

La réglementation des rayonnements non ionisants de 0-300 GHz



en partenariat avec la CoRPAR |



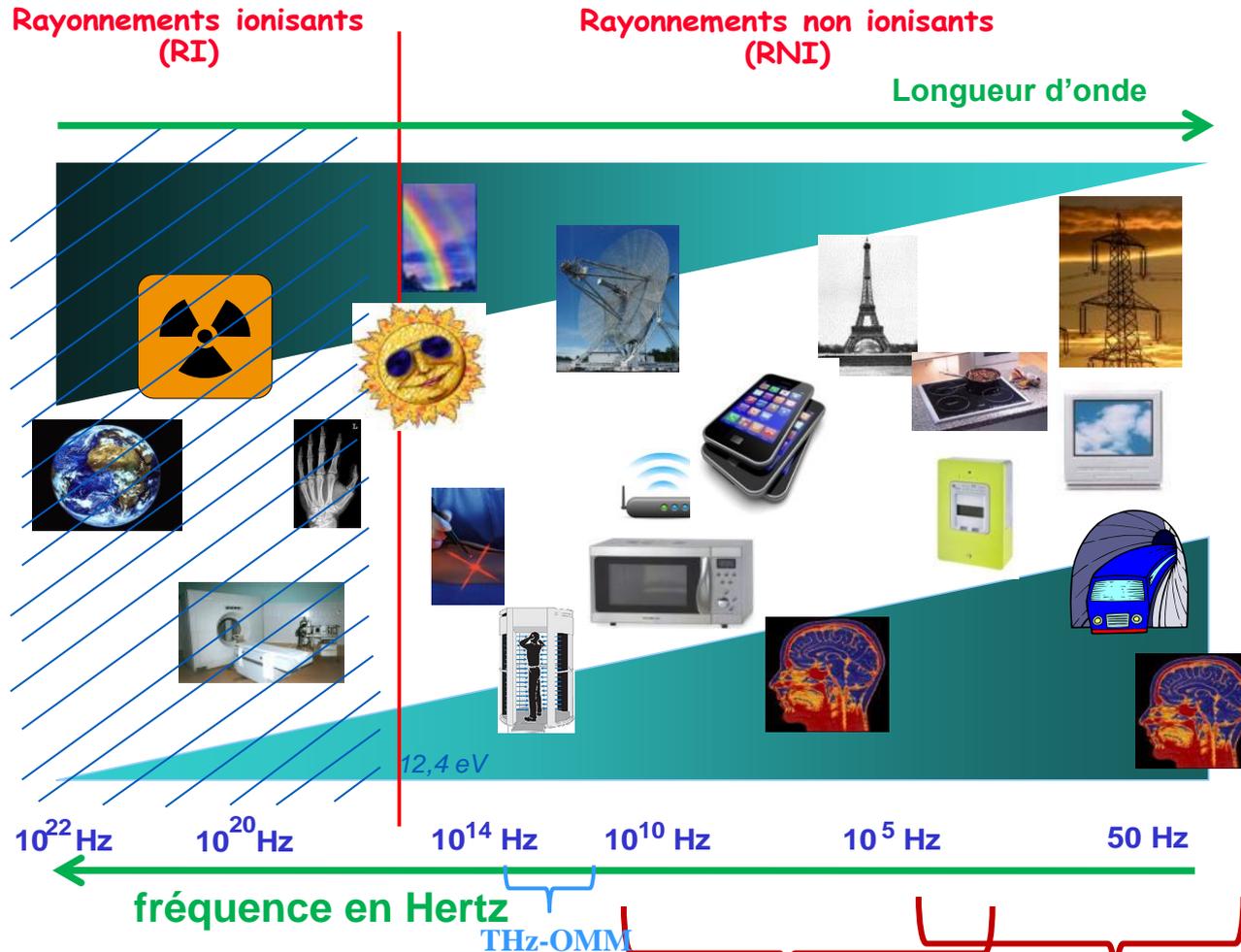
Dr Martine Souques

DRH Groupe
Direction Santé Sécurité Performance au Travail – Pole Santé Sécurité
Service des Etudes Médicales

Plan

- ▶ Notions générales
- ▶ Réglementation pour le public
- ▶ Réglementation en milieu professionnel
- ▶ L'évaluation en pratique
- ▶ Etudes de cas

Spectre électromagnétique et sources d'expositions



kilo = 10^3 Hz ; mega : 10^6 Hz ; giga : 10^9 Hz

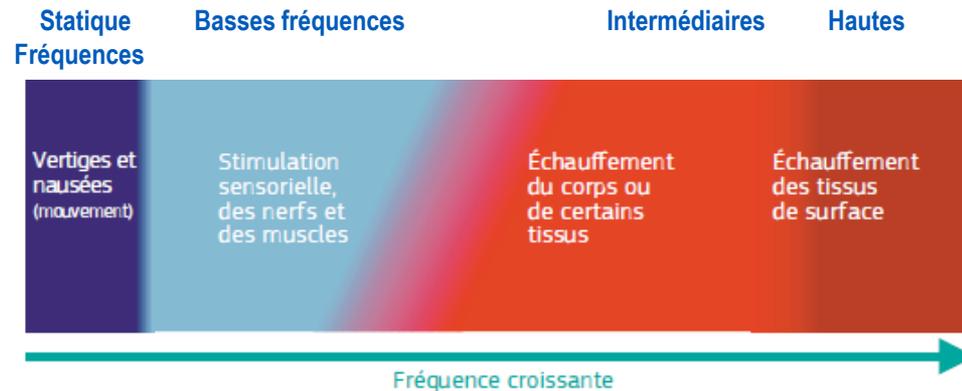


DRH Groupe
 Direction Santé Sécurité Performance au Travail – Pole Santé Sécurité
 Service des Etudes Médicales

RF

BF

Rappel...



Sécurité sanitaire → limitation des niveaux d'expositions

Perception des Champs électromagnétiques

▶ Champ magnétique statique

- Imperceptible (champ terrestre 30 à 70 μT)

▶ Champ électrique BF

- 10 % des adultes perçoivent un champ $> 10 \text{ kV/m}$

▶ Champ magnétique BF

- $< 5 \text{ mT}$: imperceptible
- $> 10 \text{ mT}$: seuil magnétophosphènes par modélisation (Saunders R, 2007)
- Recherche sur volontaire humain (LHRI-Canada) : seuil entre 15 et 20 mT (50-60 Hz)
- Mécanisme d'action : stimulation des bâtonnets de la rétine

▶ CEM RF

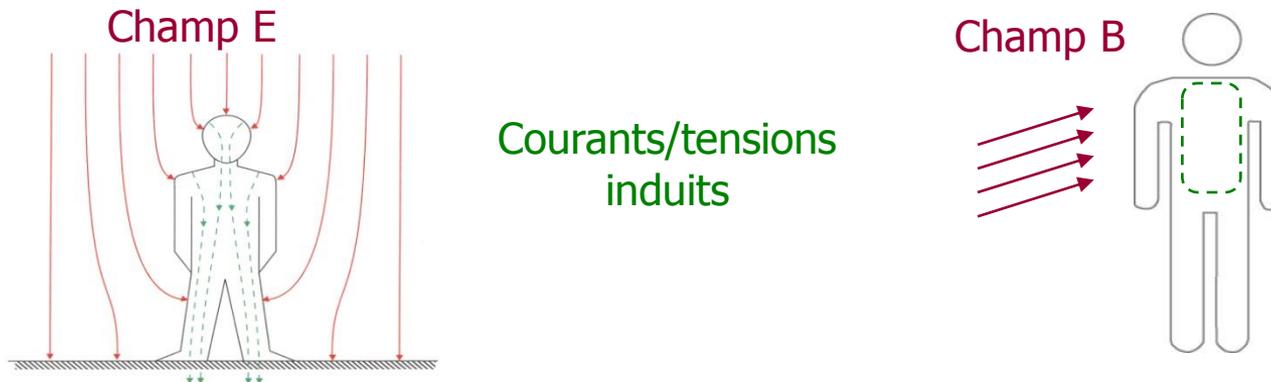
- Imperceptible



Il n'y a pas d'organe de perception des CEM chez l'humain en dehors de la lumière

Mécanismes d'action

- ▶ Couplage entre le champ électromagnétique et le corps humain
- ▶ En BF
 - En dessous de 10 MHz => induction de courants/tensions



- ▶ En RF
 - Au dessus de 100 kHz => échauffement des tissus

Rappel : distinguer effets court terme et effets long terme

▶ Effets immédiats

- Effets immédiats liés à une exposition intense
- Effets physiologiques transitoires et réversibles (ex magnétosphères)
- Effets scientifiquement prouvés (démontrés, reproductibles)
- Mise en place d'une réglementation pour s'en protéger

▶ Effets long terme

- Effets différés liés à une exposition passée
- Effets hypothétiques : pas de preuve scientifique de leur existence
- Effets dus à un mécanisme inconnu: par défaut, ce mécanisme est relié à l'exposition moyenne
- Pas de consensus scientifique donc pas de réglementation

Pourquoi limiter l'exposition aux CE, CM et CEM ?

- ▶ Constatation d'effets à partir d'un certain seuil
- ▶ En statique
 - Peu d'étude en CE, aucune chez l'humain. Pas de perturbation mise en évidence (360 kV/m chez la souris)
 - CM : vertiges, nausées, perturbation du flux sanguin...
- ▶ En BF
 - Perturbation du fonctionnement du système nerveux et des muscles
 - A très forte exposition, risque de fibrillation ventriculaire : électrisation
- ▶ En RF
 - Echauffement de l'organisme si les possibilités de thermorégulation sont dépassées
 - Le seuil dépend de la vascularisation organes
 - Il faut 6 minutes pour que la thermorégulation soit effective

Qui fixe les limites ?

▶ ICNIRP

- Organisme reconnu internationalement constitué essentiellement de biologistes.
- Guidelines pour les travailleurs et pour le grand public (1998, 2009, 2010, 2020)
- Guidelines varient en fonction de la fréquence

▶ Commission européenne

- 1999/519/CE: Recommandation du Conseil du 12 juillet 1999 relative à la limitation de l'exposition du public aux champs électromagnétiques (de 0Hz à 300GHz) → **texte incitatif**
- 2013/35/UE: Directive du Parlement Européen et du Conseil du 26 juin 2013 concernant les prescriptions minimales de santé et de sécurité relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux agents physiques (champs électromagnétiques) → **transcription obligatoire**

▶ En France : **décret 1076-1074** sur la limitation de l'exposition des travailleurs aux champs électromagnétiques

Rappel - Fondements des seuils réglementaires



ICNIRP

Lignes directrices ou valeurs guide

Restrictions de base = valeurs limites d'exposition (VLE)

Valeurs fondées sur des effets connus

Grandeurs selon fréquences (dans le corps)

induction magnétique, densité de courant , DAS et densité de puissance



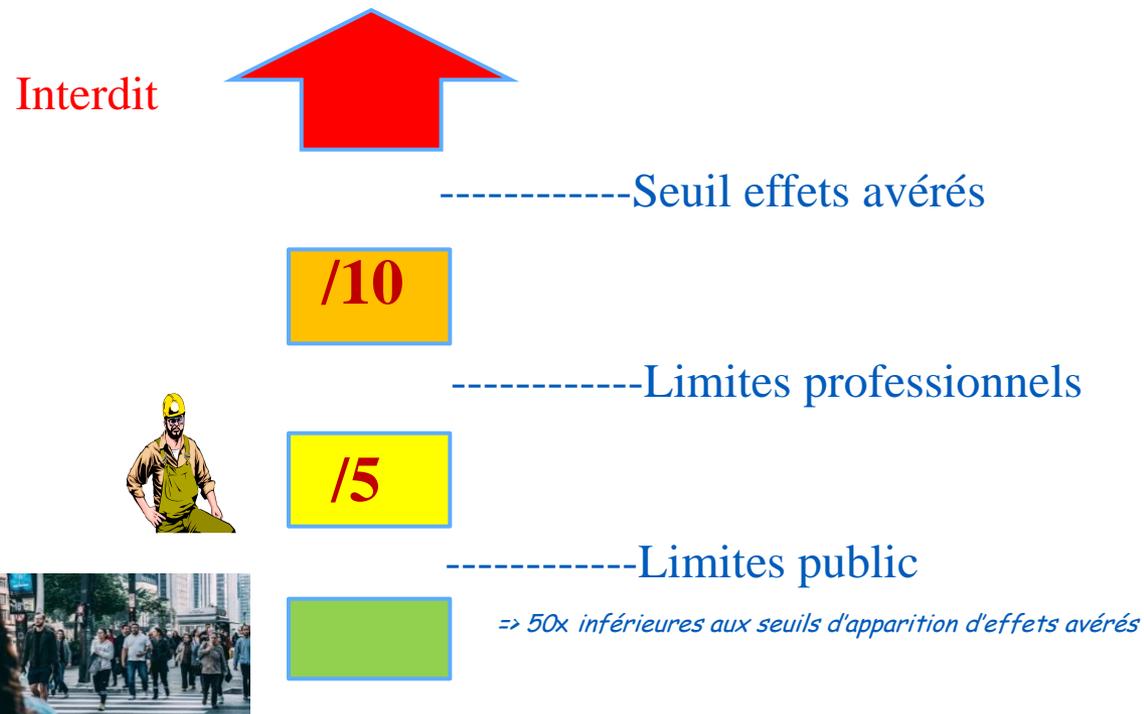
Niveaux de référence = valeurs d'action (VA)

Mesurables, tels que les restrictions de base ne sont jamais dépassées

Pour le public

Pour les travailleurs

Marges de sécurité / Facteurs de réduction (ICNIRP)



Recommandation pour le public : 0-300 GHz (1999/519/CE)

- ▶ Un texte incitatif , mais une référence incontournable qui ne peut être ignorée (quasiment statut de directive)
- ▶ Objectif :
 - “...fournir un niveau élevé de protection par rapport aux effets avérés sur la santé qui peuvent résulter de l'exposition à des champs électromagnétiques...”
 - “...la présente recommandation couvre implicitement les effets éventuels à long terme...”
- ▶ Management du risque sanitaire par une double limite
 - Reprend les valeurs guides de l'ICNIP
 - Restriction de base : non mesurable → mA/m², DAS, AS
 - Niveau de référence : mesurable → CE, CM ou CEM qui permet de garantir le respect de la restriction de base
- ▶ Processus évolutif: révisions régulières (SCENIHR puis SCHEER)

La Recommandation n'est pas obsolète

Révisions 2002, 2007, 2009, 2015 (SCENIHR*)

Depuis 1999, révisions successives de la Recommandation sans qu'il soit jugé nécessaire d'apporter des modifications

Fact Sheet SCENIHR mars 2015

L'EXPOSITION AUX CEM EST-ELLE DANGEREUSE POUR LA SANTÉ ?

Selon les résultats des recherches scientifiques actuelles, aucun effet néfaste sur la santé n'est établi si l'exposition reste inférieure aux niveaux fixés par les normes en vigueur.

https://ec.europa.eu/health/sites/health/files/scientific_committees/docs/citizens_emf_fr.pdf

→ tout appareil électrique mis sur le marché européen respecte la recommandation européenne sur les champs électromagnétiques



* SCHEER : Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Risks (ex SCENIHR)

Limites pour le public

Limites pour les TM
2 W/kg

Table 7 Reference levels for general public exposure to time-varying electric and magnetic fields (unperturbed rms values)

Frequency range	E-field strength (V m ⁻¹)	H-field strength (A m ⁻¹)	B-field (μT)	Equivalent plane wave power density S_{eq} (W m ⁻²)
up to 1 Hz	—	3.2×10^4	4×10^4	—
1–8 Hz	10,000	$3.2 \times 10^4/f^2$	$4 \times 10^4/f^2$	—
8–25 Hz	10,000	$4,000/f$	$5,000/f$	—
0.025–0.8 kHz	$250/f$	$4/f$	$5/f$	—
0.8–3 kHz	$250/f$	5	6.25	—
3–150 kHz	87	5	6.25	—
0.15–1 MHz	87	$0.73/f$	$0.92/f$	—
1–10 MHz	$87/f^{1/2}$	$0.73/f$	$0.92/f$	—
10–400 MHz	28	0.073	0.092	2
400–2000 MHz	$1.375f^{1/2}$	$0.0037f^{1/2}$	$0.0046f^{1/2}$	$f/200$
2–300 GHz	61	0.16	0.20	10

Notes:

1. f as indicated in the frequency range column.
2. Provided that basic restrictions are met and adverse indirect effects can be excluded, field strength values can be exceeded.
3. For frequencies between 100 kHz and 10 GHz, S_{eq} , E^2 , H^2 , and B^2 are to be averaged over any 6-minute period.
4. For peak values at frequencies up to 100 kHz see Table 4, note 3.

Limites pour les antennes de TM
Fréq de 900 à 2600 MHz (2-4G) à 3,5 GHz (5G)
28 à 61 V/m

Limite à 50 Hz
E = 5kV/m, B = 100 μT

 **2,4 ou 5 GHz**
E= 61 V/m
S= 10 W/m²



Réglementation actuelle en France pour le public

- ▶ **Nouvel Arrêté Technique du 17/05/01 (JO du 12/06/01) → réseau THT**
 - « Respecter les valeurs de la Recommandation Européenne pour les lieux normalement accessibles aux tiers et dans les conditions de fonctionnement en régime permanent »
- ▶ **Décret no 2002-775 du 3 mai 2002**
 - Exposition du public aux champs électromagnétiques émis par les équipements utilisés dans les réseaux de télécommunication ou par les installations radioélectriques
 - Reprend la totalité des fréquences de la Recommandation 1999/519/CE
- ▶ **Décret 2011-1697 du 1er décembre 2011 (loi Grenelle 2)**
 - Relatif aux ouvrages des réseaux publics d'électricité et des autres réseaux d'électricité et au dispositif de surveillance et de contrôle des ondes électromagnétiques
 - Arrêtés du 23 avril 2012 et du 14 janvier 2013 relatif au décret 2011-1697
- ▶ **Loi 2015-136 dite « loi Abeille »**
 - Relative à la sobriété, la transparence, à l'information et à la concertation en matière d'exposition aux ondes électromagnétiques
 - Concerne les installations radioélectriques, le wifi, les appareils de communication sans fil
 - Décrets d'application sur la concertation pour l'implantation de nouvelles antennes

Exemples d'exposition dans la vie courante (RF)

ANTENNES

bandes 100 kHz-6 GHz

Rapport 2019 / mesures année 2018 :

Niveau ambiant moyen : 0,4 V/m

90% des mesures < 1,8 V/m



www.cartoradio.fr

TELEPHONES PORTABLES

DAS mesuré ~ 0,1 à 1,8 W/kg

DAS moy en communication << 1 W/kg

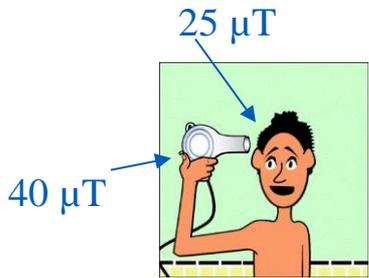
<https://data.anfr.fr>



Exposition instantanée 10 000 à 1000 000 fois > à celle générée par les antennes

➔ Téléphone = source principale d'exposition

Exemples d'exposition dans la vie courante (BF)



500 à
1000 µT



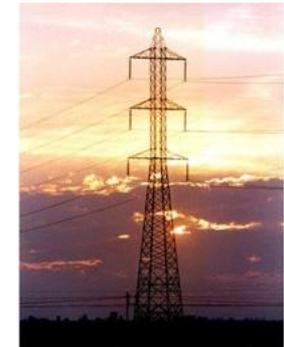
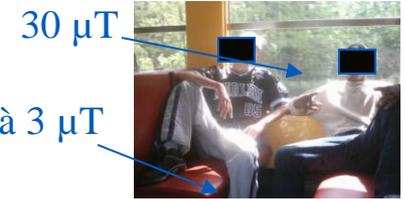
67 µT au contact
0,45 µT à 30 cm



1 à 5 µT

Max (moy)

Ligne 400 kV Sous la ligne A 30 m A 100 m	6 µT (30) 1,6 µT (12) 0,1 µT (1,2)
Ligne 225 kV Sous la ligne A 30 m A 100 m	4,3 µT (20) 0,6 µT (3) ε (0,3)
Câble 225 kV (nappe) Au dessus A 5 m A 20 m	1,2 à 4 µT (20) 0,1 à 0,6 µT (4) ε (0,3)



0,7 µT à l'arrêt
 4 µT en accélération
 2 µT à vitesse stabilisée
 1,25 µT train à côté
 démarre

Genèse de la directive 2013/35/UE : 25 ans

- ◆ 1993 proposition de directive du conseil concernant les prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux agents physiques
- ◆ 1998 guidelines ICNIRP 0Hz à 300 GHz
- ◆ 1999 Recommandation Européenne 1999/519/CE
- ◆ 2004 directive 2004/40/CE applicable en 2008
- ◆ 2008 directive 2008/46/CE repousse application en 2012
- ◆ 2009 guidelines ICNIRP 0-1 Hz
- ◆ 2010 nouvelles guidelines ICNIRP 1 Hz-100 kHz
- ◆ Directive 2012/11/UE: repousse application 2004/40/CE à 2013
- ◆ Directive 2013/35/UE
- ◆ Décret 2016-1074 (France)
- ◆ 2020 nouvelles guidelines ICNRP 100 kHz-300 GHz
 - Précisent les limites pour les fréquences > 6 GHz

BF: valeurs guides de l'ICNIRP 1998 / 2010

	Restriction de base Dépassement INTERDIT <u>Paramètres non mesurables</u>		Niveau de référence Dépassement AUTORISE sous réserve de respecter la restriction de base <u>Paramètres mesurables</u>			
	1998	2010	1998		2010	
	Densité de courant induit	Champ électrique induit (en valeur efficace)	Champ 50 Hz		Champ 50 Hz	
Public	2mA/m ²	Système nerveux central tête = 0,02 V/m Tous tissus tête et tronc =0,4 V/m	E=5kV/m	B=100µT	E=5kV/m	B=200µT
Travailleur	10mA/m ²	Système nerveux central tête = 0,1V/m Tous tissus tête et tronc =0,8 V/m	E=10kV/m	B=500µT	E=10kV/m	B=1000µT

$J = \sigma E$ (autre façon d'écrire la loi d'Ohm $U = RI$)
Du point de vue électromagnétique, c'est pareil

RF : valeurs guide de l'ICNIRP 1998

► Jusqu'à 10 GHz

	Coeff de sécurité	Restriction de base Dépassement INTERDIT <u>Paramètres non mesurables</u>		Niveau de référence Dépassement AUTORISE sous réserve de respecter la restriction de base <u>Paramètres mesurables</u>	
		Débit d'absorption spécifique		Champ électrique, champ magnétique, densité de puissance (à l'emplacement de la personne)	
		VLE corps entier	VLE locale	Corps entier	Local
Public	50	0,08 W/kg	2 W/kg	Selon la fréquence	
Travailleur	10	0,4 W/kg	10 W/kg		

► > 10 GHz : 10 W/m²

La directive 2013/35/UE : 0-300 GHz (1)

- ▶ Prescriptions minimales
- ▶ **Consigne pour l'employeur : faire une analyse de risque**, c'est-à-dire une évaluation de l'exposition des travailleurs aux CEM quelque soit la fréquence, dans tous ses sites
- ▶ **Si uniquement des équipements conçus pour le public (ex. bureaux)**
 - Conforme
- ▶ Sinon
 - Evaluer les niveaux d'exposition
 - Etablir un plan d'action
 - Consigner les données
 - Mise à jour régulière
 - Signalisation si besoin
 - Information et formation des travailleurs susceptibles d'être exposés
- ▶ Dispositions pour réduire les risques

La directive 2013/35/UE : 0-300 GHz (2)

- ▶ Reprends les valeurs guides de l'ICNIRP : valeurs limites d'exposition (interne au corps humain) / valeurs déclenchant l'action (externe au corps humain)
- ▶ Plusieurs niveaux de limites pour une même fréquence
- ▶ Surveillance médicale des travailleurs exposés au-dessus des VA
 - Si effet indésirable ou inattendu sur la santé signalé (quelque soit le niveau de champ)
 - Si exposition dépasse les limites réglementaires

Quelle que soit la gamme de fréquence, aucun symptôme, aucune pathologie n'est attendue quand les valeurs limites d'exposition de l'ICNIRP sont respectées, donc dans les limites du décret

- ▶ Définition de travailleurs à risques particuliers
 - Femmes enceintes
 - Porteurs de dispositifs médicaux implantés ou non, actifs ou passifs
- ▶ Exceptions (IRM médicale, militaires)
- ▶ Délai de transposition jusqu'au 1^{er} juillet 2016

Définitions

- ▶ 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
 - La directive « ne couvre pas les effets à long terme potentiels ... il n'existe pas de données probantes qui permettent d'établir un lien de causalité »
- ▶ Effet biophysique direct : effets sur l'organisme humain directement causés par sa présence dans un champ électromagnétique
 - Effets thermique / Effets non thermiques
- ▶ Effet biophysique indirect : des effets causés par la présence d'un objet dans un champ électromagnétique et pouvant entraîner un risque pour la sécurité ou la santé
 - Interférence avec des équipements et dispositifs médicaux électroniques
 - Risque de projection d'objet ferromagnétique dans un champ magnétique statique.
 - Amorçage de 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

Valeur limite d'exposition (VLE)

- ▶ 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**

Exposition > VLE → doit agir immédiatement

- 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; »
- 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
- C'est la restriction de base de la Recommandation de 1999

Valeur déclenchant l'action

- ▶ 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

VA respectée → VLE respectée

- C'est le niveau de référence de la Recommandation de 1999
- En dessous de 10 MHz :
 - 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
 - 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

Directive assortie d'un guide pratique

- ▶ En fait 3 guides !
 - Tome 1 : guide pratique (226 p)
 - Tome 2: études de cas (146 p)
 - Tome 3: guide à l'intention des PME (22 p)
- ▶ Pas directement utilisable (sauf peut-être les PME)
- ▶ Repris par outil OSERAY de INRS

<https://www.inrs.fr/publications/outils/oseray>

Oseray

Outil simplifié accompagnant l'employeur dans sa démarche d'évaluation des risques dus aux rayonnements électromagnétiques

Oseray s'appuie sur le guide européen intitulé " **Guide non-contraignant de bonnes pratiques pour la mise en œuvre de la directive 2013/35/UE** " qui propose une liste d'équipements ou d'activités fréquemment rencontrés et indique s'il est souhaitable qu'une évaluation plus approfondie soit effectuée pour :

- les travailleurs sans risques particuliers ;
- les travailleurs à risques particuliers : femmes enceintes, porteurs d'implants passifs ;
- les travailleurs porteurs de dispositifs médicaux actifs ou portés près du corps.

▶ [Accéder à l'outil Oseray](#)

Mis à jour le 17/07/2020

Le décret 2016-1074 du 3 août 2016 (1)

- ▶ Ce n'est pas un copier-coller de la directive
 - Il ne contient pas les définitions des VLE et VA
- ▶ Les tableaux sont regroupés → moins lisibles et sans toutes les notes explicatives
- ▶ Privilégie la VA par rapport à la VLE → mise en œuvre plus facile mais possible limitation dans certaines industries
- ▶ Doit être complété par 4 arrêtés
 - Dont un seul est sorti
 - Celui sur les définitions
 - Manque les méthodes de calcul et de mesure, les conditions d'agrément et d'accréditation des laboratoires de mesure par le Ministère du travail
- ▶ Applicable au 1^{er} janvier 2017

Le décret 2016-1074 du 3 août 2016 (2)

► Méthodes pour réduire l'exposition détaillées

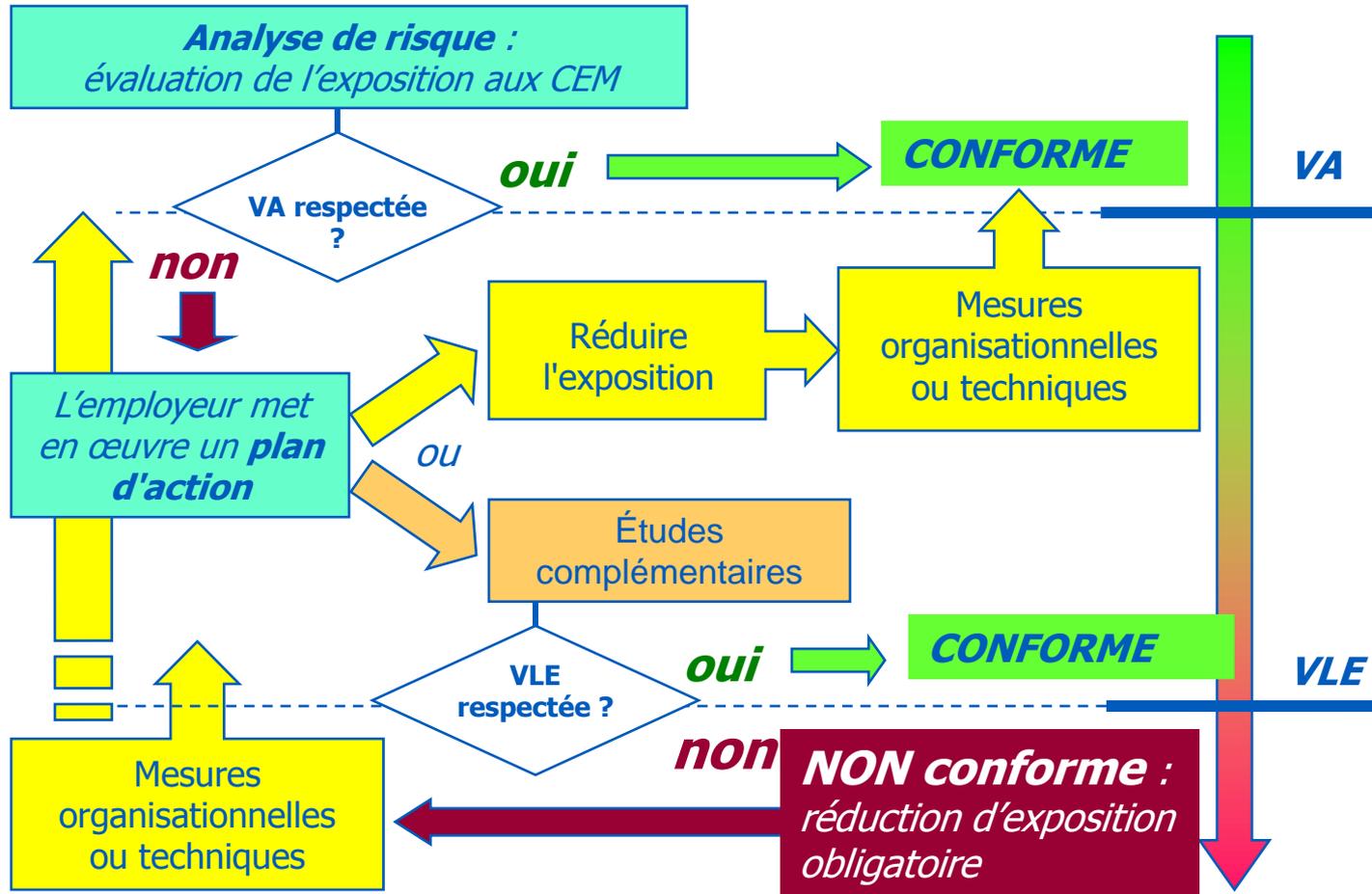
- Procédure d'évaluation des risques : l'employeur s'appuie sur le ou les **salarié(s) compétent(s)** → à former
- ou à défaut sur l'intervenant et les organismes compétents (article L. 4644.1)

► Rajoute des exigences

- Les travailleurs de moins de 18 ans → pas de dérogation possible (VLE sensorielles)
- Les femmes enceintes => ALARA
... son exposition est maintenue à un **niveau aussi faible qu'il est raisonnablement possible d'atteindre** en tenant compte des recommandations de bonnes pratiques existantes, et en tout état de cause **à un niveau inférieur aux valeurs limites d'exposition du public** aux champs électromagnétiques »
- Sur la signalisation et l'information => dès qu'on dépasse les VA

► Travailleurs à risque particulier : adaptation des mesures de prévention en liaison avec le médecin du travail

Arbre de décision



VLE (non mesurables)

En statique
VLE = VA

FREQUENCES (f) (1)	VALEURS LIMITES D'EXPOSITION PROFESSIONNELLE					
	Effets biophysiques directs	« Effets sensoriels »		« Effets sur la santé »		
		Exposition localisée de la tête	Exposition localisée des membres	Exposition ensemble du corps	Exposition localisée de la tête et du tronc	Exposition localisée des membres
0 Hz ≤ f < 1 Hz (2)	Effets non thermiques	2 T	8 T	8 T	-	-
1 Hz ≤ f < 10 Hz (3)		0,7 f V.m ⁻¹	-	1,1 V.m ⁻¹	-	-
10 Hz ≤ f < 25 Hz (3)		0,07 V.m ⁻¹	-		-	-
25 Hz ≤ f ≤ 400 Hz (3)		0,0028 f V.m ⁻¹	-		-	-
400 Hz < f < 3 kHz (3)		-	-	3,8x10 ⁻⁴ f V.m ⁻¹	-	-
3 kHz ≤ f < 100 kHz (3)		-	-		-	-
100 kHz ≤ f < 10 MHz (3) (4) (5)	Effets thermiques	-	-	3,8x10 ⁻⁴ f V.m ⁻¹ (non thermique) 0,4 W.kg ⁻¹ (thermique)	10 W.kg ⁻¹	20 W.kg ⁻¹
10 MHz ≤ f < 0,3 GHz (4)		-	-	0,4 W.kg ⁻¹		
0,3 GHz ≤ f < 6 GHz (4) (6)		10 mJ.kg ⁻¹	-			
6 GHz ≤ f ≤ 300 GHz (7)		-	-	50 W.m ⁻²	-	-

(1) La fréquence f est exprimée en hertz (Hz)
 (2) Dans la gamme de fréquences comprises entre 0 et 1 hertz, les valeurs limites d'exposition sont des valeurs d'induction magnétique externe exprimées en tesla
 (3) Dans la gamme de fréquences comprises entre 1 hertz et 10 mégahertz, les valeurs limites d'exposition sont des valeurs crête spatiale du champ électrique interne exprimées en volt par mètre
 (4) Dans la gamme de fréquences comprises entre 100 kilohertz et 6 gigahertz, les valeurs limites d'exposition relatives aux effets sur la santé représentent l'énergie moyenne sur l'ensemble ou une partie du corps (tête, tronc, membres) exprimée en termes de débit d'absorption spécifique en watt par kilogramme
 (5) Dans la gamme de fréquences comprises entre 100 kilohertz et 10 mégahertz, les effets thermiques et non thermiques agissant concomitamment, les valeurs limites d'exposition pour les deux types d'effets doivent être considérées
 (6) Dans la gamme de fréquences comprises entre 0,3 et 6 gigahertz, la valeur limite d'exposition relative aux effets sensoriels représente l'énergie absorbée par unité de masse de tissus biologiques exprimée en termes d'absorption spécifique en joules par kilogramme
 (7) Dans la gamme de fréquences comprises entre 6 et 300 gigahertz, la valeur limite d'exposition relative aux effets sur la santé représente une densité de puissance exprimée en watt par mètre carré

VLE à 50 Hz

► En valeurs efficaces

Effets directs	biophysiques	Effets sensoriels	Effets sur la santé
Effets non thermiques		Exposition localisée de la tête	Exposition ensemble du corps
		0,1 V/m	0,8 V/m
Les VLE sont des valeurs de champ électrique interne			

- La VLE relative aux effets sensoriels est équivalente à 50 Hz à un champ magnétique de 2 mT ou à un champ électrique de 35 kV/m.
- La VLE relative aux effets sur la santé est équivalente à 50 Hz à un champ magnétique de 7 mT ou à un champ électrique de 35 kV/m.
 - D'après la norme EN 50647 et I. Magne and F. Deschamps, "Electric field induced in the human body by uniform 50 Hz electric or magnetic fields: bibliography analysis and method for conservatively deriving measurable limits," J Radiol Prot, vol. 36, pp. 419-436, Jun 24 2016.

VA (mesurables)

FREQUENCE (f) (1)	VALEURS DECLENCHANT L'ACTION					
	Effets biophysiques directs	Pour l'exposition aux champs électriques	Pour l'exposition aux champs magnétiques		Pour les courants induits	
		VA (E _{eff}) (2) (3)	VA (B _{eff}) (4)		VA (I _{eff}) (5)	
		VA basse (6)	VA haute (6)	Exposition des membres à un champ magnétique localisé	Dans une extrémité quelconque	
1 Hz ≤ f < 8 Hz	Effets non thermiques	2x10 ⁴ V.m ⁻¹	2x10 ⁵ /f ² μT	3x10 ⁵ /f μT	9x10 ⁵ /f μT	-
8 Hz ≤ f < 25 Hz			2,5x10 ⁴ /f μT			-
25 Hz ≤ f < 50 Hz			-			-
50 Hz ≤ f < 300 Hz		1x10 ⁶ /f V.m ⁻¹	1x10 ³ μT	-		
300 Hz ≤ f < 1,64 kHz			-	-		
1,64 kHz ≤ f < 2,5 kHz			-	-		
2,5 kHz ≤ f < 3 kHz			-	-		
3 kHz ≤ f < 100 kHz	6,1x10 ² V.m ⁻¹	3x10 ³ /f μT	-			
100 kHz ≤ f < 1 MHz (7)	Effets thermiques	6,1x10 ² V.m ⁻¹ (non thermique et thermique)	1x10 ² μT (non thermique)	3x10 ³ μT	-	
1 MHz ≤ f < 10 MHz (7)		6,1x10 ² V.m ⁻¹ (non thermique) 6,1.10 ³ /f V.m ⁻¹ (thermique)	2x10 ⁶ /f μT (thermique)	-	-	
10 MHz ≤ f < 110 MHz		61 V.m ⁻¹	0,2 μT	-	100 mA	
110 MHz ≤ f < 400 MHz		3x10 ⁻³ f ^{1,2} V.m ⁻¹	1x10 ⁻⁵ f ^{1,2} μT	-	-	
400 MHz ≤ f < 2 GHz		1,4x10 ² V.m ⁻¹	4,5x10 ⁻¹ μT	-	-	
2 GHz ≤ f < 300 GHz						

(1) La fréquence f est exprimée en hertz (Hz)
 (2) Les valeurs déclenchant l'action pour une exposition aux champs électriques sont des valeurs d'intensité de champ électrique exprimées en volt par mètre.
 (3) Sur la gamme de fréquences comprises entre 1 et 400 hertz, pour une exposition à des champs électriques, la valeur déclenchant l'action permet de respecter les valeurs limites d'exposition relatives aux effets sensoriels et aux effets sur la santé mentionnées à l'article R. 4453-2
 (4) Les valeurs déclenchant l'action pour une exposition à des champs magnétiques sont des valeurs d'induction magnétique exprimées en microtesla
 (5) La valeur déclenchant l'action pour les courants induits est exprimée en milliampère
 (6) Sur la gamme de fréquences comprises entre 1 et 400 hertz, pour une exposition aux champs magnétiques, la valeur déclenchant l'action basse permet de respecter les valeurs limites d'exposition relatives aux effets sensoriels pour une exposition localisée de la tête tandis que la valeur déclenchant l'action haute permet de respecter les valeurs limites d'exposition relatives aux effets sur la santé mentionnées à l'article R. 4453-2
 (7) Dans la gamme de fréquences comprises entre 100 kilohertz et 10 mégahertz, les effets thermiques et non thermiques agissant concomitamment pour les expositions à des champs électriques et à des champs magnétiques, les valeurs déclenchant l'action pour les deux types d'effets et les deux types de champs doivent être considérées

Effets directs

Effets indirects

FREQUENCE (f) (1)	VALEURS DECLENCHANT L'ACTION			
	pour le risque d'interférence avec des dispositifs actifs implantés	pour le risque d'attraction et de projection dans le champ périphérique de source de champs intenses (> 100 mT)	pour la limitation du risque de décharges d'étincelles	pour un courant de contact d'état stable
	AL(B ₀) (2)	AL(B ₀) (2)	VA (E _{eff}) (3)	VA (I _c) (4)
0 Hz ≤ f < 1 Hz	0,5 mT	3 mT	-	-
1 Hz ≤ f < 25 Hz	-	-	2x10 ⁴ V.m ⁻¹	1 mA
25 Hz ≤ f < 2,5 kHz	-	-	5x10 ⁵ /f V.m ⁻¹	0,4 f mA
2,5 kHz ≤ f < 3 kHz	-	-	-	-
3 kHz ≤ f < 100 kHz	-	-	-	-
100 kHz ≤ f < 10 MHz	-	-	1,7x10 ³ V.m ⁻¹	40 mA
10 MHz ≤ f < 110 MHz	-	-	-	-

(1) La fréquence f est exprimée en hertz (Hz) à l'exception de la valeur déclenchant l'action pour les courants de contact dans la gamme de fréquences comprises entre 2,5 et 100 kilohertz où elle est exprimée en kilohertz
 (2) Les valeurs déclenchant l'action pour une exposition à des champs magnétiques statiques sont des valeurs d'induction magnétique exprimées en millitesla
 (3) Les valeurs déclenchant l'action pour la limitation du risque de décharges d'étincelles sont des valeurs d'intensité de champ électrique
 (4) Les valeurs déclenchant l'action pour les courants de contact sont exprimées en milliampère

Synthèse des limites à 50 Hz

$$valeur_{efficace} = \frac{valeur_{crête}}{\sqrt{2}}$$

- ▶ VLE relative aux effets sensoriels = 0,14 V/m crête = champ électrique induit dans la tête
- ▶ VLE relative aux effets sur la santé = 1,1 V/m crête = champ électrique induit dans tout le corps
- ▶ VA basse champ électrique = **10 kV/m efficace**
- ▶ VA haute champ électrique = **20 kV/m efficace**
- ▶ VA basse champ magnétique = **1 000 µT efficace**
- ▶ VA haute champ magnétique = **6 000 µT efficace**
- ▶ VA champ magnétique localisé aux membres = **18 000 µT efficace**
- ▶ I_c courant de contact établi (pas de limite sur la décharge d'étincelle) = **1 mA efficace**

Conclusion sur le décret

- ▶ Propose une approche graduée des moyens de prévention et du dialogue interne à mettre en œuvre en cas de dépassement des seuils, en complément des principes généraux de prévention
- ▶ Si un risque est possible, il faudra procéder à une évaluation des risques : en cas de dépassement des VA, il sera parfois nécessaire de faire des calculs pour estimer la conformité aux VLE.
- ▶ 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.
- ▶ Si dépassement des seuils observé : mettre en œuvre des mesures de réduction du risque, former et informer le personnel, identifier la présence de travailleurs à risque particulier, anticiper.

L'évaluation en pratique (1/2)

▶ Périmètre

- Toutes les entreprises
- Tous les travailleurs
- Toute la gamme de fréquence de 0 à 300 GHz

▶ Evaluation de l'exposition réalisée au poste de travail

▶ 1^{ère} étape : inventaire des sources d'exposition

- Fréquence, puissance, tension, courant

▶ 2^{ème} étape : analyse documentaire

- Normes (par exemple EN 50499 de 2019 – tableau de matériels conformes aux limites pour le public)
- Documentation (fabricant, installateur)
- Similitude à d'autres postes de travail

▶ En dernier recours : mesures, **si nécessaire** calculs ou simulations

L'évaluation en pratique (2/2)

▶ En dernier recours : mesures, calculs ou simulations si nécessaire

Pour en savoir plus :

www.sfrp.asso.fr

▶ Mesures

- Réalisée par des personnes compétentes (en interne ou laboratoires agréés)
- Avoir du matériel approprié
- Avoir du matériel étalonné
- Suivre les protocoles normalisés
- Les mesures effectuées à l'emplacement des travailleurs, mais en leur absence pour ne pas perturber les champs
- Dans les configurations d'exposition maximale

▶ Calculs ou simulations

- Logiciels disponibles
- Coût
- Dans le cas d'exposition très forte ou atypique



Etude de cas : travail de bureau

- ▶ Inventaire des matériels utilisés dans un bureau
 - Ordinateurs
 - Equipements de bureau, imprimantes
 - Stations de base pour téléphones (mobile, DECT)
 - Wifi
 - Matériel d'éclairage
- ▶ Tous ces matériels sont considérés comme peu émettant mais doivent être recensés
- ▶ Conformes aux directives Basse Tension (2014/35/UE) et RED (2014/53/UE) et respectent les limites d'exposition pour le public (donc les femmes enceintes)
- ▶ A fortiori, respectent les limites pour les travailleurs



➔ L'évaluation est terminée

Etude de cas : le soudage

- ▶ Différents types de soudage
- ▶ Soudage à l'arc (MMA, MIG, MAG, TIG) (industrie métallurgique)
 - conforme sauf travailleurs à risque particulier
 - Sous réserve de respecter les bonnes pratiques
 - **ET de ne pas porter les câbles sur le corps**
 - Sinon, mesure du CM (CE faible) – 50 Hz
- ▶ Soudage résistif (industrie automobile)
 - VA souvent dépassées (si opérateur face au plan du circuit électrique de la pince à souder)
 - Evaluation nécessaire si l'ergonomie au poste veut être conservés
- ▶ Soudage par radiofréquence (ou haute fréquence ou diélectrique)
 - 27 MHz, VA = 61 V/m
 - Souvent dépassée au niveau des membres (VA spécifique)



Etude de cas : magnétoscopie

▶ Contrôle non destructif de pièces métalliques

- Lumière UV
- Champ magnétique 50 Hz
- Méthode par spires ou méthode par touches

▶ Méthode par spires

- Mesures au niveau des mains < VA basse exposition des membres
- Mesures au niveau de la tête :
 - Valeur entre 1000 et 2300 μT
 - > VA lorsque les câbles sont posés sur l'épaule
 - > VA lorsque les câbles sont suspendus

▶ Méthode par touches

- Exposition plus faible : mesures de l'ordre de la VA basse et \ll VA haute, si respect de la procédure
- Exposition > VA basse si opérateur est proche des spires pendant la magnétisation ou du côté des spires lors de l'application du révélateur



Etude de cas : IRM

- ▶ Combinaison de 3 types de champs
- ▶ Champs statique + RF + gradients de champs
 - En clinique, CM statique 1,5 à 3 T
 - En recherche, CM statique jusqu'à 8/10 T voire plus
 - CM ne peut être arrêté, sauf urgence absolue
- ▶ Evaluation des risques doit se faire
 - A proximité de l'IRM
 - Dans la salle d'acquisition des images
 - Dans les locaux adjacents
 - Attention au risque « projectile »
 - Vigilance pour les travailleurs à risque particulier
- ▶ Périmètre de sécurité
 - Balisage par marquage au sol et panneaux
 - Avec l'aide de l'installateur et / ou du fabricant





JOURNÉE TECHNIQUE ORGANISÉE
PAR LA SECTION RAYONNEMENTS
NON-IONISANTS DE LA SFRP

PRÉVENTION DES RISQUES DES CHAMPS MAGNÉTIQUES INTENSES I.R.M. – INDUSTRIE – RECHERCHE

Plus d'informations : www.irm-sfrp.eventmaker.io
Inscrivez-vous : www.sfrp.asso.fr

JEUDI 6 AVRIL 2023

EN PARTENARIAT AVEC LA SOCIÉTÉ
FRANÇAISE DE RADIOLOGIE ET
LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE SANTÉ
AU TRAVAIL

Espace Centenaire
189 rue de Bercy - 75012 Paris



Inscrivez-vous : <https://irm-sfrp.eventmaker.io/>



DRH Groupe
Direction Santé Sécurité Performance au Travail – Pole Santé Sécurité
Service des Etudes Médicales



Merci de votre attention

Dr Martine SOUQUES

Service des Études Médicales

4 rue Floréal

75017 Paris

☎ 06 98 86 15 13

Martine.souques@edf.fr

