



**BUREAU
VERITAS**

PRÉVENTION DES RISQUES DES CHAMPS MAGNÉTIQUES INTENSES

SESSION 4 : INDUSTRIE-RECHERCHE
RMN & MAGNÉTOSCOPIE

6 AVRIL 2023 - PARIS

EMMANUEL NICOLAS



SOURCE INTENSE : RMN

Les spectromètres à Résonance Magnétique Nucléaire (RMN) génèrent un champ magnétique statique puissant de plusieurs Tesla

Ils permettent l'étude des composés chimiques notamment pour l'industrie pharmaceutique



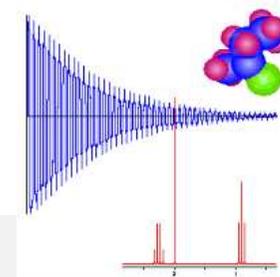
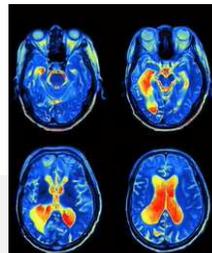
RMN

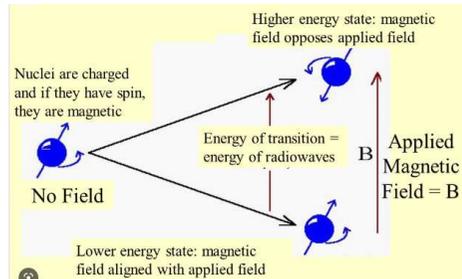
DIFFÉRENCES ENTRE IRM ET RMN

The MRI magnet



- Position : couchée -> debout
- Champ B : plus intense -> 18 Tesla
- Exposition : corps -> échantillon
- Objectif : image -> spectre

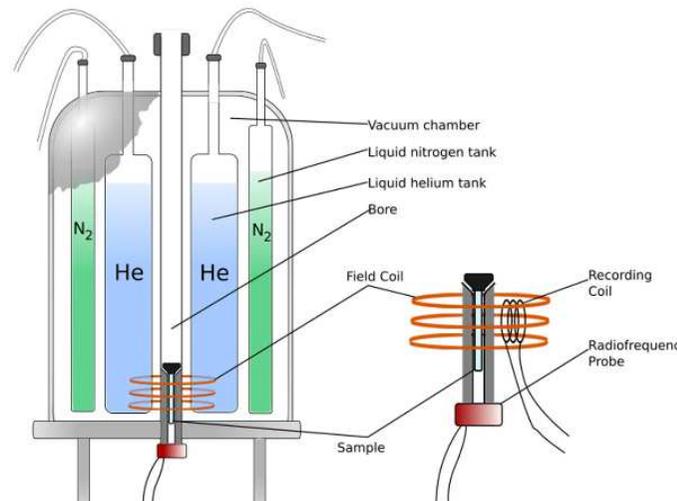




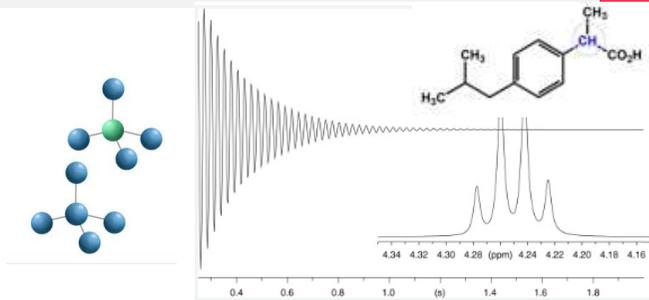
RMN

HOW IT WORKS ?

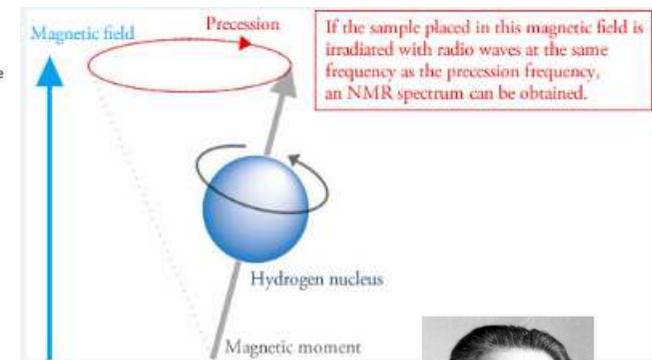
- Noyau H = 1 Proton**
- Spin aligné to B₀**
- Freq Larmor = précession**
- ΔE radio = résonance**
- Retour à l'équilibre**
- Transformée de Fourier**
- Spectre RMN**



Bobine supraconductrice



Hélium liquide = 4,2°K (-269°C)
Azote liquide (tampon)



Isidor Isaac Rabi découvre le phénomène de résonance magnétique nucléaire en 1938. Il a reçu le Prix Nobel de physique en 1944 pour cette découverte fondatrice.

NATURE DU TRAVAIL

Des échantillons de matériau contenu dans des éprouvettes verticales sont placés manuellement ou automatiquement dans l'enceinte de RMN.

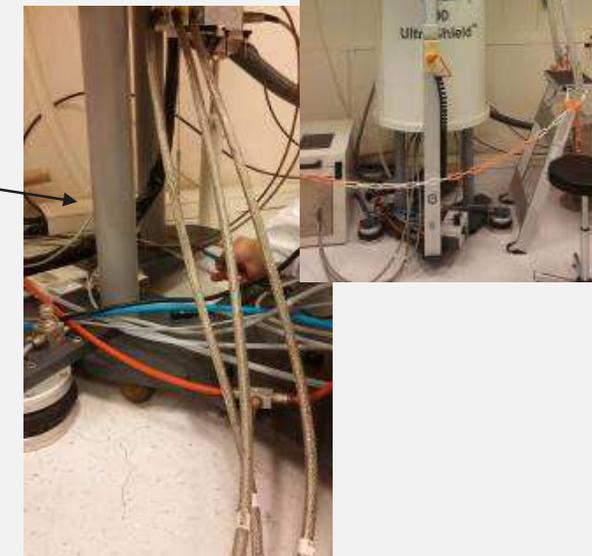
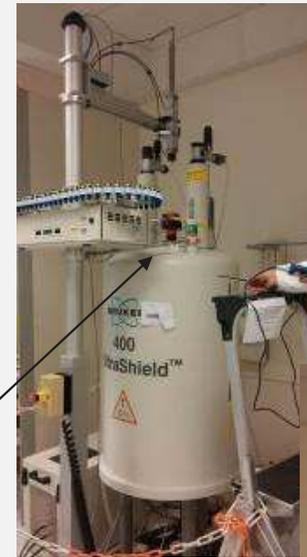
- | **Manuellement** : la main est placée au-dessus de l'enceinte RMN pour charger l'échantillon
- | **Automatiquement** : les échantillons sont placés sur un porte échantillons à l'aide d'un escabeau

Accès sous l'enceinte RMN

- | **Pour connecter/déconnecter**
 - | des sondes de mesures
 - | des câbles électriques/radiofréquences

Analyse des échantillons

- | **Poste de travail déporté (PC)**



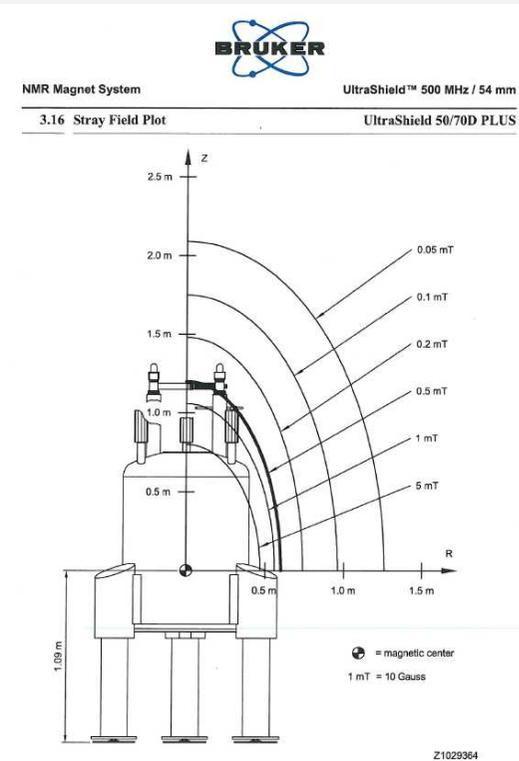
EVALUATION DES RISQUES

Méthode documentaire

- | Documentation constructeur
- | Lignes isogauss de champ magnétique

Méthode par mesurage

- | Appareil de mesure = gaussmètre
- | Recherche du champ magnétique maximum
- | Périmètre à 0,5 mT



MESURAGES

BRUKER 400 US

Risque physique

Risque pacemaker/défibrillateur

Points	Emplacement ou poste de travail ³	Champ magnétique 0 Hz			Conforme (O/N)
		B mesuré (mT)	VA B (mT) Pour le risque d'interférence avec des dispositifs médicaux actifs implantés	% VA (B)	
1	Sous le RMN BRUKER 400US	110	0,5	22000	N
2	A 20cm du RMN BRUKER 400US	3	0,5	600	N
3	A 50cm du RMN BRUKER 400US	0,3	0,5	60	O
4	Au poste de travail, au niveau du porte échantillon (bord ext.)	0,5	0,5	100	N
5	Au-dessus du RMN BRUKER 400US	0,4	0,5	80	O
6	Au poste de travail, au niveau de l'échelle vers collecteur BRUKER 400US	1,6	0,5	320	N
7	Sous le RMN BRUKER 400US Plus	112	0,5	22400	N
8	A 10cm du RMN BRUKER 400US Plus	0,5	0,5	100	N
9	A 50cm du RMN BRUKER 400US Plus	0,2	0,5	40	O
10	Au poste de travail, au niveau du porte échantillon (bord ext.)	0,1	0,5	20	O
11	Au-dessus du RMN BRUKER 400US Plus	0,4	0,5	80	O
12	Au poste de travail, Bureau proche BRUKER 400US Plus	0,1	0,5	20	O

Risque d'attraction

Pour les champs magnétiques statiques 0 Hz

Points ¹	Emplacement ou poste de travail ³	Effets sensoriels					
		Exposition localisée de la tête			Exposition localisée des membres		
		B mesuré (mT)	VLE (B en T)	% VLE (B)	B mesuré (mT)	VLE (B en T)	% VLE (B)
1	Sous le RMN BRUKER 400US	110	2	5,50	110	8	1,38
2	A 20cm du RMN BRUKER 400US	3	2	<1	3	8	<1
3	A 50cm du RMN BRUKER 400US	0,3	2	<1	0,3	8	<1
4	Au poste de travail, au niveau du porte échantillon (bord ext.)	0,5	2	<1	0,5	8	<1
5	Au-dessus du RMN BRUKER 400US	0,4	2	<1	0,4	8	<1
6	Au poste de travail, au niveau de l'échelle vers collecteur BRUKER 400US	1,6	2	<1	1,6	8	<1
7	Sous le RMN BRUKER 400US Plus	112	2	5,60	112	8	1,40
8	A 10cm du RMN BRUKER 400US Plus	0,5	2	<1	0,5	8	<1
9	A 50cm du RMN BRUKER 400US Plus	0,2	2	<1	0,2	8	<1
10	Au poste de travail, au niveau du porte échantillon (bord ext.)	0,1	2	<1	0,1	8	<1
11	Au-dessus du RMN BRUKER 400US Plus	0,4	2	<1	0,4	8	<1
12	Au poste de travail, Bureau proche BRUKER 400US Plus	0,1	2	<1	0,1	8	<1

Points	Emplacement ou poste de travail ³	Champ magnétique 0 Hz			Conforme (O/N)
		B mesuré (mT)	VA B (mT) Pour le risque d'attraction et de projection dans le champ périphérique de source de champs intenses (> 100 mT)	% VA (B)	
1	Sous le RMN BRUKER 400US	110	3	3667	N
2	A 20cm du RMN BRUKER 400US	3	3	100	N
3	A 50cm du RMN BRUKER 400US	0,3	3	10	O
4	Au poste de travail, au niveau du porte échantillon (bord ext.)	0,5	3	17	O
5	Au-dessus du RMN BRUKER 400US	0,4	3	13	O

PRÉVENTION

Signalétique et balisage

- | Afficher un pictogramme d'avertissement
- | Afficher un pictogramme d'interdiction destinés aux personnes portant un équipement médical électronique
- | Mettre en place un périmètre de sécurité avec potelets et chaînettes afin d'éviter l'accès
- | Eloigner les postes de travail de la source RMN
- | Eviter d'apporter des outils et autres objets ferromagnétiques dans le laboratoire
- | Délivrer des informations, des instructions et une formation aux personnes qui travaillent dans le laboratoire
- | Assurer une surveillance adéquate

Installer des appareils de RMN dans un laboratoire spécialement réservé à cet effet et équipé d'un système de contrôle d'accès

Illustration 2.3 — Avis d'avertissement et d'interdiction affichés sur la porte d'entrée du laboratoire de RMN



Illustration 2.4 — Délimitation de la zone interdite par un grillage de protection et un marquage au sol



CONCLUSION

Les différents étapes pour évaluer les risques :

1. Caractériser la ou les sources de champ magnétique intense
2. Évaluer les risques par une analyse documentaire et/ou des mesurages
3. Réduire les risques à la source (blindage)
4. Déterminer les périmètres de sécurité
5. Mettre en place les avertissements / interdictions d'accès
6. Informer et former les salariés

Prendre en compte les travailleurs à risques particuliers !

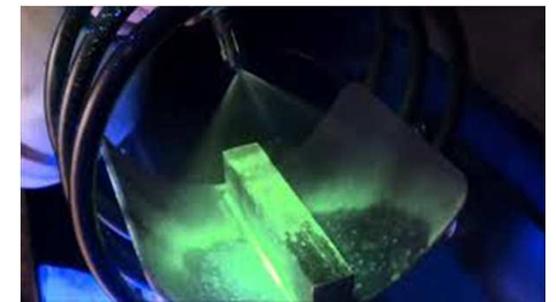
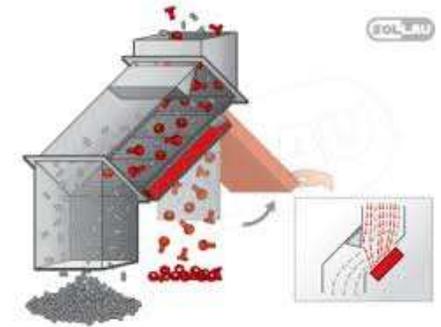
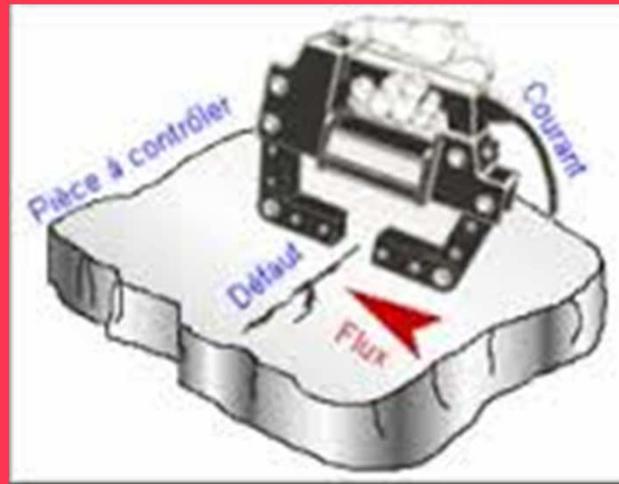
SOURCES INTENSES :

INDUSTRIE

AIMANTS pour récupération des métaux

Banc de magnétoscopie

Démagnétiseurs



MAGNÉTOSCOPIE

CONTRÔLE NON DESTRUCTIF

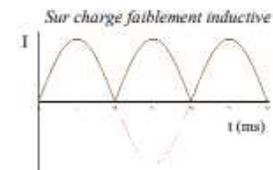
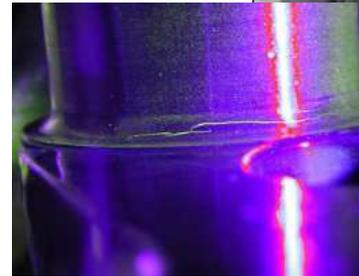
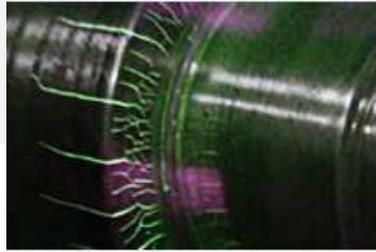
DES DÉFAUTS DANS LES MÉTAUX

Un peu de technique...

La magnétoscopie consiste à appliquer sur la pièce à contrôler un champ magnétique de manière à saturer celle-ci. La présence de défauts de surfaces va donc susciter des flux de fuites de champ qui seront mis en évidence grâce à des révélateurs magnétiques, colorés en lumière du jour ou fluorescents sous lumière ultraviolette (UV-A).

Il existe plusieurs manières d'aimanter une pièce à contrôler :

- courant alternatif → détection des fissures
- courant redressé ou continu → défauts sous-jacents



NATURE DU TRAVAIL

Exposition de la main / corps

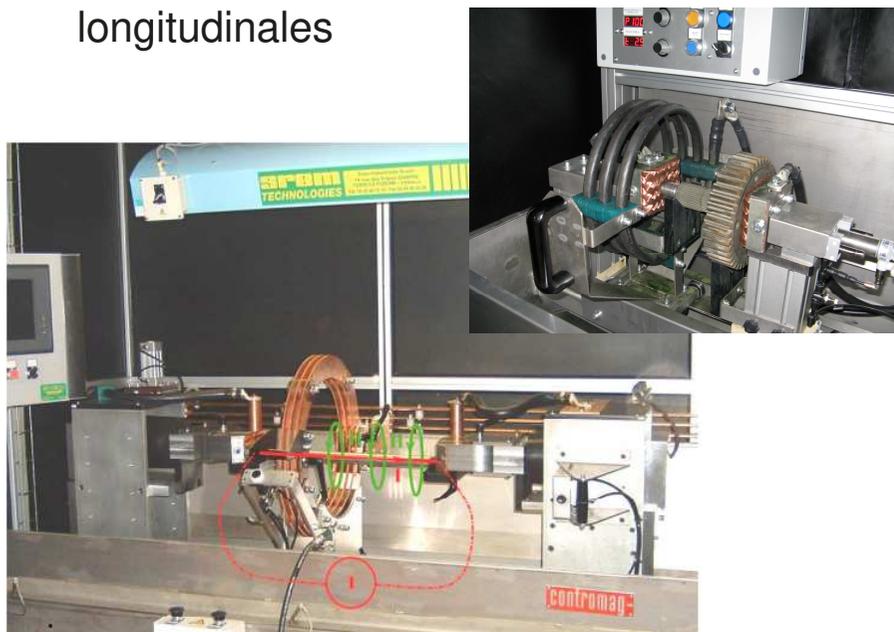


Exposition de la tête / corps



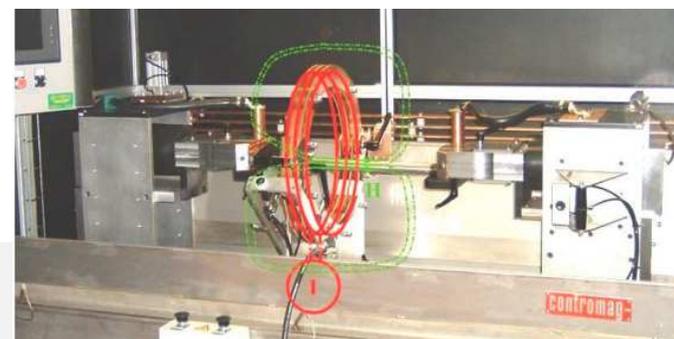
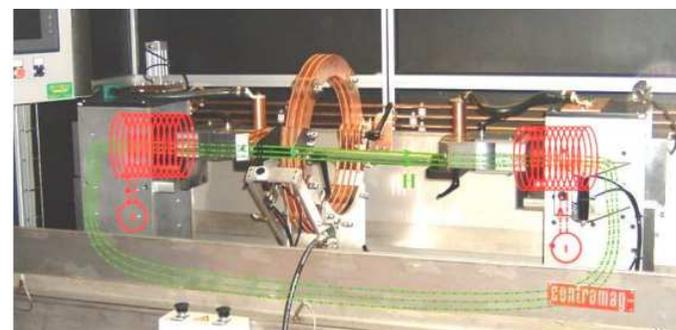
Aimantation transversale par passage de courant

L'aimantation transversale permet de mettre en évidence les discontinuités longitudinales



Aimantation longitudinale par têtes magnétiques ou solénoïde

L'aimantation longitudinale permet de mettre en évidence les discontinuités transversales



EVALUATION DES RISQUES (1)

1. Identifier les modes d'utilisation les plus pénalisants

Source N°	Mode	Conditions de fonctionnement : Puissance, consigne, courant, durée de fonctionnement, cycle de fonctionnement, charge ...
13	A	Mesures réalisées sur une pièce TP 320 durant la phase 2 lors d'aimantation transversale à 5000A de l'arrosage (impulsion 3s)
13	B	Mesures réalisées sur une pièce TP 320 durant la phase 2 lors du contrôle la pièce
13	C	Mesures réalisées sur une pièce TP 320 durant la phase 3 lors d'aimantation longitudinale à 6000A de l'arrosage (impulsion 5s)
13	D	Mesures réalisées sur une pièce TP 320 durant la phase 3 lors du contrôle la pièce
13	E	Mesures réalisées sur une pièce TP 320 durant la phase 6 lors d'aimantation transversale à 3500A de l'arrosage (impulsion 3s)
13	F	Mesures réalisées sur une pièce TP 320 durant la phase 6 lors du contrôle la pièce
13	G	Mesures réalisées sur une pièce TP 320 durant la phase 7 lors d'aimantation longitudinale à 8000A de l'arrosage (impulsion 5s)
13	H	Mesures réalisées sur une pièce TP 320 durant la phase 7 lors du contrôle la pièce
13	I	Mesures réalisées sur une pièce TP 350 durant la phase 2 lors d'aimantation transversale à 10000A de l'arrosage (impulsion 3s)

2. Procéder aux mesurages des postes de travail

Point n°	Lieux et postes de travail	Localisation Bât / Local	Sources concernées	Exposition localisée ou corps entier
67.1	Mesure au niveau du buste	Bâtiment Moyens communs / RDC / zone cabine COMXS / 419	13	Corps entier
67.2	Mesure au niveau de la main	Bâtiment Moyens communs / RDC / zone cabine COMXS / 419	13	Exposition localisée : membre
67.3	Mesure au niveau de la poitrine	Bâtiment Moyens communs / RDC / zone cabine COMXS / 419	13	Corps entier
67.4	Mesure au niveau de la tête	Bâtiment Moyens communs / RDC / zone cabine COMXS / 419	13	Exposition localisée : tête
67.5	Devant la pièce durant l'arrosage extérieur	Bâtiment Moyens communs / RDC / zone cabine COMXS / 419	13	Corps entier
67.6	Devant la pièce durant l'arrosage intérieur	Bâtiment Moyens communs / RDC /	13	Corps entier



ÉVALUATION DES RISQUES (2)



3. Identifier les valeurs limites applicables

Valeurs déclenchant l'action pour limiter les effets indirects des champs électromagnétiques

Fréquence ¹	Pour le risque d'interférence avec des dispositifs médicaux actifs implantés	Pour le risque d'attraction et de projection dans le champ périphérique de source de champs intenses (> 100 mT)
	VA(B ₀) en mT	VA(B ₀) en mT
0 Hz	0,5	3
50 Hz		

¹ Fréquence(s) des sources de champs électromagnétiques présentes

5. Conclusion

EVALUATION DE L'EXPOSITION DES TRAVAILLEURS
AUX CHAMPS ELECTROMAGNETIQUES
Environnement industriel



4. Mesurages aux postes de travail / VA

Points ¹	Photos ²	Emplacement ou poste de travail ³	Mode de fonctionnement ⁴	Champ magnétique 0 Hz		
				B mesuré (μT)	VA B (mT)	% VA (B)
67.1	100	Mesure au niveau du buste	A	845	0,5	169%
67.1	116	Mesure au niveau du buste	I	1706	0,5	341%
67.1		Mesure au niveau du buste	E	669	0,5	134%
67.3	102	Mesure au niveau de la poitrine	A	1539	0,5	308%
67.3	106	Mesure au niveau de la poitrine	C	1162	0,5	232%
67.3	117	Mesure au niveau de la poitrine	I	2448	0,5	490%
67.3	122	Mesure au niveau de la poitrine	K	1094	0,5	219%
67.3	126	Mesure au niveau de la poitrine	M	1525	0,5	305%

P100



P116



P122



RISQUE :
porteur de
pacemaker

APRÈS UN CONTRÔLE PAR MAGNÉTOSCOPIE

Les pièces conservent une aimantation rémanente !!!

Opération	Aimantation rémanente (mT)
Usinage très fin	0,8
Usinage classique	1,2
Soudage	3

RISQUE : porteur de pacemaker

DÉSAIMANTATION

Un champ magnétique variable (50 Hz) permet de désaimanter la pièce qui a été contrôlée

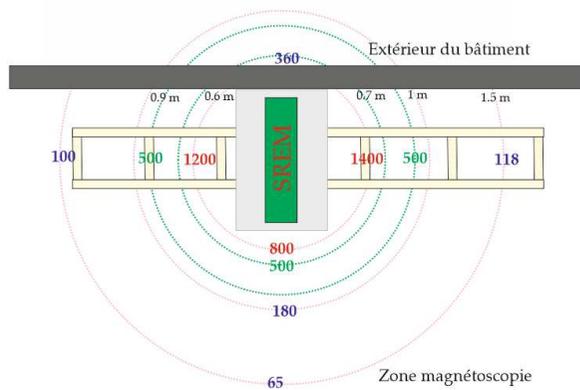


LES MOYENS DE PRÉVENTION

PROTECTION COLLECTIVE

Eloignement de l'opérateur

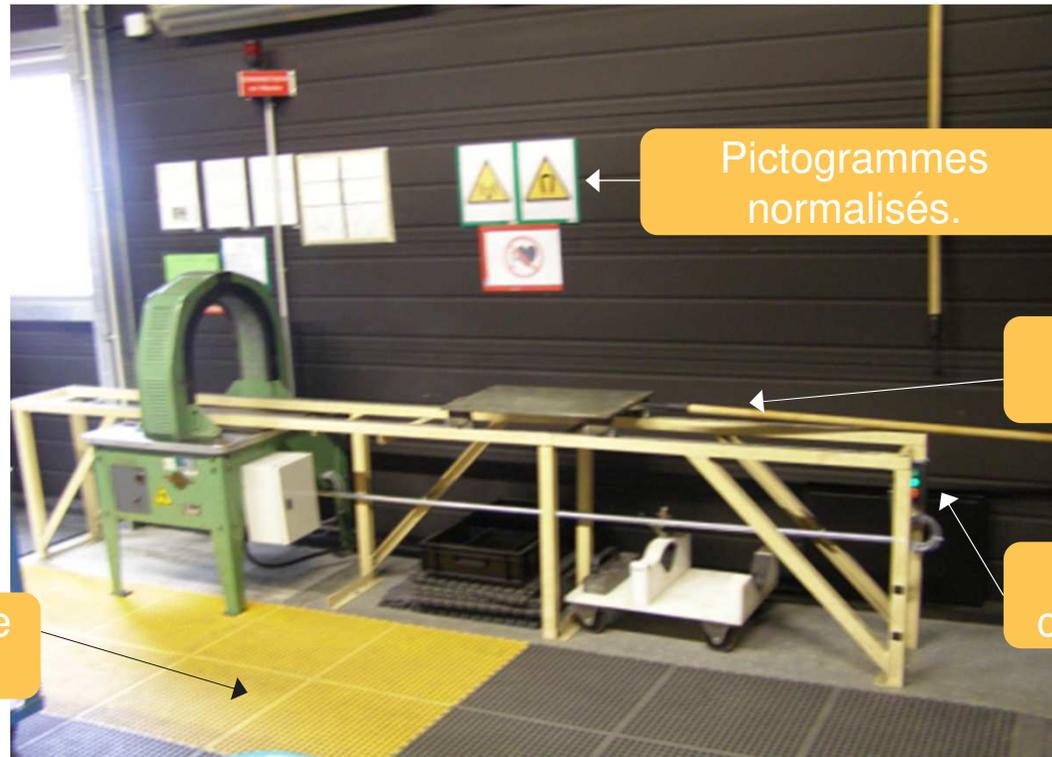
Démagnétisation des pièces dans une société de maintenance aéronautique (50 Hz).



$VA = 1\ 000\ \mu T$

**Eloignement
de l'opérateur**

SAFETY FIRST



Pictogrammes normalisés.

Perche en bois

Bouton de commande déporté

Marquage au sol de la zone VDA



PRÉVENTION

Obligations de l'employeur

Réduire le risque à sa source

- | Eteindre la source

Eloigner le poste de travail

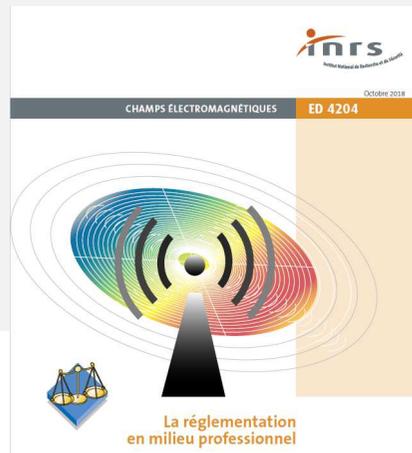
- | Déporter les commandes

Signaler et baliser

- | Afficher des avis d'avertissement et d'interdiction y compris des avis destinés aux personnes portant un équipement médical électronique;
- | Identifier les zones à risques (marquage au sol, pictogrammes)

Informier et former les travailleurs

- | Des risques à leurs postes de travail
- | Des résultats de l'évaluation des risques



Signalisation à mettre en place à proximité d'une installation émettant des champs magnétiques et électromagnétiques intenses



ATTENTION : un risque peut en cacher un autre !

Risque chimique : usage de révélateurs
Risque ROA : ultraviolets

RÉFÉRENCES

(1) Code du travail, art. R4453-1 à R4453-34

(2) Guide non contraignant de bonnes pratiques pour la mise en oeuvre de la directive 2013/35/UE — «Champs électromagnétiques»

- **Volume 1 : Guide pratique**
- **Volume 2 : Etudes de cas**
- **Volume 3 : Guide à l'intention des PME**

(3) Fiches INRS

- **Ed4204 (2018) : La réglementation en milieu professionnel**
- **Ed4218 (2018) : Contrôle par magnétoscopie - Démagnétiseurs**

Emmanuel NICOLAS | Coordinateur technique
rayonnements ionisants & non ionisants
Bureau Veritas Exploitation - Direction Technique
Performance Exploitation
emmanuel.nicolas@bureauveritas.com
+33 (0)788224193 (Mobile)

MERCI POUR VOTRE ATTENTION

Bureau Veritas Exploitation
Le Triangle de l'Arche
8 cours du Triangle - CS20098
92937 PARIS LA DEFENSE CEDEX
www.bureauveritas.fr





BUREAU
VERITAS

Shaping a World of Trust

WWW.BUREAUVERITAS.COM

