

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

**Emmanuel NICOLAS**

BUREAU VERITAS  
66 rue de Villiers  
92300 Levallois-Perret  
emmanuel.nicolas@fr.bureauveritas.fr

La directive 2013/35/CE couvre la gamme des fréquences de 0 Hz à 300 GHz, soit jusqu'à des longueurs d'ondes de l'ordre du millimètre. La mesure des champs magnétique, électrique et électromagnétique couvre un spectre relativement large de cette directive, puisque les moyens de mesures classiques de type champmètre permettent de prendre en compte les fréquences allant du continu (0 Hz) jusqu'à environ 60 GHz. Au-delà, les sources industrielles et les émetteurs intentionnels sont très peu présents dans notre environnement professionnel. Les mesures au-delà de cette fréquence ne sont donc, la plupart du temps, pas nécessaires. Nous nous intéresserons ici aux trois types de sources que l'on peut rencontrer : intentionnelles via des antennes, intentionnelles via des machines, et enfin non-intentionnelles (cas des machines en général) et aux incertitudes inévitablement associées.

## 1) Mesure des champs électromagnétiques

La mesure des champs électromagnétiques s'entend à proximité des sources de rayonnements. En effet, l'exposition des travailleurs est caractéristique d'une exposition en champ proche, directement à proximité d'une antenne d'émission ou d'une machine industrielle produisant des rayonnements. La typologie de la source est donc à prendre en compte car elle permet d'adapter le moyen de mesure qui va être utilisé.

Les sources intentionnelles comme les antennes ont des caractéristiques de rayonnement connues et maîtrisées. En fonction du service de radiodiffusion (GO, OM, OC, FM, TNT), de radiocommunication (HF, PMR, 2G, 3G, 4G) ou encore de détection (radars), les signaux émis sont connus par leurs fréquences, leur bande passante et leur puissance d'émission. L'antenne d'émission a un gain, un diagramme de rayonnement, et une bande passante qui sont également connus.

Pour ce type de source, Les mesures aux postes de travail sont, généralement, réalisées à l'aide d'un champmètre large bande, avec des sondes de champ électrique et magnétique, adaptées à la plage de fréquences à mesurer. Les résultats peuvent être affinés par des mesures sélectives en fréquence à l'aide d'un analyseur de spectre adapté aux champs intenses.

Le cas des radars est un cas spécifique car les signaux sont du type impulsionnel et les sondes à diode des champmètres ne sont pas adaptées et restent « aveugle » à ces signaux compte-tenu des impulsions de très courte durée. Il est préférable de prendre une sonde à thermocouple qui permet une mesure de la « valeur efficace vraie » du champ électrique.

Les sources industrielles intentionnelles comme les fours à induction, les presses HF, les fours microondes utilisent l'énergie radioélectrique pour transformer la matière (la faire fondre par exemple). Généralement seule la fréquence est la puissance d'émission sont connues. Mais les caractéristiques du rayonnement en termes de directions privilégiées autour de la machine restent difficiles à appréhender. Les mesures à proximité sont

également réalisées à l'aide d'un champmètre et d'une sonde adaptée à l'émission radiofréquence liée à l'énergie radioélectrique mise en jeu. Il sera également nécessaire de procéder à une évaluation complémentaire liée à l'énergie électrique absorbée (courants forts) qui engendre des champs magnétiques au voisinage direct.

L'imagerie par résonance magnétique (IRM) est une source médicale intentionnelle de champ magnétique continu intense (de un à plusieurs Tesla selon les modèles) associé à un champ radiofréquence. Le champ magnétique continu est mesurable à l'aide d'un gaussmètre et d'une sonde spécifique.

Les sources industrielles non intentionnelles utilisent de l'énergie électrique et peuvent a priori rayonner des champs électromagnétiques comme tous les appareils électrodomestiques de notre environnement quotidien mais avec des intensités beaucoup plus élevées compte-tenu des puissances électriques absorbées. Ces sources émettent généralement un spectre large bande, dues aux fréquences de fonctionnement interne à l'appareil ou à la machine. Une sonde de mesure large bande permettra de couvrir et d'englober un spectre d'émission très large pour prendre en compte toutes les fréquences d'émissions rayonnées. Généralement, sans indication de fréquence de fonctionnement particulière, la fréquence haute est de 6 ou 18 GHz. Certaines applications liées aux radars nécessiteront des mesures jusqu'à 60 GHz.

Les lignes électriques, les transformateurs électriques, sont des sources non intentionnelles qui émettent des champs magnétique et électrique à la fréquence de 50 Hz avec potentiellement quelques harmoniques. Les mesureurs dédiés à ce type d'installation permettent en général des mesures de champ électrique et magnétique de 5 Hz à 400 kHz.

## 2) Incertitudes de mesures

Dès lors qu'il s'agit de mesure, la question des incertitudes est soulevée. D'autant que l'environnement professionnel dans lequel exercent les salariés, particulièrement à leur poste de travail, doit faire l'objet d'une évaluation des risques par l'employeur (Chapitre II de la directive).

La mesure est un outil permettant de déterminer ou d'évaluer l'exposition des travailleurs soumis à des champs électromagnétiques générés par des machines industrielles (y compris des antennes). Elle doit être adaptée à chaque type de source en fonction de la nature du champ rayonné, de la ou des fréquences émises et de l'intensité du rayonnement. Il existe par conséquent des instruments de mesures permettant d'évaluer une ou plusieurs sources simultanément : les champmètres large bande très utilisés en milieu professionnel. Ils sont caractérisés par une sonde de mesure isotropique (omnidirectionnelle) adaptée à une gamme de fréquences (bande passante) et à l'intensité des sources (dynamique de mesure).

Dès lors, les incertitudes de mesures liées à la sonde font leur apparition mais pas seulement. La méthode des 5 M (méthode, milieu, matière, matériels, main-d'œuvre) permet d'identifier tous les paramètres qui vont composer l'incertitude globale qui sera calculée et associée à la mesure. L'incertitude associée à chaque paramètre fait l'objet d'une évaluation particulière soit à partir de documents fiables (certificats d'étalonnage des sondes), soit à partir de l'expérience de spécialistes (main d'œuvre), soit à partir de l'état de l'art dans ce domaine (méthode de mesure).

Les paramètres à prendre en compte sont nombreux, ce qui conduit généralement à des incertitudes relativement large dans ce domaine, pouvant dépasser 80 % dans le cas des mesures avec un champmètre large bande.

L'enjeu est donc de taille, puisque prendre en compte des incertitudes excessives pour prononcer une conformité d'un poste de travail, reviendrait en pratique à réduire d'autant les

valeurs d'action (VA). Indirectement, la prise en compte des incertitudes engendrerait une nouvelle limite plus restrictive et par conséquent in fine plus contraignante, voire inapplicable, pour les professionnels.

### 3) Incertitudes de mesures et facteur de sécurité des limites d'expositions

La question repose sur la « balance » entre les incertitudes de mesures et les coefficients de sécurité intégrés aux VLE et VA afin de garantir l'absence de risque. Faut-il encore rajouter une marge de sécurité en prenant en compte les incertitudes de mesures ?

Si la réponse est « oui », il existe alors un objectif de réduction des incertitudes de mesures qui peut être variable en fonction du niveau de champ maximal mesuré autour d'une source de rayonnement. Plus, la valeur mesurée sera proche des VA, plus l'incertitude de mesure devra être maîtrisée pour garantir le non dépassement des VA. Un des moyens pour réduire cette incertitude consiste par exemple à multiplier le nombre de points de mesures afin d'obtenir une évaluation plus précise de l'environnement de travail.

Si la réponse est « non », la mesure peut être directement comparée aux VA, mais cela implique une exigence sur la rigueur de la méthode, la qualité de la métrologie des moyens de mesures. Borner les incertitudes devrait permettre de garantir cette exigence métrologique.

En conclusion, pour des mesures rigoureuses, il paraît important de préciser une valeur cible d'incertitude de mesure en-deçà de laquelle les mesures pourront être comparées directement aux valeurs déclenchant l'action (VA) ou bien dans le cas contraire, l'incertitude sera retranchée à la VA définissant ainsi une nouvelle limite plus restrictive pour des mesures moins maîtrisées.

Les guides d'application prévus dans le cadre de la transposition de la directive devront préciser le sort de ces incertitudes de mesures associées aux mesures de champs électrique, magnétique et électromagnétique.