du Parlement européen et du Conseil ⁽⁵⁾, qui a entraîné un nouveau report dudit délai de transposition jusqu'au 31 octobre 2013. Ce report devait permettre à la Commission de présenter une nouvelle proposition, et aux colégislateurs d'adopter une nouvelle directive reposant sur des éléments probants plus récents et plus fiables.

(6) Il convient d'abroger la directive 2004/40/CE et d'instaurer des mesures plus appropriées et plus proportionnées visant à la protection des travailleurs contre les risques liés aux champs électromagnétiques. Ladite directive ne traitait pas des effets à long terme, y compris des effets cancérogènes potentiels, pouvant découler d'une exposition à des champs électriques, magnétiques et électromagnétiques variant dans le temps, à propos desquels il n'existe actuellement pas d'éléments scientifiques

⁽¹⁾ JO C 43 du 15.2.2012, p. 47.

⁽²⁾ Position du Parlement européen du 11 juin 2013 (non encore parue au Journal officiel) et décision du Conseil du 20 juin 2013.

⁽³⁾ JO L 159 du 30.4.2004, p. 1.

⁽⁴⁾ JO L 114 du 26.4.2008, p. 88.

⁽⁵⁾ JO L 110 du 24.4.2012, p. 1.

probants qui permettent d'établir un lien de causalité. La présente directive est destinée à remédier à tous les effets biophysiques directs et indirects connus provoqués par des champs électromagnétiques afin non seulement de protéger la santé et la sécurité de chaque travailleur pris isolément, mais également de créer pour l'ensemble des travailleurs de l'Union un socle minimal de protection tout en réduisant les distorsions éventuelles de concurrence.

- (7) La présente directive ne traite pas des effets à long terme de l'exposition à des champs électromagnétiques puisqu'il n'existe actuellement pas d'éléments scientifiques probants bien établis qui permettent d'établir un lien de causalité. Toutefois, si de tels éléments scientifiques probants bien établis se présentaient, la Commission devrait examiner les moyens les plus appropriés de traiter ces effets et devrait, par le biais de son rapport sur la mise en œuvre pratique de la présente directive, en tenir le Parlement européen et le Conseil informés. Ce faisant, la Commission devrait, en sus des informations appropriées qu'elle reçoit des États membres, tenir compte des recherches disponibles les plus récentes et des nouvelles connaissances scientifiques découlant des données dans ce domaine.
- (8) Il convient de prévoir des prescriptions minimales, ce qui laisserait aux États membres la possibilité de maintenir ou d'adopter des dispositions plus favorables à la protection des travailleurs, notamment en fixant des seuils moins élevés pour les valeurs déclenchant l'action (VA) ou les valeurs limites d'exposition (VLE) pour les champs électromagnétiques. Toutefois, la mise en œuvre de la présente directive ne doit pas servir à justifier une régression par rapport à la situation qui prévaut actuellement dans chaque État membre.
- (9) Le système de protection contre les champs électromagnétiques devrait se limiter à définir, et ce sans détail inutile, les objectifs à atteindre, les principes et les valeurs fondamentales à respecter, afin de permettre aux États membres d'appliquer les prescriptions minimales d'une manière équivalente.
- (10) Afin de protéger les travailleurs exposés aux champs électromagnétiques, il est nécessaire de réaliser une évaluation des risques efficace et efficiente. Cette obligation devrait cependant être proportionnée à la situation sur le lieu de travail. Il convient par conséquent de concevoir un système de protection regroupant différents risques de manière simple, graduée et facilement compréhensible. En conséquence, la référence à un certain nombre d'indicateurs et de situations types, à définir dans des guides pratiques, peut aider utilement les employeurs à remplir leurs obligations.
- (11) Les effets indésirables sur le corps humain dépendent de la fréquence du champ électromagnétique ou du rayonnement auquel il est exposé. Par conséquent, il y a lieu de lier les systèmes de limites d'exposition au niveau d'exposition et à la fréquence afin de protéger adéquatement les travailleurs exposés aux champs électromagnétiques.
- (12) Le niveau d'exposition aux champs électromagnétiques peut être réduit plus efficacement par l'introduction de mesures préventives dès le stade de la conception des postes de travail, ainsi qu'en donnant la priorité, lors du choix des équipements, procédés et méthodes de travail, à la réduction des risques à la source. Des dispositions relatives aux équipements et aux méthodes de travail contribuent dès lors à la protection des travailleurs qui les utilisent. Il y a lieu, toutefois, d'éviter de répéter les évaluations lorsque les équipements de travail répondent aux exigences du droit applicable de l'Union sur des produits qui établissent des niveaux de sécurité plus stricts que ceux prévus par la présente directive. Dans un grand nombre de cas, l'évaluation s'en trouve simplifiée.
- (13) Il convient que les employeurs s'adaptent aux progrès techniques et aux connaissances scientifiques en matière de risques liés à l'exposition aux champs électromagnétiques, en vue d'améliorer la protection de la sécurité et de la santé des travailleurs.
- (14) La présente directive étant une directive particulière au sens de l'article 16, paragraphe 1, de la directive 89/391/CEE du Conseil du 12 juin 1989 concernant la mise en œuvre de mesures visant à promouvoir l'amélioration de la sécurité et de la santé des travailleurs au travail ⁽¹⁾, il s'ensuit que la directive 89/391/CEE s'applique à l'exposition des travailleurs aux champs électromagnétiques, sans préjudice des dispositions plus contraignantes et/ou plus spécifiques contenues dans la présente directive.
- (15) Les grandeurs physiques, les VLE et les VA énoncées dans la présente directive sont fondées sur les recommandations de la Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants (CIPRNI) et devraient être prises en compte conformément aux concepts de la CIPRNI, à moins que la présente directive n'en dispose autrement.
- (16) Afin que la présente directive reste à jour, il convient de déléguer à la Commission le pouvoir d'adopter des actes conformément à l'article 290 du traité sur le fonctionnement de l'Union européenne, en ce qui concerne l'adoption de modifications purement techniques aux annexes, afin de refléter l'adoption de règlements et directives concernant l'harmonisation et la normalisation techniques, les progrès techniques, les changements dans les normes ou spécifications les plus pertinentes et les nouvelles découvertes scientifiques relatives aux risques qu'entraîne l'exposition aux champs électromagnétiques, ainsi que d'ajuster les VA. Il importe particulièrement que la Commission procède aux consultations appropriées durant son travail préparatoire, y compris au niveau des experts. Il convient que, lorsqu'elle prépare et élabore des actes délégués, la Commission veille à ce que les documents pertinents soient transmis simultanément, en temps utile et de façon appropriée, au Parlement européen et au Conseil.

⁽¹⁾ JO L 183 du 29.6.1989, p. 1.

- (17) S'il devient nécessaire d'apporter aux annexes des modifications de nature purement technique, il convient que la Commission coopère étroitement avec le comité consultatif pour la sécurité et la santé sur le lieu de travail institué par la décision du Conseil du 22 juillet 2003 ⁽¹⁾.
- (18) À titre exceptionnel, pour des raisons d'urgence impérieuses, tels des risques imminents potentiels pour la santé et la sécurité des travailleurs résultant de l'exposition de ces derniers aux champs électromagnétiques, il devrait être possible d'appliquer la procédure d'urgence aux actes délégués adoptés par la Commission.
- (19) Conformément à la déclaration politique commune des États membres et de la Commission du 28 septembre 2011 sur les documents explicatifs ⁽²⁾, les États membres se sont engagés à accompagner, dans les cas où cela se justifie, la notification de leurs mesures de transposition d'un ou plusieurs documents expliquant le lien entre les éléments d'une directive et les parties correspondantes des instruments nationaux de transposition. En ce qui concerne la présente directive, le législateur considère que la transmission de ces documents se justifie.
- (20) Un système incluant des VLE et des VA devrait, lorsqu'il y a lieu, être considéré comme un moyen facilitant la mise en place d'une protection élevée contre les effets nocifs sur la santé et les risques pour la sécurité pouvant résulter de l'exposition aux champs électromagnétiques. Toutefois, un tel système peut être incompatible avec les conditions particulières rencontrées dans certaines activités, par exemple lorsque la technique de la résonance magnétique est utilisée dans le secteur médical. Il convient, dès lors, de tenir compte de ces conditions particulières.
- (21) Compte tenu des particularités des forces armées, et pour leur permettre de fonctionner et d'interagir de manière efficace, y compris lors d'exercices militaires internationaux conjoints, les États membres devraient pouvoir appliquer des systèmes de protection équivalents ou plus spécifiques, par exemple des normes arrêtées au niveau international, telles que par exemple les normes de l'OTAN, pour autant qu'elles permettent de prévenir les effets nocifs sur la santé et les risques pour la sécurité.
- (22) Les employeurs devraient être tenus de faire en sorte que les risques dus aux champs électromagnétiques sur le lieu de travail soient éliminés ou réduits au minimum. Il se peut toutefois que, dans certains cas et dans des circonstances dûment justifiées, les VLE fixées dans la présente directive ne soient dépassées que de manière temporaire. En pareil cas, les employeurs devraient être tenus de prendre les mesures nécessaires pour que les VLE soient de nouveau respectées dès que possible.
- (23) Un système garantissant un niveau de protection élevé contre les effets nocifs sur la santé et les risques pour la sécurité susceptibles de résulter de l'exposition à des champs électromagnétiques devrait tenir dûment compte des catégories spécifiques de travailleurs à risques particuliers et éviter des problèmes d'interférence

avec des dispositifs médicaux tels que des prothèses métalliques, des stimulateurs cardiaques et des défibrillateurs, des implants cochléaires et d'autres implants ou dispositifs médicaux portés à même le corps, ou les effets sur leur fonctionnement. Des problèmes d'interférence, en particulier avec des stimulateurs cardiaques, pouvant survenir à des niveaux inférieurs aux VA, il convient de les traiter par des mesures de précaution et de protection appropriées,

ONT ADOPTÉ LA PRÉSENTE DIRECTIVE:

CHAPITRE I

GÉNÉRALITÉS

Article premier

Objet et champ d'application

1. La présente directive, qui est la vingtième directive particulière au sens de l'article 16, paragraphe 1, de la directive 89/391/CEE, fixe des prescriptions minimales en matière de protection des travailleurs contre les risques pour leur santé et leur sécurité résultant ou susceptibles de résulter d'une exposition à des champs électromagnétiques au travail.

2. La présente directive couvre l'ensemble des effets biophysiques connus, directs et indirects, produits par des champs électromagnétiques.

3. Les valeurs limites d'exposition (VLE) fixées dans la présente directive ne couvrent que les liens scientifiquement bien établis entre les effets biophysiques directs à court terme et l'exposition aux champs électromagnétiques.

4. La présente directive ne couvre pas les effets à long terme potentiels.

La Commission suit les dernières évolutions scientifiques. Si des éléments scientifiques probants bien établis sur des effets à long terme potentiels deviennent disponibles, la Commission étudie la réponse politique appropriée à y apporter, notamment, le cas échéant, en présentant une proposition législative pour traiter de ces effets. Par le biais de son rapport visé à l'article 15, la Commission en tient le Parlement européen et le Conseil informés.

5. La présente directive ne couvre pas les risques découlant d'un contact avec des conducteurs sous tension.

6. Sans préjudice des dispositions plus contraignantes ou plus spécifiques de la présente directive, la directive 89/391/CEE continue à s'appliquer intégralement à l'ensemble du domaine visé au paragraphe 1.

Article 2

Définitions

Aux fins de la présente directive, on entend par:

- a) «champs électromagnétiques»: des champs électriques statiques, des champs magnétiques statiques et des champs électriques, magnétiques et électromagnétiques variant dans le temps dont les fréquences vont jusqu'à 300 GHz;

⁽¹⁾ JO C 218 du 13.9.2003, p. 1.

⁽²⁾ JO C 369 du 17.12.2011, p. 14.

b) «effets biophysiques directs»: des effets sur l'organisme humain directement causés par sa présence dans un champ électromagnétique, y compris:

i) des effets thermiques, tels que l'échauffement des tissus dû à l'absorption par ces derniers d'énergie provenant des champs électromagnétiques;

ii) des effets non thermiques, tels que la stimulation des muscles, des nerfs ou des organes sensoriels. Ces effets sont susceptibles d'être nocifs pour la santé mentale et physique des travailleurs exposés. En outre, la stimulation des organes sensoriels peut occasionner des symptômes passagers tels que vertiges ou phosphènes. Ces effets sont susceptibles de causer une gêne temporaire ou d'altérer les facultés cognitives ou d'autres fonctions cérébrales ou musculaires et peuvent, par conséquent, affecter la capacité du travailleur à travailler en toute sécurité (c'est-à-dire présenter des risques pour la sécurité); ainsi que

iii) des courants induits dans les membres;

c) «effets indirects»: des effets causés par la présence d'un objet dans un champ électromagnétique et pouvant entraîner un risque pour la sécurité ou la santé, tels que:

i) une interférence avec des équipements et dispositifs médicaux électroniques, y compris des stimulateurs cardiaques et d'autres implants ou dispositifs médicaux portés à même le corps;

ii) le risque de projection d'objets ferromagnétiques dans des champs magnétiques statiques;

iii) l'amorçage de dispositifs électro-explosifs (détonateurs);

iv) des incendies et explosions résultant de l'inflammation de matériaux inflammables par des étincelles causées par des champs induits, des courants de contact ou des décharges d'étincelles; ainsi que

v) des courants de contact;

d) «valeurs limites d'exposition (VLE)»: des valeurs établies sur la base de considérations biophysiques et biologiques, notamment sur la base des effets directs aigus et à court terme scientifiquement bien établis, c'est-à-dire des effets thermiques et la stimulation électrique des tissus;

e) «VLE relatives aux effets sur la santé»: les VLE au-dessus desquelles les travailleurs sont susceptibles de subir des effets nocifs pour la santé, tels qu'un échauffement thermique ou une stimulation des tissus nerveux et musculaires;

f) «VLE relatives aux effets sensoriels»: les VLE au-dessus desquelles les travailleurs sont susceptibles de présenter un trouble passager des perceptions sensorielles, ainsi que des changements mineurs des fonctions cérébrales;

g) «valeurs déclenchant l'action (VA)»: les niveaux opérationnels fixés afin de simplifier le processus permettant de démontrer

que les VLE applicables sont respectées ou, lorsqu'il y a lieu, afin de prendre les mesures de protection ou de prévention appropriées telles qu'elles sont établies dans la présente directive.

La terminologie sur les VA utilisée dans l'annexe II est la suivante:

i) pour les champs électriques, les «VA basses» et les «VA hautes» sont les niveaux en lien avec les mesures spécifiques de protection ou de prévention établies dans la présente directive; et

ii) pour les champs magnétiques, les «VA basses» sont les niveaux en lien avec les VLE relatives aux effets sensoriels et les «VA hautes» sont les niveaux en lien avec les VLE relatives aux effets sur la santé.

Article 3

Valeurs limites d'exposition et valeurs déclenchant l'action

1. Les grandeurs physiques relatives à l'exposition à des champs électromagnétiques sont indiquées dans l'annexe I. Les VLE relatives aux effets sur la santé, les VLE relatives aux effets sensoriels et les VA sont définies dans les annexes II et III.

2. Les États membres exigent des employeurs qu'ils veillent à ce que l'exposition des travailleurs aux champs électromagnétiques soit limitée aux VLE relatives aux effets sur la santé et aux VLE relatives aux effets sensoriels établies à l'annexe II pour les effets non thermiques, et établies à l'annexe III pour les effets thermiques. Le respect des VLE relatives aux effets sur la santé et des VLE relatives aux effets sensoriels doit être établi en recourant aux procédures d'évaluation des expositions pertinentes visées à l'article 4. Lorsque l'exposition des travailleurs aux champs électromagnétiques dépasse les VLE, l'employeur prend immédiatement des mesures conformément à l'article 5, paragraphe 8.

3. Aux fins de la présente directive, lorsqu'il est démontré que les VA pertinentes établies aux annexes II et III ne sont pas dépassées, l'employeur est réputé respecter les VLE relatives aux effets sur la santé ainsi que les VLE relatives aux effets sensoriels. Lorsque l'exposition dépasse les VA, l'employeur prend des mesures conformément à l'article 5, paragraphe 2, à moins que l'évaluation effectuée conformément à l'article 4, paragraphes 1, 2 et 3, ne démontre que les VLE pertinentes ne sont pas dépassées et que les risques pour la sécurité peuvent être écartés.

Nonobstant le premier alinéa, l'exposition peut dépasser:

a) les VA basses pour les champs électriques (annexe II, tableau B1), lorsqu'un tel dépassement est justifié par la pratique ou le procédé utilisé, pour autant, soit que les VLE relatives aux effets sensoriels (annexe II, tableau A3) ne soient pas dépassées, soit que:

i) les VLE relatives aux effets sur la santé (annexe II, tableau A2) ne soient pas dépassées;

- ii) les décharges d'étincelles et des courants de contacts excessifs (annexe II, tableau B3) soient évités grâce aux mesures de protection spécifiques prévues à l'article 5, paragraphe 6; et
 - iii) les travailleurs aient été informés des situations visées à l'article 6, point f);
- b) les VA basses pour les champs magnétiques (annexe II, tableau B2), lorsqu'un tel dépassement est justifié par la pratique ou le procédé utilisé, y compris en ce qui concerne la tête et le tronc, pendant le temps de travail, et pour autant, soit que les VLE relatives aux effets sensoriels (annexe II, tableau A3) ne soient pas dépassées, soit que:
- i) les VLE relatives aux effets sensoriels ne soient dépassées que de manière temporaire;
 - ii) les VLE relatives aux effets sur la santé (annexe II, tableau A2) ne soient pas dépassées;
 - iii) des mesures soient prises conformément à l'article 5, paragraphe 9, en cas de symptômes passagers au titre du point a) dudit paragraphe; et
 - iv) les travailleurs aient été informés des situations visées à l'article 6, point f).
4. Nonobstant les paragraphes 2 et 3, l'exposition peut dépasser:
- a) les VLE relatives aux effets sensoriels (annexe II, tableau A1) pendant le temps de travail, lorsque la pratique ou le procédé utilisé le justifient, pour autant que:
- i) le dépassement ne soit que temporaire;
 - ii) les VLE relatives aux effets sur la santé (annexe II, tableau A1) ne soient pas dépassées;
 - iii) des mesures de protection spécifiques aient été prises conformément à l'article 5, paragraphe 7;
 - iv) des mesures soient prises conformément à l'article 5, paragraphe 9, en cas de symptômes passagers au titre du point b) dudit paragraphe; et
 - v) les travailleurs aient été informés des situations visées à l'article 6, point f);
- b) les VLE relatives aux effets sensoriels (annexe II, tableau A3, et annexe III, tableau A2) pendant la période de travail, lorsque la pratique ou le procédé utilisé le justifient et pour autant que:
- i) le dépassement ne soit que temporaire;
 - ii) les VLE relatives aux effets sur la santé (annexe II, tableau A2, et annexe III, tableaux A1 et A3) ne soient pas dépassées;
 - iii) des mesures soient prises conformément à l'article 5, paragraphe 9, en cas de symptômes passagers au titre du point a) dudit paragraphe; et
 - iv) les travailleurs aient été informés des situations visées à l'article 6, point f).

CHAPITRE II

OBLIGATIONS DES EMPLOYEURS

Article 4

Évaluation des risques et détermination de l'exposition

1. En exécutant les obligations définies à l'article 6, paragraphe 3, et à l'article 9, paragraphe 1, de la directive 89/391/CEE, l'employeur évalue tous les risques pour les travailleurs dus aux champs électromagnétiques sur le lieu de travail et, si nécessaire, mesure ou calcule les niveaux des champs électromagnétiques auxquels les travailleurs sont exposés.

Sans préjudice de l'article 10 de la directive 89/391/CEE et de l'article 6 de la présente directive, ladite évaluation peut être rendue publique sur demande conformément au droit de l'Union et aux législations nationales applicables. En particulier, en cas de traitement de données à caractère personnel de salariés dans le cadre d'une telle évaluation, toute publication est conforme aux exigences de la directive 95/46/CE du Parlement européen et du Conseil du 24 octobre 1995 relative à la protection des personnes physiques à l'égard du traitement des données à caractère personnel et à la libre circulation de ces données⁽¹⁾ et des législations nationales des États membres mettant en œuvre ladite directive. À moins que la divulgation ne réponde à un intérêt public supérieur, les autorités publiques en possession d'une copie de l'évaluation peuvent rejeter une demande d'accès à ce document ou une demande visant à le rendre public, lorsqu'une divulgation est susceptible de compromettre la protection des intérêts commerciaux de l'employeur, y compris ceux liés à la propriété intellectuelle. Les employeurs peuvent refuser de divulguer ou de rendre l'évaluation publique aux mêmes conditions, conformément au droit de l'Union et aux législations nationales applicables.

2. Aux fins de l'évaluation prévue au paragraphe 1 du présent article, l'employeur répertorie et évalue les champs électromagnétiques sur le lieu de travail, en tenant compte des guides pratiques pertinents visés à l'article 14 ainsi que d'autres normes ou lignes directrices en la matière établies par l'État membre concerné, y compris des bases de données relatives aux expositions. Nonobstant les obligations de l'employeur au titre du présent article, l'employeur est également habilité, s'il y a lieu, à tenir compte des niveaux d'émission et d'autres données pertinentes relatives à la sécurité fournis par le fabricant ou le distributeur, pour l'équipement, conformément au droit de l'Union applicable, y compris une évaluation des risques, si cela est applicable aux conditions d'exposition sur le lieu de travail ou d'installation.

3. S'il s'avère impossible d'établir de manière fiable, en fonction d'informations facilement accessibles, que les VLE sont respectées, l'évaluation de l'exposition est effectuée sur la base de mesures ou de calculs. En pareil cas, l'évaluation tient compte des incertitudes liées aux mesures ou aux calculs, telles que des erreurs numériques, la modélisation des sources, la géométrie spectrale et les propriétés électriques des tissus et des matériaux, déterminées conformément aux bonnes pratiques applicables.

⁽¹⁾ JO L 281 du 23.11.1995, p. 31.

4. L'évaluation, la mesure et les calculs visés aux paragraphes 1, 2 et 3 du présent article sont programmés et effectués par des services ou personnes compétents à des intervalles appropriés, en tenant compte des orientations fournies au titre de la présente directive et en tenant compte en particulier des articles 7 et 11 de la directive 89/391/CEE concernant les personnes ou services compétents nécessaires ainsi que la consultation et la participation des travailleurs. Les données issues de l'évaluation, de la mesure ou du calcul du niveau d'exposition sont conservées sous une forme adaptée susceptible d'en permettre la traçabilité et la consultation à une date ultérieure, conformément à la législation et aux pratiques nationales.

5. Lorsque l'évaluation des risques est effectuée en vertu de l'article 6, paragraphe 3, de la directive 89/391/CEE, l'employeur prête une attention particulière aux éléments suivants:

- a) les VLE relatives aux effets sur la santé, les VLE relatives aux effets sensoriels et les VA visées à l'article 3 et aux annexes II et III de la présente directive;
- b) la fréquence, le niveau, la durée et le type d'exposition, y compris la répartition dans l'organisme du travailleur et dans l'espace de travail;
- c) tous les effets biophysiques directs;
- d) toute incidence sur la santé et la sécurité des travailleurs à risques particuliers, notamment les travailleurs portant des dispositifs médicaux implantés, actifs ou passifs tels que des stimulateurs cardiaques, les travailleurs portant à même le corps des dispositifs médicaux, tels que les pompes à insuline, et les femmes enceintes;
- e) tout effet indirect;
- f) l'existence d'équipements de remplacement conçus pour réduire le niveau d'exposition aux champs électromagnétiques;
- g) des informations appropriées obtenues auprès des instances de surveillance de la santé visées à l'article 8;
- h) les informations communiquées par le fabricant de l'équipement;
- i) d'autres informations pertinentes concernant la santé et la sécurité;
- j) des sources d'exposition multiples;
- k) l'exposition simultanée à des champs de fréquences multiples.

6. Sur les lieux de travail ouverts au public, il n'est pas nécessaire de procéder à l'évaluation de l'exposition si une évaluation a déjà été effectuée conformément aux dispositions relatives à la limitation de l'exposition du public aux champs électromagnétiques, si les restrictions énoncées dans ces dispositions sont respectées pour les travailleurs et si tout risque pour la santé et la sécurité est exclu. Ces conditions sont réputées réunies lorsque des équipements conçus pour un usage public sont utilisés conformément à l'usage auquel ils sont destinés, et

conformément au droit de l'Union relatif aux produits qui établit des règles de sécurité plus strictes que celles prévues par la présente directive.

7. L'employeur dispose d'une évaluation des risques conformément à l'article 9, paragraphe 1, point a), de la directive 89/391/CEE, et il détermine les mesures à prendre conformément à l'article 5 de la présente directive. L'évaluation des risques peut comporter des justifications apportées par l'employeur pour faire valoir que la nature et l'ampleur des risques liés aux champs électromagnétiques ne nécessitent pas une évaluation plus complète des risques. L'évaluation des risques est régulièrement mise à jour, notamment lorsque des changements importants, susceptibles de la rendre caduque, sont intervenus ou lorsque les résultats de la surveillance de la santé visés à l'article 8 en démontrent la nécessité.

Article 5

Dispositions visant à éviter ou à réduire les risques

1. En tenant compte des progrès techniques et de la disponibilité de mesures de contrôle de la production de champs électromagnétiques à la source, l'employeur prend les mesures nécessaires pour garantir que les risques résultant des champs électromagnétiques sur le lieu de travail soient éliminés ou réduits au minimum.

La réduction des risques résultant de l'exposition à des champs électromagnétiques repose sur les principes généraux de prévention figurant à l'article 6, paragraphe 2, de la directive 89/391/CEE.

2. Sur la base de l'évaluation des risques visée à l'article 4, lorsque les VA pertinentes visées à l'article 3 et aux annexes II et III sont dépassées, et à moins que l'évaluation effectuée conformément à l'article 4, paragraphes 1, 2 et 3, ne démontre que les VLE pertinentes ne sont pas dépassées et que tout risque pour la sécurité peut être exclu, l'employeur établit et met en œuvre un plan d'action qui inclut des mesures techniques et/ou organisationnelles visant à empêcher que l'exposition ne dépasse les VLE relatives aux effets sur la santé et les VLE relatives aux effets sensoriels, en tenant notamment compte des éléments suivants:

- a) d'autres méthodes de travail nécessitant une exposition moindre à des champs électromagnétiques;
- b) le choix d'équipements émettant des champs électromagnétiques moins intenses, en tenant compte du travail à effectuer;
- c) des mesures techniques visant à réduire l'émission de champs électromagnétiques, y compris, lorsque c'est nécessaire, le recours à des mécanismes de verrouillage, de blindage ou à des mécanismes similaires de protection de la santé;
- d) des mesures appropriées en matière de délimitation et d'accès tels que des signaux, un étiquetage, un marquage au sol, des barrières, afin de limiter ou de contrôler l'accès;
- e) en cas d'exposition à des champs électriques, des mesures et procédures permettant de gérer les décharges d'étincelles et les courants de contact grâce à des moyens techniques et à la formation des travailleurs;

- f) des programmes appropriés de maintenance des équipements de travail, du lieu de travail et des postes de travail;
- g) la conception et l'agencement des lieux et postes de travail;
- h) des limitations de la durée et de l'intensité de l'exposition; et
- i) la disponibilité d'équipements appropriés de protection individuelle.

3. Sur la base de l'évaluation des risques visée à l'article 4, l'employeur élabore et applique un plan d'action qui comprend des mesures techniques et/ou organisationnelles afin d'éviter tout risque pour les travailleurs à risques particuliers et tout risque lié aux effets indirects visés à l'article 4.

4. Outre la transmission des informations visées à l'article 6 de la présente directive, l'employeur adapte, en vertu de l'article 15 de la directive 89/391/CEE, les mesures visées au présent article aux exigences des travailleurs à risques particuliers et, le cas échéant, aux évaluations des risques individuelles, notamment à l'égard des travailleurs ayant déclaré qu'ils portent un dispositif médical implanté actif ou passif tel qu'un stimulateur cardiaque, ou qu'ils portent à même le corps un dispositif médical annexe tel qu'une pompe à insuline, ou à l'égard des travailleuses enceintes ayant informé leur employeur de leur état.

5. Sur la base de l'évaluation des risques visée à l'article 4, les lieux de travail où les travailleurs sont susceptibles d'être exposés à des champs électromagnétiques dépassant les VA font l'objet d'une signalisation adéquate, conformément aux annexes II et III et à la directive 92/58/CEE du Conseil du 24 juin 1992 concernant les prescriptions minimales pour la signalisation de sécurité et/ou de santé au travail (neuvième directive particulière au sens de l'article 16, paragraphe 1, de la directive 89/391/CEE) ⁽¹⁾. Les lieux en question sont identifiés et leur accès est limité s'il y a lieu. Lorsque l'accès à ces lieux est convenablement restreint pour d'autres motifs et que les travailleurs sont informés des risques que présentent les champs électromagnétiques, la signalisation et les restrictions d'accès propres aux champs électromagnétiques ne sont pas requis.

6. Lorsque l'article 3, paragraphe 3, point a), s'applique, des mesures de protection spécifiques sont prises, telles que la formation des travailleurs conformément à l'article 6 et l'utilisation de moyens techniques et de mesures de protection, par exemple la mise à la terre des ouvrages, la liaison entre les travailleurs et les ouvrages (liaison équipotentielle) et, en fonction des besoins et conformément à l'article 4, paragraphe 1, point a), de la directive 89/656/CEE du Conseil du 30 novembre 1989 concernant les prescriptions minimales de sécurité et de santé pour l'utilisation au travail, par les travailleurs, d'équipements de protection individuelle (troisième directive particulière au sens de l'article 16, paragraphe 1, de la directive 89/391/CEE) ⁽²⁾, l'utilisation de chaussures isolantes, de gants et de vêtements de protection.

7. Lorsque l'article 3, paragraphe 4, point a), s'applique, des mesures de protection spécifiques, telles que le contrôle des mouvements, sont prises.

8. Les travailleurs ne sont pas soumis à des expositions supérieures aux VLE applicables aux effets sur la santé et aux VLE applicables aux effets sensoriels, à moins que les conditions prévues, soit à l'article 10, paragraphe 1, points a) ou c), soit à l'article 3, paragraphes 3 ou 4, ne soient remplies. Si, en dépit des mesures prises par l'employeur, les VLE relatives aux effets sur la santé et les VLE relatives aux effets sensoriels sont dépassées, l'employeur prend immédiatement des mesures pour ramener l'exposition au-dessous de celles-ci. L'employeur détermine et consigne les causes du dépassement des VLE relatives aux effets sur la santé et des VLE relatives aux effets sensoriels et modifie en conséquence les mesures de protection et de prévention afin d'éviter tout nouveau dépassement. Les mesures de protection et de prévention modifiées sont conservées sous une forme adaptée susceptible d'en permettre la traçabilité afin d'en permettre la consultation ultérieure, conformément à la législation et à la pratique nationales.

9. Lorsque l'article 3, paragraphes 3 et 4, s'applique, et lorsque le travailleur signale l'apparition des symptômes passagers, l'employeur met à jour, si nécessaire, l'évaluation des risques et les mesures préventives. Les symptômes passagers peuvent inclure:

- a) des perceptions sensorielles et des effets sur le fonctionnement du système nerveux central dans la tête suscités par des champs magnétiques variant dans le temps; et
- b) des effets du champ magnétique statique, tels que des vertiges et des nausées.

Article 6

Information et formation des travailleurs

Sans préjudice des articles 10 et 12 de la directive 89/391/CEE, l'employeur veille à ce que les travailleurs qui sont susceptibles d'être exposés à des champs électromagnétiques sur le lieu de travail et/ou leurs représentants reçoivent toute information nécessaire et une formation en rapport avec le résultat de l'évaluation des risques prévue à l'article 4 de la présente directive, notamment en ce qui concerne:

- a) les mesures prises en application de la présente directive;
- b) les valeurs et les concepts relatifs aux VLE et aux VA, les risques potentiels associés et les mesures de prévention prises;
- c) les effets indirects potentiels de l'exposition;
- d) les résultats de l'évaluation, de la mesure ou des calculs des niveaux d'exposition aux champs électromagnétiques effectués en application de l'article 4 de la présente directive;
- e) la manière de dépister les effets nocifs d'une exposition sur la santé et de les signaler;
- f) la possibilité de symptômes passagers et de sensations liés aux effets sur le système nerveux central ou périphérique;

⁽¹⁾ JO L 245 du 26.8.1992, p. 23.

⁽²⁾ JO L 393 du 30.12.1989, p. 18.

- g) les circonstances dans lesquelles les travailleurs ont droit à une surveillance de la santé;
- h) des pratiques professionnelles sûres permettant de réduire les risques résultant d'une exposition;
- i) les travailleurs à risques particuliers visés à l'article 4, paragraphe 5, point d), et à l'article 5, paragraphes 3 et 4, de la présente directive.

Article 7

Consultation et participation des travailleurs

La consultation et la participation des travailleurs et/ou de leurs représentants ont lieu conformément à l'article 11 de la directive 89/391/CEE.

CHAPITRE III

DISPOSITIONS DIVERSES

Article 8

Surveillance de la santé

1. Afin de prévenir et de détecter le plus rapidement possible tout effet nocif sur la santé résultant de l'exposition à des champs électromagnétiques, une surveillance appropriée de la santé des travailleurs est assurée conformément à l'article 14 de la directive 89/391/CEE. Des dossiers médicaux ainsi que la disponibilité de ceux-ci sont prévus conformément à la législation et/ou aux pratiques nationales.

2. Conformément à la législation et aux pratiques nationales, les résultats de la surveillance médicale sont conservés sous une forme appropriée le temps nécessaire pour permettre leur consultation ultérieure, dans le respect des exigences relatives à la confidentialité. Les travailleurs individuels ont, à leur demande, le droit d'accéder à leurs dossiers médicaux personnels.

Si tout effet indésirable ou inattendu sur la santé est signalé par un travailleur, ou lorsqu'une exposition supérieure aux VLE est détectée, l'employeur veille à ce que le travailleur concerné puisse bénéficier d'examens médicaux ou d'une surveillance médicale appropriés, conformément à la législation et aux pratiques nationales.

Ces examens ou cette surveillance sont rendus possibles durant les heures choisies par le travailleur, et les coûts y afférents ne sont pas à la charge du travailleur.

Article 9

Sanctions

Les États membres prévoient des sanctions appropriées qui s'appliquent dans le cas de violation de la législation nationale adoptée conformément à la présente directive. Ces sanctions doivent être effectives, proportionnées et dissuasives.

Article 10

Dérogations

1. Par dérogation à l'article 3, mais sans préjudice de l'article 5, paragraphe 1, les dispositions suivantes s'appliquent:

- a) l'exposition peut dépasser les VLE si elle est liée à l'installation, à l'essai, à l'utilisation, au développement, à l'entretien d'équipements d'imagerie par résonance magnétique (IRM) destinés aux soins aux patients dans le secteur de la santé ou si elle est liée à la recherche dans ce domaine, pour autant que toutes les conditions suivantes soient remplies:
 - i) l'évaluation des risques effectuée conformément à l'article 4 a montré que les VLE sont dépassées;
 - ii) compte tenu de l'état des connaissances du moment, toutes les mesures techniques et/ou organisationnelles ont été appliquées;
 - iii) les circonstances du dépassement des VLE sont dûment justifiées;
 - iv) les caractéristiques du lieu de travail, de l'équipement de travail ou des pratiques de travail ont été prises en compte; et
 - v) l'employeur démontre que les travailleurs sont encore protégés contre les effets nocifs pour la santé et les risques pour la sécurité, y compris en veillant à ce que les instructions fournies par le fabricant en vue d'une utilisation sûre conformément à la directive 93/42/CEE du Conseil du 14 juin 1993 relative aux dispositifs médicaux ⁽¹⁾ soient suivies;
- b) les États membres peuvent autoriser la mise en œuvre d'un système de protection équivalent ou plus spécifique pour le personnel travaillant dans des installations militaires opérationnelles ou participant à des activités militaires, y compris des exercices militaires internationaux conjoints, pour autant qu'il permette de prévenir les effets nocifs pour la santé et les risques pour la sécurité;
- c) les États membres peuvent autoriser, dans des circonstances dûment justifiées et aussi longtemps qu'elles le restent, un dépassement temporaire des VLE dans des secteurs spécifiques ou pour des activités spécifiques en dehors du champ d'application des points a) et b). Aux fins du présent point, on entend par «circonstances dûment justifiées» les circonstances dans lesquelles les conditions suivantes sont remplies:
 - i) l'évaluation des risques effectuée conformément à l'article 4 a montré que les VLE sont dépassées;
 - ii) compte tenu de l'état des connaissances du moment, toutes les mesures techniques et/ou organisationnelles ont été appliquées;
 - iii) les caractéristiques particulières du lieu de travail, du matériel de travail ou des pratiques de travail ont été prises en compte; et
 - iv) l'employeur démontre que les travailleurs sont toujours protégés contre les effets nocifs pour la santé et les risques pour la sécurité, notamment en utilisant des normes et des lignes directrices comparables, plus spécifiques et reconnues au niveau international.

⁽¹⁾ JO L 169 du 12.7.1993, p. 1.

2. Les États membres informent la Commission des dérogations octroyées en vertu du paragraphe 1, points b) et c), du présent article et des raisons les justifiant dans le cadre du rapport visé à l'article 15.

Article 11

Modifications techniques des annexes

1. La Commission est habilitée à adopter des actes délégués conformément à l'article 12 afin de modifier les annexes d'un point de vue purement technique, dans le but:

- a) de tenir compte de l'adoption de règlements et de directives en matière d'harmonisation et de normalisation techniques relatives à la conception, à la construction, à la fabrication ou à la réalisation d'équipements ou de lieux de travail;
- b) de tenir compte du progrès technique, de l'évolution des normes ou des spécifications les plus pertinentes et des nouvelles connaissances scientifiques concernant les champs électromagnétiques;
- c) d'ajuster les VA lorsqu'il y a de nouveaux éléments scientifiques probants, à condition que les employeurs continuent à être liés par les VLE existantes fixées aux annexes II et III.

2. La Commission adopte un acte délégué en conformité avec l'article 12 afin d'insérer dans l'annexe II les lignes directrices de la CIPRNI visant à limiter l'exposition aux champs électriques induits par le mouvement du corps humain dans un champ magnétique statique et par des champs magnétiques variant dans le temps inférieurs à 1 Hz dès qu'elles sont disponibles.

3. Lorsque, en ce qui concerne les modifications visées aux paragraphes 1 et 2, des raisons d'urgence impérieuses l'imposent, la procédure prévue à l'article 13 est applicable aux actes délégués adoptés en vertu du présent article.

Article 12

Exercice de la délégation

1. Le pouvoir d'adopter des actes délégués conféré à la Commission est soumis aux conditions fixées au présent article.

2. Le pouvoir d'adopter des actes délégués visé à l'article 11 est conféré à la Commission pour une période de cinq ans à compter du 29 juin 2013. La Commission élabore un rapport relatif à la délégation de pouvoir au plus tard neuf mois avant la fin de la période de cinq ans. La délégation de pouvoir est tacitement prorogée pour des périodes d'une durée identique, sauf si le Parlement européen ou le Conseil s'oppose à cette prorogation trois mois au plus tard avant la fin de chaque période.

3. La délégation de pouvoir visée à l'article 11 peut être révoquée à tout moment par le Parlement européen ou le Conseil. La décision de révocation met fin à la délégation de pouvoir qui y est précisée. La révocation prend effet le jour suivant celui de la publication de ladite décision au *Journal officiel de l'Union européenne* ou à une date ultérieure qui est précisée dans ladite décision. Elle ne porte pas atteinte à la validité des actes délégués déjà en vigueur.

4. Aussitôt qu'elle adopte un acte délégué, la Commission le notifie au Parlement européen et au Conseil simultanément.

5. Un acte délégué adopté en vertu de l'article 11 n'entre en vigueur que si le Parlement européen ou le Conseil n'a pas exprimé d'objections dans un délai de deux mois à compter de la notification de cet acte au Parlement européen et au Conseil ou si, avant l'expiration de ce délai, le Parlement européen et le Conseil ont tous deux informé la Commission de leur intention de ne pas exprimer d'objections. Ce délai est prolongé de deux mois à l'initiative du Parlement européen ou du Conseil.

Article 13

Procédure d'urgence

1. Les actes délégués adoptés en vertu du présent article entrent en vigueur sans délai et s'appliquent tant qu'aucune objection n'est exprimée conformément au paragraphe 2. La notification d'un acte délégué au Parlement européen et au Conseil expose les raisons du recours à la procédure d'urgence qui est liée à la santé et à la protection des travailleurs.

2. Le Parlement européen ou le Conseil peut exprimer des objections à l'égard d'un acte délégué, conformément à la procédure visée à l'article 12, paragraphe 5. En pareil cas, la Commission abroge l'acte concerné sans délai après que le Parlement européen ou le Conseil lui a notifié sa décision d'exprimer des objections.

CHAPITRE IV

DISPOSITIONS FINALES

Article 14

Guides pratiques

Afin de faciliter la mise en œuvre de la présente directive, la Commission met des guides pratiques non contraignants à disposition au plus tard six mois avant le 1^{er} juillet 2016. Ces guides pratiques portent en particulier sur les questions suivantes:

- a) la détermination de l'exposition, en tenant compte des normes européennes et internationales appropriées, y compris:
 - les méthodes de calcul pour l'évaluation des VLE,
 - la moyenne spatiale des champs électriques et magnétiques externes,
 - des orientations permettant de traiter les incertitudes dans les mesures et les calculs;
- b) des orientations relatives à la démonstration de la conformité dans certains types d'exposition non uniforme dans des cas spécifiques, sur la base d'une dosimétrie bien établie;
- c) la description de la «méthode de mesure utilisant la technique de crête pondérée» pour les champs à basse fréquence et de la «somme des champs de fréquences multiples» pour les champs à haute fréquence;

- d) la réalisation de l'évaluation des risques et, autant que possible, la fourniture de techniques simplifiées, en tenant notamment compte des besoins des PME;
- e) des mesures visant à éviter ou à réduire les risques, y compris les mesures spécifiques de prévention, en fonction du niveau d'exposition et des caractéristiques du lieu de travail;
- f) l'établissement de procédures de travail documentées, ainsi que de mesures d'information et de formation spécifiques pour les travailleurs exposés à des champs électromagnétiques dans le cadre d'activités liées à la technique de l'IRM relevant de l'article 10, paragraphe 1, point a);
- g) l'évaluation de l'exposition dans la gamme de fréquences comprises entre 100 kHz et 10 MHz, lorsque des effets à la fois thermiques et non-thermiques doivent être pris en compte;
- h) les orientations relatives aux examens médicaux et à la surveillance médicale que l'employeur doit fournir conformément à l'article 8, paragraphe 2.

La Commission travaille en étroite collaboration avec le Comité consultatif pour la sécurité et la santé sur le lieu de travail. Le Parlement européen est tenu informé.

Article 15

Réexamen et rapports

Compte tenu de l'article 1^{er}, paragraphe 4, le rapport sur la mise en œuvre pratique de la présente directive est élaboré conformément à l'article 17 *bis* de la directive 89/391/CEE.

Article 16

Transposition

1. Les États membres mettent en vigueur les dispositions législatives, réglementaires et administratives nécessaires pour se conformer à la présente directive au plus tard le 1^{er} juillet 2016.

Lorsque les États membres adoptent ces dispositions, celles-ci contiennent une référence à la présente directive ou sont accompagnées d'une telle référence lors de leur publication officielle. Les modalités de cette référence sont arrêtées par les États membres.

2. Les États membres communiquent à la Commission le texte des dispositions essentielles de droit interne qu'ils adoptent dans le domaine couvert par la présente directive.

Article 17

Abrogation

1. La directive 2004/40/CE est abrogée à compter du 29 juin 2013.
2. Les références faites à la directive abrogée s'entendent comme étant faites à la présente directive et sont à lire selon le tableau de correspondance figurant à l'annexe IV.

Article 18

Entrée en vigueur

La présente directive entre en vigueur le jour de sa publication au *Journal officiel de l'Union européenne*.

Article 19

Destinataires

Les États membres sont destinataires de la présente directive.

Fait à Bruxelles, le 26 juin 2013.

Par le Parlement européen

Le président

M. SCHULZ

Par le Conseil

Le président

A. SHATTER

ANNEXE I

GRANDEURS PHYSIQUES RELATIVES À L'EXPOSITION À DES CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES

Les grandeurs physiques suivantes sont utilisées pour décrire l'exposition à des champs électromagnétiques.

L'intensité de champ électrique (E) est une grandeur vectorielle qui correspond à la force exercée sur une particule chargée, indépendamment de son déplacement dans l'espace. Elle est exprimée en volt par mètre (Vm^{-1}). Une distinction doit être opérée entre le champ électrique ambiant et le champ électrique présent dans le corps (in situ) résultant de l'exposition au champ électrique ambiant.

Le courant induit dans les extrémités (I_L) est le courant traversant les membres d'une personne exposée à des champs électromagnétiques dans la gamme de fréquences comprises entre 10 et 110 MHz résultant du contact avec un objet dans un champ électromagnétique ou du flux de courants capacitifs induits dans le corps exposé. Il est exprimé en ampères (A).

Le courant de contact (I_C) est un courant qui apparaît lorsqu'une personne entre en contact avec un objet dans un champ électromagnétique. Il est exprimé en ampères (A). Un courant de contact d'état stable se produit lorsqu'une personne est en contact continu avec un objet dans un champ électromagnétique. Au cours de l'établissement dudit contact, une décharge d'étincelles accompagnée de courants passagers associés est susceptible de se former.

La charge électrique (Q) est une quantité appropriée utilisée pour la décharge d'étincelles; elle est exprimée en coulombs (C).

L'intensité de champ magnétique (H) est une grandeur vectorielle qui, avec l'induction magnétique, définit un champ magnétique en tout point de l'espace. Elle est exprimée en ampère par mètre (Am^{-1}).

L'induction magnétique (densité de flux magnétique) (B) est une grandeur vectorielle définie en termes de force exercée sur des charges circulantes, exprimée en tesla (T). En espace libre et dans les matières biologiques, l'induction magnétique et l'intensité de champ magnétique peuvent être utilisées indifféremment selon l'équivalence intensité de champ magnétique H de 1 Am^{-1} = induction magnétique B de $4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T}$ (soit environ 1,25 microtesla).

La densité de puissance (S) est une grandeur appropriée utilisée pour des hyperfréquences lorsque la profondeur de pénétration dans le corps est faible. Il s'agit du quotient de la puissance rayonnée incidente perpendiculaire à une surface par l'aire de cette surface; elle est exprimée en watt par m^2 (Wm^{-2}).

L'absorption spécifique (AS) de l'énergie est une énergie absorbée par une unité de masse de tissus biologiques; elle est exprimée en joule par kilogramme (Jkg^{-1}). Dans la présente directive, elle est utilisée pour limiter les effets des rayonnements micro-ondes pulsés.

Le débit d'absorption spécifique (DAS) de l'énergie moyenne sur l'ensemble du corps ou sur une partie quelconque du corps est le débit avec lequel l'énergie est absorbée par unité de masse du tissu du corps; il est exprimé en watt par kilogramme (Wkg^{-1}). Le DAS «corps entier» est une mesure largement acceptée pour établir le rapport entre les effets thermiques nocifs et l'exposition aux radiofréquences. Outre le DAS «moyenne sur le corps entier», des valeurs de DAS local sont nécessaires pour évaluer et limiter un dépôt excessif d'énergie dans des petites parties du corps résultant de conditions d'exposition spéciales. Citons comme exemples de ces conditions: un individu exposé à une radiofréquence dans la gamme inférieure des MHz (un poste de chauffage diélectrique, par exemple) et des individus exposés dans le champ proche d'une antenne.

Parmi ces grandeurs, l'induction magnétique (B), les courants de contact (I_C), les courants induits dans les extrémités (I_L), l'intensité de champ électrique (E), l'intensité de champ magnétique (H) et la densité de puissance (S) peuvent être mesurés directement.

ANNEXE II

EFFETS NON THERMIQUES

VALEURS LIMITES D'EXPOSITION ET VALEURS DÉCLENCHANT L'ACTION DANS LA GAMME DE FRÉQUENCES COMPRISES ENTRE 0 Hz ET 10 MHz

A. VALEURS LIMITES D'EXPOSITION (VLE)

Les VLE inférieures à 1 Hz (tableau A1) sont des limites pour le champ magnétique statique qui n'est pas affecté par les tissus du corps.

Les VLE pour des fréquences comprises entre 1 Hz et 10 MHz (tableau A2) sont des limites pour les champs électriques induits dans le corps du fait de l'exposition à des champs électriques et magnétiques variant dans le temps.

VLE pour une induction magnétique externe comprise entre 0 Hz et 1 Hz

La VLE relative aux effets sensoriels est la VLE pour des conditions de travail normales (tableau A1); elle est liée à des vertiges et à d'autres effets physiologiques ayant trait à des troubles de l'organe de l'équilibre chez l'homme dus principalement au déplacement dans un champ magnétique statique.

La VLE relative aux effets sur la santé dans des conditions de travail contrôlées (tableau A1) est applicable à titre temporaire au cours d'une période de travail lorsque cela est justifié par la pratique ou le procédé, pour autant que des mesures préventives telles que le contrôle des mouvements et l'information des travailleurs aient été adoptées.

Tableau A1

VLE pour une induction magnétique externe (B_0) comprise entre 0 Hz et 1 Hz

	VLE relative aux effets sensoriels
Conditions de travail normales	2 T
Exposition localisée de membres	8 T
	VLE relative aux effets sur la santé
Conditions de travail contrôlées	8 T

VLE relatives aux effets sur la santé pour une intensité de champ électrique interne dans la gamme de fréquences comprises entre 1 Hz et 10 MHz

Les VLE relatives aux effets sur la santé (tableau A2) sont liées à une stimulation électrique de tous les tissus du système nerveux central et périphérique à l'intérieur du corps, y compris la tête.

Tableau A2

VLE relatives aux effets sur la santé pour une intensité de champ électrique interne dans la gamme de fréquences comprises entre 1 Hz et 10 MHz

Gamme de fréquences	VLE relative aux effets sur la santé
$1 \text{ Hz} \leq f < 3 \text{ kHz}$	$1,1 \text{ Vm}^{-1}$ (crête)
$3 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$	$3,8 \times 10^{-4} f \text{ Vm}^{-1}$ (crête)

Note A2-1: f est la fréquence exprimée en hertz (Hz).

Note A2-2: les VLE relatives aux effets sur la santé pour le champ électrique interne sont des valeurs de crête spatiales dans l'ensemble du corps du sujet exposé.

Note A2-3: Les VLE sont des valeurs de crête dans le temps qui sont égales aux valeurs moyennes quadratiques (Rms) multipliées par la $\sqrt{2}$ pour les champs sinusoïdaux. Dans le cas de champs non-sinusoïdaux, l'évaluation de l'exposition effectuée conformément à l'article 4 est fondée sur la méthode de mesure utilisant la technique de crête pondérée (filtrage dans le domaine temporel), expliquée dans le guide pratique visé à l'article 14; d'autres procédures d'évaluation de l'exposition scientifiquement démontrées et validées peuvent néanmoins être appliquées, pour autant qu'elles mènent à des résultats approximativement équivalents et comparables.

VLE relatives aux effets sensoriels pour une intensité de champ électrique interne dans la gamme de fréquences comprises entre 1 Hz et 400 Hz

Les VLE relatives aux effets sensoriels (tableau A3) sont liées à des effets du champ électrique sur le système nerveux central dans la tête, c'est-à-dire à des phosphènes rétiens ou à des modifications mineures passagères de certaines fonctions cérébrales.

Tableau A3

VLE relatives aux effets sensoriels pour une intensité de champ électrique interne dans la gamme de fréquences comprises entre 1 Hz et 400 Hz

Gamme de fréquences	VLE relative aux effets sensoriels
$1 \text{ Hz} \leq f < 10 \text{ Hz}$	$0,7/f \text{ Vm}^{-1}$ (crête)
$10 \text{ Hz} \leq f < 25 \text{ Hz}$	$0,07/f \text{ Vm}^{-1}$ (crête)
$25 \text{ Hz} \leq f \leq 400 \text{ Hz}$	$0,0028/f \text{ Vm}^{-1}$ (crête)

Note A3-1: f est la fréquence exprimée en hertz (Hz).

Note A3-2: les VLE relatives aux effets sensoriels pour le champ électrique interne sont des valeurs de crête spatiales dans la tête du sujet exposé.

Note A3-3: les VLE sont des valeurs de crête dans le temps qui sont égales aux valeurs moyennes quadratiques (Rms) multipliées par la $\sqrt{2}$ pour les champs sinusoïdaux. Dans le cas de champs non-sinusoïdaux, l'évaluation de l'exposition effectuée conformément à l'article 4 est fondée sur la méthode de mesure utilisant la technique de crête pondérée (filtrage dans le domaine temporel), expliquée dans le guide pratique visé à l'article 14; d'autres procédures d'évaluation de l'exposition scientifiquement démontrées et validées peuvent néanmoins être appliquées, pour autant qu'elles mènent à des résultats approximativement équivalents et comparables.

B. VALEURS DÉCLENCHANT L'ACTION (VA)

Les quantités et valeurs physiques ci-après sont utilisées pour définir les valeurs déclenchant l'action (VA), dont le niveau est établi de manière à assurer, par une évaluation simplifiée, le respect des VLE pertinentes ou des valeurs à partir desquelles les mesures de protection ou de prévention pertinentes précisées à l'article 5 doivent être prises:

- VA(E) basse et VA(E) haute pour une intensité de champ électrique E de champs électriques variant dans le temps (voir tableau B1),
- VA(B) basse et VA(B) haute pour une induction magnétique B de champs magnétiques variant dans le temps (voir tableau B2),
- VA(I_c) pour les courants de contact (voir tableau B3),
- VA(B_0) pour une induction magnétique de champs magnétiques statiques (voir tableau B4).

Les VA correspondent aux valeurs des champs électriques ou magnétiques calculées ou mesurées sur le lieu de travail en l'absence du travailleur.

Valeurs déclenchant l'action (VA) pour une exposition à des champs électriques

Les VA basses (tableau B1) pour un champ électrique externe sont fondées sur le maintien du champ électrique interne sous les VLE (tableaux A2 et A3) et la limitation des décharges d'étincelles dans l'environnement de travail.

En dessous de la VA haute, le champ électrique interne ne dépasse pas les VLE (tableaux A2 et A3) et les décharges d'étincelles dérangeantes sont évitées, à condition que soient prises les mesures de protection visées à l'article 5, paragraphe 6.

Tableau B1

VA pour une exposition à des champs électriques compris entre 1 Hz et 10 MHz

Gamme de fréquences	VA(E) basse pour intensité de champ électrique [Vm^{-1}] (Rms)	VA(E) haute pour intensité de champ électrique [Vm^{-1}] (Rms)
$1 \leq f < 25 \text{ Hz}$	$2,0 \times 10^4$	$2,0 \times 10^4$
$25 \leq f < 50 \text{ Hz}$	$5,0 \times 10^5/f$	$2,0 \times 10^4$
$50 \text{ Hz} \leq f < 1,64 \text{ kHz}$	$5,0 \times 10^5/f$	$1,0 \times 10^6/f$

Gamme de fréquences	VA(E) basse pour intensité de champ électrique [Vm^{-1}] (Rms)	VA(E) haute pour intensité de champ électrique [Vm^{-1}] (Rms)
$1,64 \leq f < 3 \text{ kHz}$	$5,0 \times 10^5/f$	$6,1 \times 10^2$
$3 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$	$1,7 \times 10^2$	$6,1 \times 10^2$

Note B1-1: f est la fréquence exprimée en hertz (Hz).

Note B1-2: La VA (E) basse et la VA (E) haute sont des valeurs moyennes quadratiques (Rms) de l'intensité du champ électrique égales aux valeurs de crête divisées par la $\sqrt{2}$ pour des champs sinusoïdaux. Dans le cas d'un champ non-sinusoïdal, l'évaluation de l'exposition effectuée conformément à l'article 4 est fondée sur la méthode de mesure utilisant la technique de crête pondérée (filtrage dans le domaine temporel), expliquée dans le guide pratique, visé à l'article 14; d'autres procédures d'évaluation de l'exposition scientifiquement démontrées et validées peuvent néanmoins être appliquées, pour autant qu'elles mènent à des résultats approximativement équivalents et comparables.

Note B1-3: Les VA représentent les valeurs maximales calculées ou mesurées à la position du corps du travailleur. Cela entraîne une évaluation prudente de l'exposition et un respect automatique des VLE dans toutes les conditions d'exposition non-uniformes. Afin de simplifier l'évaluation du respect des VLE, effectuée conformément à l'article 4, dans des conditions non-uniformes particulières, des critères de calcul pour la moyenne spatiale des champs mesurés, fondés sur une dosimétrie bien établie, seront fixés dans les guides pratiques visés à l'article 14. Dans le cas d'une source très localisée située à une distance de quelques centimètres du corps, le respect des VLE est déterminé au cas par cas par dosimétrie.

Valeurs déclenchant l'action (VA) pour une exposition à des champs magnétiques

Les VA basses (tableau B2) sont, pour les fréquences inférieures à 400 Hz, dérivées des VLE relatives aux effets sensoriels (tableau A3), et pour les fréquences supérieures à 400 Hz, dérivées des VLE relatives aux effets sur la santé pour un champ électrique interne (tableau A2).

Les VA hautes (tableau B2) sont dérivées des VLE relatives aux effets sur la santé pour un champ électrique interne lié à une stimulation électrique des tissus du système nerveux périphérique et autonome dans la tête et le tronc (tableau A2). Le respect des VA hautes garantit le non-dépassement des VLE relatives aux effets sur la santé, mais n'exclut pas les effets liés aux phosphènes rétinien et à des modifications passagères mineures de l'activité cérébrale, si l'exposition de la tête excède la VA basse pour des expositions à des fréquences inférieures ou égales à 400 Hz. Dans ce cas, l'article 5, paragraphe 6, s'applique.

Les VA pour une exposition de membres sont dérivées des VLE relatives aux effets sur la santé pour un champ électrique interne lié à une stimulation électrique des tissus à l'intérieur des membres en tenant compte du fait que le champ magnétique est couplé plus faiblement aux membres qu'au corps tout entier.

Tableau B2

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

Gamme de fréquences	VA(B) basse pour induction magnétique [μT] (Rms)	VA(B) haute pour induction magnétique [μT] (Rms)	VA pour induction magnétique pour une exposition des membres à un champ magnétique localisé [μT] (Rms)
$1 \leq f < 8 \text{ Hz}$	$2,0 \times 10^5/f^2$	$3,0 \times 10^5/f$	$9,0 \times 10^5/f$
$8 \leq f < 25 \text{ Hz}$	$2,5 \times 10^4/f$	$3,0 \times 10^5/f$	$9,0 \times 10^5/f$
$25 \leq f < 300 \text{ Hz}$	$1,0 \times 10^3$	$3,0 \times 10^5/f$	$9,0 \times 10^5/f$
$300 \text{ Hz} \leq f < 3 \text{ kHz}$	$3,0 \times 10^5/f$	$3,0 \times 10^5/f$	$9,0 \times 10^5/f$
$3 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$	$1,0 \times 10^2$	$1,0 \times 10^2$	$3,0 \times 10^2$

Note B2-1: f est la fréquence exprimée en hertz (Hz).

Note B2-2: Les VA basses et les VA hautes sont des valeurs moyennes quadratiques (Rms) égales aux valeurs de crête divisées par la $\sqrt{2}$ pour des champs sinusoïdaux. Dans le cas de champs non-sinusoïdaux, l'évaluation de l'exposition effectuée conformément à l'article 4 est fondée sur la méthode de mesure utilisant la technique de crête pondérée (filtrage dans le domaine temporel), expliquée dans les guides pratiques visés à l'article 14; d'autres procédures d'évaluation de l'exposition scientifiquement démontrées et validées peuvent néanmoins être appliquées, pour autant qu'elles mènent à des résultats approximativement équivalents et comparables.

Note B2-3: Les VA pour une exposition à des champs magnétiques représentent les valeurs maximales à la position du corps du travailleur. Cela entraîne une évaluation prudente de l'exposition et un respect automatique des VLE dans toutes les conditions d'exposition non-uniformes. Afin de simplifier l'évaluation du respect des VLE, effectuée conformément à l'article 4, dans des conditions non-uniformes particulières, des critères de calcul de la moyenne spatiale des champs mesurés, fondés sur une dosimétrie bien établie, seront fixés dans le guide pratique évoqué à l'article 14. Dans le cas d'une source très localisée située à une distance de quelques centimètres du corps, le champ électrique induit est déterminé au cas par cas par dosimétrie.

Tableau B3

VA pour un courant de contact I_C

Fréquence	VA (I_C) courant de contact d'état stable [mA] (Rms)
jusqu'à 2,5 kHz	1,0
$2,5 \leq f < 100$ kHz	0,4 f
$100 \text{ kHz} \leq f \leq 10\,000$ kHz	40

Note B3-1: f est la fréquence exprimée en kilohertz (kHz).

Valeurs déclenchant l'action (VA) pour une induction magnétique de champs magnétiques statiques

Tableau B4

VA pour une induction magnétique de champs magnétiques statiques

Risques	AL(B_0)
Interférence avec des dispositifs actifs implantés tels que des stimulateurs cardiaques	0,5 mT
Risque d'attraction et de projection dans le champ périphérique de sources de champs intenses (> 100 mT)	3 mT

ANNEXE III

EFFETS THERMIQUES

VALEURS LIMITES D'EXPOSITION ET VALEURS DÉCLENCHANT L'ACTION DANS LA GAMME DE FRÉQUENCES COMPRISES ENTRE 100 kHz ET 300 GHz

A. VALEURS LIMITES D'EXPOSITION (VLE)

Les VLE relatives aux effets sur la santé pour les fréquences comprises entre 100 kHz et 6 GHz (tableau A1) sont les valeurs limites d'énergie et de puissance absorbée par unité de masse de tissu corporel générées par l'exposition à des champs électriques et magnétiques.

Les VLE relatives aux effets sensoriels pour les fréquences comprises entre 0,3 et 6 GHz (tableau A2) sont les valeurs limites d'énergie absorbée dans une petite masse de tissu à l'intérieur de la tête provenant de l'exposition à des champs électromagnétiques.

Les VLE relatives aux effets sur la santé pour les fréquences supérieures à 6 GHz (tableau A3) sont les valeurs limites de densité de puissance d'une onde électromagnétique incidente sur la surface du corps.

Tableau A1

VLE relatives aux effets sur la santé pour une exposition à des champs électromagnétiques ayant des fréquences comprises entre 100 kHz et 6 GHz

VLE relative aux effets sur la santé	Valeurs moyennes de DAS mesurées sur un intervalle de 6 minutes
VLE liée à l'échauffement de l'ensemble du corps exprimée en moyenne DAS du corps	0,4 Wkg ⁻¹
VLE liée à l'échauffement localisé de la tête et du tronc, exprimée sous la forme de DAS localisé du corps	10 Wkg ⁻¹
VLE liée à l'échauffement localisé des membres, exprimée sous la forme de DAS localisé des membres	20 Wkg ⁻¹

Note A1-1: la masse retenue pour évaluer le DAS moyen localisé est de 10 g de tissu contigu; le DAS maximal ainsi obtenu devrait être la valeur utilisée pour l'estimation de l'exposition. Ces 10 g de tissu doivent être une masse de tissu contigu aux propriétés électriques pratiquement homogènes. En précisant qu'il doit s'agir d'une masse de tissu contigu, on reconnaît que ce concept peut être utilisé dans la dosimétrie informatique, mais peut présenter des difficultés pour les mesures physiques directes. Une simple masse de tissu, de forme cubique ou sphérique peut être utilisée.

VLE relatives aux effets sensoriels pour les fréquences comprises entre 0,3 et 6 GHz

Cette VLE relative aux effets sensoriels (tableau A2) est liée à la prévention des effets auditifs causés par des expositions de la tête à des rayonnements micro-ondes pulsés.

Tableau A2

VLE relatives aux effets sensoriels pour une exposition à des champs électromagnétiques compris entre 0,3 et 6 GHz

Gamme de fréquences	Absorption spécifique (AS) d'énergie localisée
0,3 ≤ f ≤ 6 GHz	10 mJkg ⁻¹

Note A2-1: La masse retenue pour évaluer l'AS localisée est de 10 g de tissus.

Tableau A3

VLE relatives aux effets sur la santé pour une exposition à des champs électromagnétiques compris entre 6 et 300 GHz

Gamme de fréquences	VLE relatives aux effets sur la santé liées à la densité de puissance
6 GHz ≤ f ≤ 300 GHz	50 Wm ⁻²

Note A3-1: La densité de puissance moyenne est mesurée sur une surface exposée de 20 cm². La valeur moyenne de la densité spatiale maximale de puissance, calculée pour 1 cm², ne devrait pas dépasser 20 fois la valeur de 50 Wm⁻². La moyenne des densités de puissance comprises entre 6 et 10 GHz doit être mesurée sur un intervalle de temps de 6 minutes. Les densités de puissance moyennes pour des fréquences supérieures à 10 GHz sont calculées sur un intervalle de temps de 68/f^{1,05} minutes (f étant la fréquence exprimée en GHz) afin de compenser une baisse progressive de la profondeur de pénétration au fur et à mesure que la fréquence augmente.

B. VALEURS DÉCLENCHANT L'ACTION (VA)

Les quantités et valeurs physiques ci-après sont utilisées pour définir les valeurs déclenchant l'action (VA), dont le niveau est établi de manière à assurer, par une évaluation simplifiée, le respect des VLE pertinentes ou des valeurs à partir desquelles les mesures de protection ou de prévention pertinentes précisées à l'article 5 doivent être prises:

- VA(E) pour l'intensité de champ électrique E d'un champ électrique variant dans le temps (voir tableau B1),
- VA(B) pour l'induction magnétique B d'un champ magnétique variant dans le temps (voir tableau B1),
- VA(S) pour la densité de puissance des ondes électromagnétiques (voir tableau B1),
- VA(I_C) pour les courants de contact (voir tableau B2),
- VA(I_L) pour les courants induits dans les extrémités (voir tableau B2).

Les VA correspondent aux valeurs de champ calculées ou mesurées sur le lieu de travail en l'absence du travailleur, sous forme de valeur maximale à la position du corps ou de la partie spécifiée du corps.

Valeurs déclenchant l'action (VA) pour une exposition à des champs électriques et magnétiques

VA(E) et VA(B) sont dérivées des DAS ou des VLE (tableaux A1 et A3) sur la base des seuils liés aux effets thermiques internes causés par l'exposition à des champs électriques et magnétiques (externes).

Tableau B1

VA pour une exposition à des champs électriques et magnétiques compris entre 100 kHz et 300 GHz

Gamme de fréquences	VA(E) pour intensité de champ électrique [Vm ⁻¹] (Rms)	VA(B) pour induction magnétique [μT] (Rms)	VA(S) pour densité de puissance (Wm ⁻²)
100 kHz ≤ f < 1 MHz	6,1 × 10 ²	2,0 × 10 ⁶ /f	—
1 ≤ f < 10 MHz	6,1 × 10 ⁸ /f	2,0 × 10 ⁶ /f	—
10 ≤ f < 400 MHz	61	0,2	—
400 MHz ≤ f < 2 GHz	3 × 10 ⁻³ f ^{1/2}	1,0 × 10 ⁻⁵ f ^{1/2}	—
2 ≤ f < 6 GHz	1,4 × 10 ²	4,5 × 10 ⁻¹	—
6 ≤ f ≤ 300 GHz	1,4 × 10 ²	4,5 × 10 ⁻¹	50

Note B1-1: f est la fréquence exprimée en hertz (Hz).

Note B1-2: [VA(E)]² et [VA(B)]² moyennes doivent être calculées sur un intervalle de temps de 6 minutes. Pour les impulsions RF, la densité de puissance de crête moyenne calculée sur la durée d'impulsion n'excède pas 1 000 fois la valeur VA(S) correspondante. Pour les champs de fréquences multiples, l'analyse est fondée sur une sommation, comme expliqué dans le guide pratique visé à l'article 14.

Note B1-3: VA(E) et VA(B) représentent les valeurs maximales calculées ou mesurées à la position du corps du travailleur. Cela entraîne une évaluation prudente de l'exposition et un respect automatique des VLE dans toutes les conditions d'exposition non-uniformes. Afin de simplifier l'évaluation du respect des VLE, effectuée conformément à l'article 4, dans des conditions non-uniformes particulières, des critères de calcul de la moyenne spatiale des champs mesurés, fondés sur une dosimétrie bien établie, seront fixés dans les guides pratiques visés à l'article 14. Dans le cas d'une source très localisée située à une distance de quelques centimètres du corps, le respect des VLE est déterminé au cas par cas par dosimétrie.

Note B1-4: La densité de puissance moyenne est mesurée sur une surface exposée de 20 cm². La valeur moyenne de la densité spatiale maximale de puissance, calculée pour 1 cm², ne devrait pas dépasser 20 fois la valeur de 50 Wm⁻². La moyenne des densités de puissance comprises entre 6 et 10 GHz doit être mesurée sur un intervalle de temps de 6 minutes. Les densités de puissance moyennes supérieures à 10 GHz sont calculées sur un intervalle de temps de 68/f^{1,05} minutes (f étant la fréquence exprimée en GHz) afin de compenser une baisse progressive de la profondeur de pénétration au fur et à mesure que la fréquence augmente.

Tableau B2

VA pour les courants de contact d'état stable variant dans le temps et les courants induits dans les extrémités

Gamme de fréquences	Courant de contact d'état stable, VA(I _C) [mA] (Rms)	Courant induit dans une extrémité quel- conque, VA(I _L) [mA] (Rms)
100 kHz ≤ f < 10 MHz	40	—
10 MHz ≤ f ≤ 110 MHz	40	100

Note B2-1: [VA(I_L)]² moyenne doit être calculée sur un intervalle de temps de 6 minutes.

ANNEXE IV

Tableau de correspondance

Directive 2004/40/CE	Présente directive
Article 1 ^{er} , paragraphe 1	Article 1 ^{er} , paragraphe 1
Article 1 ^{er} , paragraphe 2	Article 1 ^{er} , paragraphes 2 et 3
Article 1 ^{er} , paragraphe 3	Article 1 ^{er} , paragraphe 4
Article 1 ^{er} , paragraphe 4	Article 1 ^{er} , paragraphe 5
Article 1 ^{er} , paragraphe 5	Article 1 ^{er} , paragraphe 6
Article 2, point a)	Article 2, point a)
—	Article 2, point b)
—	Article 2, point c)
Article 2, point b)	Article 2, points d), e) et f)
Article 2, point c)	Article 2, point g)
Article 3, paragraphe 1	Article 3, paragraphe 1
Article 3, paragraphe 2	Article 3, paragraphe 1
—	Article 3, paragraphe 2
Article 3, paragraphe 3	Article 3, paragraphes 2 et 3
—	Article 3, paragraphe 4
Article 4, paragraphe 1	Article 4, paragraphe 1
Article 4, paragraphe 2	Article 4, paragraphes 2 et 3
Article 4, paragraphe 3	Article 4, paragraphe 3
Article 4, paragraphe 4	Article 4, paragraphe 4
Article 4, paragraphe 5, point a)	Article 4, paragraphe 5, point b)
Article 4, paragraphe 5, point b)	Article 4, paragraphe 5, point a)
—	Article 4, paragraphe 5, point c)
Article 4, paragraphe 5, point c)	Article 4, paragraphe 5, point d)
Article 4, paragraphe 5, point d)	Article 4, paragraphe 5, point e)
Article 4, paragraphe 5, point d) i)	—
Article 4, paragraphe 5, point d) ii)	—
Article 4, paragraphe 5, point d) iii)	—

Directive 2004/40/CE	Présente directive
Article 4, paragraphe 5, point d) iv)	—
Article 4, paragraphe 5, point e)	Article 4, paragraphe 5, point f)
Article 4, paragraphe 5, point f)	Article 4, paragraphe 5, point g)
—	Article 4, paragraphe 5, point h)
—	Article 4, paragraphe 5, point i)
Article 4, paragraphe 5, point g)	Article 4, paragraphe 5, point j)
Article 4, paragraphe 5, point h)	Article 4, paragraphe 5, point k)
—	Article 4, paragraphe 6
Article 4, paragraphe 6	Article 4, paragraphe 7
Article 5, paragraphe 1	Article 5, paragraphe 1
Article 5, paragraphe 2, texte introductif	Article 5, paragraphe 2, texte introductif
Article 5, paragraphe 2, points a) à c)	Article 5, paragraphe 2, points a) à c)
—	Article 5, paragraphe 2, point d)
—	Article 5, paragraphe 2, point e)
Article 5, paragraphe 2, points d) à g)	Article 5, paragraphe 2, points f) à i)
—	Article 5, paragraphe 4
Article 5, paragraphe 3	Article 5, paragraphe 5
—	Article 5, paragraphe 6
—	Article 5, paragraphe 7
Article 5, paragraphe 4	Article 5, paragraphe 8
—	Article 5, paragraphe 9
Article 5, paragraphe 5	Article 5, paragraphe 3
Article 6, texte introductif	Article 6, texte introductif
Article 6, point a)	Article 6, point a)
Article 6, point b)	Article 6, point b)
—	Article 6, point c)
Article 6, point c)	Article 6, point d)
Article 6, point d)	Article 6, point e)
—	Article 6, point f)

Directive 2004/40/CE	Présente directive
Article 6, point e)	Article 6, point g)
Article 6, point f)	Article 6, point h)
—	Article 6, point i)
Article 7	Article 7
Article 8, paragraphe 1	Article 8, paragraphe 1
Article 8, paragraphe 2	—
Article 8, paragraphe 3	Article 8, paragraphe 2
Article 9	Article 9
—	Article 10
Article 10, paragraphe 1	Article 11, paragraphe 1, point c)
Article 10, paragraphe 2, point a)	Article 11, paragraphe 1, point a)
Article 10, paragraphe 2, point b)	Article 11, paragraphe 1, point b)
Article 11	—
—	Article 12
—	Article 13
—	Article 14
—	Article 15
Article 13, paragraphe 1	Article 16, paragraphe 1
Article 13, paragraphe 2	Article 16, paragraphe 2
—	Article 17
Article 14	Article 18
Article 15	Article 19
Annexe	Annexe I, annexe II et annexe III
—	Annexe IV

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/main.jsp?catId=371&langId=fr>



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



https://twitter.com/EU_Social



Office des publications

doi:10.2767/15628
ISBN 978-92-79-45895-8