



COMMENT MESURER UN CHAMP ELECTROMAGNETIQUE ET EVALUER L'INCERTITUDE DE MESURE ?

SFRP RNI 03.12.2013

Emmanuel NICOLAS

Avançons en confiance

© - Copyright Bureau Veritas

Move Forward with Confidence*



**BUREAU
VERITAS**

Sommaire



- ▶ Les sources de rayonnements
- ▶ Les moyens / méthodes de mesures
- ▶ L'évaluation des incertitudes
- ▶ Les marges de sécurité
- ▶ Conclusion



Les sources de rayonnements

Intentionnelles
Non intentionnelles

Les sources intentionnelles - ANTENNES

► LES TYPOLOGIES

- Radiodiffusion (GO,OM, OC, FM)
- Télédiffusion (TNT)
- Téléphonie mobile (2G, 3G, 4G)
- Radiocommunication mobile privée (PMR)
- Radars

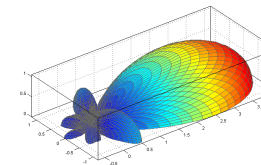


► LES CARACTERISTIQUES

- Sur site dédié, toit-terrasse, château d'eau : accès restreint
- Exposition à proximité des antennes : champ proche
- Fréquence, modulation, diagramme de rayonnement (PIRE ou PAR) : connues

► EVALUATION DE L'EXPOSITION DES TRAVAILLEURS

- Logiciel de simulation (description du système antenne)
- Mesures dans les accès, aux postes de travail (cartographie du site, du pylône, etc.)



Les sources intentionnelles - MACHINES

► LES TYPOLOGIES

- Soudeuses HF et Fours à induction,
 - Transformation de la matière par l'énergie radioélectrique
- IRM (imagerie à résonance magnétique)



► LES CARACTERISTIQUES

- Énergie radioélectrique intense : puissance absorbée connue
- Fréquence et modulation : connues
- Rayonnement spatial, intensité , : à déterminer
- Exposition à proximité : champ proche



► EVALUATION DE L'EXPOSITION DES TRAVAILLEURS

- Mesures dans les accès, aux postes de travail
- Périmètre de sécurité



Les sources non-intentionnelles

► LES TYPOLOGIES

- Machines industriels
- Sources d'énergie (ligne électrique, transformateur, groupe électrogène)



► LES CARACTERISTIQUES

- Énergie électrique : puissance absorbée connue
- Fréquence et modulation : inconnues
- Rayonnement spatial, puissance , : inconnu
- Exposition à proximité : champ proche



► EVALUATION DE L'EXPOSITION DES TRAVAILLEURS

- Mesures dans les accès, aux postes de travail (cartographie autour de la machine)





Les moyens de mesures

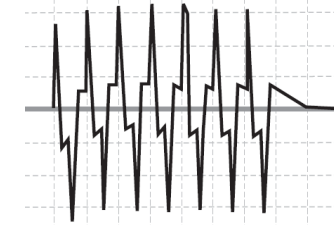
En champs continus
En champs variables

Les champs continus DC

Sortie analogique

► MAGNETIQUE

- GAUSSMETRE DC (jusqu'à qqs kHz)
 - Sonde axiale, transverse
 - Sonde isotrope
 - Signal continu, variable pouvant être visualisé
 - Dynamique : 0 à qqs Tesla



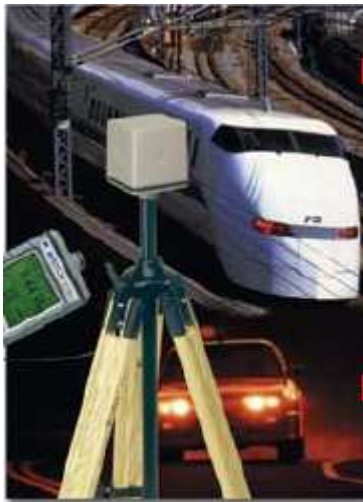
► ELECTRIQUE STATIQUE ou ELECTROSTATIQUE

- Champ électrique (qqs 10 kV)
- Polarité du champ +/-

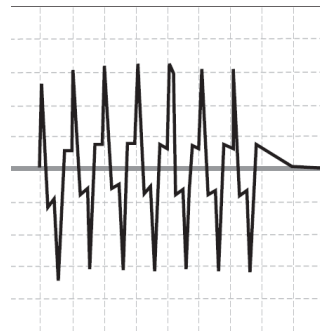


Les champs à fréquences réseau et intermédiaire

- ▶ Fréquence
 - 5 Hz à 400 kHz
- ▶ Champ magnétique
 - 1 nT – 20 mT
- ▶ Champ électrique
 - 100 mV/m à 100 kV/m



Sortie analogique



Les champs variables RF

► MAGNETIQUE ET ELECTRIQUE

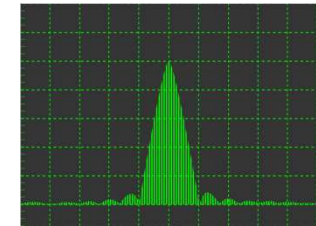
- Les champmètres large bande
 - Sonde isotropique en champ H
 - 100 kHz – 30 MHz (300 MHz)
 - 0.01 - 20 A/m
 - Sonde isotropique en champ E
 - 100 kHz – 60 GHz
 - 0,2 à > 1000 V/m
- Les champmètres sélectifs en fréquences
 - Analyse spectrale 100 kHz – 6 GHz
 - Sonde de champ directive, isotrope ou antenne tri-axes
- Les chaines de mesure Mélopée /
 - Capteur tri-axes avec FO
 - Conversion RF – optique
 - Analyseur de spectre



Les champs impulsionnels

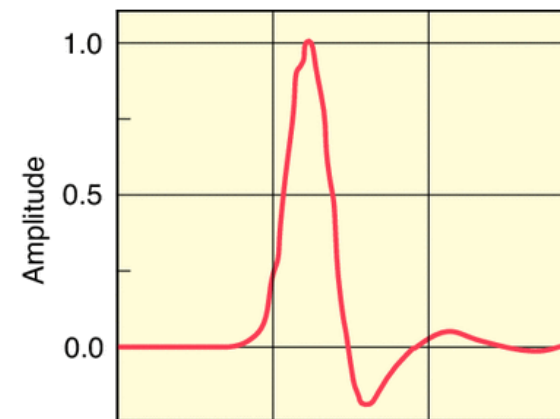
► Champ électrique

- Champmètre large bande avec sonde thermocouple
- Les sondes à diode ne sont pas adaptées
 - Mesures sous estimées voire « aveugle » si impulsion trop courte
 - Dépend de la fréquence de répétition du signal



► Champ électrique et magnétique

- Sonde MELOPEE tri-axiale
 - Large bande -> 3 GHz
 - Adaptée aux mesures impulsionnels
 - Conversion RF – fibre optique





Les méthodes de mesures

Utilisation d'un champmètre

Mesures aux champmètres

- ▶ Objectif 1 : Recherche de la zone d'exposition maximale
 - Balayage continu ou mesures point par point
 - Cartographie d'un emplacement ou d'un accès
 - à répéter avec plusieurs sondes si source multi-fréquences
 - à répéter pour plusieurs configurations de paramétrage si le pire cas n'est pas identifié
- ▶ Objectif 2 : donner une valeur représentative de la zone mesurée
 - Valeur maximale ou moyenne spatiale sur 3 hauteurs ou 9 points
- ▶ Avantages
 - Prend en compte toutes les sources présentes
 - Lecture directe du champ en V/m ou en A/m
 - Permet une comparaison / à la VA la plus basse sur une plage de fréquences
 - Rapide -> permet de multiplier les points de mesures
- ▶ Inconvénients
 - Influence du corps même si tenu à bout de bras mais utilisation déportée sur trépied possible (conseillé avec FO)
 - Pas de discrimination en fréquence mais utilisation possible d'un champmètre sélectif en fréquence)





Les facteurs d'incertitudes

Méthode des 5 M
Calcul de l'incertitude globale

La méthode des 5 M

- ▶ Identifier les paramètres d'influence : (méthode, milieu, matière, matériels, main-d'œuvre)

Matériels de mesures

- ▶ Sonde de champ
 - Linéarité
 - isotropie

Méthode de mesure

- ▶ Protocole
 - Recherche du max
 - moyenne spatiale

Matière

- ▶ Source
 - Configuration d'émission
 - Influence de la source, champ proche

Milieu

- ▶ Environnement
 - T°, Hg, présence d'objet métallique

Main d'oeuvre

- ▶ Opérateur
 - Port du champmètre, pointage de la source, influence du corps
 - Mesure trépied

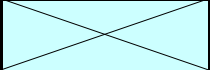
Calcul de l'incertitude globale

► Méthode de calcul

- L'Incetitude standard combinée est calculée à partir des valeurs d'incertitude et de leur distribution de probabilité associée
- Exemple : mesures in situ

Incetitudes des mesures du CAS A

Nous retiendrons une incertitude de +/- 3 dB soit +/- 41 % pour une moyenne spatiale effectuée sur 3 hauteurs de mesures avec une distribution rectangulaire (source : §9.2.2 norme EN 50492:2008).

Source d'erreur	Valeur d'incertitude (%)	Distribution de probabilité	Diviseur	C _i	Incetitude standard (%)
Appareillage de mesure					
platitude en fréquence (correction max)	44	Rectangulaire (K=√3)	1,73	1	25,4%
incetitude d'étalonnage en fréquence	15,1	Normale (K=2)	2	1	7,6%
correction niveau faible (0,5 V/m)	21,4	Rectangulaire (K=√3)	1,73	1	12,4%
incetitude de linéarité	10,1	Normale (K=2)	2	1	5,1%
anisotropie (à 100 MHz)	2,6	Rectangulaire (K=√3)	1,73	1	1,5%
incetitude d'étalonnage de l'anisotropie	9	Normale (K=2)	2	1	4,5%
moyenne spatiale	41	Rectangulaire (K=√3)	1,73	1	23,7%
présence de l'opérateur	26	Rectangulaire (K=√3)	1,73	1	15,0%
dérive entre 2 étalonnages	2	Rectangulaire (K=√3)	1,73	1	1,2%
température	6	Rectangulaire (K=√3)	1,73	1	3,5%
Incetitude standard combinée	41,3%	$u_c = \sqrt{\sum_i c_i^2 u_i^2}$			
U: Incetitude étendue avec justesse (intervalle de confiance de	81,0%	Normale			$u_e = 1,96 u_c$

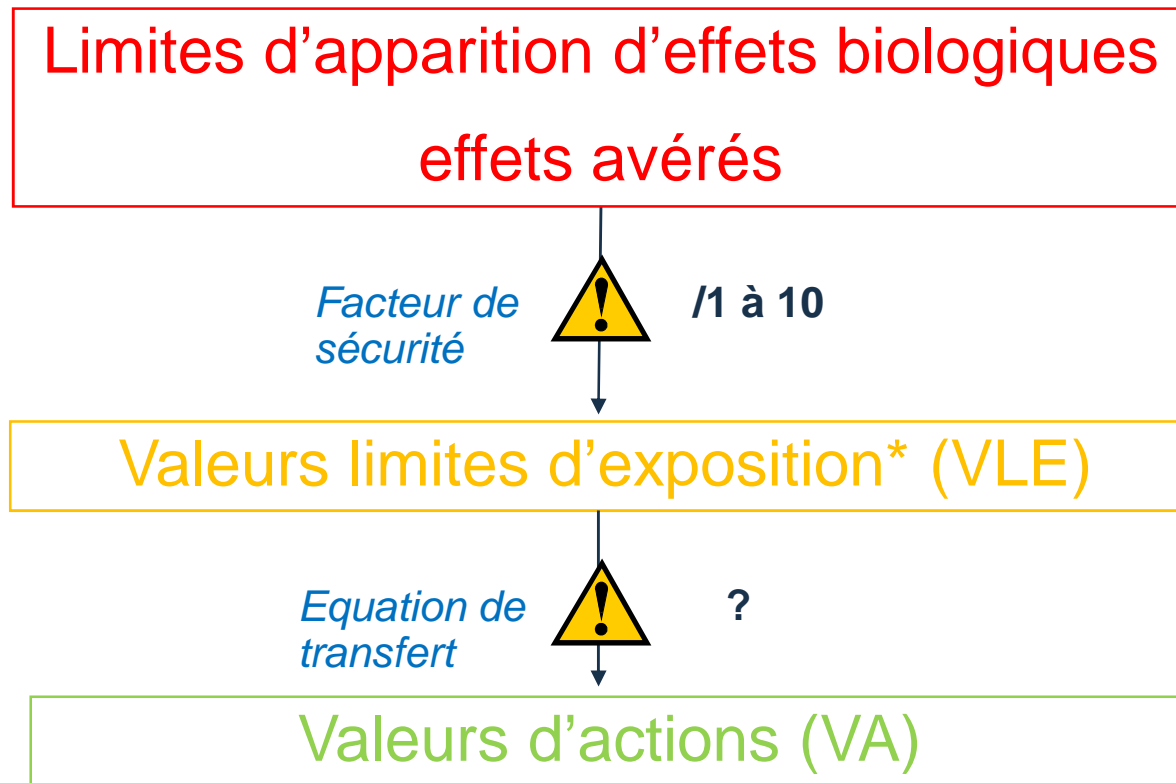


Les marges de sécurité

***Facteurs de sécurité des VA et VLE
Incertitudes de mesures***

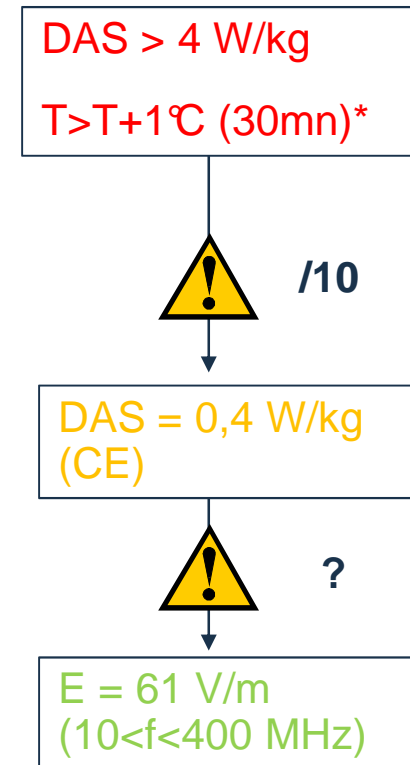
Les Marges dans les VLE et VA

► Où sont les marges ?



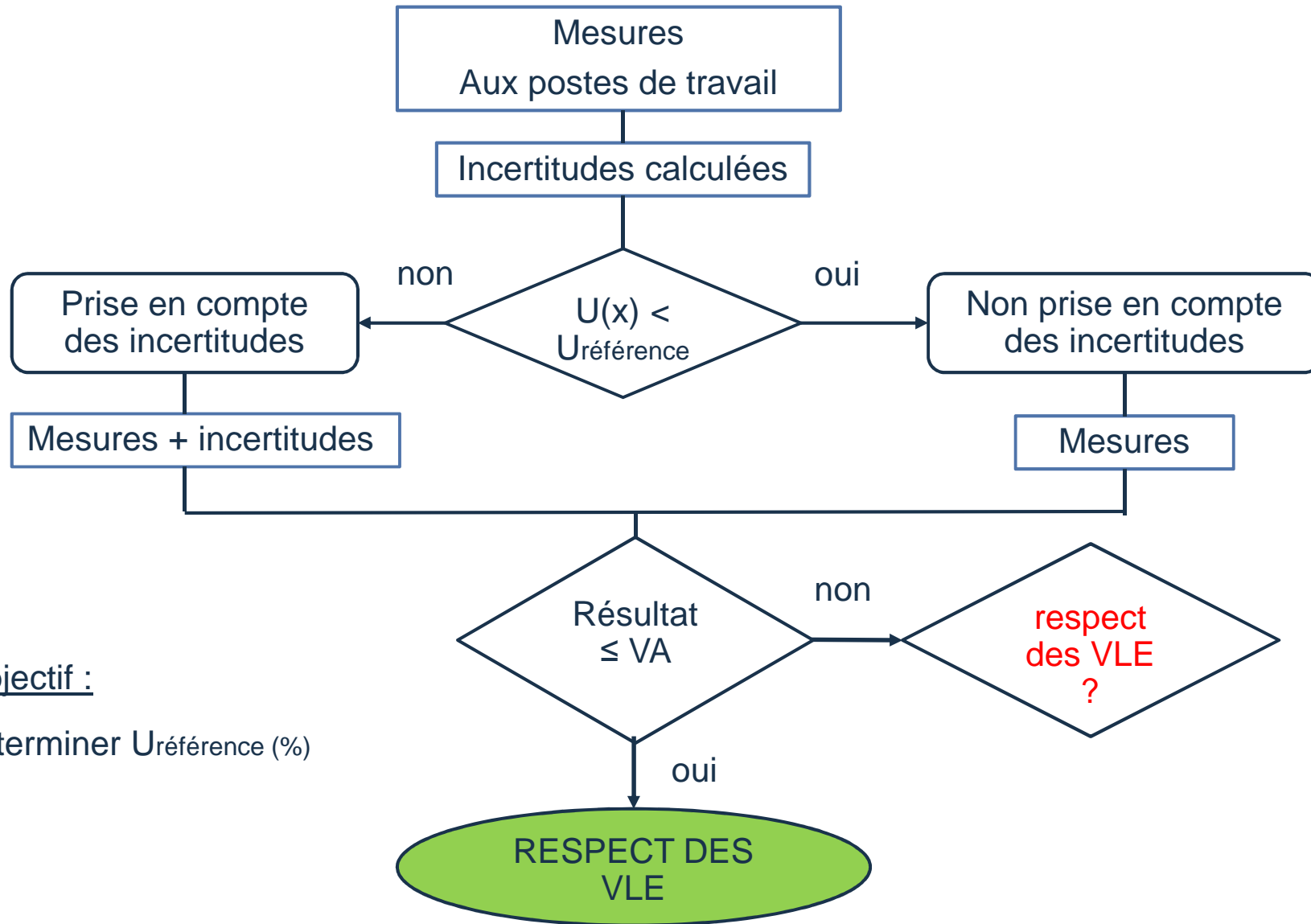
(*) VLE relatives aux effets sur la santé et aux effets sensoriels

Exemple : RF



(*) ICNIRP Guidelines 1998

Prise en compte des incertitudes



Objectif :

déterminer $U_{référence}$ (%)



CONCLUSION

CONCLUSION



- ▶ Evaluer l'exposition des salariés aux champs électromagnétiques
 - Identifier les sources et leurs caractéristiques de rayonnements
 - Mesurer avec les instruments adéquates
 - Evaluer les incertitudes de mesures

- ▶ Déclarer la conformité d'un poste de travail
 - Prendre en compte les incertitudes de mesures pour garantir le respect des VLE ?
 - oui en comparant avec une incertitude de référence
 - ⇒ Avantage : Permet de comparer les mesures directement aux VA
 - oui en les ajoutant aux mesures
 - ⇒ Inconvénient : implique indirectement une valeur limite $< VA$ et des contraintes plus fortes pour respecter les VA

- ▶ La réponse sera dans les guides pratiques (article 14) ?

Merci de votre attention



Emmanuel NICOLAS

Coordinateur Technique - Rayonnements ionisants & non ionisants

emmanuel.nicolas@fr.bureauveritas.com

BUREAU VERITAS - BL IVS

66, rue de Villiers, 92300 Levallois-Perret

www.bureauveritas.fr



BUREAU
VERITAS

Move Forward with Confidence*

**Avançons en confiance*

© - Copyright Bureau Veritas