



# Le point de vue du réseau prévention INRS/CARSAT

Journée technique **SFRP** : prévention des risques des champs magnétiques intenses (IRM – INDUSTRIE – RECHERCHE)

Romain MOUILLSEAUX (INRS) – Pierre LAURENT (Carsat Centre-ouest)

■ Notre métier,  
■ rendre le vôtre plus sûr

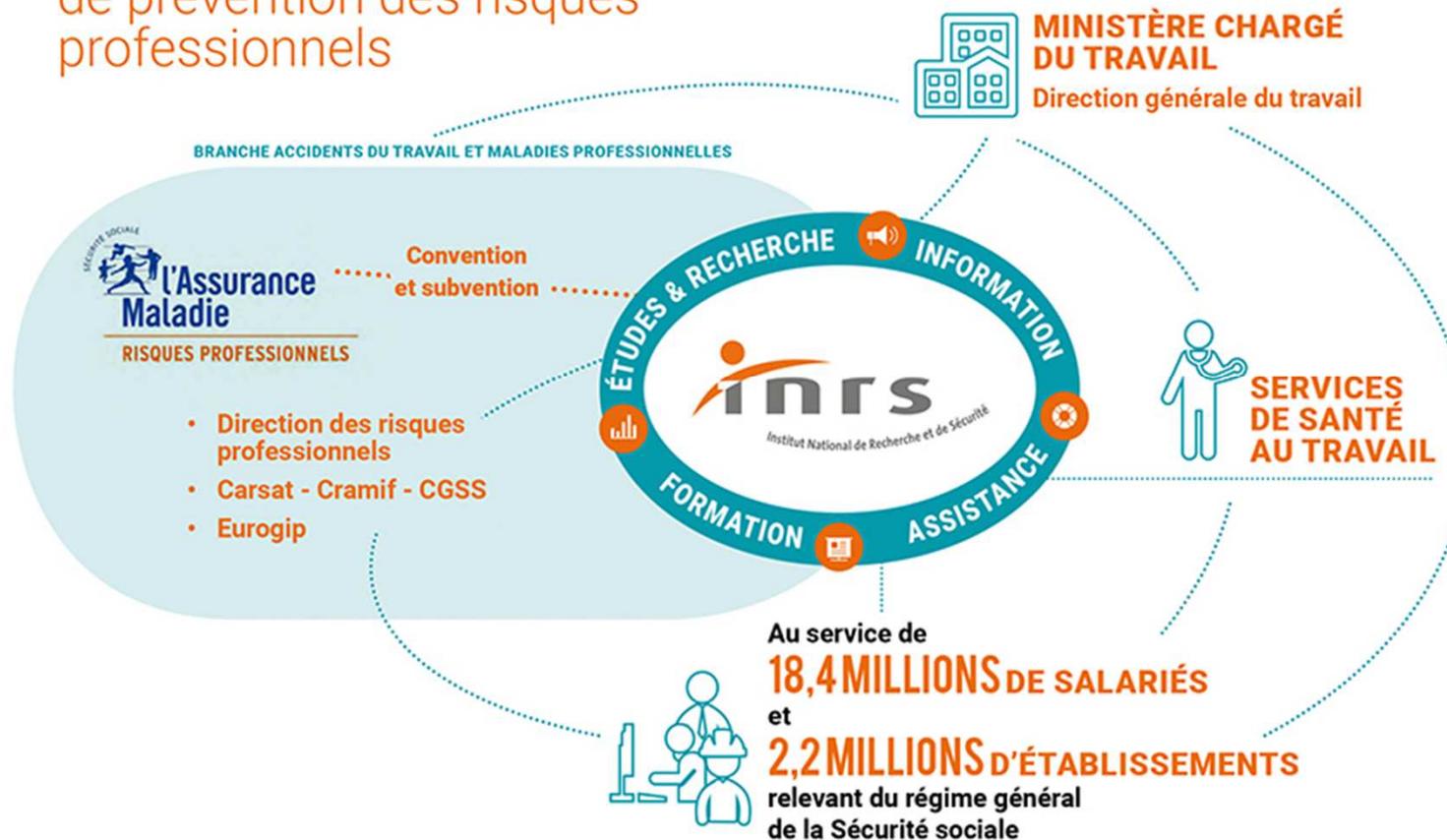
[www.inrs.fr](http://www.inrs.fr)

# Organisation du réseau prévention INRS/CARSAT

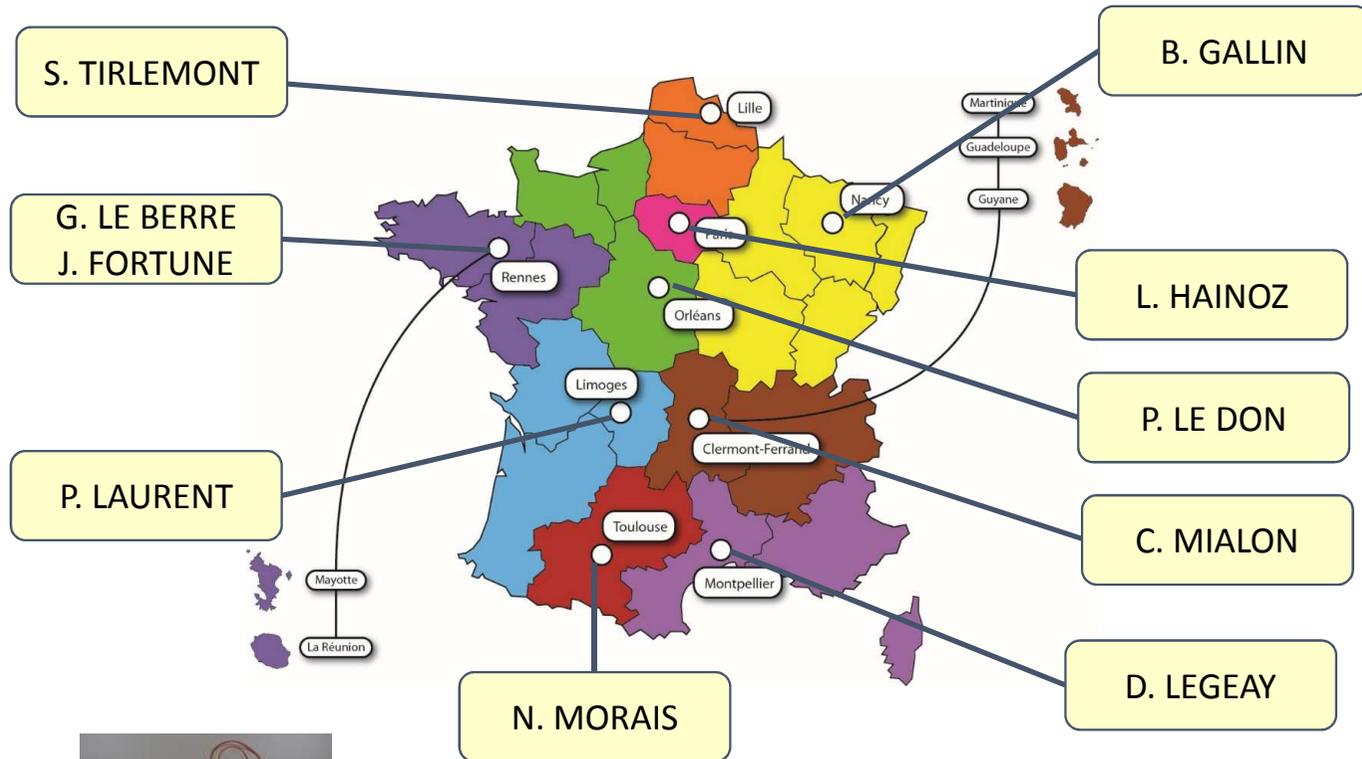
- Les Caisses d'Assurance Retraite et de Santé au Travail
  - Organismes régionaux
  - Gèrent le risque AT/MP au sein de la branche Maladie de la Sécurité Sociale pour toutes les entreprises du régime général (secteur privé, industrie/commerce/services, 18,4 M de salariés, 2,2 M d'établissements)
  - Mènent une politique de prévention des risques professionnels déployée par des ingénieurs conseils et des contrôleurs de sécurité.
- L'INRS
  - Actions inscrites dans les orientations de la branche AT/MP de la CNAM
  - Référent en santé et sécurité au travail de la branche AT/MP
  - 4 modes d'action : études/recherches (45%), assistance (22%), information (16%), formation (11%)
  - 4 grands programmes : risques biologiques, risques chimiques, risques physiques et mécaniques, risques liés à l'organisation et aux situations de travail

# Organisation du réseau prévention INRS/CARSAT

**L'INRS** au sein du dispositif de prévention des risques professionnels



# Organisation du réseau prévention INRS/CARSAT



# Organisation du réseau prévention INRS/CARSAT

## Vandœuvre :

- L. HAMMEN (labo EVO)
- B. RISTAGNO (labo EVO)

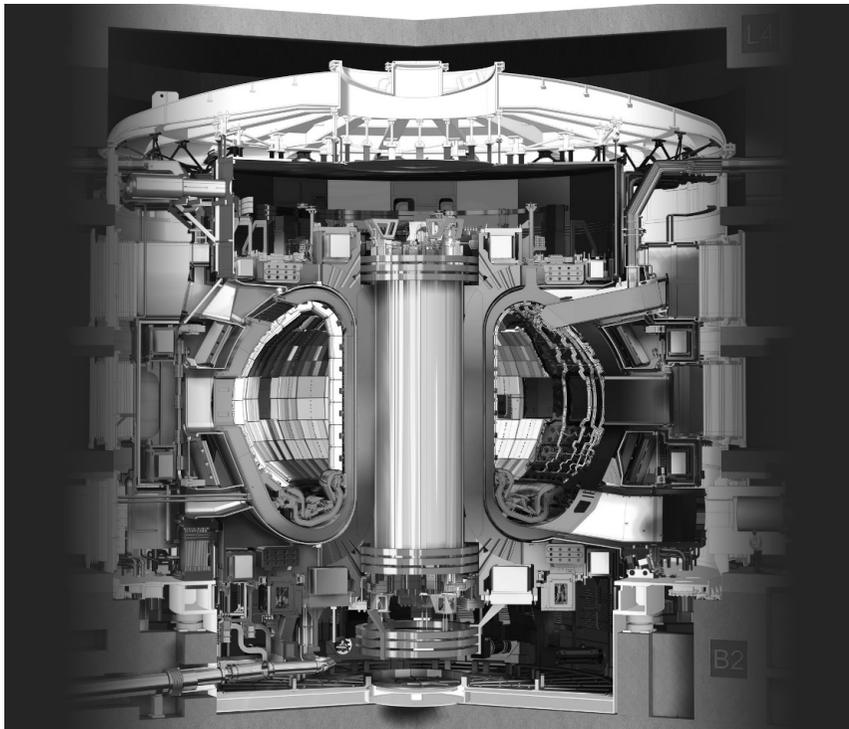


## Paris :

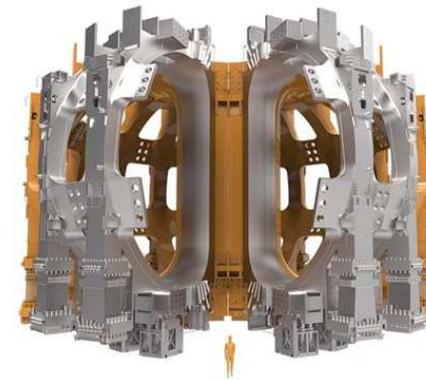
- R. MOUILLSEAUX (département ECT)
- A. BOURDIEU (département EAM)

# Réacteurs thermonucléaires

- Projet ITER



Solénoïde central : 13 teslas



Bobines de champ toroïdal : 11,8 teslas

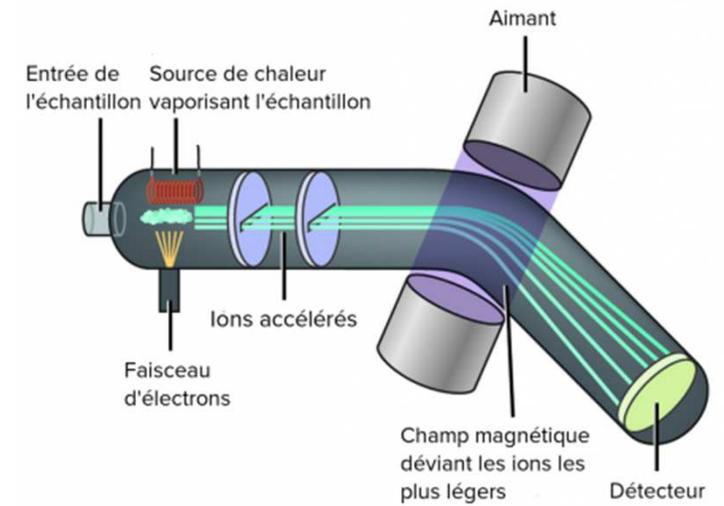
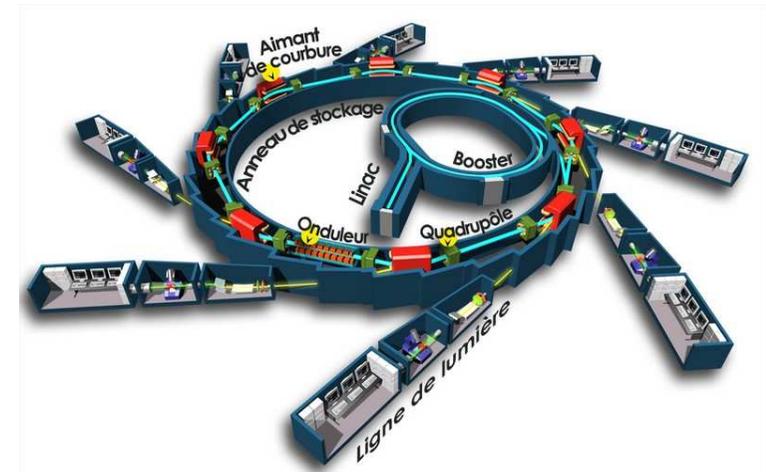
## Recherche

- Accélérateurs de particules
- Spectromètres de masse
- Résonance Paramagnétique Electronique



0,5 mT : 1,05 m

3 mT : 50 cm



qq centaines de mT

## Recherche

- Automate de tri magnétique



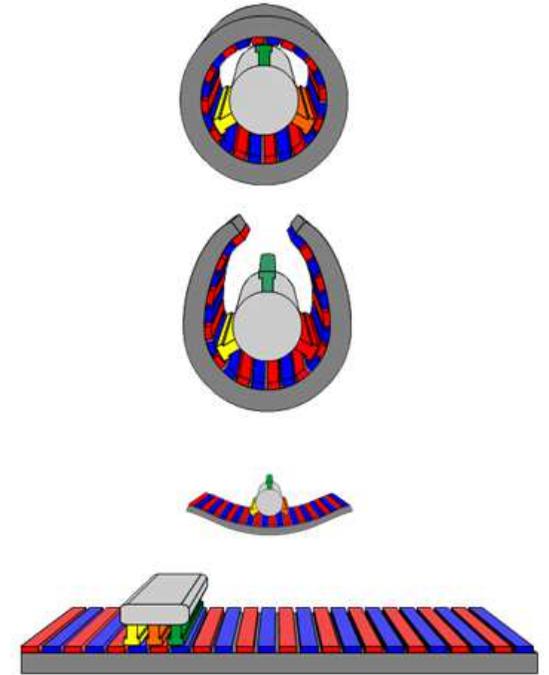
Risque porteurs de DMIA :

Distance de sécurité de 20 cm (notice constructeur)

Mesurages : 0,5 mT à 10 cm

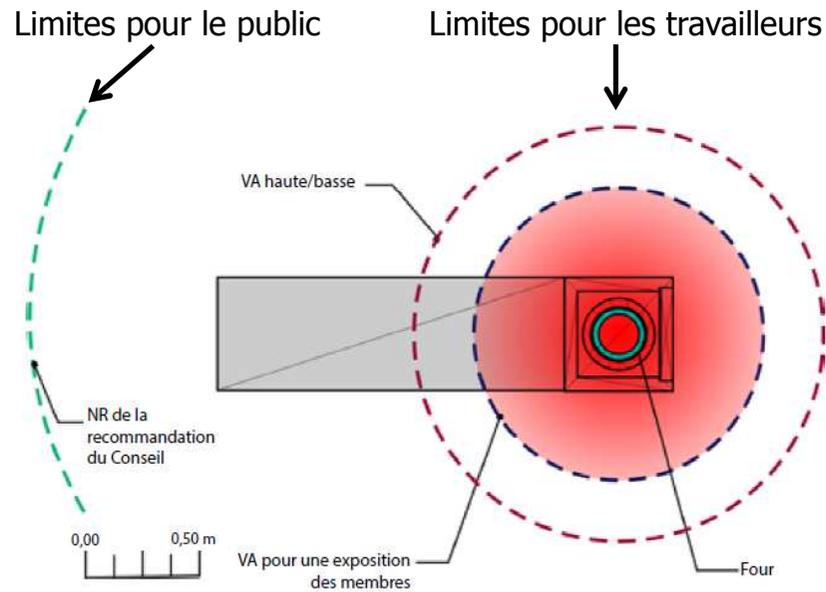
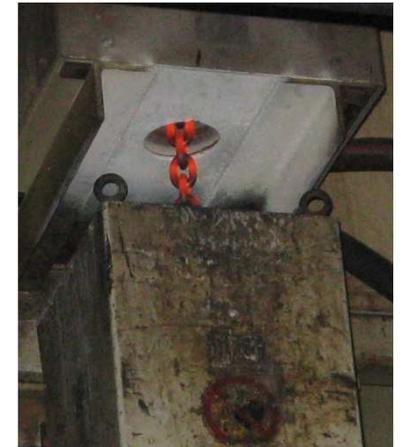
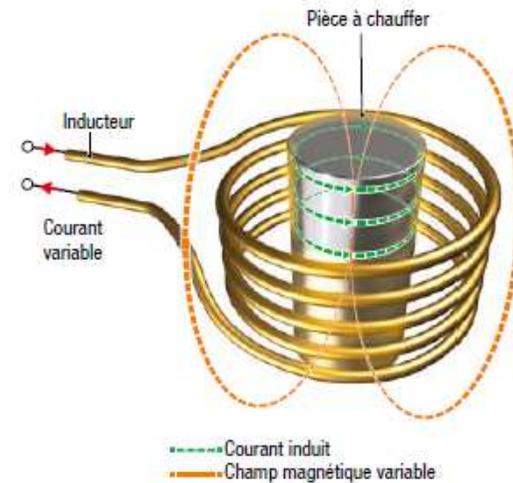
## Industrie

- Industrie de fabrication d'aimants
- Moteurs linéaires
- Jauges de Penning



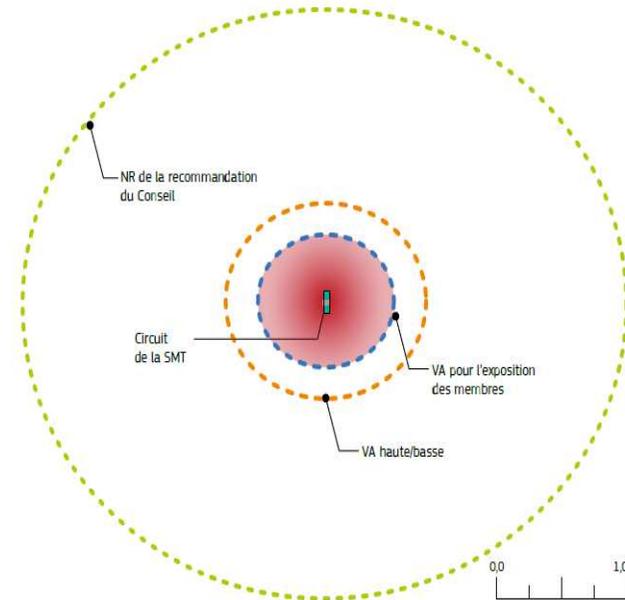
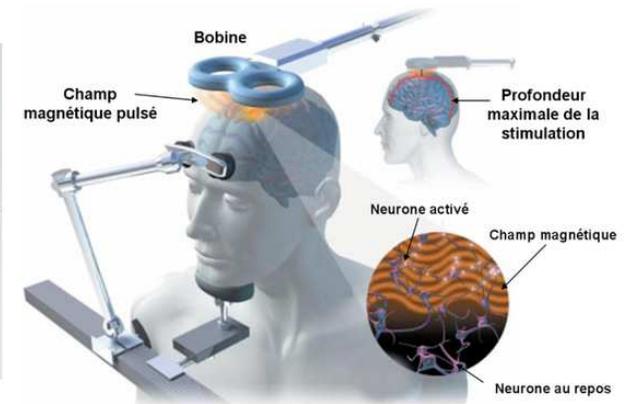
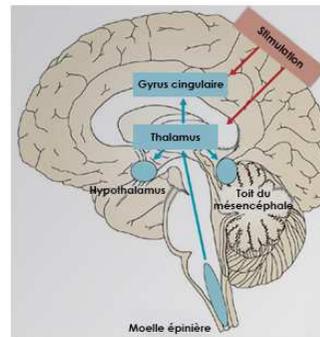
# Chauffage par induction

- Métallurgie
- Industrie mécanique
- Industrie agroalimentaire
- Chimie



- Exemple d'un four de fusion
  - Fréquence : 2,4 à 2,6 kHz
  - Puissance : 60 à 160 kW

# Stimulation magnétique transcrânienne



## Electrolyse industrielle : chimie primaire, fabrication d'aluminium



- Utilisation de courant continu obtenu par redressement du courant alternatif 50 Hz
- Intensités de **8** à plus de **390 kA**
- Pas de dépassement des valeurs d'action effets directs en champ magnétique statique autour des installations (de 0,5 à 120 mT)
- **Risque important** de projection d'objets métalliques (seuil à 3 mT)
- Possibilité de dépassement des VDA en champ magnétique variable à proximité des redresseurs, présence de courants harmoniques max **3,5 mT** (100/200 Hz)
- **Risque important** de perturbation d'équipements (engins, chariots, machines)

06/04/2023

## Electroaimant : évaluation du risque pour un porteur de pompe à insuline



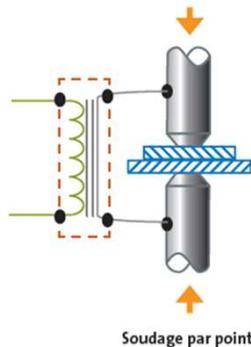
- Un électromécanicien réalise des enregistrements vibratoires sur des machines tournantes dans une grosse papeterie industrielle
- Les mesures sont réalisées en présence du médecin du travail et du salarié, en suivant le parcours type habituel
- Les résultats des mesures indiquent un champ magnétique statique important autour d'un **électro-aimant (1,5 mT)**
- Aucune perturbation n'a été observée au niveau de la pompe à insuline durant les mesures

## Electroaimant : évaluation du risque pour un porteur de pompe à insuline

- Aucune donnée n'est disponible concernant le **champ magnétique statique**, même en contactant le fabricant
- Le diabétologue indique au salarié qu'il n'y a aucun risque
- Le médecin du travail délivre l'aptitude médicale

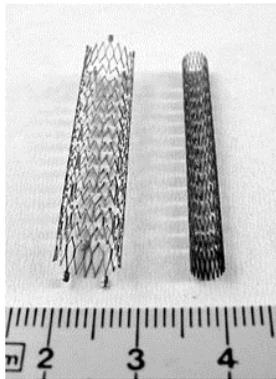
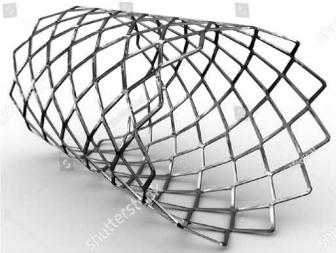
Immunité électromagnétique (données fabricant)		
Immunité contre	Niveau de test IEC 60601-1-2	Niveau de conformité (de ce dispositif)
Décharge électrostatique, DES (IEC 61000-4-2)	Décharge de contact : $\pm 6$ kV Décharge à l'air : $\pm 8$ kV	$\pm 8$ kV $\pm 15$ kV
Champs magnétiques à la fréquence du secteur 50/60 Hz (IEC 61000-4-8)	3 A/m $3,7 \mu\text{T}$	400 A/m $500 \mu\text{T}$
RF rayonnées (IEC 61000-4-3)	80 MHz-2,5 GHz 10 V/m	10V/m

## Soudeuse par résistance : évaluation du risque pour un porteur de stent



- Entreprise de métallurgie, presse à souder par résistance sur châssis, impulsions de champ magnétique 50 Hz
- Suite à un changement de poste, l'opérateur ressent une gêne et un échauffement sur un stent périphérique au niveau de l'artère iliaque, après une heure de travail
- Les résultats des mesures indiquent des niveaux de champ magnétique élevés : **20 mT** au niveau des mains, **6 mT** au niveau du stent

## Soudeuse par résistance : évaluation du risque pour un porteur de stent



- Aucune donnée n'est disponible concernant des niveaux de champs maximum à respecter pour ces implants médicaux passifs (sauf pour l'IRM)
- Les stents sont constitués d'alliages métalliques **conducteurs** et parfois faiblement ferromagnétiques : cobalt-chrome, platine-chrome, acier inoxydable, nickel-titane
- Sous l'effet d'un champ magnétique externe variable, des courants électriques induits circulent dans le stent
- Cette circulation de courant crée un échauffement dans le métal par effet Joule

## Magnétoformage : technologie par impulsion magnétique

- Encore confidentielle (recherche, aéronautique) cette technologie va se reprendre dans l'industrie métallurgique
- On utilise une impulsion électromagnétique pour former, sertir ou souder des métaux. L'impulsion est générée lors de la décharge de batteries de condensateurs dans un circuit magnétique (quelques  $\mu\text{s}$ , 25 kV, 600 kA, champ généré de plusieurs Tesla)
- Evaluation du risque in situ est complexe
- Quelques mesures effectuées



# Magnétoformage : technologie par impulsion magnétique

- Une étude menée par l'INRS (Mélina BOULDI) en 2016
- Installation expérimentale : 110 kJ, 230 kA, 7 770 Hz
- Mesures du champ B avec NARDA ELT400
- Simulation avec CST Studio Suite
- La VDA professionnelle (100  $\mu$ T) est **dépassée** jusqu'à une distance de **3 m** de l'installation
- La VLE professionnelle (2,95 V/m) est **dépassée** jusqu'à une distance de **1 m** de l'installation

**Workers exposition near electromagnetic forming process: an experimental and simulation study**  
 Bouldi Mélina, Demaret Philippe, Fleury Gérard  
 Electromagnetism, Vibration and Optics Laboratory  
 French National Research and Safety Institute for occupational accidents and health - INRS  
 54517 Vandœuvre les Nancy - FRANCE  
 melina.bouldi@inrs.fr

**Summary**  
 Context: European Directive 2013/35/EU: Importance of evaluating the electromagnetic (EM) safety of workers. Methods: Experiments and simulations combined to determine the interaction between the source and working environment. Results: (1) Experimental map of the radiated magnetic field  $B_r$  obtained for a frequency < 20 kHz allows simulation validation. (2) Simulation of the electric field  $E_r$  in body: determination of the locations at risk.

**Introduction**  
 • EM Forming process (EMF): industrial process using pulsed magnetic field for shaping conductive metals.  
 • Several parts: (1) a pulsed power generator, (2) a coil and (3) a work-piece.  
 • Work-piece fixed in the coil centre, in which a high current is discharged from several dozen capacitors.  
 • A high magnetic field is generated and forms the work piece to the desired shape [1].  
 The Directive 2013/35/EU defines 2 parameters (Figure 1):  
 • the "derived values", DV, i.e.  $B_r$  measured around the EM source;  
 • the "basic values", BV, i.e. the body current densities or electrical field  $E_r$ .

**Purpose:** Get the critical locations in terms of EM exposition around the coil.

**Material and methods**  
**EMF equipment:**  
 • Prototype developed by the platform Innovaltech, settled in Saint Quentin, France.  
 • Composed of a 7075 aluminum alloy wire wrapped around a copper alloy concentrator (Figure 2).  
 • 20cm diameter, 110 kJ pulsed generator, 230 kA current in the coil,  $f=7.7$  kHz.  
**Experimental methodology and data processing:**  
 • At 7.7 kHz, only the magnetic component of the radiated field is relevant: DV is 100  $\mu$ T [2].  
 • Visualisation of  $B_r$ ,  $B_z$  and  $B_t$ : field-meter (Narda - ELT400) connected to an oscilloscope (Agilent, DSOS104a).  
 • Results processing: Butterworth filter for removing high frequency components.  
 • Calculation of the exposure index values according to the Weighted Peak Method [3].  
**EM simulation:**  
 • Use of CST Studio Suite (2015 & 2016 releases).  
 • Low Frequency Magneto-Quasi-Static solver.  
 • 2 loads: (1) homogeneous sphere filled with muscle tissue or (2) human body model from CST.  
 • The corresponding BV at 7.7 kHz is 2.95 V/m [2].  
 • Input current: damping signal profile calculated with an RLC electric circuit (Figure 3).

**Results and discussion**

Figure 4: Experimental map of the radiated field (apart from the magnetic field) in a Cartesian space of the Directive DV. The dark area is the location of the EM source.

Figure 5: Human body model exposed to the EMF field: a wire wrapped around the concentrator.

Figure 6: Electric field in a homogeneous sphere through the body and hands, of the human body model at position A.

Figure 7: Human body model exposed to the EMF field: a wire wrapped around the concentrator.

Figure 8: Electric field density in a body model of workers exposed to the EMF and pulse (Figure 3).

Position	$E_{max}^A$ (V/m)	$E_{max}^B$ (V/m)	$E_{max}^C$ (V/m)	$E_{max}^D$ (V/m)	$E_{max}^E$ (V/m)
1	0.00100	0.0	0.01	0.00	0.00
2	1.47100	0.0	0.04	0.01	0.00
3	1.47100	0.0	0.1	0.00	0.0
4	1.47100	0.0	0.1	0.00	0.0
5	1.47100	0.0	0.1	0.00	0.0
6	1.47100	0.0	0.1	0.00	0.0
7	1.47100	0.0	0.1	0.00	0.0
8	1.47100	0.0	0.1	0.00	0.0
9	1.47100	0.0	0.1	0.00	0.0
10	1.47100	0.0	0.1	0.00	0.0
11	1.47100	0.0	0.1	0.00	0.0
12	1.47100	0.0	0.1	0.00	0.0
13	1.47100	0.0	0.1	0.00	0.0
14	1.47100	0.0	0.1	0.00	0.0
15	1.47100	0.0	0.1	0.00	0.0
16	1.47100	0.0	0.1	0.00	0.0
17	1.47100	0.0	0.1	0.00	0.0
18	1.47100	0.0	0.1	0.00	0.0
19	1.47100	0.0	0.1	0.00	0.0
20	1.47100	0.0	0.1	0.00	0.0

**Conclusion and perspective**  
 • INRS first step for the evaluation of the EM safety of workers who stand at proximity of EMF sources.  
 • Workers have to avoid a certain area around the EMF source: ground zones for preventive action.  
 → New simulations and measurements should be performed.

**Reference and acknowledgments**  
 [1] A. Mennel, and al, Applied Mechanical Review (AMR), 57 (4), pp. 299-324, 2004. [2] Directive 2013/35/EU - ELECTROMAGNETIC FIELDS - of 26 June 2013. [3] Y. Hammaris and E. Nilson, in Proc. Of the EMC Europe 2014, September 1-4, 2014.  
 Thanks to Innovaltech for lending the EMF source, and taking part in measurements.

## Conclusion

- Accidentologie : attraction/projection
- Vigilance/difficultés dans l'évaluation pour les porteurs d'implants
- Peu de solutions de blindage efficaces et accessibles contre les champs magnétiques
- Prévention repose principalement sur les mesures de conception, d'éloignement et d'information
- Peu d'activités pour lesquelles le champ magnétique statique pose des problèmes
- Applications générant des champs magnétiques basse fréquence plus complexes
- Ne pas omettre les autres risques





Notre métier, rendre le vôtre plus sûr  
Merci de votre attention



[www.inrs.fr](http://www.inrs.fr)

YouTube



in