



CERT  
labs

CENTRE D'ETUDES ET DE  
RECHERCHE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

*Votre Partenaire pour le développement de l'Economie Numérique*

[www.cert.tn](http://www.cert.tn)



# MESURE DE L'EXPOSITION HUMAINE AUX CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES (CEM) DUE AUX TECHNOLOGIES NUMÉRIQUES

**I** *Introduction aux champs électromagnétiques*

---

**II** *Champs électromagnétiques et santé*

---

**III** *Directives et normes concernant les champs électromagnétiques*

---

**IV** *Méthode de mesures IN SITU / SAR*

---



# Introduction aux champs électromagnétiques

## Electromagnétisme

- Le rayonnement électromagnétique symbolise l'ensemble des radiations émises par une source (soleil, radar, téléphone portable,...)

## Ondes électromagnétiques

- Une onde électromagnétique est composée d'un champ électrique et d'un champ magnétique, perpendiculaires l'un par rapport à l'autre, oscillant tous deux à la même fréquence.
- Une onde électromagnétique est caractérisée par **trois grandeurs**
  - **La longueur d'onde ( $\lambda$ )** : c'est la périodicité de l'oscillation de l'onde dans le temps ou l'espace.
  - **La période ( $T$ )** : le temps que met l'onde pour réaliser un cycle (en seconde).
  - **La fréquence ( $\nu$ )** : le nombre de cycles (d'oscillations) par sec (Hertz).

On admet que l'onde se propage à la vitesse de la lumière, soit  $c = 3.10^8 \text{ m/s}$ .

$$\nu = 1 / T \quad \text{et} \quad \lambda = c / \nu$$

## Energie et photons

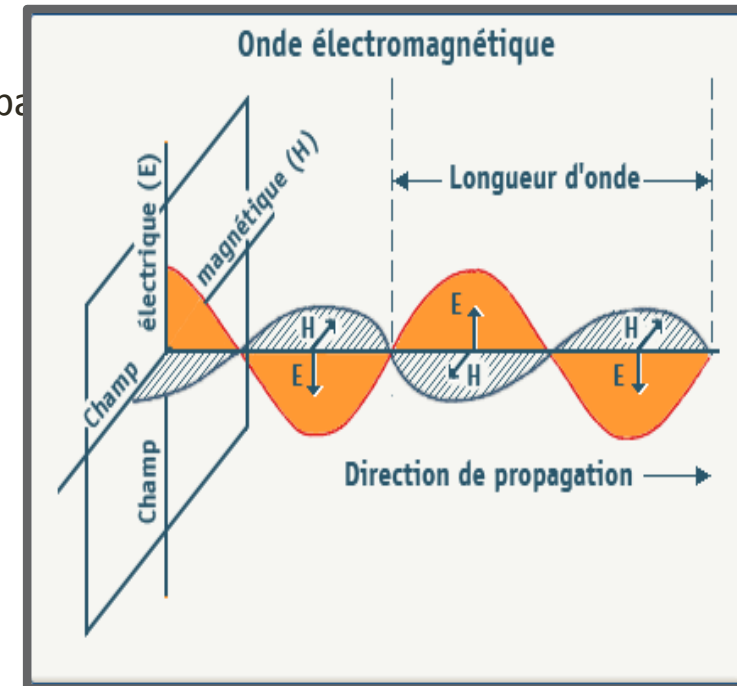
- Les photons d'atomes d'une onde électromagnétique transportent des **quanta**, ou **paquets, d'énergie (E) mais pas de la matière (électron-volt (eV))**.

$$E = h \times \nu \quad \text{avec } h = 6,625.10^{-34} \text{ J.s.} \quad (\text{la constante de Planck})$$

$$E = h \times c / \lambda$$

⇒ **L'énergie** véhiculée est d'autant plus grande que la **fréquence est élevée**, (est inversement proportionnelle à sa **longueur d'onde**).

NB: \*E est la charge d'énergie véhiculée par l'onde électromagnétique

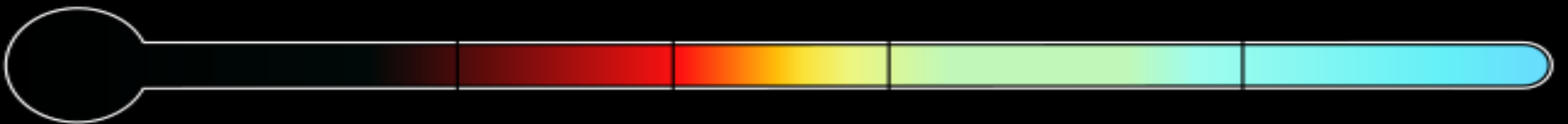
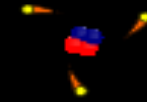
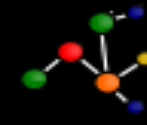
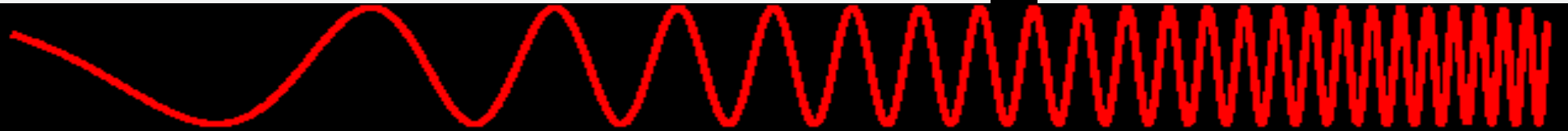


# Introduction aux champs électromagnétiques

## le spectre électromagnétique?

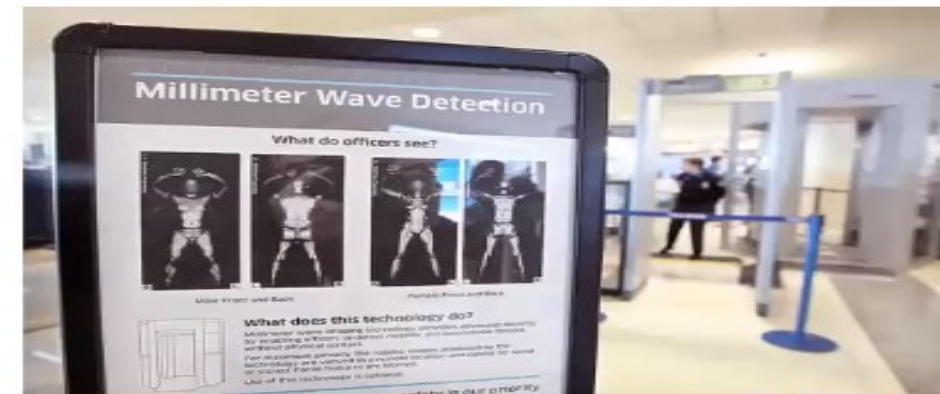
RAYONNEMENTS NON IONISANTS

RAYONNEMENTS  
IONISANTS



# Introduction aux champs électromagnétiques

champs électromagnétiques radiofréquences 0 – 300 GHz (RNI)



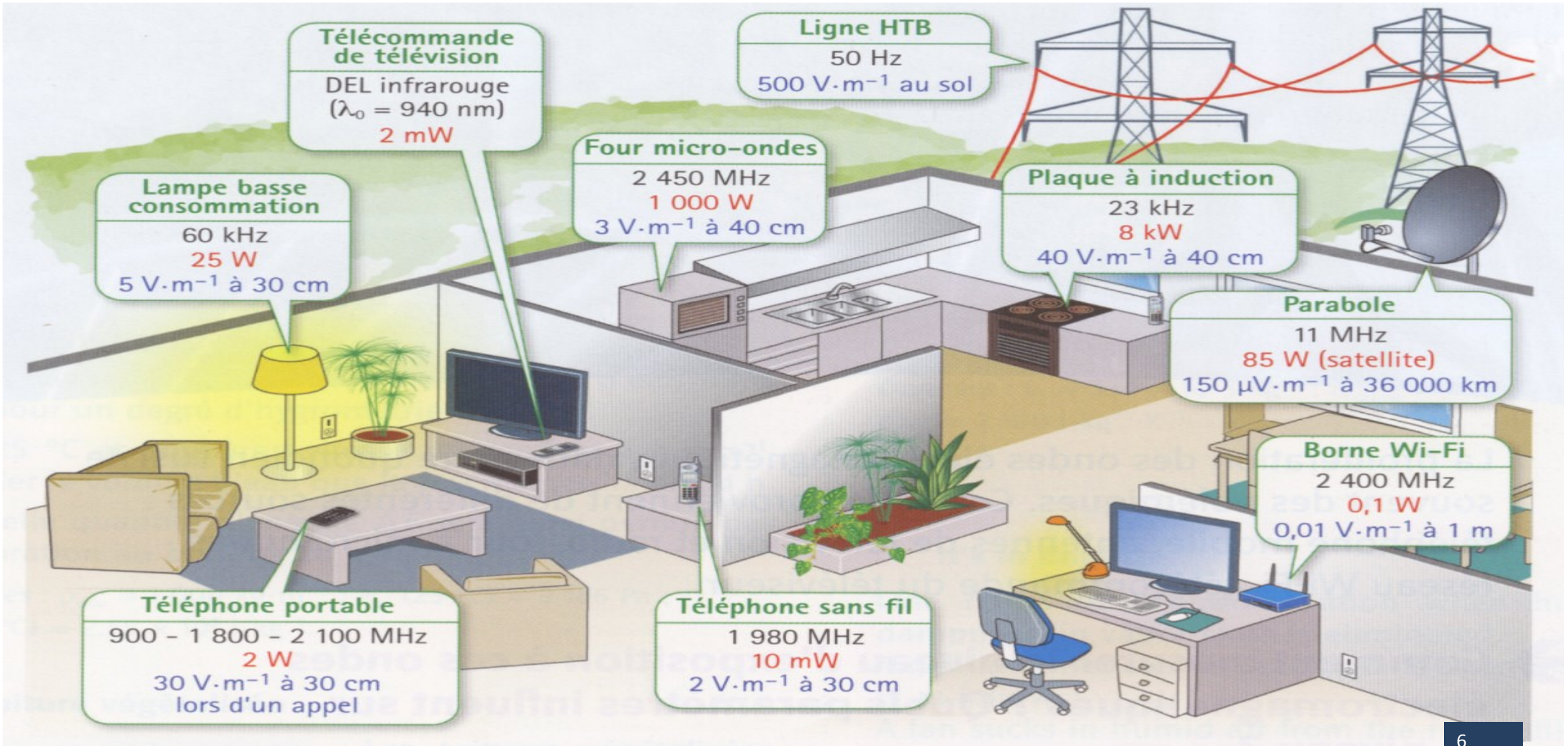
plaque à induction





# Introduction aux champs électromagnétiques

Les ondes électromagnétiques utilisées dans l'habitat



I *Introduction aux champs électromagnétiques*

II ***Champs électromagnétiques et santé***

III *Directives et normes concernant les champs électromagnétiques*

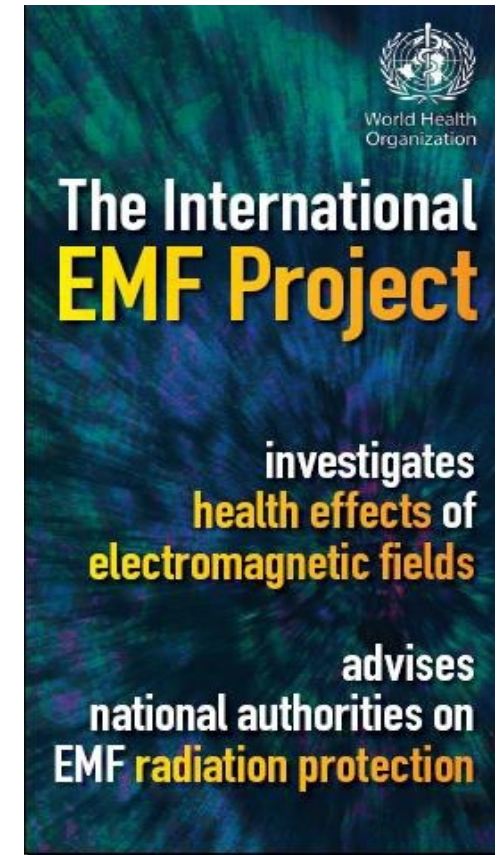
IV *Méthode de mesures IN SITU / SAR*





# Projet international de CEM de l'OMS

- Au titre de sa Charte pour la protection de la santé publique et en réponse aux préoccupations du public, l'Organisation mondiale de la santé (OMS) a établi en 1996 le Projet international pour l'étude des champs électromagnétiques (projet CEM).
- Ouvert à tout les membre de l'OMS ou aux représentants d'institutions nationales concernées par la radioprotection (60 autorités )
- Ce Projet se propose d'évaluer scientifiquement les effets sanitaires possibles provoqués par les champs électromagnétiques dans les fréquences allant de 0 à 300 GHz





# Principales parties prenantes



# Principales parties prenantes

- **ICNIRP :**

- Regroupe des experts de différentes disciplines: biologie, épidémiologie, médecine, physique et chimie. Ils fondent leurs avis sur les publications scientifiques.
- Officiellement reconnue comme collaborateur officiel par l'OMS
- Publie des conseils scientifiques sur la limitation de l'exposition aux rayonnements non ionisants.
- Les lignes directrices sont basées sur des évaluations des effets biologiques sur la santé.

- **UIT:**

- Publie des lignes directrices pour l'évaluation de l'exposition humaine fondées sur les recommandations existantes de l'UIT-T et les normes produites par d'autres organisations d'élaboration de normes (IEC, IEEE)

- **IEC:**

- Élabore des normes sur les méthodes de mesure et de calcul pour évaluer l'exposition humaine aux champs EMF de **0 Hz - 300 GHz**
- IEC 62232:2017, Determination of RF field strength, power density and SAR in the vicinity of radiocommunication base stations for the purpose of evaluating human exposure (Mesures in situ)
- IEC TR 62669:2019, Case studies supporting IEC 62232

- **IEEE:**

- Publie les limites d'exposition **3 kHz - 300 GHz**
- Élabore des normes d'évaluation de la conformité des niveaux EMF **3 kHz - 300 GHz**

**Remarque:** L'IEC et l'ICNIRP se sont mis d'accord sur le partage des responsabilités pour les normes EMF. Les limites d'exposition aux EMF sont élaborées par l'ICNIRP et les normes d'évaluation de l'exposition aux EMF élaborées par l'IEC.

- À ce jour, et après de nombreuses recherches effectuées, aucun effet néfaste sur la santé n'a été lié de manière causale à l'exposition aux ondes radio .
- L'échauffement des tissus est le principal mécanisme d'interaction entre les champs radiofréquences et le corps humain. Les niveaux d'exposition aux radiofréquences des technologies actuelles entraînent une augmentation négligeable de la température dans le corps humain.
- À mesure que la fréquence augmente, il y a moins de pénétration dans les tissus corporels et l'absorption de l'énergie devient plus confinée à la surface du corps (peau et yeux). A condition que l'exposition globale reste en dessous des recommandations internationales, aucune conséquence pour la santé publique n'est anticipée.
- L'OMS est entrain de mener une étude sur l'évaluation des risques sur la santé liés à l'exposition aux RNI, couvrant toute la gamme des radiofréquences, **y compris la 5G**, qui **sera publiée d'ici 2022**.



I *Introduction aux champs électromagnétiques*

II *Champs électromagnétiques et santé*

III ***Directives et normes concernant les champs électromagnétiques***

IV *Méthode de mesures IN SITU / SAR*



# NORMALISATION des CEM

## International:

- I **ICNIRP Guidelines** For Limiting Exposure To Time-Varying Electric, Magnetic, And Electromagnetic Fields (Up To 300 GHz),,
- I **IEC 62232:** Determination of RF field strength and SAR in the vicinity of radio-communication base stations for the purpose of evaluating human exposure
- I Report **ITU-R SM.2452-0** Electromagnetic field measurements to assess human exposure

## Europe (examples):

- I **1999/519/EC:** COUNCIL RECOMMENDATION on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz)
- I **2013/35/EC:** Directive on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields)
- I **ECC Recommendation (02)04:**  
Measuring Non-Ionizing Electromagnetic Radiation (9 kHz – 300 GHz)
- I **EN 50413:** Basic standard on measurement and calculation procedures for human exposure to electric, magnetic and electromagnetic fields (0 Hz – 300 GHz)
- I **EN 50400:** Basic standard for wireless telecommunication networks when put into service
- I **EN 50492:** Basic standard for the in-situ measurement of electromagnetic field strength related to human exposure in the vicinity of base stations

**I En outre, différentes normes nationales s'appliquent, qui sont partiellement plus strictes**

# Recommandations de l'UIT-T en vigueur

ITU-T Rec. Number	titre	année
K.52	Conseils sur le respect des limites d'exposition humaine aux champs électromagnétiques	2017
K.61	Orientation à la mesure et à la prévision numérique des champs électromagnétiques pour le respect des limites d'exposition humaine pour l'installation de télécommunications	2017
K.70	Techniques d'atténuation pour limiter l'exposition humaine aux CEM à proximité des stations de radiocommunication	2020
K.83	Surveillance des niveaux de champ électromagnétique	2020
K.90	Techniques d'évaluation et procédures de travail pour le respect des limites d'exposition du personnel des opérateurs de réseau champs électromagnétiques à fréquence d'alimentation	2018
K.91	Orientation s'il y a lieu pour évaluer, évaluer et surveiller l'exposition humaine aux champs électromagnétiques de radiofréquences	2020
K.100	Mesure des niveaux d'exposition humaine lorsqu'une installation sans fil est mise en service	2017
K.113	Génération de cartes de niveau des champs électromagnétiques de radiofréquence (RF-EMF)	2015
K.121	Conseils sur la gestion environnementale des rayonnements électromagnétiques provenant des stations de base de radiocommunication	2018
K.122	Niveaux d'exposition à proximité des antennes de radiocommunication	2016
K.145	Évaluation et gestion du respect des limites d'exposition aux CEM RF pour les travailleurs des sites et installations de radiocommunication	2020



# Suppléments UIT-T en vigueur

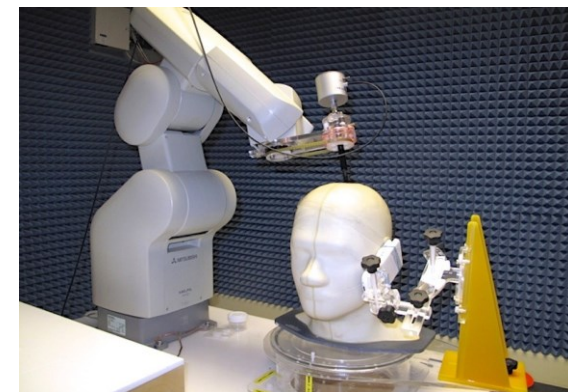
Élément de travail	titre	année
K Suppl. 1 to K.91	Guide sur les champs électromagnétiques et la santé	2020
K. Suppl. 4 to K.91	Considérations liées aux champs électromagnétiques dans les villes intelligentes et durables	2018
K Suppl. 9	Technologie 5G et exposition humaine aux CEM RF	2019
K Suppl. 13	Niveaux d'exposition au champ électromagnétique radiofréquence (RF-EMF) des appareils mobiles et portables dans différentes conditions d'utilisation	2018
K Suppl. 14	L'impact de l'exposition aux RF-EMF est plus strict que les directives ICNIRP ou IEEE sur le déploiement du réseau mobile 4G et 5G	2019
K Suppl. 16	Évaluations de conformité aux champs électromagnétiques (CEM) pour le réseau.	2019
K Suppl. 19	Force du champ électromagnétique (CEM) à l'intérieur des trains de chemin de fer souterrains	2019
K Suppl. 20	Évaluation de l'exposition RF autour de la station de base installée sous terre	2020

I *Introduction aux champs électromagnétiques*

II *Champs électromagnétiques et santé*

III *Directives et normes concernant les champs électromagnétiques*

IV *Méthode de mesures IN SITU / SAR*



# POURQUOI LES MESURES EMF?

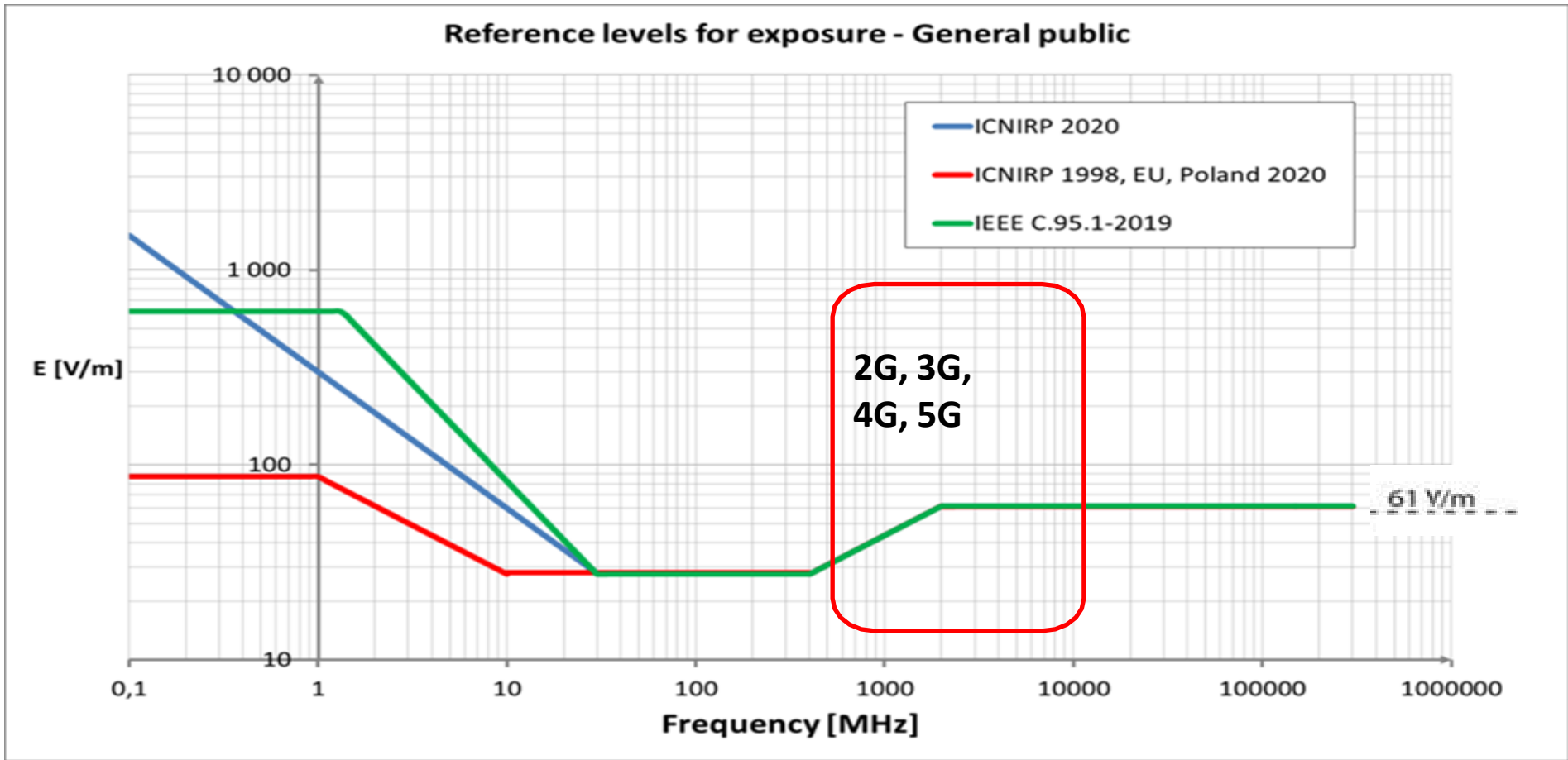
- ▶ Mesurer l'exposition humaine aux champs électromagnétiques, surtout dans les zones sensibles comme les écoles...
- ▶ Vérifier le respect des limites d'exposition humaine aux champs électromagnétiques et fournir les faits pour les risques
- ▶ Fournir la preuve que l'exposition aux champs électromagnétiques est inférieure à un certain seuil (défini par la loi ou les organismes de réglementation)
- ▶ Dissiper les doutes / éviter les problèmes de santé et de sécurité de la population





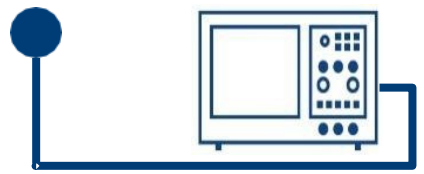
# Limites d'exposition aux CEM RF (100 kHz – 300 GHz)

La 2G, la 3G, la 4G ou la 5G peuvent être utilisées dans toutes les bandes de fréquences possibles



# Méthode de mesures- IN SITU

## EMF measurements a practical guideline on procedure and equipment ( source ITU)

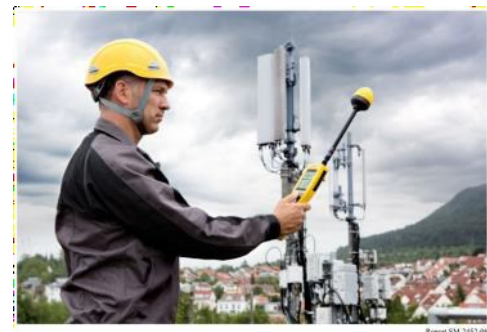


Source: Report ITU-R SM.2452-0 (



### Moniteur personnel

- Analyse rapide
- interface graphique réduite
- Utilisé pour la protection personnelle



### Mesure Large Bande

- Sonde en forme: CEM
- Valeur RMS uniquement
- interface graphique réduite
- Utilisé pour emf uniquement
- Diodes ou sondes thermiques



### Analyseur du spectre

- Grande flexibilité
- Grande portée de fréquence et antenne diverse
- interface graphique avancée
- Pas seulement pour les CEM
- Décodage ou démodulation



### Code selective (e.g. scanner)

- La plus grande flexibilité
- Grande portée de fréquence et antenne diverse
- interface graphique avancée
- CEM et essais au volant ou
- analyse spec. possible
- Décodage ou démodulation possible

# Méthode de mesures- IN SITU

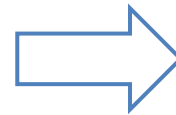
- Mesure Large bande



**INDOOR**



**OUTDOOR**



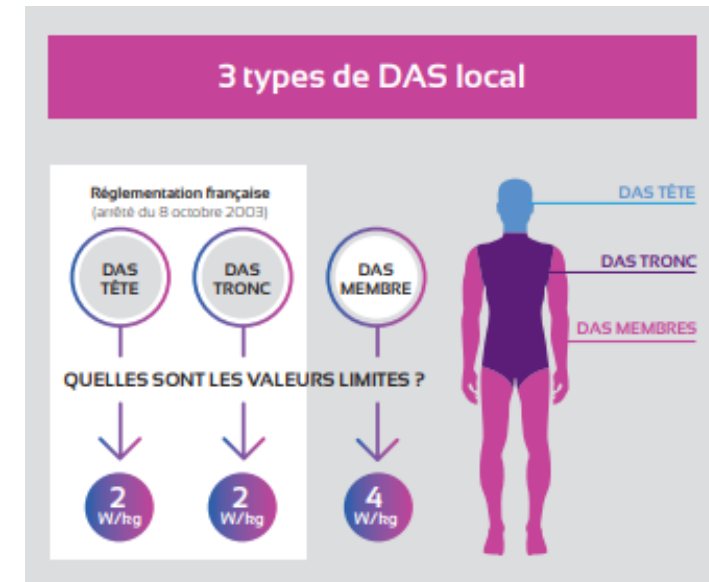
- Mesure sélective en fréquence





# Méthode de mesures- SAR (DAS) (1)

- Le DAS (ou SAR en anglais pour Specific Absorption Rate) se définit comme le débit avec lequel l'énergie est absorbée par unité de masse du tissu du corps.
- Lorsque nous utilisons un appareil radio, depuis le téléphone mobile jusqu'à la souris d'ordinateur, une partie de l'énergie électromagnétique qu'il dégage est absorbée par notre corps : la valeur maximale de cette quantité pour un équipement donné est le débit d'absorption spécifique (DAS) de cet équipement.
- L'unité de mesure du DAS est le watt par kilogramme (W/kg).
- L'évaluation du DAS d'un équipement, s'inscrit dans le cadre de [mesures EMF](#) destinées à mesurer les niveaux d'exposition du corps humain aux ondes radiofréquences lorsque cet appareil fonctionne à pleine puissance et dans les pires conditions d'utilisation.



# Méthode de mesures- SAR (DAS) (2)

- Les limitations du DAS sont définies pour prévenir un stress thermique généralisé du corps et un échauffement localisé excessif des tissus.
- Les valeurs limites de DAS peuvent varier d'une législation à une autre :
  - Europe, Australie :
    - DAS corps entier : 0,08 W/kg
    - DAS local : 2 W/kg dans 10g de tissu
  - Etats-Unis, Canada :
    - DAS corps entier : 0,08 W/kg
    - DAS local : 1.6 W/kg dans 1g de tissu
- **En Tunisie le code des télécommunications stipule les exigences suivantes :**
  - Art. 8.- L'organisme habilité est chargé d'élaborer les exigences techniques de l'homologation en tenant compte essentiellement des aspects suivants :
    - La protection des réseaux publics des télécommunications contre tout dommage.
    - La compatibilité électromagnétique spécifique à l'équipement terminal.
    - Les règles d'utilisation et d'exploitation des fréquences radioélectriques.
    - L'interfonctionnement de l'équipement terminal avec les réseaux publics des télécommunications.
    - **La sécurité des usagers et du personnel exploitant des équipements**

# Méthode de mesures- SAR (DAS) (2)

- En Tunisie un projet de décret élaboré par le ministère de la santé a été communiqué aux autres ministères concernés pour avis.
- Ce projet de décret doit être réactivé et peut servir comme base de réglementation dans ce domaine
- Ce projet stipule les limitations suivantes :

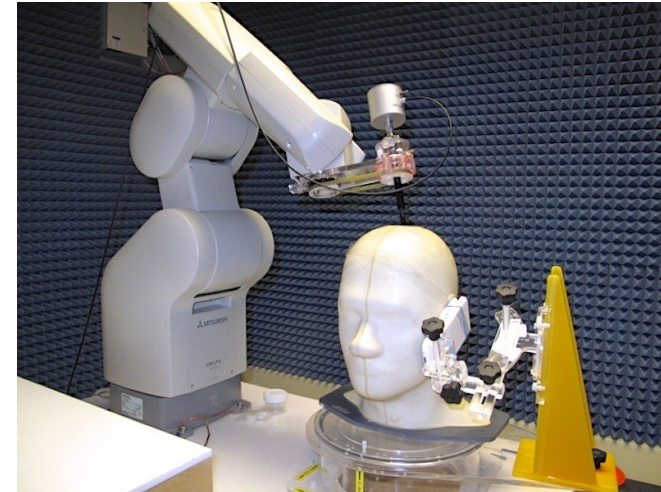
Tableau n° 4  
Les restrictions de base pour les champs électriques et magnétiques alternatifs à des fréquences allant de 100 Kilohertz jusqu'à 10GigaHertz (\*)

Caractéristiques de l'exposition	Domaine de fréquences	Densité de courant (tête et tronc) ( $\text{mA.m}^{-2}$ ) (rms)	Débit d'absorption spécifique moyen Corps entier ( $\text{W.kg}^{-1}$ )	Débit d'absorption spécifique local (tête et tronc) ( $\text{W.kg}^{-1}$ )	Débit d'absorption spécifique local (membres) ( $\text{W.kg}^{-1}$ )
Travailleurs	100kHz-10MHz	$f/100$	0,4	10	20
	10 MHz-10GHz	-	0,4	10	20
Public	100kHz-10MHz	$f/500$	0,08	2	4
	10 MHz-10GHz	-	0,08	2	4



# Méthode de mesures- SAR (DAS) (3)

- Le système classique de mesure DAS est composé :
  - d'un fantôme,
  - d'une instrumentation électronique de mesure associée à un système de balayage (sonde, récepteur, robot, ...),
  - d'un support matériel.
- Système ART-MAN, un système compact qui effectue des mesures directes dans le domaine temporel.
- ART-MAN utilise une puissante technologie brevetée de matrice de sondes vectorielles (phase D) pour mesurer avec précision la phase et l'amplitude du champ électromagnétique absorbé par les tissus humains.



# Méthode de mesures- SAR (DAS): Exemple d'un Laboratoire SAR classique

- Principaux composants d'un laboratoire SAR
  - Probes
    - Dosimetric probes
    - mmWV probe
    - Free-space probes:
    - Temperature probes
  - Fantômes et liquides à large bande
  - Robot
  - Récepteur
  - Logiciel de commande et de mesure
  - Simulateur de station de base



# Méthode de mesures- SAR (DAS): Normes applicables

- SAR standards, e.g., IEC 62209-1, IEC 62209-2, IEEE 1528, CE and FCC regulations, etc.
- Standards for power-density above 10 GHz, e.g., IEC TC 106 - AHG10, FCC, etc.
- Standards for wireless power transfer, e.g., IEC 63184, etc.
- Standards for IoT, e.g., IEEE 1528.7 guide, etc.
- Base-station standards, e.g., IEC 62232
- Medical implant standards, e.g., ISO/TS 10974
- Near-field testing requirements, e.g., IEEE C95.3, EN 50392, EN 50357, etc.