



# 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

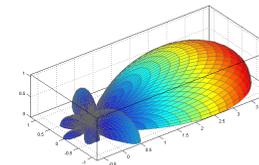


## ► LES CARACTERISTIQUES

- 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

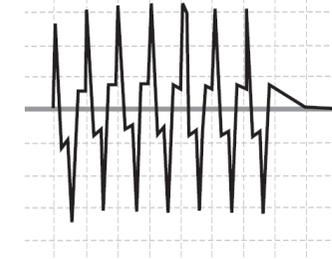
***En champs continus***  
***En champs variables***

# 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



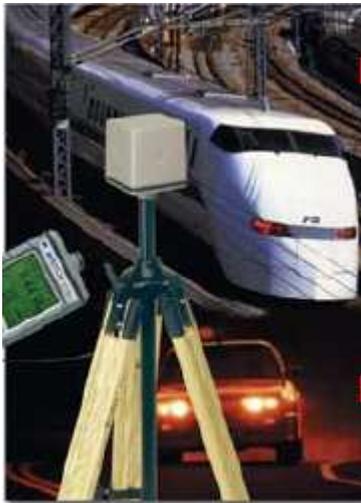
## ► ELECTRIQUE STATIQUE ou ELECTROSTATIQUE

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

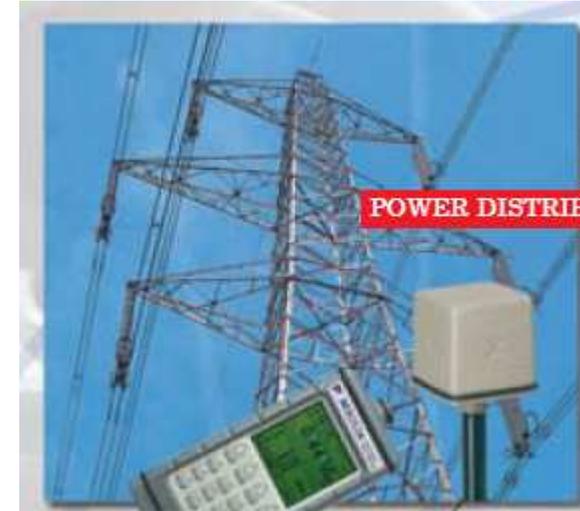
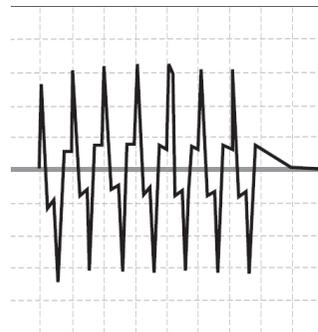


# Les champs à fréquences réseau et intermédiaire

- ▶ 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

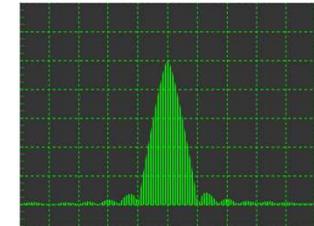
- Les champmètres large bande
  - Sonde isotropique en champ H
    - 100 kHz – 30 MHz (300 MHz)
    - 0.01 - 20 A/m
  - Sonde isotropique en champ E
    - 100 kHz – 60 GHz
    - 0,2 à > 1000 V/m
- Les champmètres sélectifs en fréquences
  - Analyse spectrale 100 kHz – 6 GHz
  - Sonde de champ directive,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



# Les champs impulsionsnels

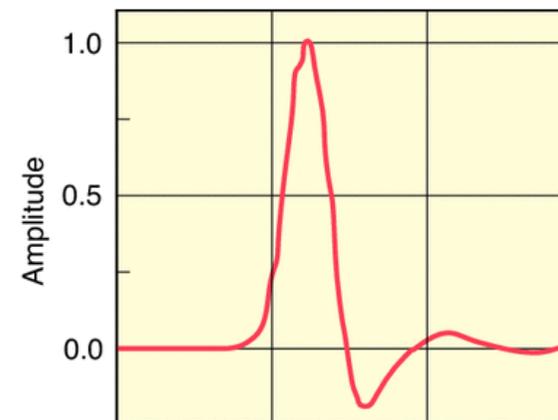
## ► Champ électrique

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

### Incertitudes 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 <sub>i</sub>	Incertitude standard (%)
<b>Appareillage de mesure</b>					
platitude en fréquence (correction max)	44	Rectangulaire (K=√3)	1,73	1	25,4%
incertitude 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%
incertitude 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%
incertitude 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%
Incertitude standard combinée	41,3%	$u_c = \sqrt{\sum_i c_i^2 u_i^2}$			
U: Incertitude étendue avec justesse (intervalle de confiance de	81,0%	Normale			$u_e = 1,96 u_c$

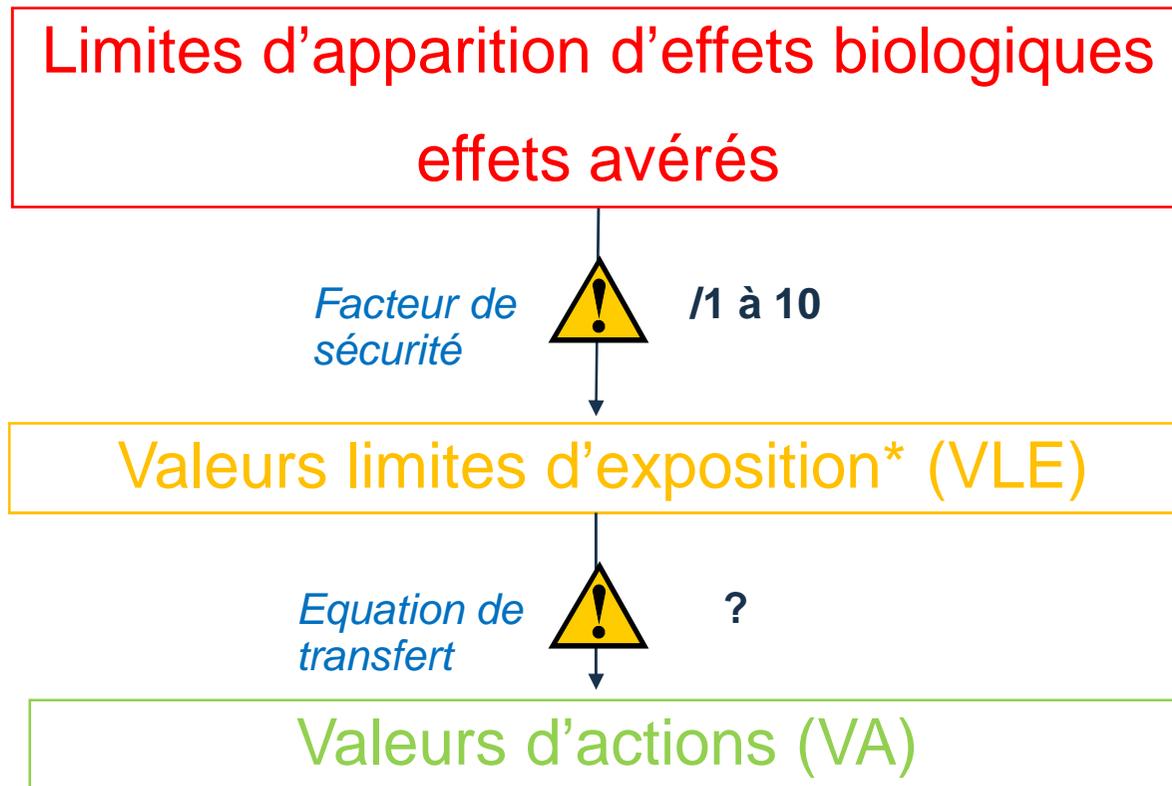


## Les marges de sécurité

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

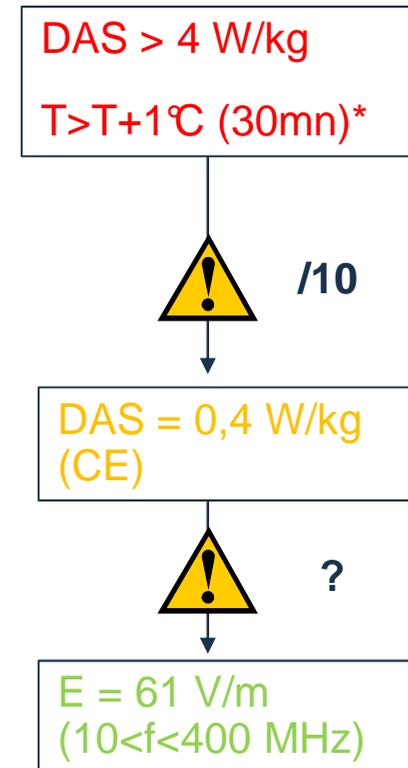
# Les Marges dans les VLE et VA

► Où sont les marges ?



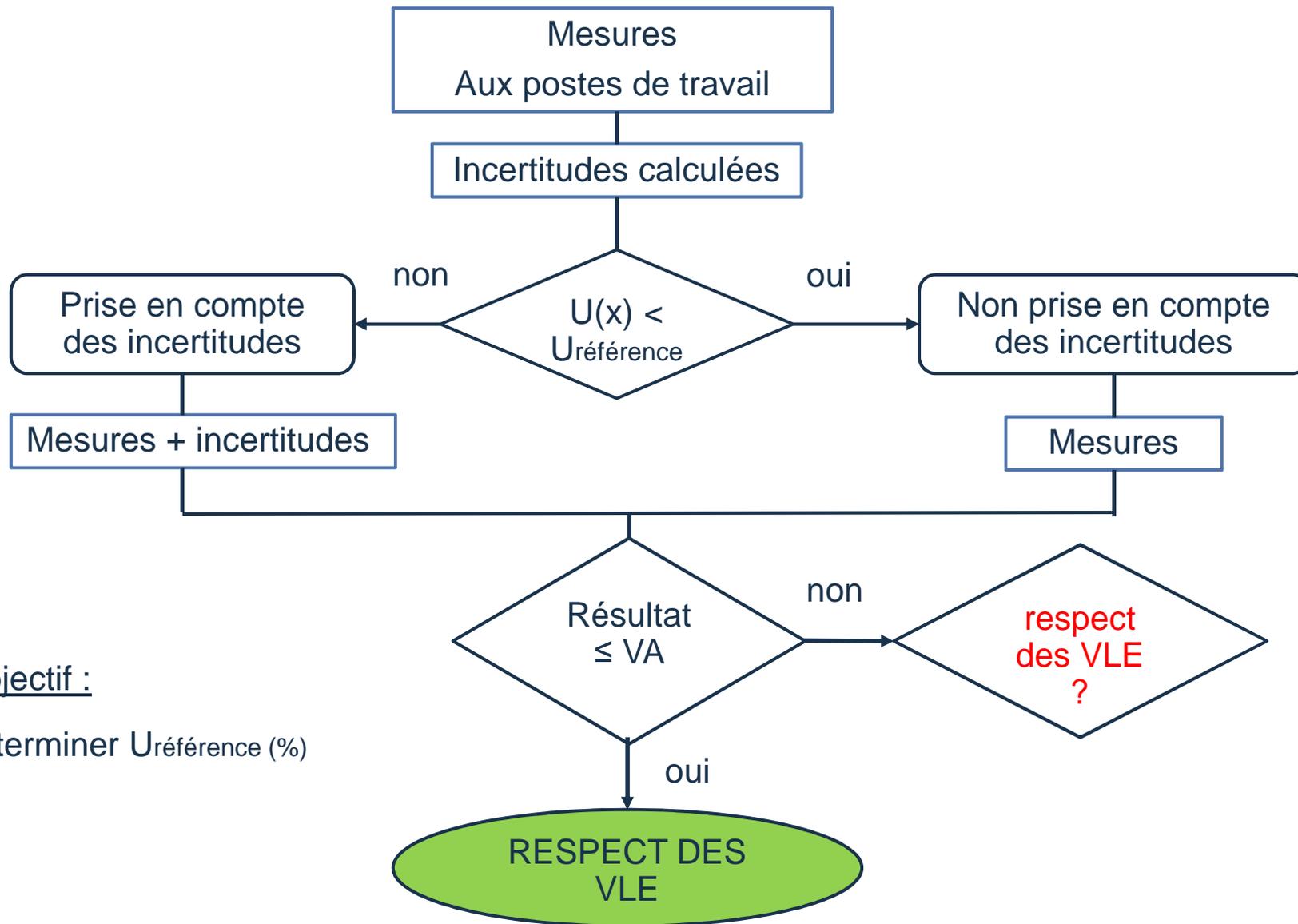
(\*) VLE relatives aux effets sur la santé et aux effets sensoriels

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](mailto:emmanuel.nicolas@fr.bureauveritas.com)

**BUREAU VERITAS - BL IVS**

66, rue de Villiers, 92300 Levallois-Perret

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



**BUREAU  
VERITAS**

***Move Forward with Confidence\****

*\*Avançons en confiance*

© - Copyright Bureau Veritas