

Directive complémentaire à la LEX 1.5.1: Contrôle des risques liés à l'exposition aux champs magnétiques statiques et aux champs électromagnétiques variant dans le temps dans la gamme de fréquences de 1 Hz à 300 GHz

1 Définitions et unités

Un **champ électromagnétique** (ci-après dénommé **EMF**) peut être considéré comme une entité dynamique avec deux composants : un champ électrique et un champ magnétique. Un champ électrique (**E**) exerce une force sur une charge électrique. Son unité est le Volt par mètre (**V m⁻¹**). Les champs magnétiques peuvent exercer des forces physiques sur des charges électriques mais seulement quand les charges sont en mouvement. Un champ magnétique est quantifié en termes d'intensité du champ magnétique, **H**, avec une unité en Ampère par mètre (**A m⁻¹**) et une densité du flux magnétique, **B**, avec comme unité le Tesla (**T**). Le comportement d'un champ électro-magnétique peut être divisé en quatre parties différentes d'une boucle :

- Particules chargées génèrent un champ électrique ou magnétique
- Les champs (électriques ou magnétiques) interagissent entre eux
- Les champs agissent sur les particules
- Les particules chargées se déplacent
- Les particules chargées génèrent plus de champs électriques et magnétiques, **le cycle se répète.**

Le champ électromagnétique variant dans le temps se caractérise par sa fréquence, **f** (unité Hertz, **Hz**) avec le nombre de changements d'intensité ou de direction par seconde.

Compte tenu du caractère dynamique des EMF mentionnés ci-dessus, l'intensité ou la force de l'EMF est mentionné comme suit :

- sous la forme d'intensité de champ électrique (en **V m⁻¹**) ou l'intensité d'un champ magnétique (en **A m⁻¹**)
- sous la forme d'une densité surfacique de puissance (en Watts par m², **W m⁻²**)

Les champs électriques ou magnétiques statiques sont des champs constants dont l'intensité ou la direction ne varie pas dans le temps. Ils ont donc une fréquence de 0 Hz.

2 Champ d'application

Cette directive s'applique à tous les locaux/endroits où sont installés des équipements fixes ou mobiles pouvant produire des **champs magnétiques statiques** (fréquence de 0 Hz) et champs électromagnétiques (EMF) variant dans le temps avec les fréquences entre 1 Hz et 300 GHz à l'EPFL. Les EMF avec une fréquence de 0 à 300 GHz ne peuvent pas causer d'ionisation des systèmes biologiques, même à haute intensité, raison pour laquelle ils sont appelés **EMF non-ionisants**. L'exposition aux champs électriques statiques¹ n'est pas traitée dans le présent document.

Exemples d'équipements produisant des EMF non-ionisants à l'EPFL :

- Scanners à imagerie par résonance magnétique (IRM) (20 kHz – 300 GHz, 1.7 Tesla)
- Instruments de résonance magnétique nucléaire (NMR) (60 – 1000 MHz, jusqu'à 20 Tesla)
- Dispositif d'interférence quantique supraconducteur (SQUID) (20 KHz – 300 GHz)
- Fours de chauffage à induction (50 Hz – 400 kHz)
- Transformateurs électriques (50 Hz – 400 Hz)
- Cavités à micro-ondes (850 – 9000 MHz)
- Gyrotrons (e.g. 82.7 GHz)
- Systèmes de télécommunication (3 kHz – 3 GHz)
- etc.

Les dispositifs de communication sans fil (téléphones portables et fixes, Wi-Fi, etc.) ordinateurs et autres équipements informatiques, audiovisuels, fours micro-ondes, chargeurs au poste de travail, ventilateurs, systèmes de chauffage, et systèmes d'alarme sont **exclus** de cette directive.

Les principaux objectifs de cette directive sont :

- Etablir un guide d'utilisation sûr pour les utilisateurs d'EMF non-ionisants et les services centraux de l'EPFL
- Détailler les mesures et moyens de protection concernant les EMF non-ionisants pour toute personne présente à l'EPFL : les utilisateurs d'EMF et autres personnes présentes dans le cadre de l'expérience, le personnel de nettoyage et de maintenance, les étudiants et les visiteurs.

2.1 Conformité

Cette directive suit les ordonnances et directives suisses et européennes :

- Valeurs limites aux postes de travail, SUVA (2021) [1].
- Ordonnance du Département Fédéral de l'économie, de la formation et de la recherche sur les activités dangereuses ou pénibles en cas de grossesse et de maternité, DEFR (2015) [2].
- Ordonnance sur la protection contre le rayonnement non ionisant, OFEV (2022) [3]
- Directive du Parlement européen sur les exigences minimales pour la santé et la sécurité concernant l'exposition des travailleurs aux risques d'agents physiques. Parlement et conseil européen (2013/35/EU) [4].

Tous les documents cités ci-dessus suivent deux publications de International Commission on Non-ionizing Radiation Protection (ICNIRP)

- Guide pour limiter l'exposition aux champs magnétiques statiques [5], 2009.

¹ Les champs électriques statiques ne pénètrent pas dans le corps humain en raison de sa conductivité élevée. Le champ électrique induit une charge électrique de surface qui, si elle est suffisamment grande, peut être perçue par son interaction avec les poils du corps et par d'autres phénomènes tels que les décharges d'étincelles (microchocs).

- Guide pour limiter l'exposition aux champs électriques, magnétiques et champs électromagnétiques variant dans le temps (jusqu'à 300 GHz) [6], 1998.

ICNIRP est une commission reconnue internationalement qui rédige des guides pour la protection contre les effets néfastes sur la santé des radiations non-ionisantes.

Note importante : En 2010, l'ICNIRP a publié et mis à jour le Guide [6] pour les fréquences entre 1 Hz et 100 kHz [7] et, en mars 2020, une mise à jour pour les fréquences entre 100 kHz et 300 GHz [8]. Au moment de la publication de la directive EPFL, les documents réglementaires suisses n'ont pas été mis à jour suite à ces nouvelles publications de l'ICNIRP [7] et [8].

Toute dérogation à la présente directive devra être approuvée par EPFL-DSE-Occupational Health and Safety (OHS)².

3 Effets des EMF non-ionisants sur l'homme

3.1 Effets directs

Le corps humain ne peut pas détecter directement les EMF non ionisants. Cependant, il y a trois mécanismes de base à travers lesquels les champs électriques et magnétiques variant dans le temps peuvent interagir directement avec la matière vivante :

- L'interaction avec des champs électriques de basse-fréquence (flux de charges électriques, courant électrique), la polarisation de charges liés, (formation de dipôles électriques), et la réorientation des dipôles électriques déjà présents dans les tissus.
- L'interaction avec des champs magnétiques de basse-fréquence (induisant des champs électriques et la circulation de courants électriques).
- L'absorption d'énergie provenant des champs électromagnétiques (l'exposition à des champs électromagnétiques à des fréquences au-dessus d'environ 100 kHz peuvent conduire à une absorption significative d'énergie et à une augmentation de la température dans les tissus).

3.2 Effets indirects

En plus des effets directs, les EMF non-ionisants peuvent aussi provoquer des effets indirects détaillés ci-dessous :

3.2.1 Effets sensoriels

Les effets sensoriels sont les suivants : nausée, vertige, goût métallique dans la bouche, phosphènes rétinien, modifications transitoires mineures de certaines fonctions cérébrales.

3.2.2 Courant de contact induit, étincelles

Le résultat d'un contact physique (toucher ou effleurer) entre une personne et une structure métallique dans le champ est le flux d'un courant de charges électriques (courant de contact) accumulées sur l'objet ou sur le corps de la personne. Les valeurs seuils pour ces effets sont dépendantes de fréquences, avec un seuil minimum situé entre 10 et 100 Hz. Les étincelles peuvent se produire quand un individu approche de très près un objet avec un potentiel électrique différent, sans nécessairement le toucher. En outre, des incendies et des

² E-mail address : ohs-pr@epfl.ch

explosions peuvent résulter de l'inflammation de matériaux inflammables par des étincelles causées par des champs induits, des courants de contact ou des décharges d'étincelles.

3.2.3 Risques liés aux objets ferromagnétiques devenant des projectiles

Les objets ferromagnétiques pas fixés peuvent devenir des projectiles à proximité d'un fort champ magnétique, avec la possibilité de frapper/blesser les personnes sur leur trajectoire. Conformément à [9] et [10], la valeur seuil pour attirer les objets ferromagnétiques par un champ magnétique (>100 mT) est de **3 mT**.

3.2.4 Interférence avec les dispositifs médicaux

Le terme de dispositif médical (MD en Anglais) couvre : les dispositifs médicaux implantés actifs, les dispositifs médicaux implantés passifs ou des dispositifs médicaux portés près du corps. La liste des exemples des dispositifs médicaux se trouve en [Annexe 1](#).

Comme les EMF couvrent des fréquences jusqu'à 300 GHz et compte tenu de la diversité des MD, il n'est pas possible de définir une valeur seuil d'interférence pour chaque type de MD. Conformément à [5], le fonctionnement d'un MD n'est pas affecté par un champ magnétique statique en dessous de 0.5 mT. Cependant, en cas d'exposition professionnelle, une analyse spécifique pour chaque personne équipée d'un MD doit être faite conformément au SN EN 50527-1,2 [11].

4 Valeurs limites d'exposition (VLE) professionnelle

Les valeurs limites d'exposition (VLE) professionnelle sont les valeurs quantitatives d'un agent physique qui, en l'état actuel des connaissances, n'engendre pas d'effet néfaste sur la santé pour la grande majorité des employés qui sont chroniquement exposés à cet agent. Les VLE professionnelles pour les EMF non-ionisant sont définies pour une place de travail inoccupée³ et détaillés en [Annexe 2](#), **Table 4**.

4.1 Valeurs limites d'exposition pour le grand public

Le grand public comprend l'ensemble de la population - des individus de tous âges et de différents états de santé - et peut inclure des groupes ou des individus particulièrement sensibles. Dans de nombreux cas, les membres du public ne sont pas conscients de leur exposition aux EMF. En outre, on ne peut raisonnablement s'attendre à ce que les membres du public prennent des précautions pour minimiser ou éviter l'exposition. Ces considérations sous-tendent l'adoption de restrictions d'exposition plus strictes pour le grand public que pour la population professionnellement exposée. Les VLE pour le grand public sont indiquées en [Annexe 3](#).

4.2 Valeurs limites d'exposition pour les femmes enceintes

La stratégie de l'ICNIRP pour établir les limites d'exposition pour les femmes enceintes dans le cadre du travail est basé sur la considération du fœtus comme un individu du grand public. Cette approche est également adoptée par l'ordonnance suisse du DEFR sur les activités dangereuses ou pénibles en cas de grossesse et de maternité [2]. De plus, les VLE pour les professionnelles enceintes correspondent aux limites appliquées au grand public et détaillées en [Annexe 3](#).

³ Car la présence d'une personne peut fortement affecter l'intensité de champ électrique.

4.3 Valeurs limites d'exposition pour les fréquences multiples

Les VLE données en [Annexe 2](#) et [Annexe 3](#) correspondent à une seule fréquence. S'il y a plus d'une fréquence, les émissions doivent être déterminées pour chacune d'elles et les règles d'addition [3] détaillées en [Annexe 4](#) doivent être appliquées. Les valeurs limites des sommes ne doivent pas dépasser la valeur 1.

4.4 Définition des limites d'exposition à l'EPFL

Les VLE pour les EMF à l'EPFL sont définies comme illustré en **Figure 1** et détaillées ci-dessous :

- Les VLE professionnelles sont appliquées aux personnes qui sont exposés aux EMF du fait de l'exercice de leur activités professionnelles régulières ou ont un poste assigné à l'EPFL.
- Le respect des VLE professionnelles ne protège pas les travailleurs à risque particulier (porteurs de dispositifs médicaux). Ils doivent faire l'objet d'une surveillance médicale.
- Les VLE pour le grand public sont appliquées pour les femmes enceintes.
- La VLE de 0.5 mT est appliquée au grand public pour les champs magnétiques statiques et $f \leq 10$ Hz.
- Les VLE pour le grand public pour les champs variables avec $f > 10$ Hz sont appliquées au grand public (étudiants, visiteurs, techniciens, équipes de nettoyage...). Un avertissement supplémentaire est donné pour le grand public à risque particulier (ex : porteurs de MD).

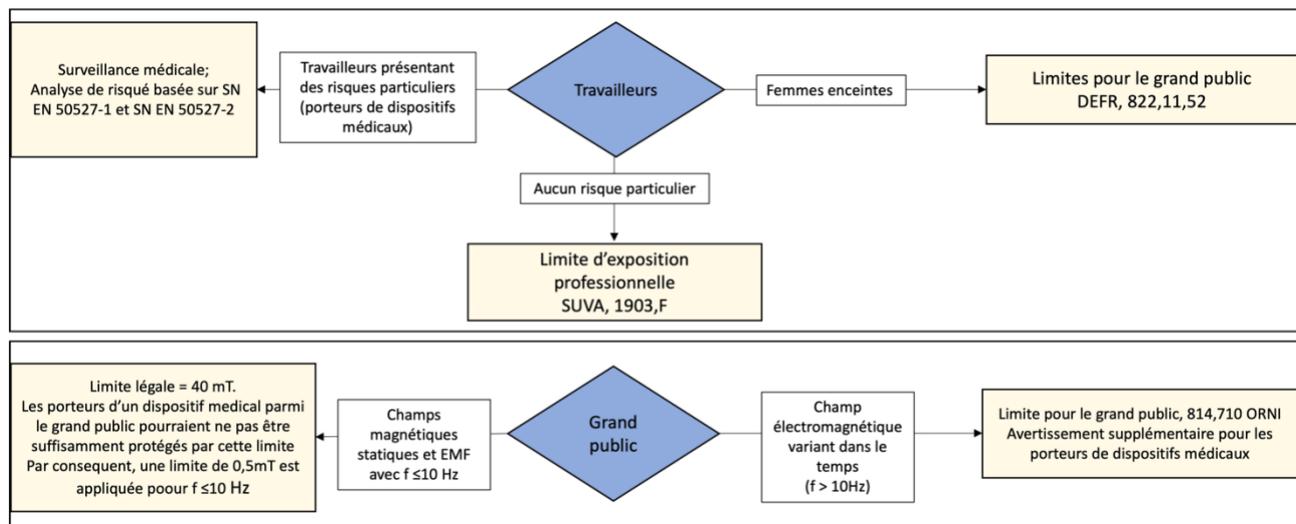


FIGURE 1. ILLUSTRATION DES LIMITES D'EXPOSITION APPLIQUÉES À L'EPFL. LA STRATÉGIE VISANT À ASSURER LE RESPECT DES LIMITES EST DÉCRITE CI-DESSOUS, PARAGRAPHE 5.

5 Evaluation du risque et mesures de sécurité

5.1 Mesures de sécurité mises en place par le DES-OHS

5.1.1 Mesures, inventaire et marquage des lignes de champs magnétiques statiques

- A l'EPFL, les EMF de tous les instruments définis dans le champ d'application ci-dessus seront mesurés par le DSE-OHS ou évalués à l'aide d'une simulation numérique, de données techniques ou d'un manuel d'utilisation fourni par le fabricant. Les instruments doivent être réglés sur (ou supposés produire) l'émission de champ maximale pendant la mesure.

- b. En se basant sur les mesures ou l'évaluation, le DES-OHS fait une cartographie du champ de l'instrument.
- c. DES-OHS garde l'inventaire et la cartographie de tous les instruments.

5.1.2 Mesures de protection organisationnelles et techniques

Suivant l'inventaire et la cartographie des EMF, DES-OHS définira des mesures organisationnelles et techniques comme détaillées ci-dessous :

- a. Si les VLE professionnelles (voir [Annexe 2](#)) peuvent être dépassées, une ou plusieurs des mesures suivantes doivent être mises en place pour réduire l'exposition (suivant la VLE) :
 - Blindage de l'appareil
 - Modification de l'instrument en accord avec le fabricant (blindage intégré)
 - Réduction des émissions
 - Isolation de la zone de travail (utilisation de verrouillage, restriction et contrôle d'accès).
- b. Le choix des mesures de réduction des risques dépendra de l'instrument et de la situation.
- c. La cartographie faite par DES-OHS est transmise au DES-EXPL pour la mise en place de bandes de marquage sur le sol du laboratoire. Les valeurs de la densité du flux magnétique des champs statiques sont indiquées sur le sol et correspondent aux mesures et aux restrictions d'accès définies en **Table 1**.
- d. Les champs non-statiques sont aussi mesurés et évalués selon les normes professionnelles et publiques des VLE. Chaque instrument ayant sa propre fréquence d'émission, les VLE dépendent de la fréquence. Les marquages au sol seront placés comme indiqué en **Table 2**.
- e. Les VLE sont définies pour protéger les travailleurs des effets thermiques directs des champs à haute fréquence et l'inconfort causé par les champs statiques à basses fréquences. A cause du contact avec de grandes structures métalliques, des sensations d'inconfort peuvent être ressenties. Dans ce cas, l'OHS doit être informé. Par mise à la terre sélective ou par isolation de ces structures une réduction des courants de contact (I_{cont}) suffit pour faire disparaître ces effets. Ces mesures sont décidées suite à des analyses au cas par cas. Les valeurs limites pour le courant de contact en fonction de la fréquence du champ sont indiquées en **Table 3** et concernent les expositions professionnelles. Les valeurs pour le grand public sont divisées par deux (facteur de sécurité de 2) [3].

TABLE 1. : ZONES AVEC LES VALEURS DE DENSITE DU FLUX MAGNETIQUE POUR LES CHAMPS STATIQUES ET LES CHAMPS AVEC F<10HZ, DESCRIPTION DES LIMITES ET MESURES DE SECURITE.

Valeur limite et description	Description/Mesures de sécurité	Accès interdit à
- Valeur de 0,5 mT utilisée pour les champs magnétiques statiques et les champs avec $f \leq 10\text{Hz}$ - Valeur maximale autorisée pour les porteurs de dispositifs médicaux 	- La zone indiquée sur le panneau de la porte du laboratoire ou avec une chaîne s'il ne s'agit pas d'un espace fermé. - Indiquée par une bande jaune sur le sol du laboratoire. - Formation du personnel obligatoire si la ligne jaune se trouve à l'extérieur de l'instrument lui-même ou si elle est accessible pendant l'expérience en utilisation normale - Accès contrôlé et gestion particulière du nettoyage du laboratoire si la ligne jaune se trouve à $\geq 50\text{cm}$ de l'instrument lui-même.	- Pas d'accès au grand public derrière la bande jaune au sol ou dans la zone délimitée par la chaîne - Pas d'accès aux porteurs de dispositifs médicaux 
3 mT	- Attraction possible de petits objets ferromagnétiques par le champ qui peuvent devenir des projectiles	- Tout objet ferromagnétique
2 T Valeur limite d'exposition professionnelle	- Restriction d'accès - Indiquée sur la fiche de porte du laboratoire - Indiquée sur la bande rouge sur le sol - Formation interne - Suivi médical	- Seules les personnes formées et autorisées peuvent y accéder, l'accès étant interdit au reste du personnel
Au-dessus de la valeur limite d'exposition professionnelle	- Verrouillage, contrôle d'accès - Avertissement, informations des employés	- Ensemble du personnel

TABLE 2 : ZONES AVEC EMF COMME INDIQUE SUR LE SOL DU LABORATOIRE ; DESCRIPTION DES LIMITES ET MESURES DE SECURITE.

Valeur limite et description	Description/ Mesures de sécurité	Accès interdit à
- Valeur limite pour le grand public utilisée pour les champs magnétiques >10Hz - Les valeurs dépendent de la fréquence d'émission de l'instrument 	- Indiquée par une bande jaune sur le sol du laboratoire - Indiquée sur le panneau de la porte du laboratoire ou par une chaîne s'il ne s'agit pas d'un espace fermé. - Formation du personnel obligatoire si la ligne jaune se trouve à l'extérieur de l'instrument lui-même ou si elle est accessible pendant l'expérience en utilisation normale - Accès contrôlé et gestion particulière du nettoyage du laboratoire si la ligne jaune se trouve à ≥ 50 cm de l'instrument lui-même.	- Accès interdit au grand public derrière la bande jaune au sol ou dans la zone délimitée par la chaîne - Accès interdit aux porteurs de dispositifs médicaux 
- Valeur limite d'exposition professionnelle. La valeur dépend de la fréquence d'émission de l'instrument	- Restriction d'accès - Indiquée sur la fiche de porte du laboratoire - Indiquée par la bande rouge sur le sol - Formation et information du personnel - Suivi médical	- Seules les personnes formées et autorisées peuvent accéder, l'accès « étant interdit au reste du personnel
Au-dessus de la Valeur limite d'exposition professionnelle	- Verrouillage, contrôle d'accès - Avertissement, information des employés	- Ensemble du personnel

TABLE 3. VALEURS LIMITES DE L'INTENSITE DU COURANT DE CONTACT POUR L'EXPOSITION PROFESSIONNELS ET DU GRAND PUBLIC. LA FREQUENCE f POUR LES VALEURS DE 2.5 A 100 KHz EST EXPRIMEE EN MHz.

Fréquence	Valeur limite d'intensité du courant effective (mA) pour l'exposition professionnelle	Valeur limite de l'intensité du courant effective (en mA) pour le grand public.
< 2.5 kHz	1	0.5
2.5 – 100 kHz	0.4 f	0.2 f
0.1-110 MHz	40	20

5.1.3 Information et formation

DSE-OHS dispense les formations suivantes sur les EMF :

Formation online : Cette formation online est obligatoire pour tous les employés répondant aux critères définis en **Table 1** et **Table 2** et doit être suivie dans les 2 à 4 premières semaines suivant la prise de fonction. Cette formation inclue :

- Les détails des effets sensoriels et effets indirects, et mesures à prendre en cas d'apparition de ces effets
- Une explication sur les VLE
- Les bonnes pratiques de travail à adopter pour éliminer ou réduire les risques
- Une explication sur la signalisation de sécurité utilisée
- Information pour les employés présentant des risques particuliers comme les femmes enceintes et les porteurs de MD.

La formation online est accessible via le lien: <https://go.epfl.ch/magnets-hazards>

Une formation complémentaire en présentiel peut être organisée sur demande: <https://go.epfl.ch/support-ohs>.

5.2 Mesures de sécurité organisées par le groupe/ personnel travaillant avec des champs EMF

5.2.1 Enregistrement de l'instrument

Le DSE-OHS possède sa propre base de données sur les instruments existants (comme défini précédemment) à l'EPFL. Quand un nouvel instrument est acheté par un groupe de recherche, un formulaire d'enregistrement doit être complété et envoyé à DSE-OHS (voir [Annexe 5](#)). De plus, toute modification impliquant un changement d'émission ou un changement de localisation de l'EMF doit être transmise au DSE-OHS. Pour enregistrer un instrument ou signaler tout changement, l'utilisateur ouvre une demande de support : <https://go.epfl.ch/support-ohs>. A la réception de demande de support, DSE-OHS envoie à l'utilisateur le formulaire d'enregistrement à remplir.

Le but de l'enregistrement est double :

- L'équipe DSE-OHS pourra aider à définir l'emplacement le plus adéquat pour l'instrument (afin de s'assurer que les lignes de champ ne traversent pas les bureaux ou les endroits communs).
- DSE-OHS est responsable de l'application de la présente directive et contrôle que les VLE sont respectées et que les mesures de sécurité sont en place pour chaque nouvelle installation.

5.2.2 Autres mesures de sécurité à la charge du groupe de recherche

- a. Pour chaque instrument, indiquer la présence de l'EMF sur la fiche de sécurité de la porte, comme indiqué en **Table 1** et **Table 2**.
- b. Suivre la formation online et/ou la formation complémentaire en présentiel.
- c. Respecter les marquages et les limites indiquées.
- d. Ne pas approcher les outils ferromagnétiques ou d'autres objets pouvant être attirés par la source EMF.
- e. Annoncer tout problème ou transmettre toute question au service via la demande de support : <https://go.epfl.ch/support-ohs>
- f. Demander une visite médicale/évaluation des risques si besoin : voir 5.3. Suivi médical ci-dessous.
- g. Signaler tout effet sur la santé inattendu ou non-désiré pendant l'utilisation de l'EMF à : sante@epfl.ch.

5.3 Suivi médical

- a. Un suivi médical est exigé dans les cas suivants :
 - Pour tous les employés travaillant dans la zone délimitée par les lignes rouges comme défini dans la **Table 1** et **Table 2**.
 - Pour tous les employés portant un MD (voir [Annexe 1](#) pour les exemples de MD) et travaillant à proximité d'un instrument comme défini dans le présent document.
- b. Dans le cas des situations citées précédemment, envoyer un email à : sante@epfl.ch pour s'enregistrer à la surveillance médicale.
- c. Le service OHS prendra contact avec l'employée et organisera le suivi médical et la visite des postes de travail.
- d. La possibilité d'interaction des MD avec les MEF dépend du contenu en fréquence de l'émetteur, du format de modulation, de la puissance du signal, de la proximité de l'appareil, des facteurs d'interaction et de la durée de l'exposition. L'analyse de risques demandera donc d'avoir des informations sur le MD de la part du fabricant et de la part de professionnel de santé qui a fait l'intervention médicale. L'analyse est faite en accord avec le SN EN 50527-1 et 2 [11].

- e. Si le MD est sensible aux interférences électromagnétiques, l'activité de l'employé sera réorganisée pour éviter toute exposition au champ.

5.4 Respect des VLE pour les femmes enceintes

Les VLE pour les femmes enceintes sont données en [Annexe 3](#). Afin de s'assurer que ces VLE soient respectées par les femmes enceintes travaillant avec les EMF, il est impératif d'annoncer sa grossesse au plus vite via le lien suivant⁴ : <https://www.epfl.ch/campus/security-safety/en/health/health-at-work/maternity/>

Suite à l'annonce d'une grossesse, l'OHS visitera le poste de travail, mesurera l'EMF à la place de travail et prendra les mesures de contrôle pour réduire les risques en s'assurant que la personne n'est pas exposée au-delà des VLE.

5.5 Nettoyage du laboratoire

Tous les laboratoires contenant des EMF et avec contrôle/restriction d'accès (voir **Table 1** et **Table 2**) doivent être nettoyés par un personnel formé. La formation est dispensée par DSE-OHS.

5.6 Instructions concernant les services techniques et des interventions d'urgence

Service technique/ Équipe de maintenance : respecter les signalisations et les restrictions (notamment les porteurs de DM). Ne pas emmener des outils ferromagnétiques à proximité de l'instrument.

Équipe d'intervention : respecter les signalisations et les restrictions. N'emmener aucun équipement de lutte contre le feu *ferromagnétique*, comme des extincteurs métalliques, tuyaux, radios portatives ou Halligan dans la pièce contenant les champs magnétiques.

L'extinction des petits incendies doit être faite avec des extincteurs non ferromagnétiques. Si le feu se propage et nécessite des extincteurs ou des lances à incendie, il sera nécessaire d'éteindre l'IRM (quench). L'équipe d'intervention aura donc également besoin de se familiariser avec l'emplacement des instruments IRM, leurs champs magnétiques et la procédure permettant d'éteindre l'IRM.

⁴ L'annonce d'une grossesse est confidentielle.

6 Annexes

ANNEXE 1 : TRAVAILLEURS AVEC DES RISQUES PARTICULIERS, LISTE ET EXEMPLES DES DISPOSITIFS MEDICAUX (MD)

Travailleurs avec risques particuliers	Exemples
Travailleurs portant un dispositif médical implanté actif (AIMD)	Pacemakers cardiaques, défibrillateurs cardiaques implantés, implants cochléaires, implants du tronc cérébral, prothèses de l'oreille interne, neurostimulateurs, encodeurs rétinien, pompes à perfusion implantées.
Travailleurs portant un dispositif médical implanté passif (PIMD) contenant du métal	Articulations artificielles, plaques, vis ou clips chirurgicaux, stents, prothèses valvulaire cardiaques, anneaux d'annuloplastie, implants contraceptifs métalliques.
Travailleur portant un dispositif médical corporel (BWMD)	Pompe à insuline, pompe à perfusion d'hormones, prothèse auditive, système de monitoring de la glycémie.

ANNEXE 2 : VALEURS LIMITES D'EXPOSITION PROFESSIONNELLE

TABLE 4. VALEURS LIMITES D'EXPOSITION PROFESSIONNELLE POUR LES CHAMPS MAGNETIQUES STATIQUES ET CERTAINES FREQUENCES CHOISIES D'EMF [6]. LA FREQUENCE CALCULEE DOIT ETRE EXPRIMEE DANS L'UNITE DE LA PREMIERE COLONNE. POUR LES FREQUENCES ENTRE 100 KHZ ET 10 GHZ, P², E², H² ET B² SONT MOYENNES SUR UNE PERIODE DE 6 MINUTES. POUR LES FREQUENCES AU DELA DE 10 MHZ, IL EST SUGGERE QUE LA DENSITE DE PUISSANCE DE L'ONDE PLANE EQUIVALENTE DE CRETE, EN MOYENNE SUR LA LARGEUR DE L'IMPULSION, NE DEPASSE PAS 1000 FOIS LE P DE RESTRICTION OU QUE L'INTENSITE DU CHAMP NE DEPASSE PAS DE PLUS DE 32 FOIS LES NIVEAUX A L'INTENSITE DU CHAMP INDIQUE DANS LE TABELAU. POUR LES FREQUENCES SUPERIEURES A 10GHZ, P², E², H² ET B² DOIVENT ETRE MOYENNES SUR UNE PERIODE DE 68/F^{1.05} MIN (F EN GHZ)

Valeurs limites d'exposition professionnelle				
Fréquence f de 0 à 1 Hz				
Caractéristiques des limites d'exposition		Densité du flux magnétique		
Tête et tronc		2 T		
Membres		8 T		
Fréquence f. > 1Hz (valeurs effectives)				
f (Hz)	E _{G,f} (V/m)	H _{G,f} (A/m)	B _{G,f} (µT)	P _{G,f} (W/m ²) Densité de puissance d'onde plane équivalente
1-8 Hz	20 000	1.63×10 ⁵ /f ²	2×10 ⁵ /f ²	Sans objet pour cette fréquence
8-25 Hz	20 000	2×10 ⁴ /f	2.5×10 ⁴ /f	Sans objet
f (kHz)	E _{G,f} (V/m)	H _{G,f} (A/m)	B _{G,f} (µT)	P _{G,f} (W/m ²)
0.025-0.82	500/f	20/f	25/f	Sans objet
0.82-65	610	24.4	30.7	Sans objet
f (MHz)	E _{G,f} (V/m)	H _{G,f} (A/m)	B _{G,f} (µT)	P _{G,f} (W/m ²)
0.065-1	610	1.6/f	2.0/f	Sans objet
1-10	610/f	1.6/f	2.0/f	Sans objet
10-400	61	0.61	0.2	10
400-2000	3f ^{1/2}	0.008f ^{1/2}	0.01f ^{1/2}	f/40
f (GHz)	E _{G,f} (V/m)	H _{G,f} (A/m)	B _{G,f} (µT)	P _{G,f} (W/m ²)
2-300	137	0.36	0.45	50

ANNEXE 3. VALEURS LIMITES D'EXPOSITION POUR LE GRAND PUBLIC ET LES FEMMES ENCEINTES

TABLE 5. VLE POUR LE GRAND PUBLIC. LES MEMES VALEURS SONT APPLIQUEES POUR LES FEMMES ENCEINTES. LA VALEUR EFFECTIVE LA PLUS HAUTE FAIT FOI. ELLE NE DOIT EN AUCUN CAS ETRE DEPASSEE. LA FREQUENCE F. DANS LE FORMULE EST EXPRIMEE DANS L'UNITE DE LA PREMIERE COLONNE.

f (Hz)	E _{G,f} (V/m)	H _{G,f} (A/m)	B _{G,f} (µT)	Temps (en min)
Fréquence f de 0 à 1 Hz				
< 1Hz	-	32 000	40 000	(*)
Fréquence f de 1 à 100 kHz				
1-8 Hz	10 000	32 000/f ²	40 000/f ²	(*)
8-25 Hz	10 000	4000/f	5000/f	(*)
0.025-0.8 kHz	250/f	4/f	5/f	(*)
0.8-3 kHz	250/f	5	6.25	(*)
3-100 kHz	87	5	6.25	(*)
Fréquence f > 100 kHz				
100-150 kHz	87	5	6.25	6
0.15-1 MHz	87	0.73/f	0.92/f	6
1-10 MHz	87/√f	0.73/f	0.92/f	6
10-400 MHz	28	0.073	0.092	6
400-2000 MHz	1.375 √f	0.0037 √f	0.0046 √f	6
2-10 GHz	61	0.16	0.20	6
10-300 GHz	61	0.16	0.20	68/f ^{1.05}

TABLE 6. ELV POUR LES EMF PULSÉS POUR LE GRAND PUBLIC. LES MÊMES VALEURS S'APPLIQUENT AUX FEMMES ENCEINTES. OUTRE LES VALEURS DU TABLEAU 5, LES VALEURS LIMITES D'ÉMISSION CI-DESSOUS S'APPLIQUENT AUX IMMISSIONS PULSÉES RELATIVES À LA VALEUR EFFECTIVE DE L'INTENSITÉ DU CHAMP ÉLECTRIQUE, DE L'INTENSITÉ DU CHAMP MAGNÉTIQUE ET DE LA DENSITÉ DU FLUX MAGNÉTIQUE. F EN MHZ.

VLE pour la valeur effective				
f (Hz)	E _{P,f} (V/m)	H _{P,f} (A/m)	B _{P,f} (µT)	Unité de mesure (minutes)
10-400 MHz	900	2.3	2.9	Durée de pulse
400 – 2000 MHz	44√f	0.12√f	0.15√f	Durée de pulse
2-300 GHz	1950	5.1	6.4	Durée de pulse

ANNEXE 4. REGLES D'ADDITION POUR LA PRESENCE DE FREQUENCES MUTIPLES

TABLE 7. RÈGLES DE SOMMATION EN CAS DE FRÉQUENCES MULTIPLES. S'IL Y A PLUSIEURS FRÉQUENCES, LES ÉMISSIONS SONT DÉTERMINÉES SÉPARÉMENT POUR CHAQUE FRÉQUENCE. LES ÉMISSIONS AINSI DÉTERMINÉES SONT PONDÉRÉES PAR UN FACTEUR DÉPENDANT DE LA FRÉQUENCE ET ADDITIONNÉES SELON LE TABLEAU CI-DESSOUS. LA VALEUR LIMITE D'ÉMISSION EST INFÉRIEURE OU ÉGALE À 1 POUR CHAQUE SOMME CALCULÉE SELON LE TABLEAU.

Gamme de fréquence	Grandeur physique	Règles d'addition	Durée de l'évaluation
1Hz-10 MHz	Intensité du champ électrique	$\sum_{1Hz}^{1MHz} \frac{E_f}{E_{G,f}} + \sum_{>1MHz}^{10MHz} \frac{E_f}{87}$	La valeur effective la plus élevée est déterminante
	Intensité du champ magnétique	$\sum_{1Hz}^{65kHz} \frac{H_f}{H_{G,f}} + \sum_{>65kHz}^{10MHz} \frac{H_f}{5}$	La valeur effective la plus élevée est déterminante
	Densité du flux magnétique	$\sum_{1Hz}^{65kHz} \frac{B_f}{B_{G,f}} + \sum_{>65kHz}^{10MHz} \frac{B_f}{6.25}$	La valeur effective la plus élevée est déterminante
100 kHz-300 GHz	Intensité du champ électrique	$\sqrt{\sum_{100kHz}^{1MHz} \left(\frac{E_f}{87}\right)^2 \cdot f + \sum_{>1MHz}^{300GHz} \left(\frac{E_f}{E_{G,f}}\right)^2}$	6 minutes
	Intensité du champ magnétique	$\sqrt{\sum_{100kHz}^{1MHz} \left(\frac{H_f}{0.73}\right)^2 \cdot f^2 + \sum_{>1MHz}^{300GHz} \left(\frac{H_f}{H_{G,f}}\right)^2}$	6 minutes
	Densité du flux magnétique	$\sqrt{\sum_{100kHz}^{1MHz} \left(\frac{B_f}{0.92}\right)^2 \cdot f^2 + \sum_{>1MHz}^{300GHz} \left(\frac{B_f}{B_{G,f}}\right)^2}$	6 minutes
En plus lors d'immissions pulsées 10 MHz-300 GHz	Intensité du champ électrique	$\sqrt{\sum_{10MHz}^{300GHz} \left(\frac{E_f}{E_{P,f}}\right)^2}$	Durée de pulse
	Intensité du champ magnétique	$\sqrt{\sum_{10MHz}^{300GHz} \left(\frac{H_f}{H_{P,f}}\right)^2}$	Durée de pulse
	Densité du flux magnétique	$\sqrt{\sum_{10MHz}^{300GHz} \left(\frac{B_f}{B_{P,f}}\right)^2}$	Durée de pulse

L'addition est toujours effectuée sur la gamme de fréquences indiquées sur le symbole d'addition pour toutes les fréquences f qui sont présentes simultanément dans les émissions.

Explication des symboles :

E_r – Valeur effective (RMS) de l'intensité du champ électrique en V / m à la fréquence f.

$E_{G,f}$ – Valeur limite d'émission pour la valeur effective de l'intensité du champ électrique en V/m à la fréquence f . selon la

Table 4 ou Table 5.

$E_{P,f}$ - Valeur limite d'émission pour la valeur effective de l'intensité du champ électrique en V/m à la fréquence f selon la Table 6.

H_f – Valeur effective de l'intensité du champ magnétique en A / m à la fréquence f .

$H_{G,f}$ – Valeur limite d'émission pour la valeur effective de l'intensité du champ magnétique en A / m à la fréquence f selon la Table 4 ou Table 5.

$H_{P,f}$ – Valeur limite d'émission pour la valeur effective de l'intensité du champ magnétique en A / m à la fréquence f selon la Table 6.

B_f – Valeur effective de la densité du flux magnétique en μT à la fréquence f .

$B_{G,f}$ – Valeur limite d'émission pour la valeur effective de la densité du flux magnétique en μT à la fréquence f selon la

Table 4 ou Table 5.

$B_{P,f}$ - Valeur limite d'émission pour la valeur effective de la densité du flux magnétique en μT à la fréquence f selon la Table 6.

ANNEXE 5 : FORMULAIRE D'ENREGISTREMENT D'UN NOUVEL AIMANT OU EMETTEUR D'EMF.

Le formulaire d'enregistrement est exigé pour les aimant permanents, les aimants pulsés et tout émetteur d'ondes électromagnétique avec une fréquence allant jusqu'à 300GHz (défini dans le Champs de définition ci-dessus.)

Chercheur principal:

Nom : _____ *eg. Thomas Meier*

Unité : _____ *eg. ISIC-GSST*

N° de téléphone : _____ *eg. 31234*

Identification de l'instrument

Fabricant : _____ *eg. PowerMagnet*

Modèle : _____ *eg. LDM405*

Date d'achat : _____ *eg. 2020.06.06*

N° de local : _____ *eg. CH J2 632*

N° d'inventaire EPFL (voir exemple): _____ *eg. B123456*



Example of EPFL inventory number

Caractéristiques de l'instrument

Type de champ : Magnétique Électrique Électromagnétique (< 300 GHz)

Intensité maximale du champ : _____ *eg. 4 T, 4 kV/m*

Fréquence(s) : _____ *If champ pulsé, eg. 25 MHz*

Cryogénie : Azote liquide Hélium liquide

Refroidissement en boucle ouverte Refroidissement en boucle fermée

Champ à l'extérieur de l'instrument :

<input type="checkbox"/> >0.5 mT	<input type="checkbox"/> >3 mT	<input type="checkbox"/> >2 T
----------------------------------	--------------------------------	-------------------------------

Champ à l'intérieur de l'instrument : Les utilisateurs peuvent accéder pendant l'utilisation normale de l'instrument.

Remarque(s) : _____

Date : _____

Visa : _____

7 Bibliographie

- [1] Protection de la santé, Division médecine du travail, 1903.f, Valeurs limites d'exposition aux postes de travail, Luzern: SUVA, 2021.
- [2] DEFR, "822.111.52, Ordonnance du DEFR sur les activités dangereuses ou pénibles en cas de grossesse et de maternité," 2015.
- [3] Conseil Fédéral Suisse, "Ordonnance sur la protection contre le rayonnement non ionisant, 814.710," 2022.
- [4] The European parliament and the council, "Directive 2013/35/EU of the European parliament and of the council of 26 June 2013 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields)," 2013.
- [5] International Commission on non-ionizing radiation protection, "ICNIRP guidelines on limits of exposure to static magnetic fields," *Health Physics*, vol. 96, no. 4, pp. 504-514, 2009.
- [6] ICNIRP, "ICNIRP Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz)," *Health physics*, vol. 74(4), pp. 494-522, 1998.
- [7] International Commission on non-ionizing radiation protection, "ICNIRP Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz – 100 kHz)," *Health Physics*, vol. 99(6), pp. 818-836, 2010.
- [8] International Commission on non-ionizing radiation protection, "ICNIRP guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 KHZ TO 300 GHZ)," *Health Physics*, vol. 118 (5), pp. 483-524, 2020.
- [9] International Electrotechnical Commission, "IEC 60601-2-33, Medical electrical equipment: particular requirements for the basic safety and essential performance of magnetic resonance equipment for medical diagnosis," 2010.
- [10] K. G. Jolanta Karpowicz, "Experimental evaluation of ballistic hazards in imaging diagnostic center," *Polish Journal of radiology*, vol. 2013, no. 78(2), pp. 31-37.
- [11] Electro Suisse, "Procedure for the assessment of the exposure to electromagnetic fields of workers bearing active implantable medical devices," Electro Suisse, CH-8320 Fehraltorf, 2016.
- [12] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), "ICNIRP home page," [Online]. Available: <https://www.icnirp.org/en/home/index.html>.