

# IMPACT SUR LA SANTÉ DES CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES NON IONISANTS

Stanislas SEVAUX

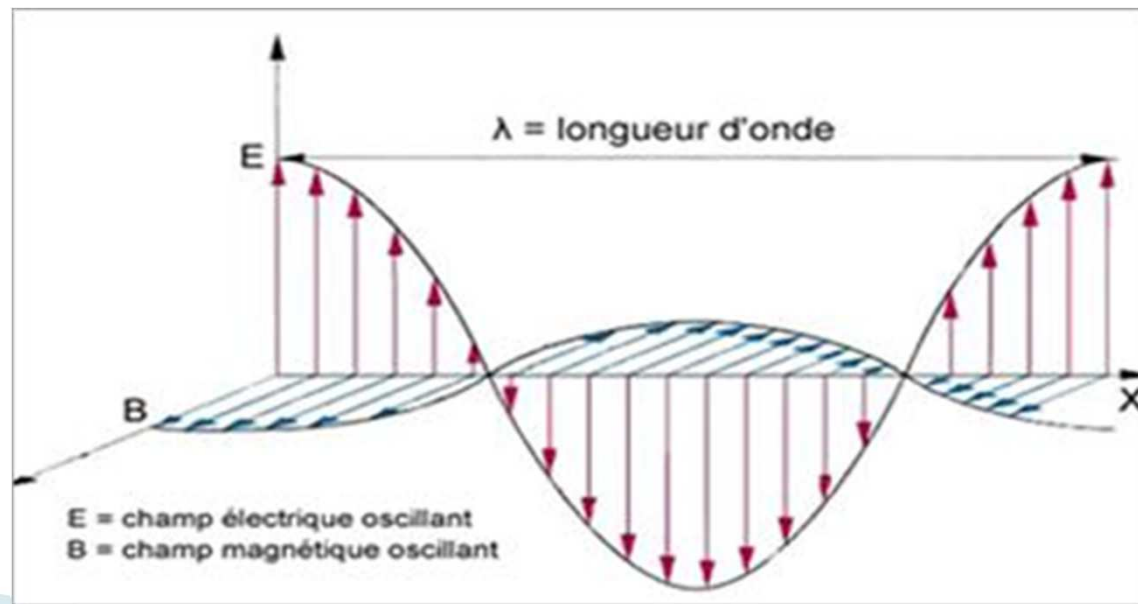
17 octobre 2014

SOUTENANCE DE THÈSE EN VUE DE

L'OBTENTION DU DIPLOME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN PHARMACIE

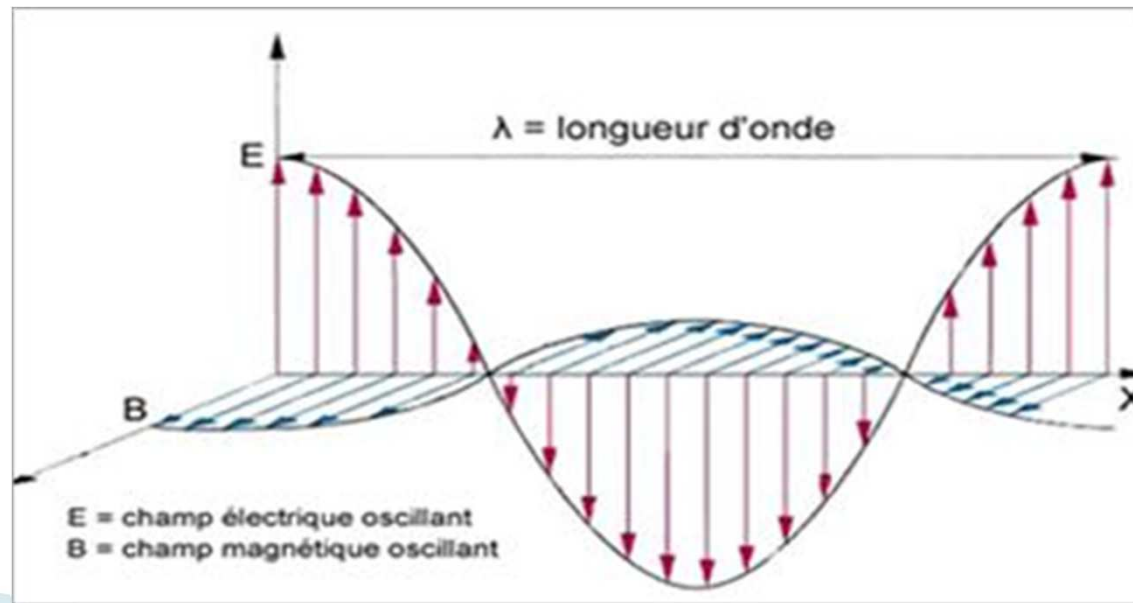
# QU'EST-CE QU'UN CHAMP ÉLECTROMAGNÉTIQUE ?

## ► Modèle ondulatoire



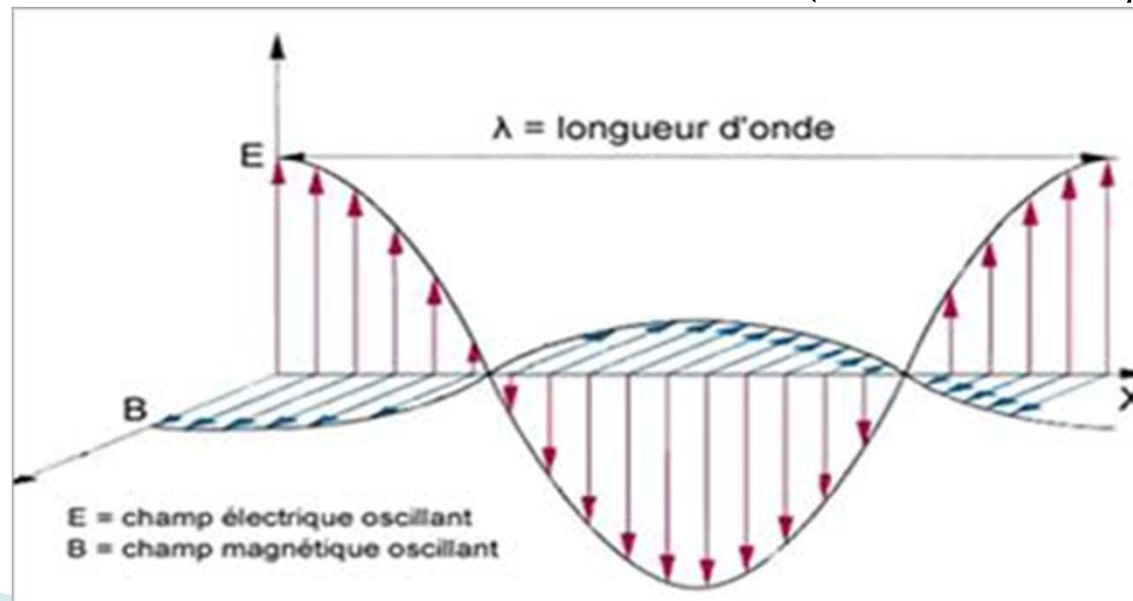
# QU'EST-CE QU'UN CHAMP ÉLECTROMAGNÉTIQUE ?

- ▶ Champ électrique  $E$  en  $V/m$
- ▶ Champ magnétique  $B$  en  $A/m$  ou Tesla



# QU'EST-CE QU'UN CHAMP ÉLECTROMAGNÉTIQUE ?

- ▶  $\lambda$  est la longueur d'onde en mètre
- ▶  $f$  est la fréquence en Hertz
- ▶  $\lambda = c/f$
- ▶  $c$  est la vitesse de la lumière ( $3 \times 10^8$  m/s)



# QU'EST-CE QU'UN CHAMP ÉLECTROMAGNÉTIQUE ?

- ▶ **Modèle corpusculaire**



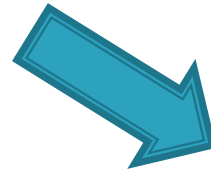
# QU'EST-CE QU'UN CHAMP ÉLECTROMAGNÉTIQUE ?

- ▶ Flux de particules
- ▶ Energie  $E = hf$
- ▶ en Joules ou ElectronVolt
- ▶  $h$  est la constante de Planck ( $6.62 \times 10^{-34} \text{ j/s}$ )

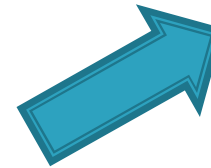


# QU'EST-CE QU'UN CHAMP ÉLECTROMAGNÉTIQUE ?

► Modèle ondulatoire



► Modèle corpusculaire



Dualité  
onde-corpuscule

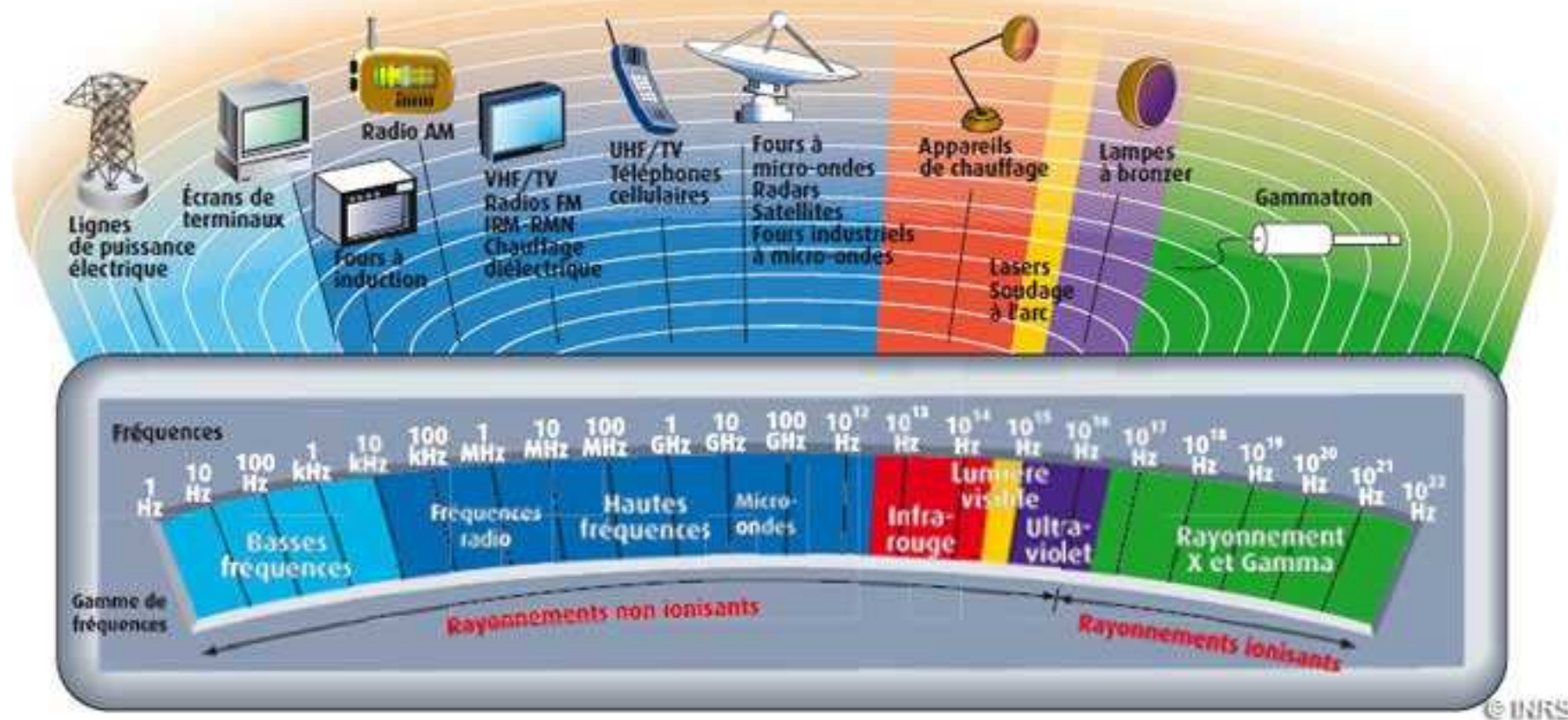


# QU'EST-CE QU'UN CHAMP ÉLECTROMAGNÉTIQUE ?

- ▶ Grande variété de types de champs
- ▶ Naturels ou artificiels
- ▶ Classification en fonction de la longueur d'onde ou de la fréquence



# QU'EST-CE QU'UN CHAMP ÉLECTROMAGNÉTIQUE ?



► Spectre électromagnétique

# QUE SIGNIFIE LE TERME DE RAYONNEMENT NON IONISANT ?

- ▶ Modèle corpusculaire
- ▶  $E = hf$
- ▶ Corps humain : 70 % d'eau
- ▶  $\Delta E \text{ H}_2\text{O} : 13,6 \text{ eV}$
- ▶ Ionisation de l'eau : altération des tissus biologiques



# QUE SIGNIFIE LE TERME DE RAYONNEMENT NON IONISANT ?

▶  $E < 13,6 \text{ eV}$   RAYONNEMENT  
NON IONISANT (RNI)

▶  $E > 13,6 \text{ eV}$   RAYONNEMENT  
IONISANT (RI)

- ▶ Limite RNI/RI :
- ▶  $\lambda : 100 \text{ nm}$
- ▶  $f : 3 \times 10^{15} \text{ Hz}$



# QUE SIGNIFIE LE TERME DE RAYONNEMENT NON IONISANT ?

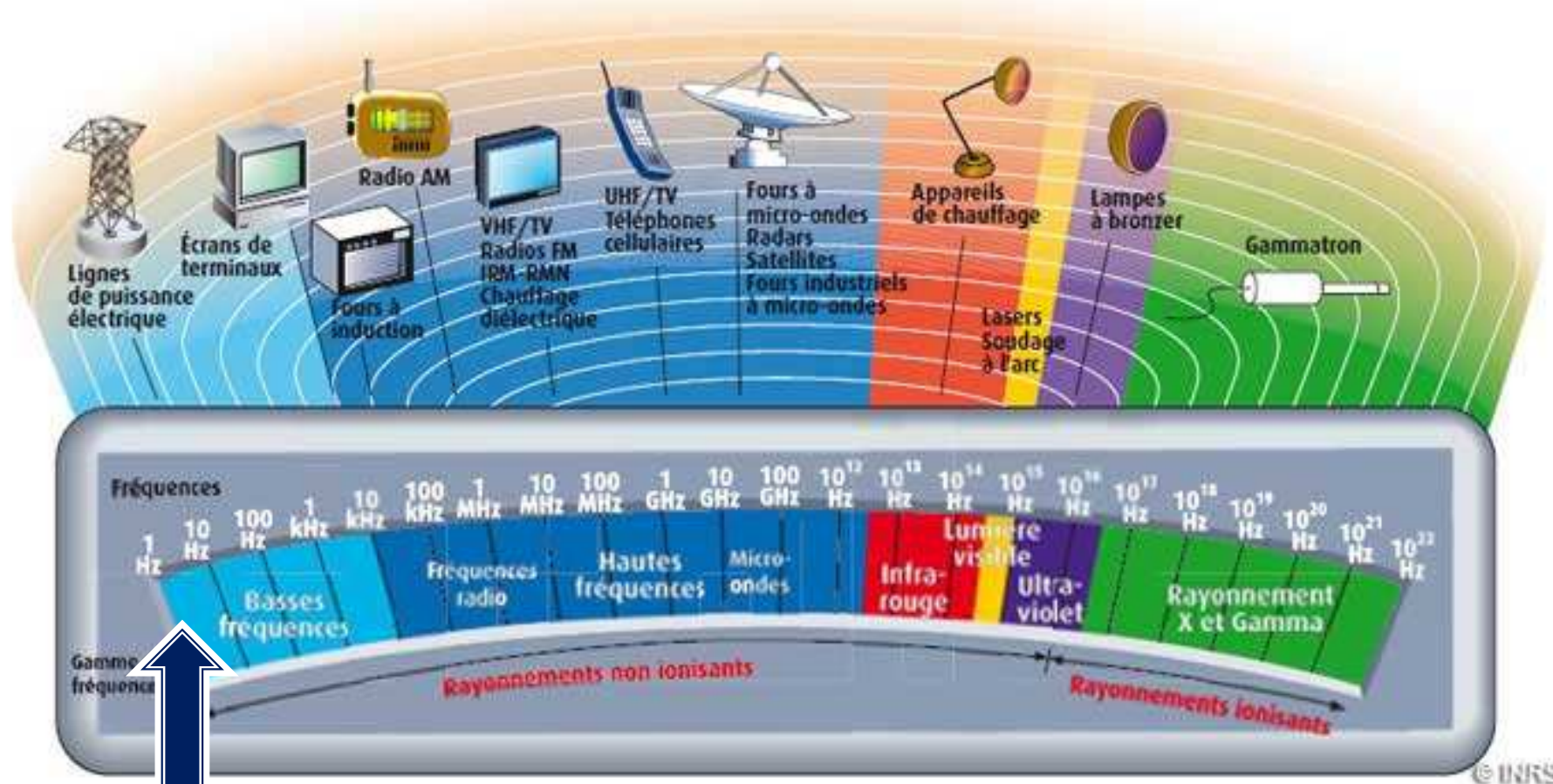


# LES CHAMPS TRAITÉS

- ▶ Champs statiques
- ▶ Champs d'extrêmement basses fréquence
- ▶ Champs de fréquence intermédiaire
- ▶ Radiofréquences
- ▶ Infrarouge
- ▶ Lumière visible
- ▶ Ultraviolet



# CHAMPS STATIQUES



# CHAMPS STATIQUES

- ▶ Naturels ou artificiels
- ▶ Fréquence nulle
- ▶ Longueur d'onde infinie
- ▶ Imagerie par Résonance Magnétique (IRM)
- ▶ Champ magnétique statique en Tesla (T)
- ▶ Vision en 2D ou 3D de l'intérieur du corps



# CHAMPS STATIQUES

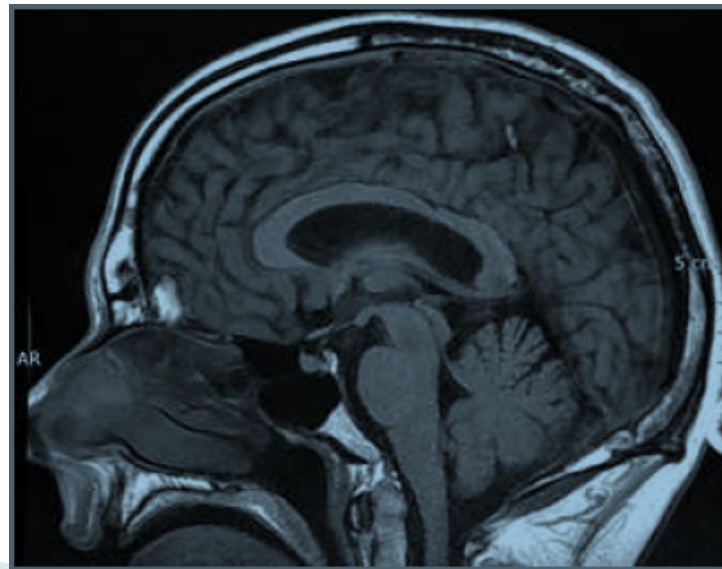
## IRM

- ▶ Patient soumis a un aimant supraconducteur
- ▶ Qui oriente les ions  $H^+$  de l'eau des tissus selon l'axe du champ magnétique.



# CHAMPS STATIQUES

- ▶ Calculs complexes, résultats analysés par de nombreux capteurs
- ▶ Création d'une image
- ▶ Tissus riches en eau très visibles
- ▶ Autres tissus moins visibles



# CHAMPS STATIQUES

- ▶ Champs statiques naturels : 70  $\mu\text{T}$
- ▶ IRM : 0,1 à 12 T
- ▶ Valeur plus de 100000 fois supérieure



Utilisation à risque ?



# CHAMPS STATIQUES

## Effets reportés:

- ▶ Hypertension artérielle
- ▶ Arythmies
- ▶ Vertiges et nausées si mouvements
- ▶ Interactions avec implants cardiaques
- ▶ Projection d'objet métalliques



# CHAMPS STATIQUES

## ICNIRP

- ▶ Analyse de nombreuses études
- ▶ Valeurs maximales : professionnels, malades
- ▶ 2 T pour la tête et 8 T pour les membre
- ▶ Valeurs maximales : population générale
- ▶ 400 mT, 0,5 mT pour porteurs d'implants



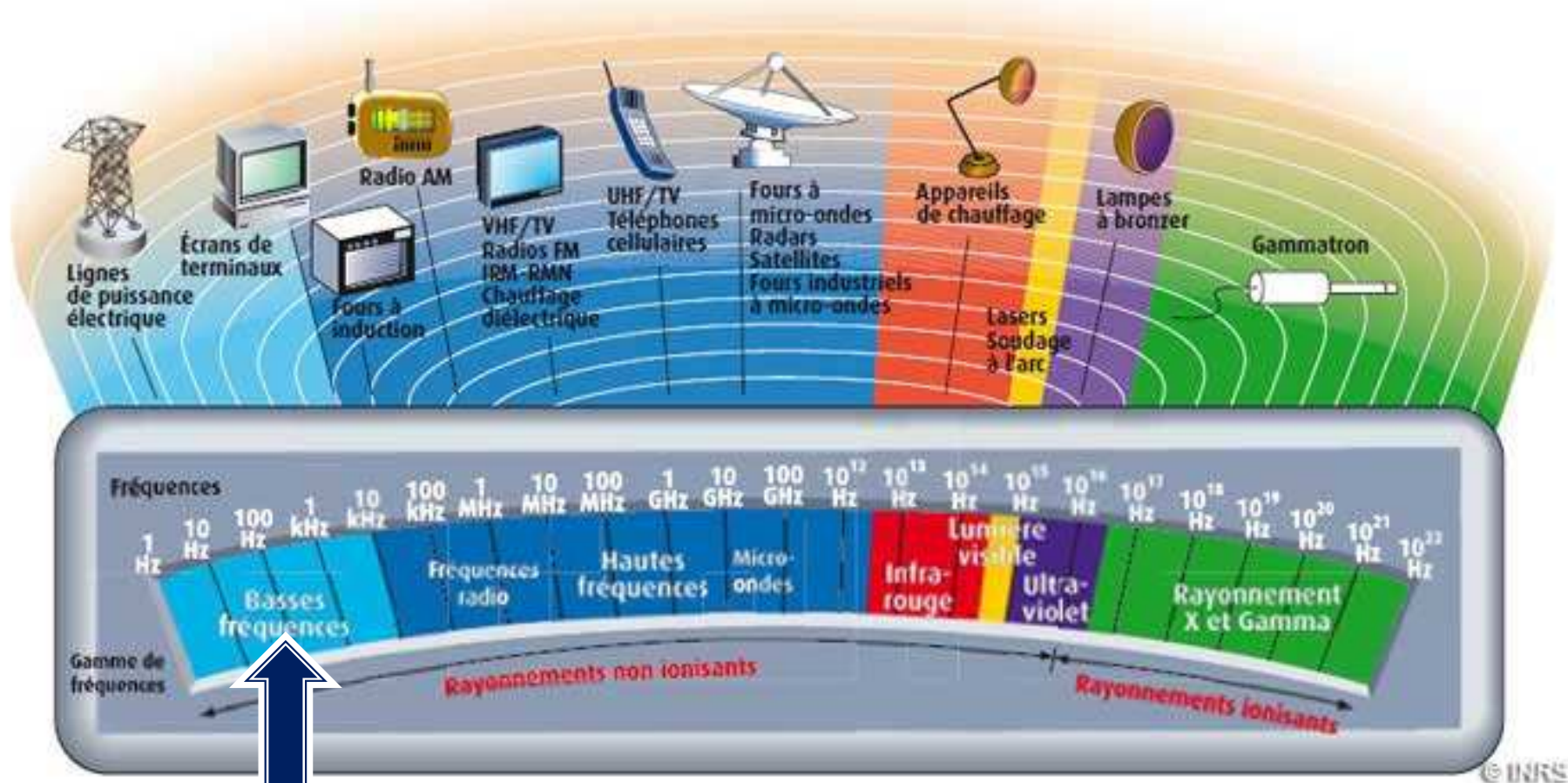
# CHAMPS STATIQUES

## En résumé :

- ▶ Peu d'études, notamment à long terme
- ▶ Recommandations et mesures de précautions nombreuses
- ▶ IRM : risque relativement faible
- ▶ Attention particulière pour porteurs d'implants spécifiques



# CHAMPS D'EXTREMEMENT BASSE FRÉQUENCE



# CHAMPS D'EXTREMEMENT BASSE FRÉQUENCE

- ▶ Fréquence de 1 à 300 Hz
- ▶ Origine artificielle
- ▶ Production, transport et utilisation de l'électricité
- ▶ 50 Hz pour le réseau français

Champ  
électromagnétique



Champ électrique  
(V/m)  
+  
Champ magnétique  
(T)



# CHAMPS D'EXTREMEMENT BASSE FRÉQUENCE

## Mécanisme d'apparition des champs:

- ▶ Appareil branché mais pas allumé
- ▶ Champ électrique seul
- ▶ Appareil branché et allumé
- ▶ Champ électrique et champ magnétique



Courant électrique  
nécessaire pour apparition  
des deux types de champ

# CHAMPS D'EXTREMEMENT BASSE FRÉQUENCE

Danger lié à ces champs : courants induits

Par ordre de dangerosité:

- ▶ Gêne
- ▶ Troubles visuels et auditifs
- ▶ Stimulation de tissus excitables
- ▶ Extrasystole et fibrillation auriculaire



# CHAMPS D'EXTREMEMENT BASSE FRÉQUENCE

## ICNIRP

- ▶ Travailleurs:
  - ▶ 10 kV/m pour le champ électrique
  - ▶ 1000  $\mu$ T pour le champ magnétique
- ▶ Population générale:
  - ▶ 5 kV/m pour le champ électrique
  - ▶ 200  $\mu$ T pour le champ magnétique



# CHAMPS D'EXTREMEMENT BASSE FRÉQUENCE

En pratique:

- ▶ Ligne très haute tension
- ▶ Sous la ligne : 5 kV/m et 30  $\mu$ T
- ▶ A 30 m de l'axe : 2 kV/m et 12  $\mu$ T



Valeurs maximales  
non dépassées



# CHAMPS D'EXTREMEMENT BASSE FRÉQUENCE

- ▶ Sèche cheveux
- ▶ A 5 cm : 187 V/m et 0,72  $\mu$ T
- ▶ A 30 cm: 28 V/m et 0,05  $\mu$ T



Valeurs maximales  
non dépassées



# CHAMPS D'EXTREMEMENT BASSE FRÉQUENCE

- ▶ Risque relativement faible pour une exposition immédiate
- ▶ Quid des effets nocifs à long terme?
- ▶ 2 sujets emblématiques:
  - ▶ Le cas de la mélatonine
  - ▶ Le cas de la leucémie de l'enfant



# CHAMPS D'EXTREMEMENT BASSE FRÉQUENCE

## Le cas de la mélatonine

- ▶ Etudes *in vitro* : diminution du taux de mélatonine
- ▶ Etudes *in vivo* sur l'homme et l'animal : aucun effet



Risque limité voire inexistant

# CHAMPS D'EXTREMEMENT BASSE FRÉQUENCE

Le cas de la leucémie de l'enfant

- ▶ Deux études clés:
- ▶ Greenland S (2000) Ahlbom A, (2000)
- ▶ Concluent à risque deux fois plus élevé chez les enfants exposés.
- ▶ Ont entraîné une classification dans le groupe 2B (cancérogènes possibles) par le CIRC



Risque avéré?

# CHAMPS D'EXTREMEMENT BASSE FRÉQUENCE

- ▶ Etudes épidémiologiques: nombreux biais
  - ▶ Questionnaires mal remplis
  - ▶ Mauvaise sélection
  - ▶ Mauvais choix de variables
- 
- ▶ De plus, effets reportés pour des champs magnétiques auxquels sont sujets 1 à 4 % des enfants seulement



Risque potentiel, mais non avéré

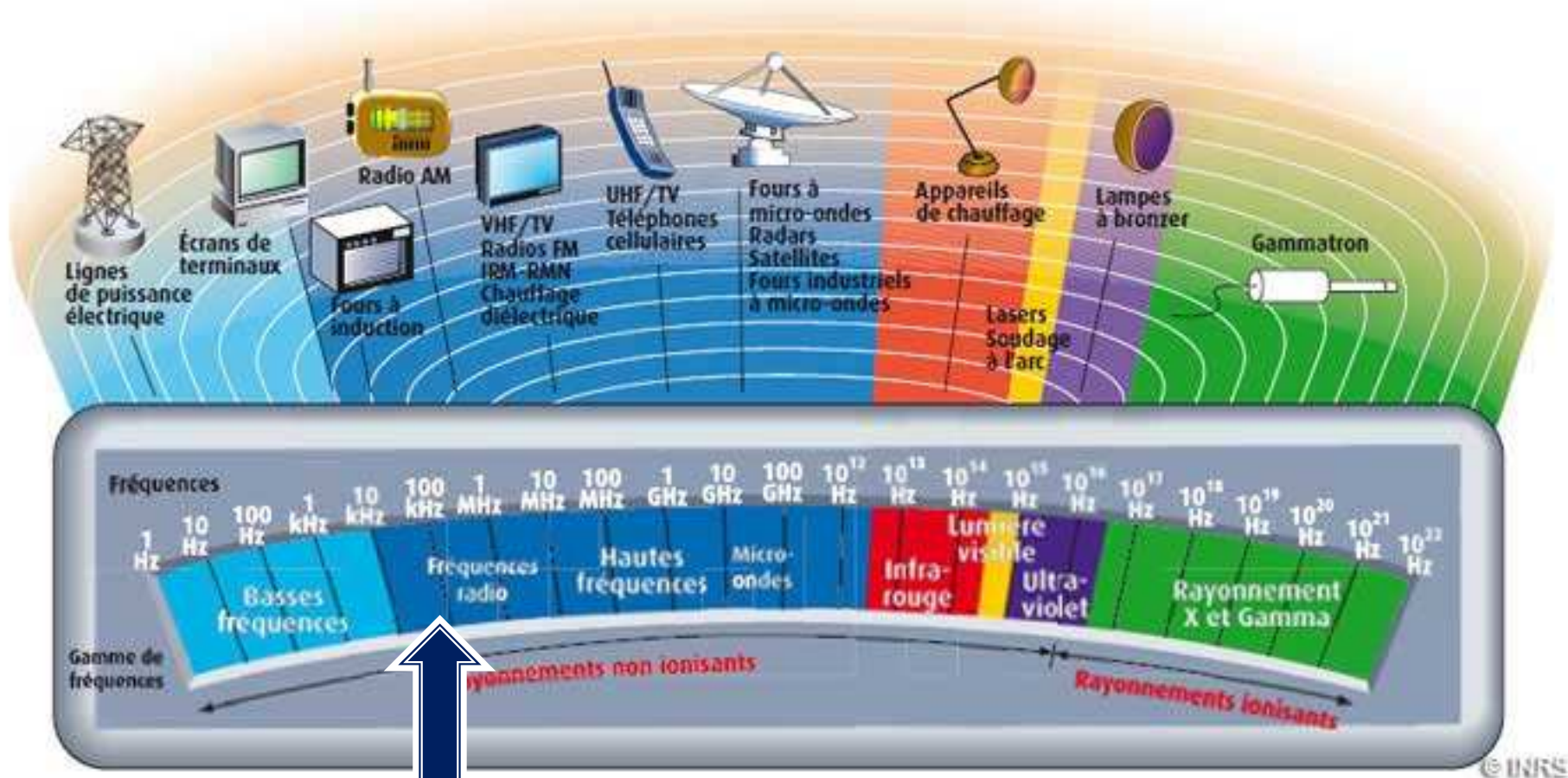
# CHAMPS D'EXTREMEMENT BASSE FRÉQUENCE

En résumé:

- ▶ Risques immédiats faibles
- ▶ Recommandation précises basées sur de nombreuses études
- ▶ Risques à long terme peu probables, mais à surveiller (leucémie infantile)
- ▶ Nécessité de continuer les recherches



# CHAMPS DE FRÉQUENCE INTERMÉDIAIRE



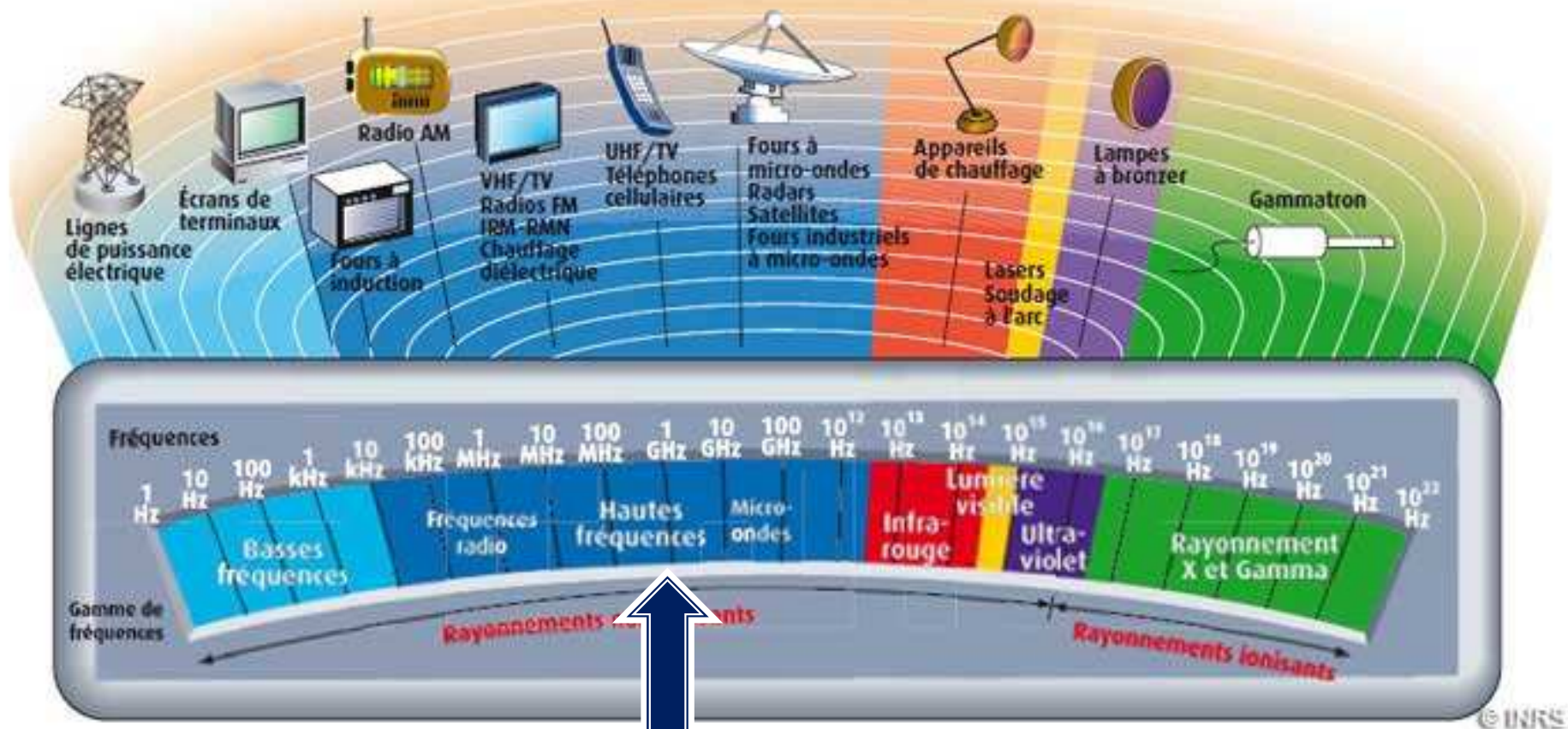
# CHAMPS DE FRÉQUENCE INTERMÉDIAIRE

- ▶ Fréquence entre 300 Hz et 10 MHz
- ▶ Artificiels
- ▶ Cuisson par induction, radiodiffusion, systèmes antivols...
- ▶ Valeurs limites calculées en fonction de la fréquence par l'ICNIRP
- ▶ Peu d'études sur les effets à long terme



Risque limité voire inexistant

# RADIOFRÉQUENCES



# RADIOFRÉQUENCES

- ▶ Fréquence entre 10 MHz et 300 GHz
- ▶ Artificiels
- ▶ Téléphonie, Wi-Fi, radio FM, TNT...
- ▶ Forte médiatisation
- ▶ En contact permanent avec la population
- ▶ En constante évolution



Nombreuses interrogations

# RADIOFRÉQUENCES

- ▶ Analyse de l'exposition différente selon les technologies
- ▶ Antennes relais, antennes de diffusion TNT et FM : mesure du champ électrique en V/m
- ▶ Téléphones mobiles, Wi-Fi : mesure du DAS (débit d'absorption spécifique) en W/kg.



# RADIOFRÉQUENCES

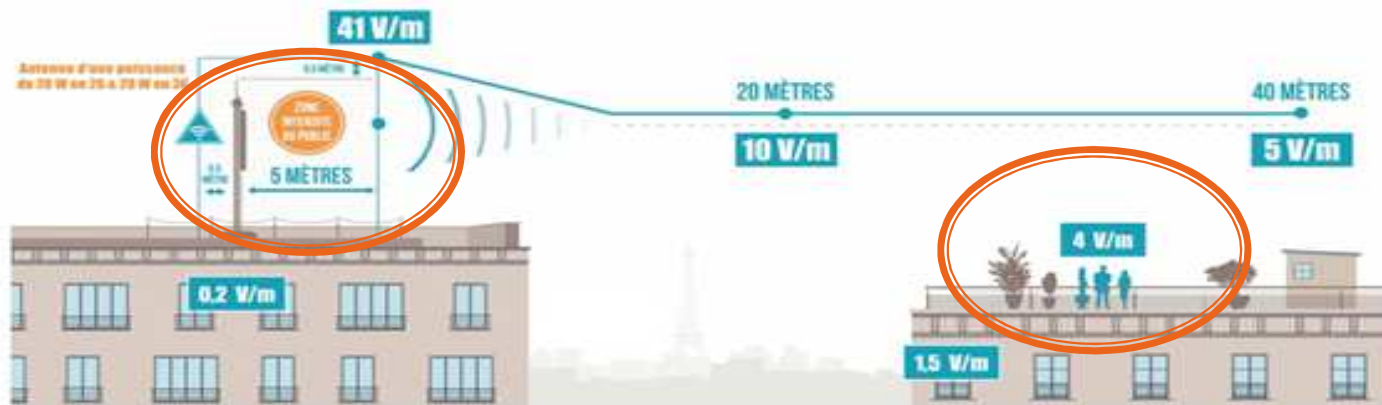
## Antennes relais, TNT et Wi-Fi

- ▶ L'ICNIRP définit les valeurs maximales avant apparition de courants induits, qui dépendent de la fréquence
- ▶ On obtient par exemple une limite de 28 V/m pour une antenne FM et 61 V/m pour antenne relais de réseau 3G
- ▶ Sont placées sur des toits afin de ne pas dépasser ces valeurs pour la population



# RADIOFRÉQUENCES

- ▶ En pratique, on obtient:



- ▶ Des valeurs supérieures aux maximales à moins de 5 mètres de l'antenne, mais zone inaccessible au public.
- ▶ Les valeurs deviennent rapidement acceptables à plusieurs dizaines de mètres de l'antenne.



Peu de risques sanitaires

# RADIOFRÉQUENCES

## Téléphones mobiles, Wi-Fi

- ▶ Le DAS mesure l'échauffement dû à l'absorption du rayonnement.
- ▶ Il doit être inférieur à  $2\text{W/kg}$  (tête et tronc)
- ▶ Obligatoirement renseigné par le fabricant sur la notice, dans les publicités et dans l'espace de vente
- ▶ Une définition du DAS est également imposée dans les lieux de ventes



# RADIOFRÉQUENCES

## Limites du DAS:

- ▶ C'est une valeur maximale et non une moyenne
- ▶ Mesuré sur une faible portion de tissu (10 grammes)
- ▶ S'il est faible, peut cacher une mauvaise performance en émission et réception du téléphone



# RADIOFRÉQUENCES

En pratique:

- ▶ DAS Apple iPhone 6 : 0,97 W/kg
- ▶ DAS Samsung Galaxy s5 : 0,50 W/kg



Faible risque d'échauffement

# RADIOFRÉQUENCES

- ▶ Le risque est donc relativement faible pour une exposition à court terme
- ▶ Qu'en est-il des effets à long terme?
- ▶ Très grand nombre d'études publiées
- ▶ Études les plus marquantes



# RADIOFRÉQUENCES

Effets sur la **reproduction et le développement**

- ▶ Apoptose des cellules testiculaires chez le rat
- ▶ Modification de l'ADN et ARN du trophoblaste de l'embryon humain
- ▶ Faible nombre d'études
- ▶ Faible nombre d'animaux
- ▶ Effets transitoires



Risque non avéré

# RADIOFRÉQUENCES

## Effets sur l'expression génique

- ▶ Modifications de l'expression de certains gènes et ainsi de la synthèse de certaines protéines
- ▶ Faible nombre d'études
- ▶ Effets transitoires
- ▶ Effets non potentiellement nocifs



Risque non avéré

# RADIOFRÉQUENCES

Effets sur le **stress oxydant**

- ▶ Augmentation de la production de ROS
- ▶ Diminution de la production de ROS
- ▶ Résultats contradictoires



Risque non avéré

# RADIOFRÉQUENCES

- ▶ Effets sur les neurones
- ▶ Diminution de la croissance cellulaire
- ▶ Diminution de l'apoptose
- ▶ Résultats contradictoires
- ▶ Obtenus à doses supérieures aux normes



Risque non avéré

# RADIOFRÉQUENCES

Effets sur la barrière hématoencéphalique

- ▶ Augmentation de la perméabilité de cette barrière chez le rat
- ▶ Une seule étude
- ▶ Effets jamais reproduits



Risque non avéré

# RADIOFRÉQUENCES

Effets sur l'électroencéphalogramme (EEG) et le sommeil

- ▶ Variations reportées
- ▶ Effets transitoires
- ▶ Pas de répercussions définies sur la santé
- ▶ Précisions nécessaires



Risque non avéré  
mais possible

# RADIOFRÉQUENCES

Effets sur les fonctions cognitives et sur la maladie d'Alzheimer

- ▶ Diminutions des troubles mémoriels et amélioration des fonctions cognitives chez le rat
- ▶ Faible nombre d'études fiables



Effet bénéfique non avéré  
mais possible

# RADIOFRÉQUENCES

## Effets **cancérigènes**

- ▶ Augmentation du nombre de cassures d'ADN
- ▶ Augmentation du nombre de gliomes
- ▶ Peu d'études fiables
- ▶ Études les plus récentes moins affirmatives



Risque non avéré mais possible

# RADIOFRÉQUENCES

Phénomène d'hypersensibilité

- ▶ Maux de tête, insomnie, fatigue, dépression, troubles cutanés...
- ▶ Aucun lien de causalité démontré
- ▶ Questionnement sur la composante psychologique (effet nocebo ?)



Nécessité d'une prise en charge médicale et psychologique

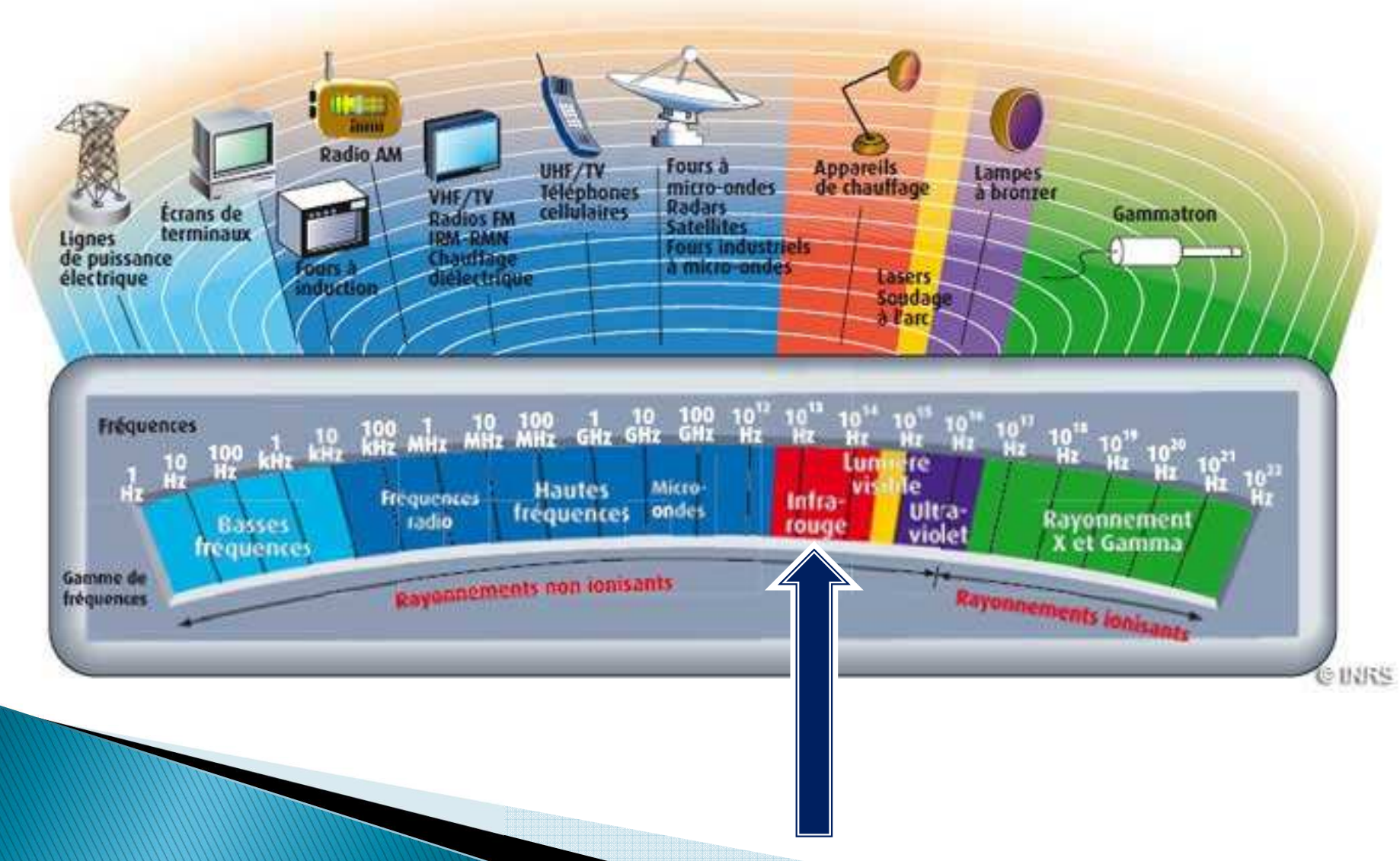
# RADIOFRÉQUENCES

En résumé :

- ▶ Effets à court terme connus
- ▶ Information et prévention en constante amélioration
- ▶ Aucun effet à long terme avéré
- ▶ Mais des interrogations qui persistent
- ▶ Continuer la recherche



# INFRAROUGE



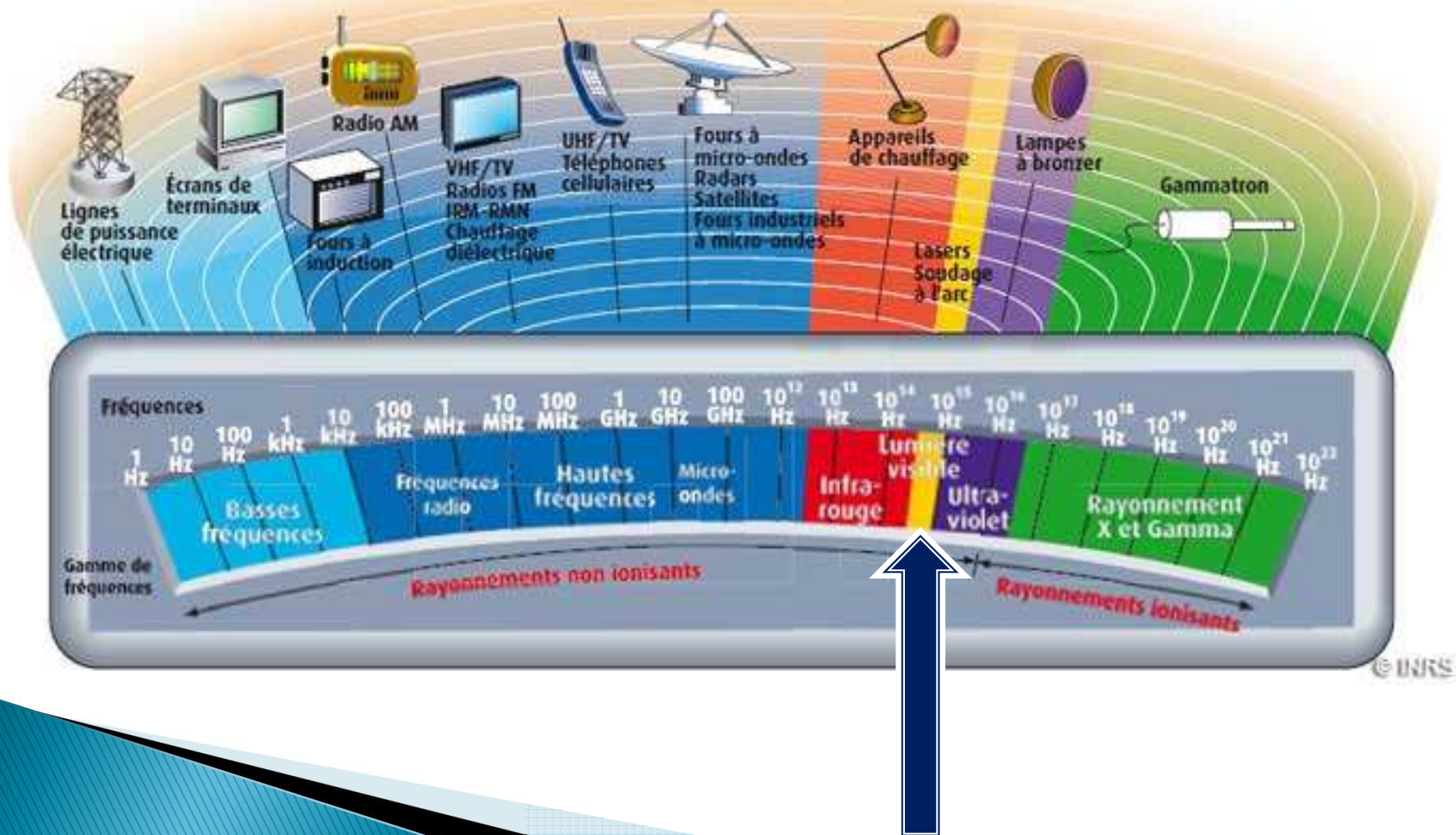
# INFRAROUGE

- ▶ Fréquence entre 300 GHz et 385 THz
- ▶ Longueur d'onde entre 780 et  $10^6$  nm
- ▶ Naturel ou artificiel
- ▶ ICNIRP: effets sur les yeux et la peau
- ▶ Prévention pour les travailleurs
- ▶ Aucun effet sur le long terme connu



Risques limités

# LUMIÈRE VISIBLE

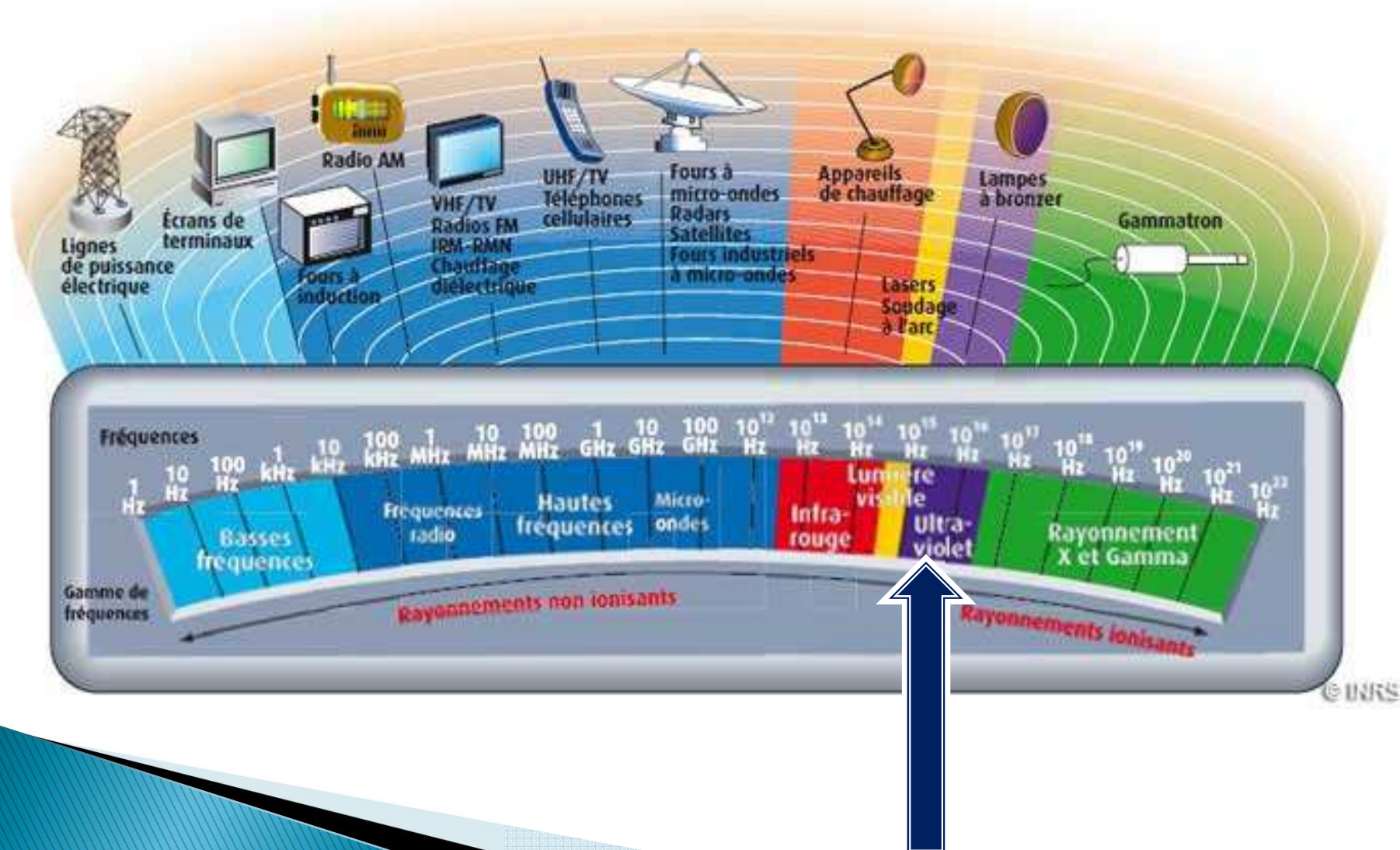


# LUMIÈRE VISIBLE

- ▶ Fréquence entre 385 et 750 THz
- ▶ Longueur d'onde entre 400 et 780 nm
- ▶ Naturelle ou artificielle
- ▶ ICNIRP : effets à court terme sur les yeux et la peau
- ▶ Possible effet à long terme par stress oxydatif
- ▶ Importance de la prévention



# ULTRAVIOLET



# ULTRAVIOLET

- ▶ Fréquence entre 375 THz et 3 PHz
- ▶ Longueur d'onde entre 100 et 400 nm
- ▶ Naturel ou artificiel
- ▶ ICNIRP : effets à court terme sur la peau et les yeux



# ULTRAVIOLET

## Effets cancérigènes

- ▶ Avérés depuis plusieurs années
- ▶ Classé comme première étiologie pour trois types de cancers cutanés par le CIRC
- ▶ Epithéliomas basocellulaires (EBC)
- ▶ Epithéliomas spinocellulaires (ESC)
- ▶ Mélanomes malins



Risque avéré

# ULTRAVIOLET

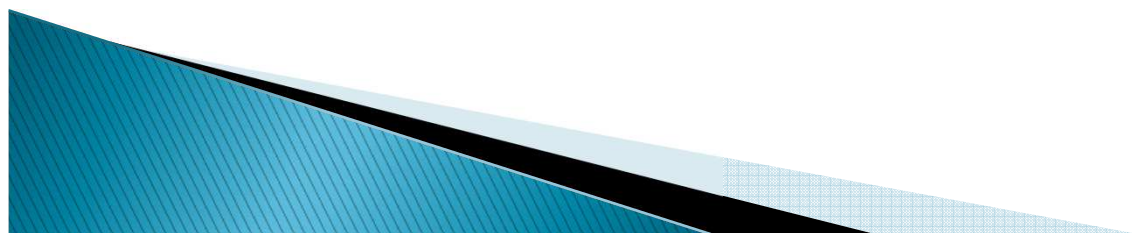
## En résumé:

- ▶ Effets à court et long terme avérés
- ▶ Nécessité d'information et prévention
- ▶ Comportement
- ▶ Protection de la peau
- ▶ Lunettes
- ▶ Attention à l'utilisation de certains médicaments



# CONCLUSION

- ▶ Les études n'ont montré aucun effet avéré, mais certains résultats laissent planer des interrogations
- ▶ Champs électromagnétiques non ionisants condamnés à rester polémiques
- ▶ Poursuite des recherches nécessaires
- ▶ Prévention et protection
- ▶ Rôle du professionnel de santé



# MERCI POUR VOTRE ATTENTION



« L'expérience ne se trompe jamais, ce sont nos jugements qui se trompent. »

Léonard de Vinci