

Prévenir les risques professionnels liés aux expositions aux champs électromagnétiques

G. Fleury

Journées scientifiques URSI-France, 21 mars 2023, Centrale Supélec

 Notre métier,
 rendre le vôtre plus sûr

www.inrs.fr

Sommaire

- **L'INRS en bref**
- **La prévention réglementaire du risque CEM**
 - Les effets
 - La réglementation
- **De l'évaluation des risques à la recherche**
 - Le cas des opérateurs de soudage par point
- **Veille et prospectives**

L'INRS EN BREF

Statut

Association Loi 1901 (organisme privé sans but lucratif)

Action inscrite dans les orientations de la branche AT/MP de la CNAM

Gouvernance paritaire (employeurs et salariés)

Moyens

- Budget 79 M€
- Effectif **579 personnes** (à Paris et en Lorraine)



L'INRS EN BREF



Missions

Contribuer à la prévention des **accidents du travail et des maladies professionnelles** en déployant des activités d'assistance, d'études et recherche, de formation et d'information pour :

- **identifier** les risques professionnels et **mettre en évidence** les dangers
- **analyser leurs conséquences** pour la santé et la sécurité de l'homme au travail
- **développer et promouvoir** les moyens pour maîtriser ces risques au sein des entreprises

L'INRS EN BREF

Cible : le monde de l'entreprise



18,4 millions
de **saliariés** (régime général)



2,2 millions
d'**établissements** (régime général)

L'INRS EN ACTIONS

Répartition de l'activité par modalités d'action (volume horaire)

45 %

Etudes et Recherche

22 %

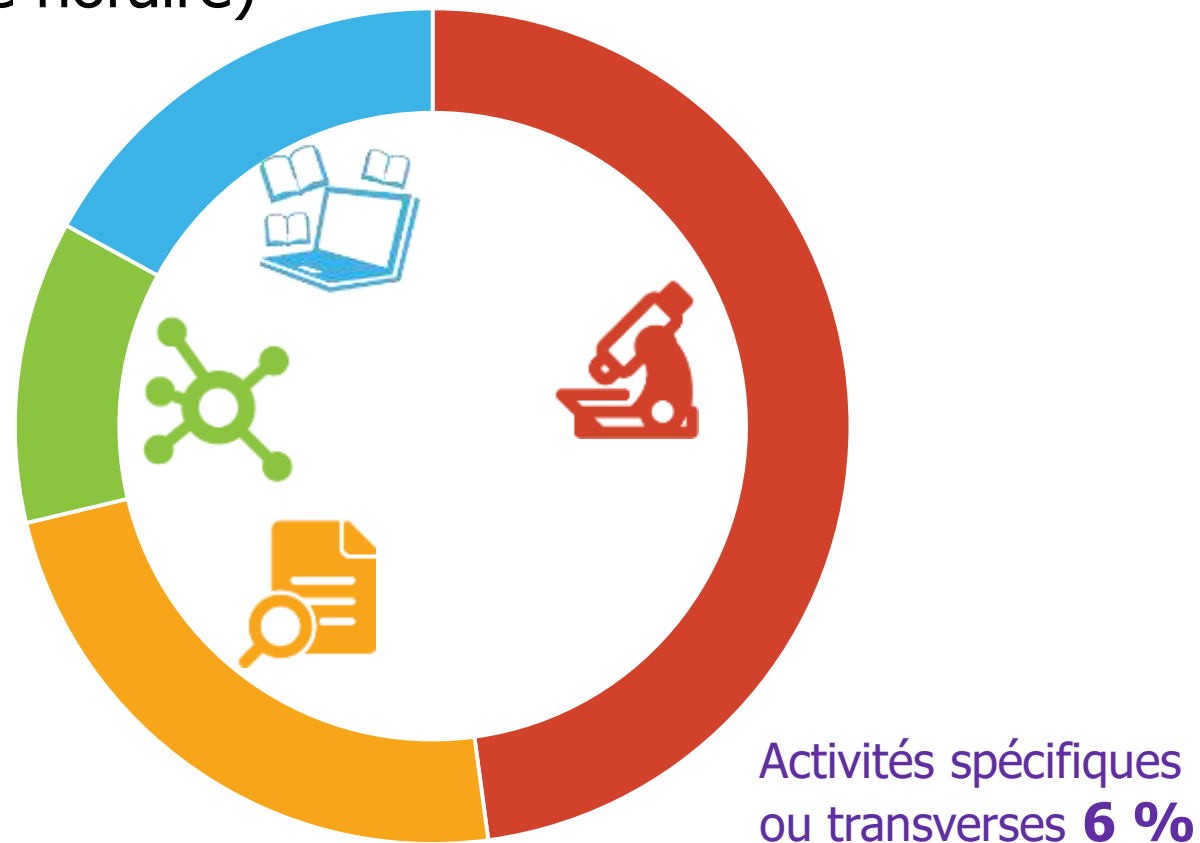
Assistance

11 %

Formation

16 %

Information



L'INRS EN ACTIONS



4 grands programmes de prévention

RISQUES BIOLOGIQUES

Agents allergisants – Biotechnologies – Exposition aux agents pathogènes – Milieux de soins – Mycotoxines et endotoxines – Zoonoses...

RISQUES CHIMIQUES

Agents cancérigènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction – Allergies professionnelles – Amiante et fibres – Nanoparticules et particules ultra fines – Perturbateurs endocriniens – Poussières – Bitumes...

RISQUES PHYSIQUES ET MÉCANIQUES

Bruit – Chutes – **Champs électromagnétiques** – Electricité – Equipements de travail / machines dangereuses – Incendie / Explosion – Rayonnements optiques – Vibrations...

RISQUES LIÉS A L'ORGANISATION ET AUX SITUATIONS DE TRAVAIL

Addictions – Conception des lieux et situations de travail – Horaires atypiques – Nouvelles formes de travail et d'organisation – Risques psychosociaux – Troubles musculosquelettiques...

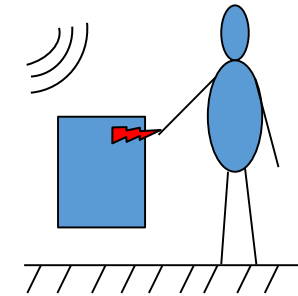
La prévention réglementaire du risque CEM

- les effets sur la santé
- la réglementation

Les effets indirects

■ Courants de contact

- > Contact avec une installation isolée de la terre et soumise à un champ,
- > risque de brûlure au point de contact



■ Attraction/projection d'objets ferromagnétiques

- > Sous l'effet d'un champ statique « intense » (**sources > 100mT**)

■ Décharge d'étincelles

- > Entre 2 parties d'installation dont une est isolée
- > Risques liés à l'environnement : incendie / explosion (site ATEX)

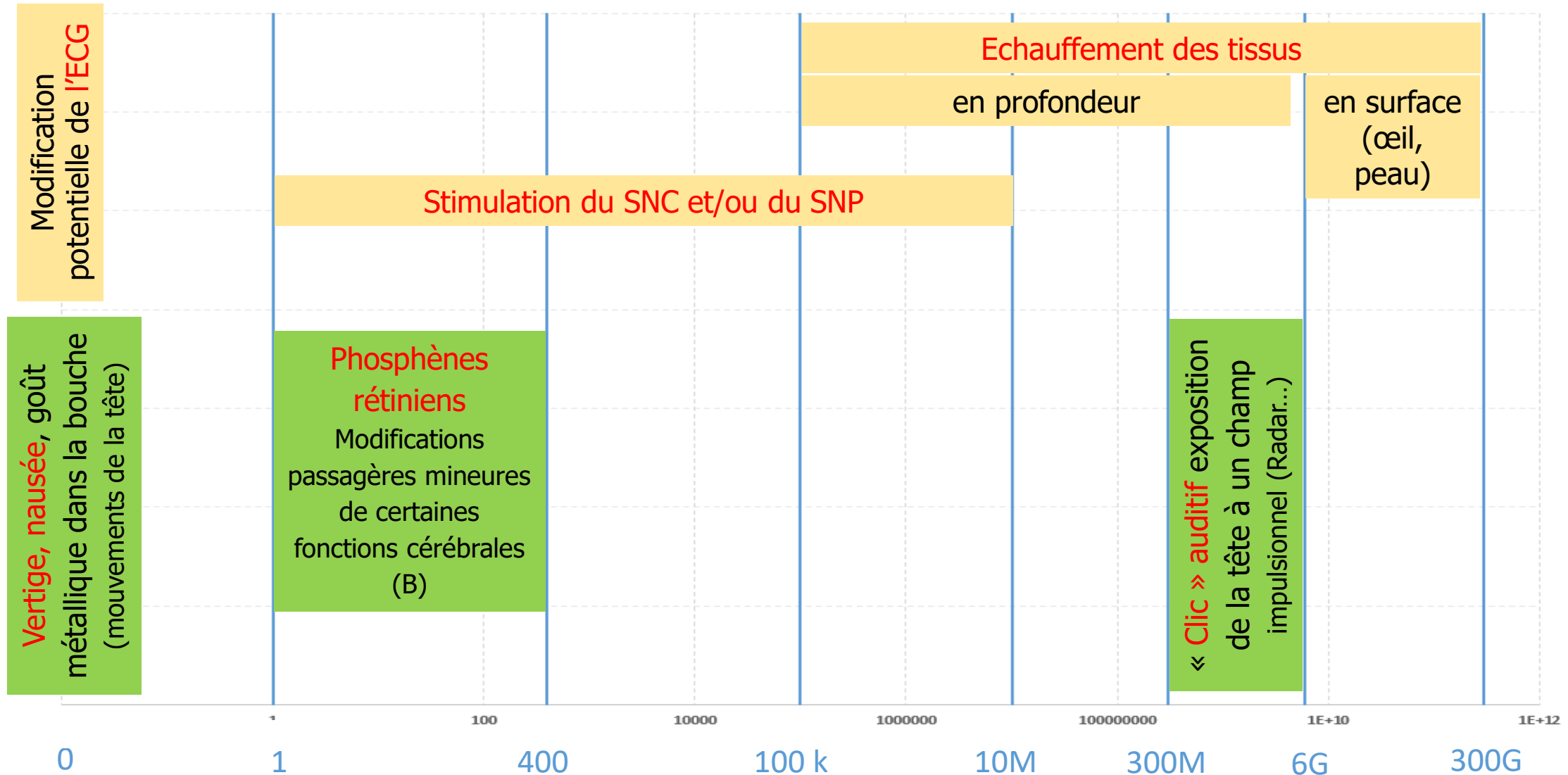
■ Implants

- > Interférences avec les dispositifs médicaux actifs (pacemaker, pompe à insuline, ..)
- > Echauffement, brûlure des implants passifs conducteurs (stent, broche, clip,..)



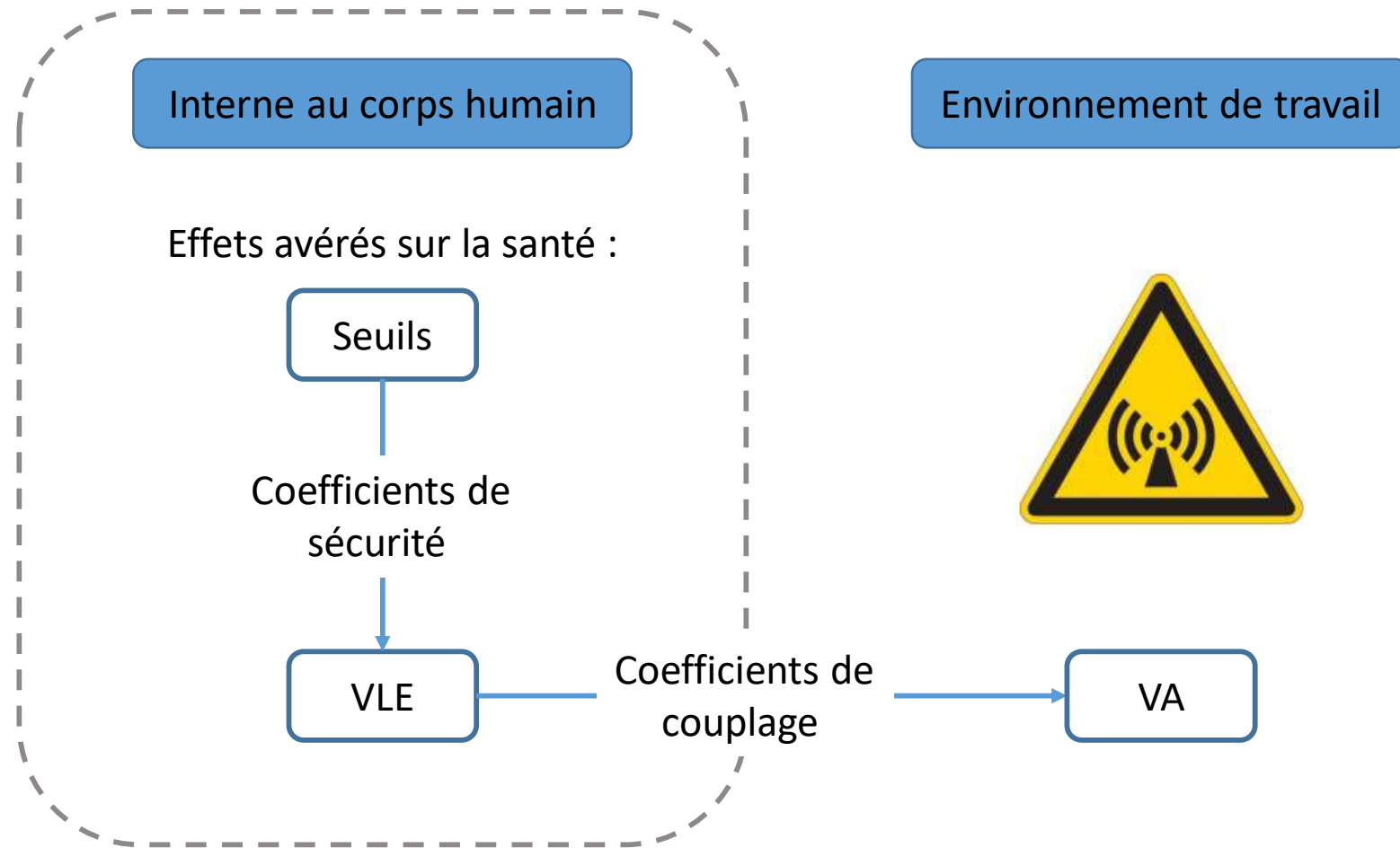
Les effets directs

- Effets sensoriels (tête)
- Effets santé (corps entier)



Rappel : cadre réglementaire

Obtention des VLE et des VA :



La réglementation

La réglementation pour le public

- **Recommandation** du conseil de l'union européenne du 12 juillet 1999 (**1999/519/CE**)
 - Limitation de l'exposition du public aux champs électromagnétiques de 0 Hz à 300 GHz
- **Arrêté du 17 mai 2001** relatif aux conditions auxquelles doivent satisfaire les réseaux de distribution d'énergie électrique
 - Art 12 bis : Champs électromagnétiques
 - Dans les lieux accessibles par le public : $E < 5 \text{ KV/m}$ et $B < 100\mu\text{T}$



- **Décret du 3 mai 2002** n°2002-775 :
 - Introduit les valeurs limites pour l'exposition du public
 - Equipements utilisés dans les réseaux de télécommunication ou par les installations radioélectriques.
- **Arrêté du 15 novembre 2019** relatif à l'affichage du DAS et à l'information des consommateurs (Champ d'application : Terminaux $P > 20 \text{ mW}$ et utilisation $< 20 \text{ cm}$).

Rappel : cadre réglementaire

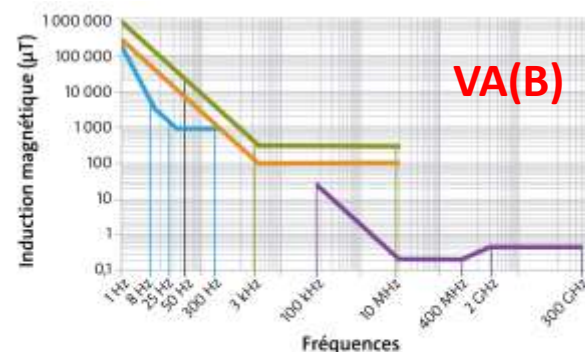
Directive Européenne
2013/35/UE

Transposition
en droit français

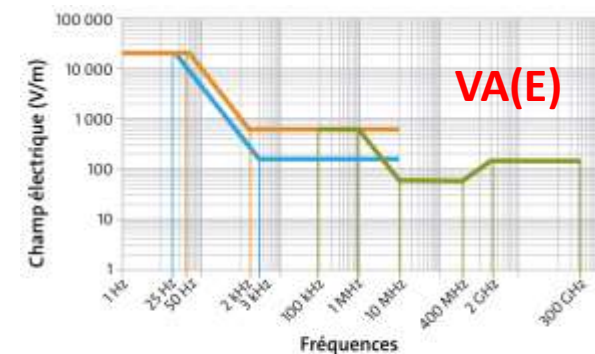
Décret n°2016-1074
du 3 août 2016

Code du travail
(applicable depuis le
1^{er} janvier 2017)

Niveaux seuil (VA et VLE) permettant de protéger les travailleurs



— Valeurs déclenchant l'action concernant l'exposition des membres.
— Valeurs déclenchant l'action concernant les effets sur la santé (VA hautes).
— Valeurs déclenchant l'action concernant les effets sensoriels (VA basses).
— Valeurs déclenchant l'action concernant les effets thermiques.



— Valeurs déclenchant l'action concernant les effets sensoriels et sur la santé.
— Valeurs déclenchant l'action basses fréquences concernant le risque d'apparition d'étincelles. En dessous de ces VA, le risque d'apparition d'étincelles est limité.
— Valeurs déclenchant l'action concernant les effets thermiques.

La réglementation pour les travailleurs

Art. R. 4453-4 : Valeurs déclenchant l'Action – Effets directs

| 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 _{Leff.}) (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 | | | | 1x10 ³ μT | | | - |
| 50 Hz ≤ f < 300 Hz | | | 1x10 ⁶ /f V.m ⁻¹ | 3x10 ⁵ /f μT | - | | |
| 300 Hz ≤ f < 1,64 kHz | | | 6,1x10 ² V.m ⁻¹ | | - | | |
| 1,64 kHz ≤ f < 2,5 kHz | | | | 1x10 ² μT | - | | |
| 2,5 kHz ≤ f < 3 kHz | | | - | | - | | |
| 3 kHz ≤ f < 100 kHz | - | - | | | | | |
| 100 kHz ≤ f < 1 MHz (7) | Effets thermiques | | 6,1x10 ² V.m ⁻¹ (non thermique et thermique) | 1x10 ² μT (non thermique) 2x10 ⁶ /f μT (thermique) | 3x10 ² μT | - | |
| 1 MHz ≤ f < 10 MHz (7) | | | 6,1x10 ² V.m ⁻¹ (non thermique) 6,1.10 ⁸ /f V.m ⁻¹ (thermique) | | | - | |
| 10 MHz ≤ f < 110 MHz | Effets thermiques | | 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 | | | | | | - | - |

Effets sensoriels

Stimulation **et** échauffement

La réglementation pour les travailleurs

Art. R. 4453-3 : Valeurs Limites d'Exposition

| 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 |
| $0 \text{ Hz} \leq f < 1 \text{ Hz}$ (2) | | 2 T | 8 T | 8 T | - | - |
| $1 \text{ Hz} \leq f < 10 \text{ Hz}$ (3) | Effets non thermiques | $0,7/f \text{ V.m}^{-1}$ | - | 1,1 V.m^{-1} | - | - |
| $10 \text{ Hz} \leq f < 25 \text{ Hz}$ (3) | | $0,07 \text{ V.m}^{-1}$ | - | | - | - |
| $25 \text{ Hz} \leq f \leq 400 \text{ Hz}$ (3) | | $0,0028 f \text{ V.m}^{-1}$ | - | | - | - |
| $400 \text{ Hz} < f < 3 \text{ kHz}$ (3) | | - | - | | - | - |
| $3 \text{ kHz} \leq f < 100 \text{ kHz}$ (3) | | - | - | | $3,8 \times 10^{-4} f \text{ V.m}^{-1}$ | - |
| $100 \text{ kHz} \leq f < 10 \text{ MHz}$ (3) (4) (5) | Effets thermiques | - | - | $3,8 \times 10^{-4} f \text{ V.m}^{-1}$ (non thermique) $0,4 \text{ W.kg}^{-1}$ (thermique) | 10 W.kg^{-1} | 20 W.kg^{-1} |
| $10 \text{ MHz} \leq f < 0,3 \text{ GHz}$ (4) | | - | - | 0,4 W.kg^{-1} | | |
| $0,3 \text{ GHz} \leq f < 6 \text{ GHz}$ (4) (6) | | 10 mJ.kg^{-1} | - | - | | |
| $6 \text{ GHz} \leq f \leq 300 \text{ GHz}$ (7) | | - | - | 50 W.m^{-2} | - | - |

Cas particulier de VLE comparables aux mesures au poste de travail

L'évaluation des risques

Exemples de sources les plus exposantes

| Fréquences | Exemples de sources |
|--------------------------------------|--|
| 0 Hz | Electrolyse industrielle IRM/RMN |
| 50 Hz | Soudage électrique, transport et distribution d'électricité, magnétiseur/démagnétiseur, magnétoscopie |
| 50 Hz à plusieurs MHz | Chauffage par induction |
| plusieurs MHz | Soudage par pertes diélectriques (presse HF) |
| plusieurs MHz à plusieurs GHz | Micro-ondes industriels, radars, télécommunications |

L'évaluation des risques en 3 étapes

- 1) Identification des sources de champ électromagnétique
- 2) Pour chaque source : évaluation du risque de dépassement des valeurs de référence pour différentes catégories de travailleurs

| Catégorie de travailleur | Champ externe | Champ interne |
|---|------------------------------|---------------------|
| Travailleurs sans risques particuliers | VA | VLE |
| Travailleurs à risques particuliers (Femmes enceintes ou porteur de dispositifs médicaux passifs) | Niveau de référence | Restriction de base |
| Travailleurs à risques particuliers (DMIA) | Immunité/Niveau de référence | - |


- 3) Si risque de dépassement : quantification du niveau de champ électromagnétique et/ou consignes de sécurité

Si dépassement : **mise en œuvre de moyens de protection et de prévention** pour réduire l'exposition

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

Sélection des sources d'émission

 Ajouter par mots-clés

 Ajouter par choix dans une liste

Recherchez par mots-clés les catégories de sources d'émissions (ou directement les sources d'émissions) que vous souhaitez ajouter à votre sélection.

Mots-clés recherchés

soudage

Procédés de **soudage** à l'arc manuel, dans le respect des bonnes pratiques et sans porter le câble sur le corps

Soudage diélectrique

Soudage haute fréquence

AU
PC **Soudage** MAG, dans le respect des bonnes pratiques et sans porter le câble sur le corps

Soudage MIG, dans le respect des bonnes pratiques et sans porter le câble sur le corps




Soudage par induction

Soudage par pertes diélectriques

Soudage par résistance manuelle (**soudage** par points, **soudage** au galet)

Soudage TIG, dans le respect des bonnes pratiques et sans porter le câble sur le corps

Systèmes de **soudage** automatisés, détection des défaillances et réparation et formation nécessitant de s'approcher très près de la source de CEM

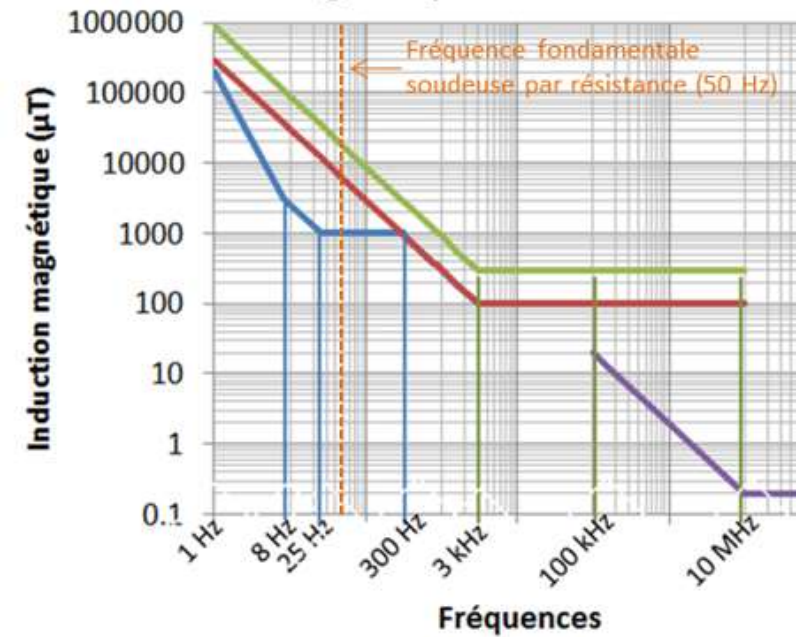
| Catégories de sources d'émissions | Sources d'émissions sélectionnées | Évaluation requise pour les travailleurs | | |
|--|-----------------------------------|---|--|--|
| | | sans risques particuliers  | à risques particuliers (hors DMIA)  | porteurs de DMIA  |
| Soudage par résistance manuelle (soudage par points, soudage au galet) | ▶ Voir la source | OUI | OUI | OUI |

Mesure du champ magnétique émis par une soudeuse par point



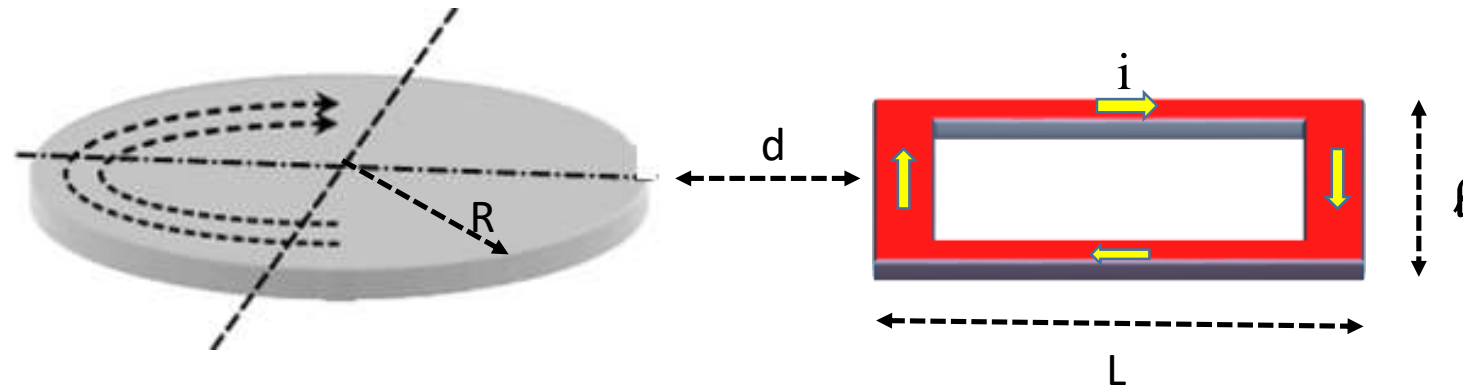
| | | |
|-----------------------------------|-----------|------------------------|
| ARO 775°C CHATEAU DU LOIR, FRANCE | 1995 | MCJ30211002 |
| NF A 82-020 | ISO 9001 | |
| MCJ 302 SC : | 9542DD057 | |
| U _{1N} | 400 V | 1 - 50 Hz |
| U _{1a} | 24 AC V | 1 - 50 Hz |
| S _p | 20 kVA | S ₂₀ 28 kVA |
| S max | 22 kVA | |
| U ₂₀ | 4,8 V | V : 1 |
| I _{20C} | 24 kA | A A |
| S | 174 | 489 mm |
| L | 250 | mm |
| F max | 8 | 870 JmN |
| P ₁ | 8 | Watt |
| G | 3 | Watt |
| M | 250 | Watt |

$B < 1$ milliT



Evaluation de la conformité à la VLE « soudeuse par point »

Norme NF EN 62226-2-1 Exposition aux champs électriques ou magnétiques à basse et moyenne fréquence - Méthodes de calcul des densités de courant induit et des champs électriques induits dans le corps humain - Partie 2-1 : exposition à des champs magnétiques - Modèles 2D



$$E = K(R, d, L, l) i$$

$$E < 0,14 \text{ V/m}$$

Evaluation de la conformité à la VLE « équipements électriques »

- IEC 54647 relatifs aux équipements et installations de production, transport et distribution d'électricité (EDF)
- Redéfinition de «VA» moins restrictives et conservatrices par rapport aux VLE
 - > Mannequins numériques voxélisés
 - > Quantification des incertitudes
- Complexité des méthodes mises en œuvre

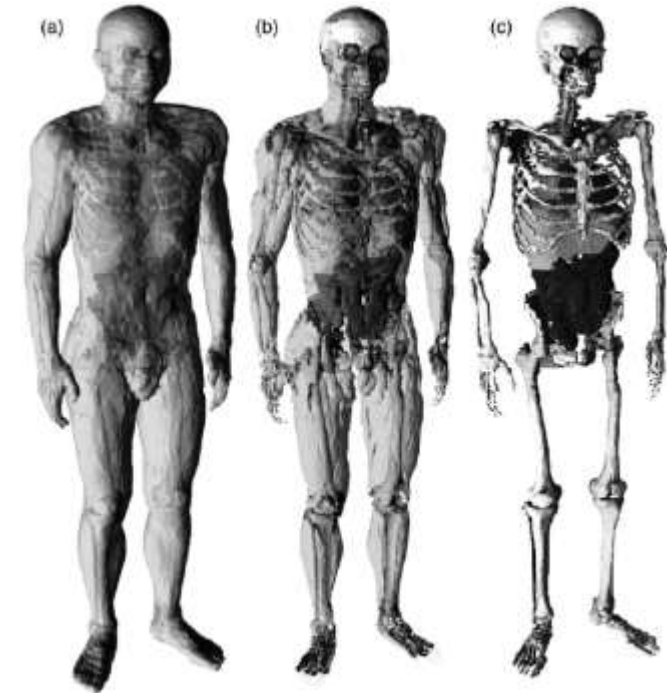
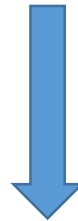


Figure 1. Volume-rendered images of MAXWEL at a resolution of 2 mm. (a) the opacity of the skin is high, (b) the skin and fat layers have been removed and (c) the muscle layer has been removed to indicate the skeleton, liver, heart and intestines.

Limitations des normes

- Norme NF EN 62226-2-1 Modèle de corps humain très simplifié
- Norme IEC 54647: domaine d'application restreint aux métiers de l'électricité

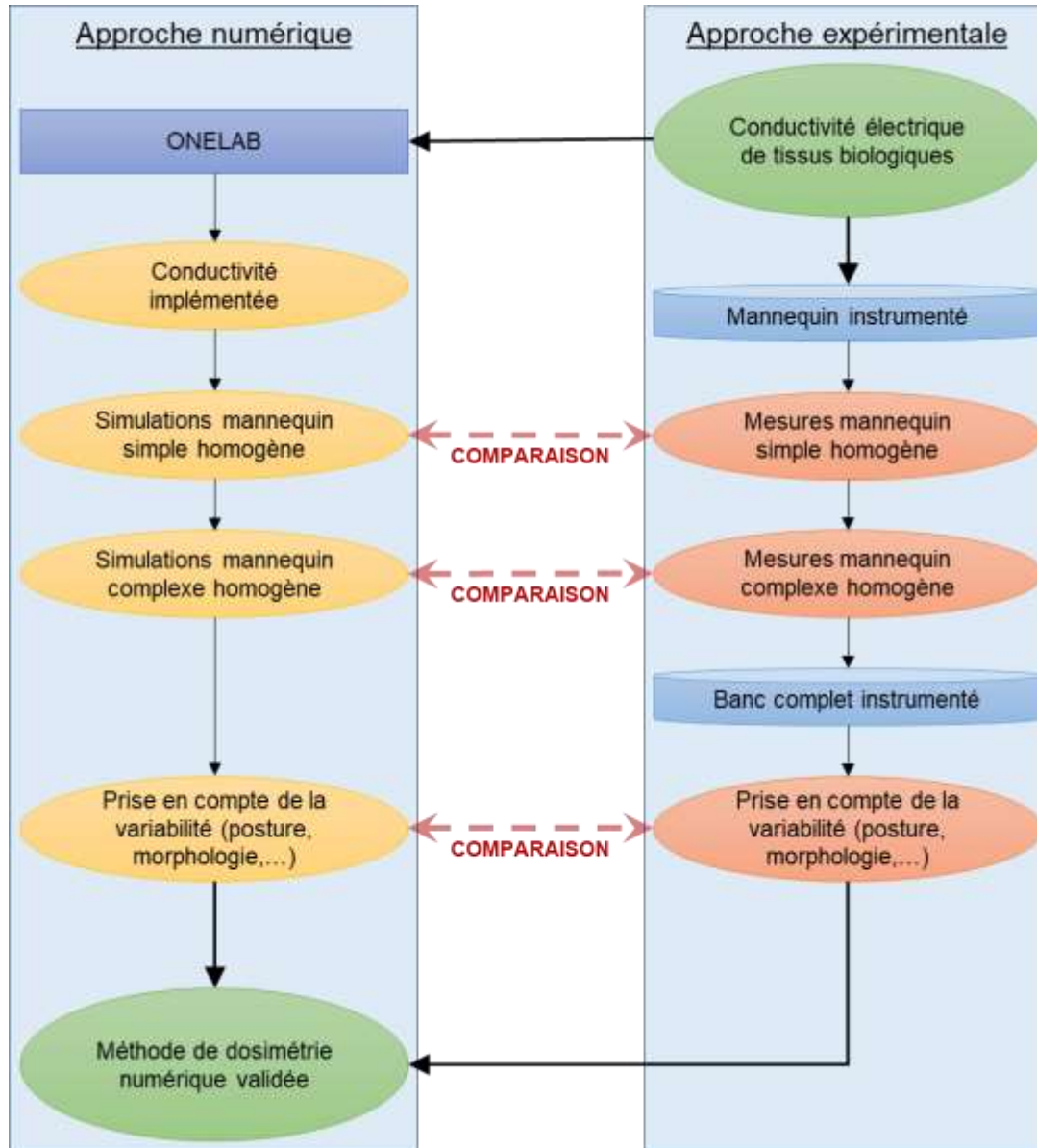


Nouvelle étude à l'INRS (B. Ristagno)
En cours, recrutement d'un doctorant

Objectifs de l'étude

- Proposer aux préventeurs une évolution de la méthode d'évaluation du champ électrique induit dans les cas où un salarié est exposé à un champ magnétique basses fréquences.
 - En s'inspirant des méthodes existantes
 - En gardant la méthode accessible à des préventeurs non spécialistes
 - En considérant différentes morphologies
 - En considérant différentes postures
- dans le but de réduire les erreurs susceptibles d'être commises par des modèles trop simplistes et peu représentatifs comme le disque...
- tout en maintenant un niveau de complexité acceptable.

Démarche de l'étude



- 2 approches
 - Numérique
 - Expérimentale
- 3 axes
 - Pré-modélisation
 - Modélisation
 - Application à la prévention
- 1 thèse
 - Modélisation expérimentale
 - Modélisation numérique
 - Etude de la posture

Veille et prospective

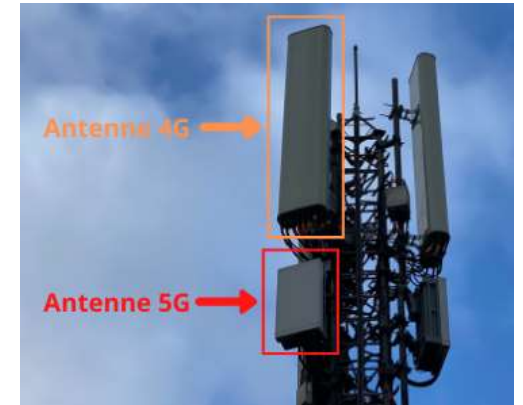
Veille et prospective



Femme enceinte et fœtus



Conséquences de la décarbonation



Déploiement de la 5G



Dispositifs antivols



Nouveaux procédés industriels (SIM)



Effets neurocognitifs



Notre métier, rendre le vôtre plus sûr

Merci de votre attention



www.inrs.fr

YouTube

