



---

# ***Dosimétrie et Métrologie en RF***

Joe Wiart, Man Fai Wong, Azedine  
Gati, Olivier Colas, Emanuel  
Larcheveque

France Telecom RD





# *Plan de l'exposé*

- Les grandeurs physiques
- Les limites
- Evaluation des niveaux d'exposition



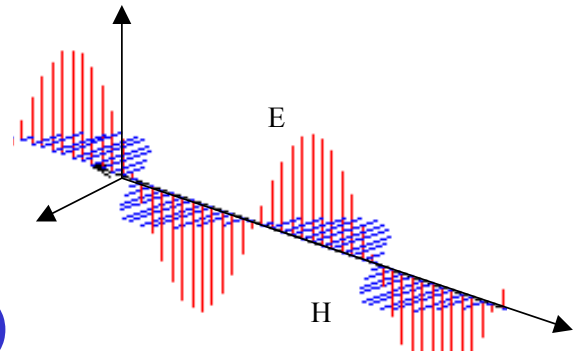
# *Les grandeurs physiques utiles en dosimétrie RF*



- Le champ électrique (**E**)

- Le champ magnétique (**H**)

- Le débit d'absorption spécifique ( **SAR** ou **DAS** en **W/kg**)



# Quantification de la puissance absorbée par les tissus

Dans le domaine des RF l'indicateur d'exposition est le **DAS**

•Energie absorbée

•Masse

•Temps

*DAS (Débit d'Absorption Spécifique)*

{ SAR - Specific Absorption Rate }

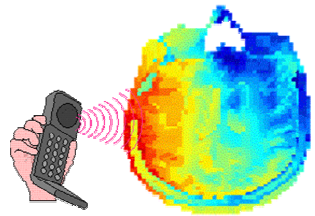
$$SAR = \frac{d\left(\frac{dW}{dm}\right)}{dt}$$



# *Evaluation du DAS*

- Via le champ électrique

$$SAR = \frac{\sigma E^2}{2\rho}$$



- Via la température

$$SAR = \frac{cdT}{dt} (\text{à } t = 0)$$





# *Les limites de protection en RF*

Les restrictions de base : Limites de protection fondamentales, exprimées en watt/kg

Les niveaux de référence : Utiles pour vérifier la conformité aux restrictions de base, exprimées en V/m ou A/m ou W/m<sup>2</sup>

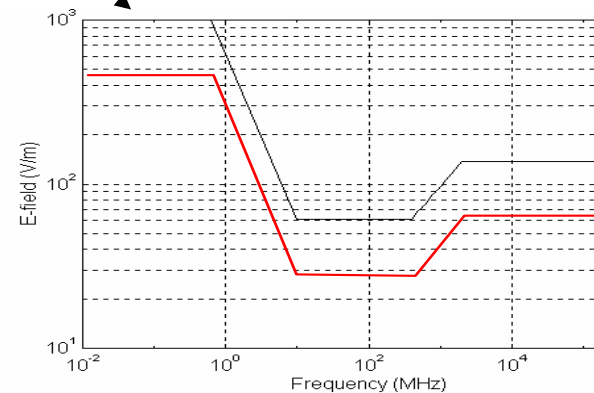
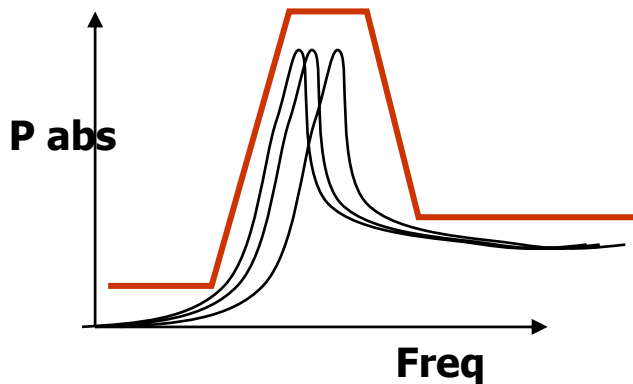
*Un système peut être conforme en DAS avec des niveaux E et H au dessus des niveaux de référence*



# Des Restrictions de base aux Niveaux de Référence



- **1**: Estimation ( via le calcul et la mesure) des la puissance absorbée par des personnes de morphologie variée
- **2** : Détermination de l'enveloppe globale
- **3** : Établissement des niveaux de référence





# *Estimation de l'exposition*

- *DAS dans l'individu*
  - à comparer avec les restrictions de base
  
- *E, H en l'absence de l'individu quand les couplages personnes/sources sont négligeables à*
  - à comparer avec les niveaux de référence



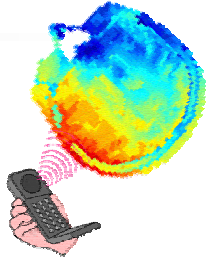




# *Restrictions de base recommandées par l'ICNIRP*



## Restrictions de Base en w/kg



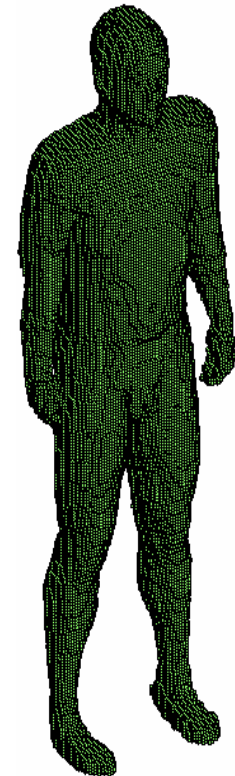
- Les effets sanitaires (comportemental) sont avérés au dessus de 4 W/kg (moyenne sur le corps entier)
- Les Limites de l'ICNIRP
  - ./10 pour les travailleurs
  - ./50 pour le public

Basic restrictions	Public	Workers
Whole body SAR (W/kg)	0.08	0.4
Local SAR (W/kg) Head - Trunk	2	10
Local SAR (W/kg) Limbs	4	20





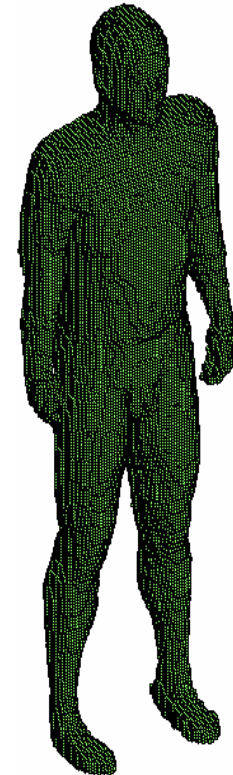
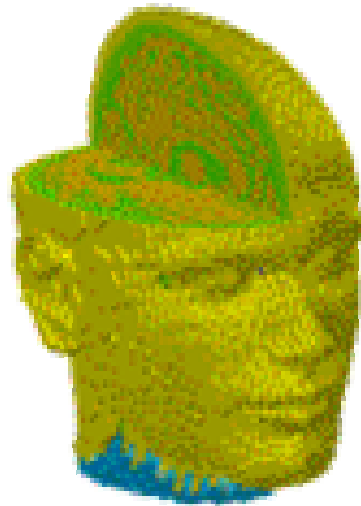
*Evaluation du Débit  
d'Absorption  
Spécifique*





# Mesure des niveaux d'exposition dans l'individu (1)

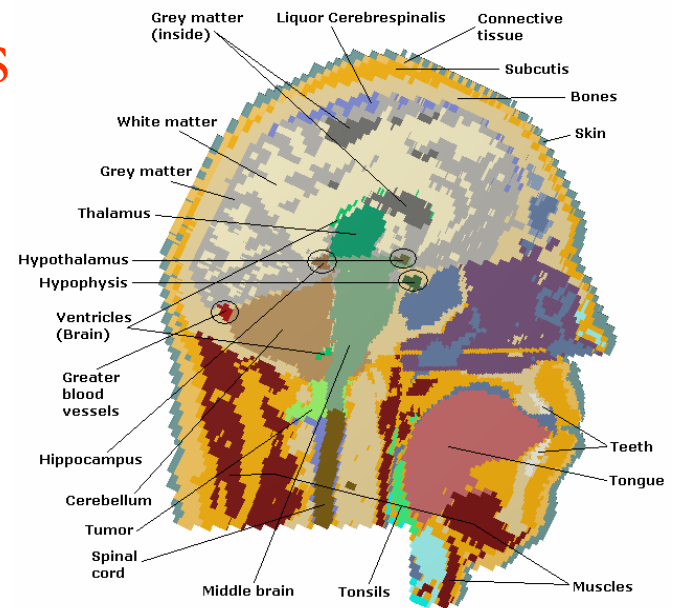
La mesure directe des niveaux  
d'exposition dans les tissus humains  
vivants pose des problèmes  
éthiques



# Mesure des niveaux d'exposition dans l'individu (2)

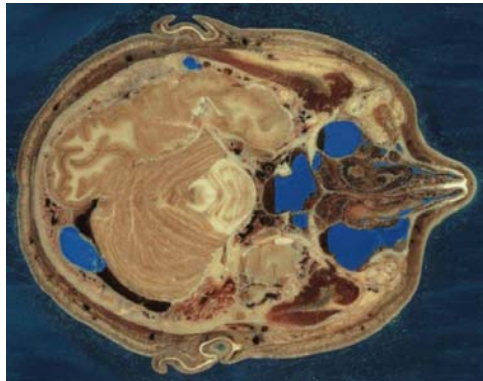


La mesure directe des niveaux est confrontée à l'hétérogénéité des tissus qui pose des **problèmes techniques**





# *Des tissus biologiques hétérogènes et dispersifs*



Tissue	400 MHz		2GH		3 GHz	
	Epsilon	Sigma	Epsilon	Sigma	Epsilon	Sigma
Blood	64,18	1,35	59,02	2,19	57,35	3,05
Bone_Cortical	13,15	0,09	11,65	0,31	11,07	0,51
Bone_Marrow_Infilt	11,87	0,18	10,56	0,38	10,01	0,56
CSF	71,00	2,25	66,91	3,07	65,39	4,01
Dura	46,67	0,83	42,62	1,42	41,34	2,01
Fat	5,58	0,04	5,33	0,09	5,22	0,13
Grey_Matter	57,43	0,74	49,69	1,51	48,05	2,22
Heart	66,10	0,96	55,82	1,91	53,74	2,73
Muscle(Paral_Fiber)	58,82	0,84	55,05	1,56	53,65	2,33
White_Matter	42,07	0,44	36,73	1,00	35,54	1,51





# *Etat de l'art*



La mesure directe de DAS est impossible

**Mais**

Il est possible de mesurer le DAS dans des liquides homogènes et il est possible de l'évaluer numériquement dans les tissus.

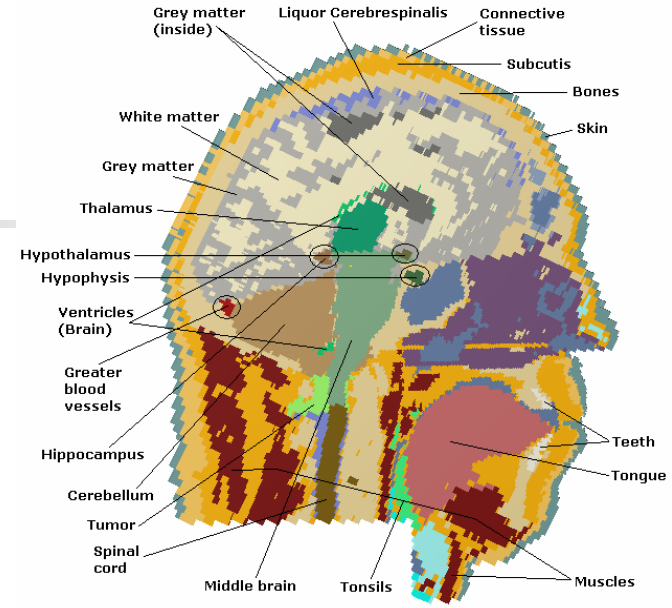
L'évaluation du DAS dans les tissus hétérogènes est donc une combinaison de deux approches

Des études ont été (et continuent à être) menées mondialement pour définir des modèles et des liquides qui surestime le DAS induit dans les tissus vivants

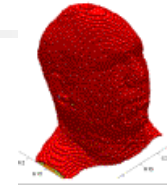




# *Evaluation numérique du DAS*



# Élaboration des modèles hétérogènes

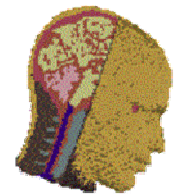
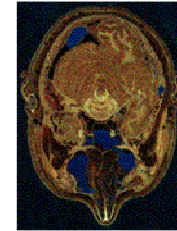
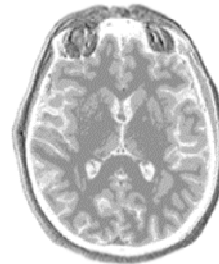


Les modèles viennent

- De coupes (VH)
- D'IRM

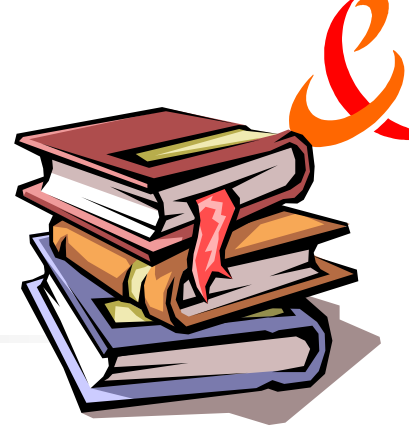
Via une segmentation

- Reconnaissance de  
tissus



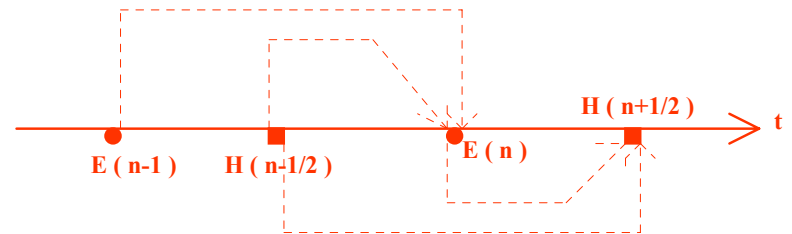
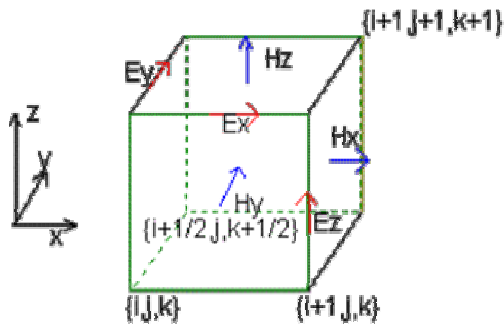
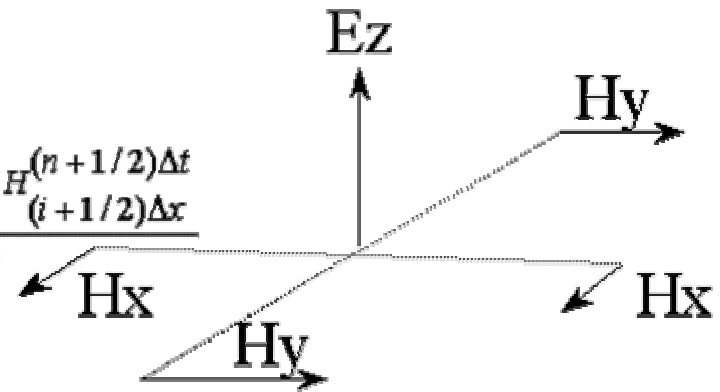


# Calcul via une méthode numérique



## FDTD

$$\frac{\partial E}{\partial x} = \mu \frac{\partial H}{\partial t} \Rightarrow \frac{E^{n\Delta t} - E^{(n+1)\Delta t}}{\Delta x} = \mu \frac{H^{(n-1/2)\Delta t} - H^{(n+1/2)\Delta t}}{\Delta t}$$





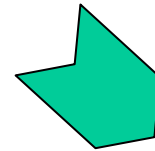
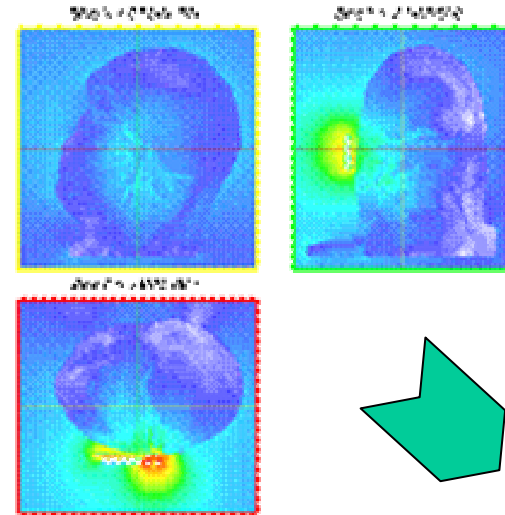
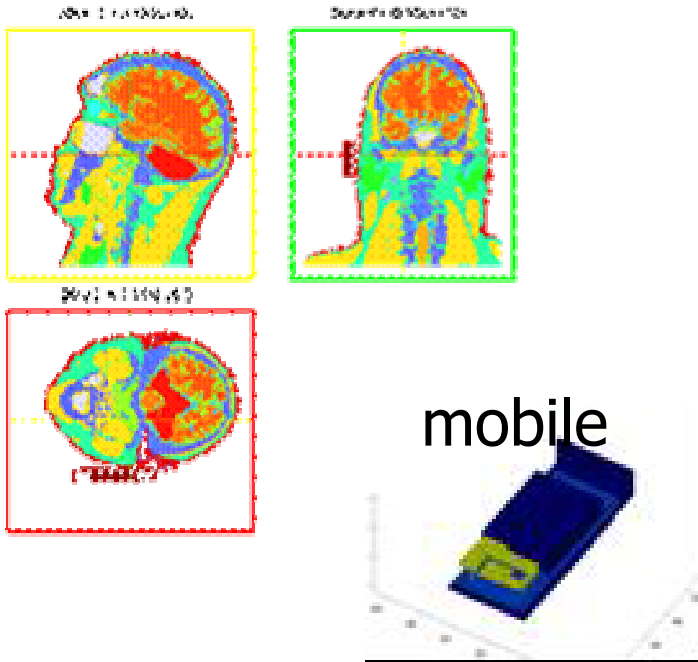
# Exemple d'évaluation (1)



fantôme

Champ électrique

Méthode Numérique

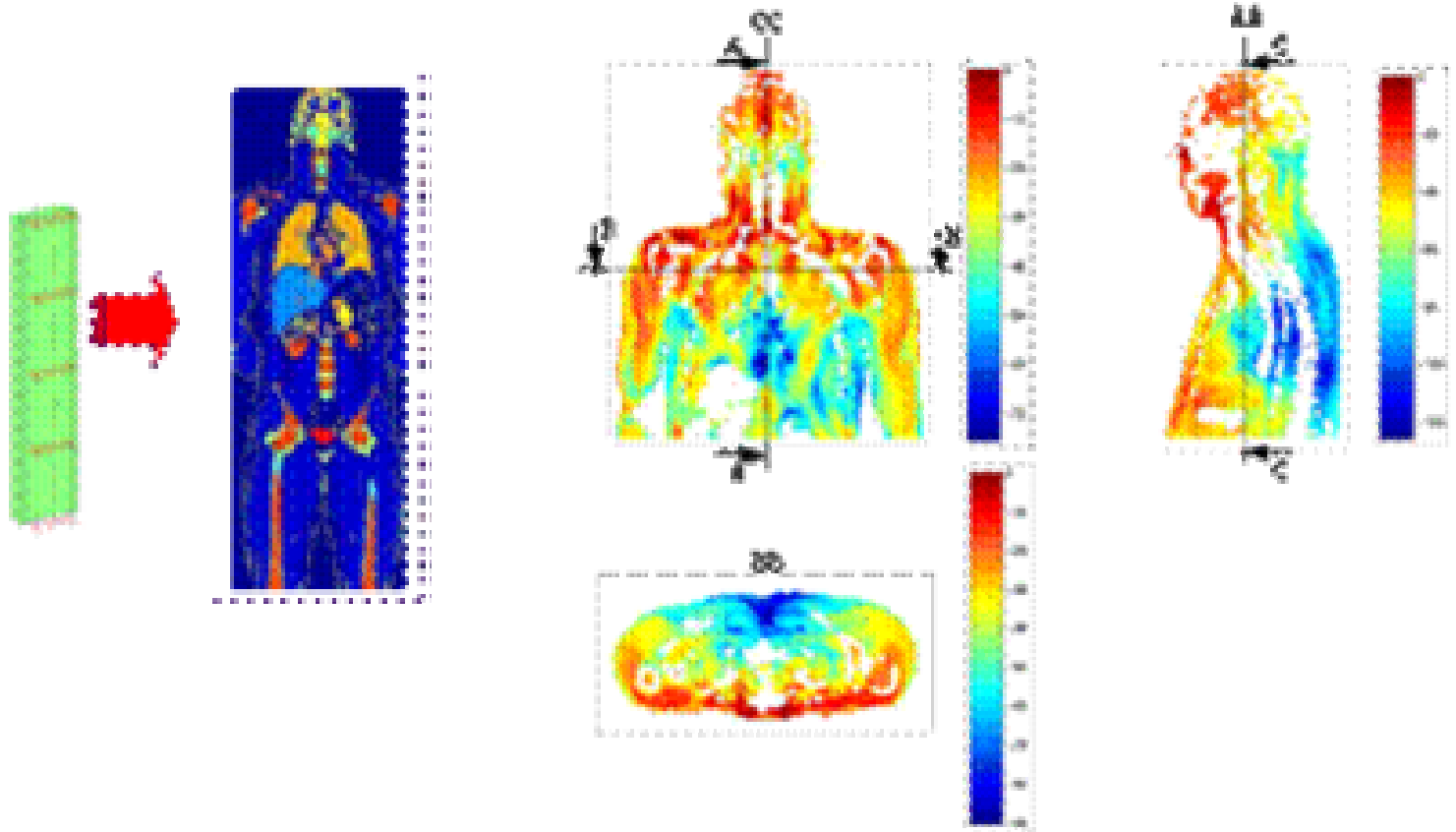


**SAR**





# Exemple d'évaluation (2)





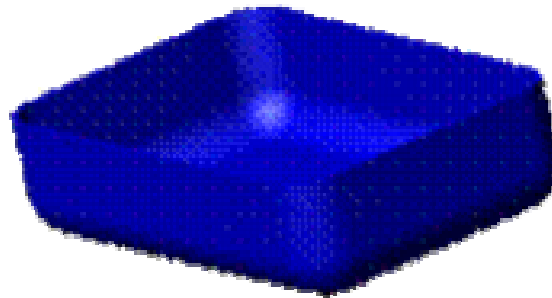
# *Modèle homogène*

Definition d'un modèle  
homogène  
surestimant le DAS:

Forme

- SAM
- Fantome plan

Liquide



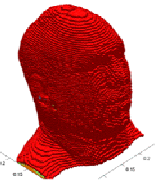


# Representativité des modèles

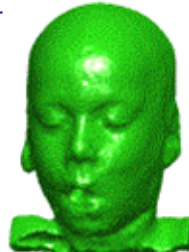
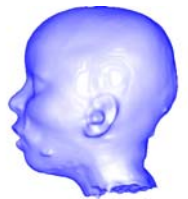
SAM assure t il une surestimation du DAS pour les adultes? ( travaux de Comobio)

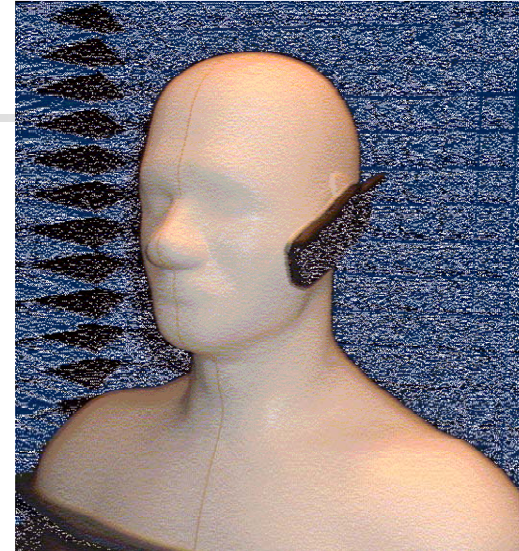


SAM est valide pour les enfants? ( travaux de ADONIS)



Les liquides utilisés pour la tête sont valides pour d'autre partie du corps?





---

*Evaluation  
expérimentale*

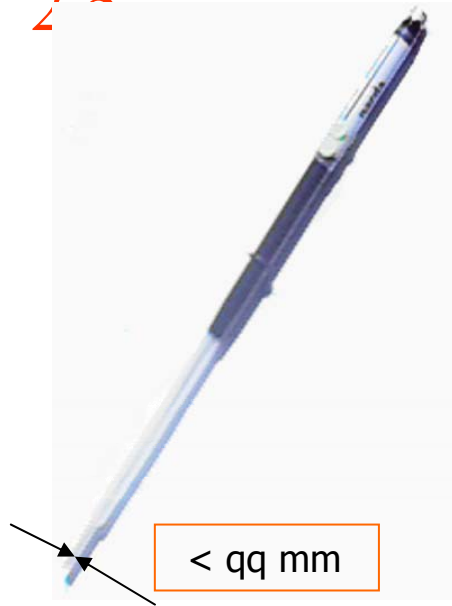
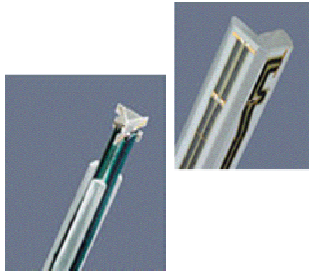




# Mesure du SAR dans des liquides homogènes.

## Via le champ électrique

$$SAR = \frac{\sigma E^2}{2 \omega}$$

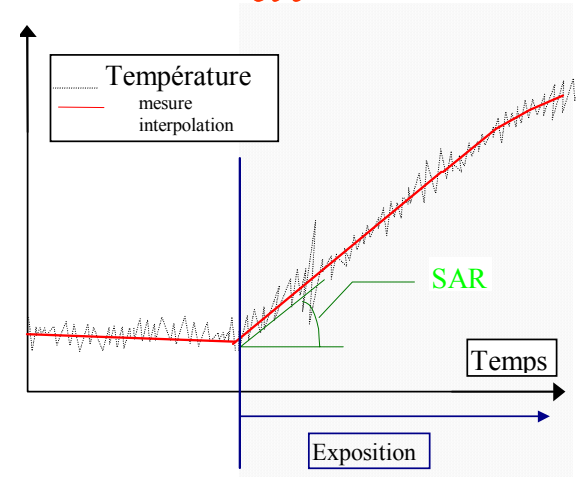


< qq mm

Des travaux sont menés pour réduire la taille des sondes mais avec des problèmes de sensibilité

## Via la température

$$SAR = \frac{cdT}{dt} (\text{à } t = 0)$$

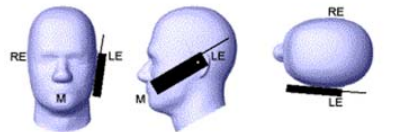




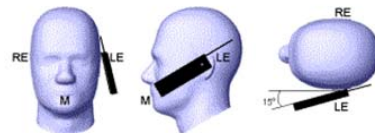
# Exemple de mesure de SAR (1)



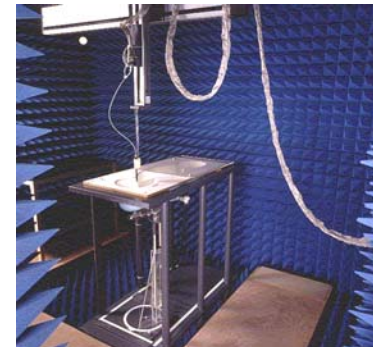
Mobile: Normes Européenne  
EN50360 & EN50361



"Cheek" position of the wireless device on the left side



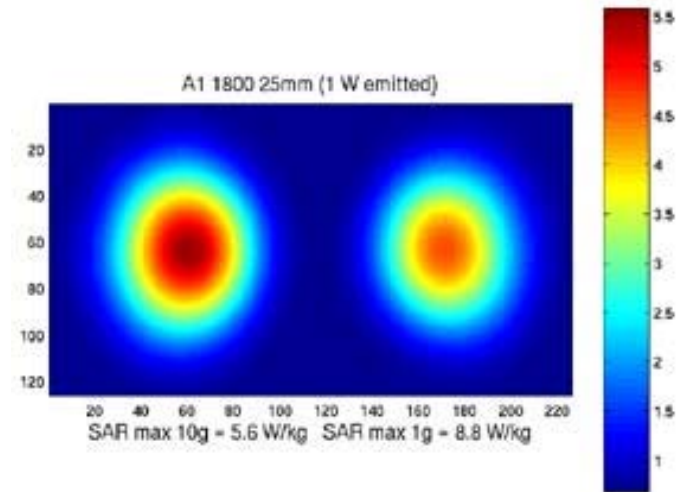
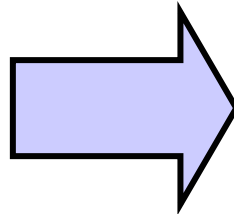
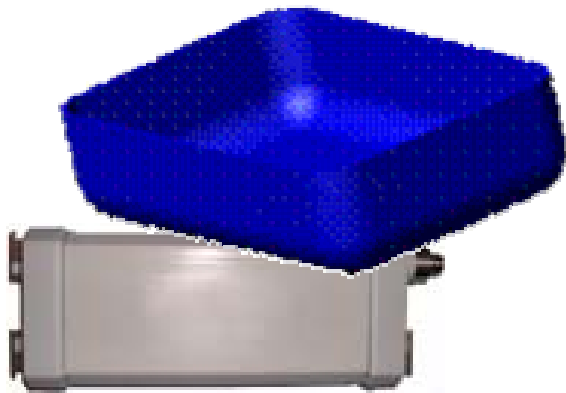
"Tilt" positions of the wireless device on the left side







# Exemple de mesure de SAR (2)



Station de base Normes Européenne 50383, EN50384 & EN50385





# *Incertitudes*

- Les incertitudes relatives à l'estimation sur 10 grammes
- Les incertitudes liées à la chaîne de mesure

*Erreur  $\sim$  30%*





# *Evaluation du niveau d'exposition "in situ"*





# *Les vecteurs $E$ et $H$*

**Pour une source seule et en espace libre  
en champ lointain**

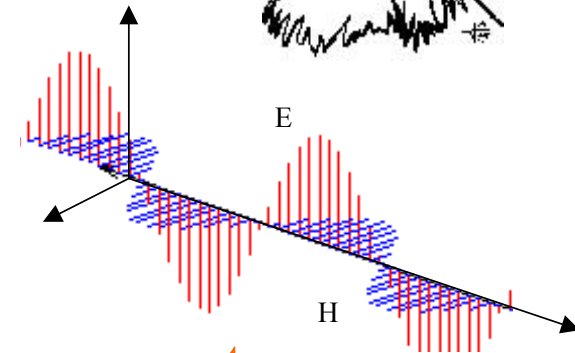
- $E$  et  $H$  orthogonaux
- $E/H$  constant et réel

**en champ proche**

- $E$  et  $H$  non orthogonaux
- $E/H$  dépendant de la distance

**Pour une source réelle en environnement  
réel**

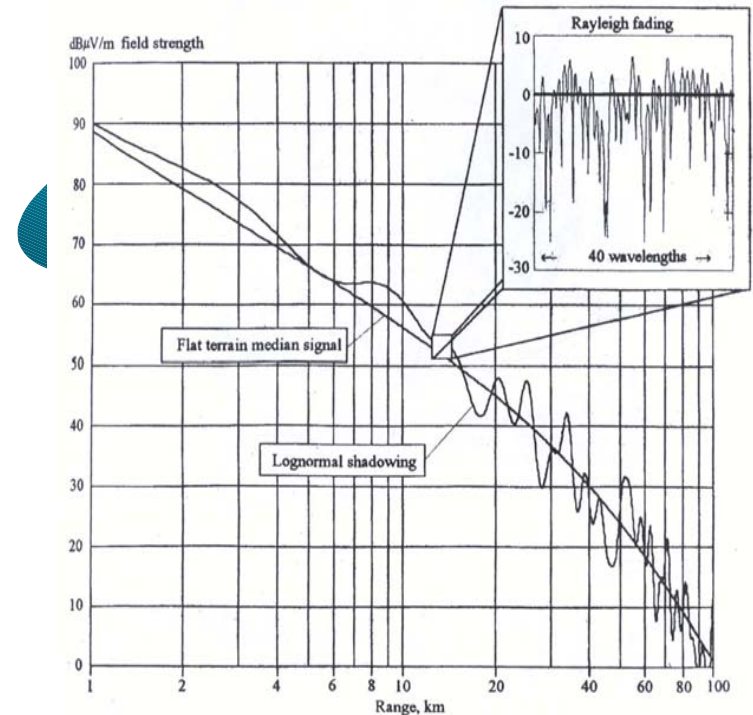
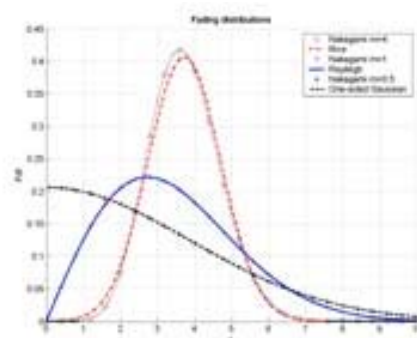
- multitrajets
- souvent proche de réflecteurs
- soumise au trafic





# Variations spatiales

Des évanouissements  
dont les lois statistiques  
difficiles à classer suivant  
les environnements



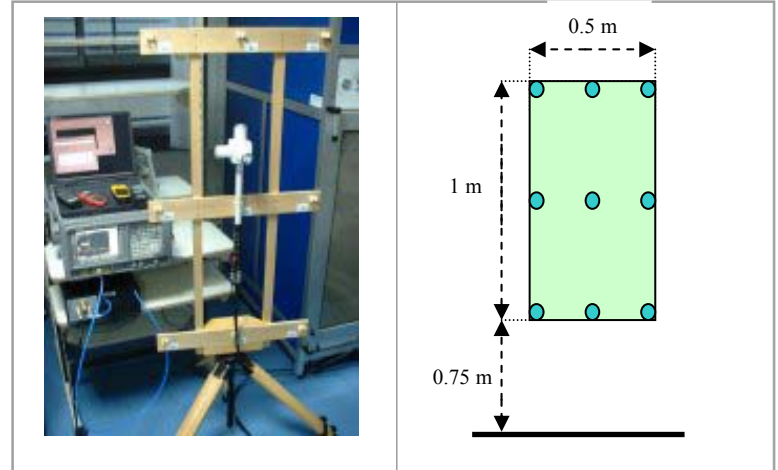
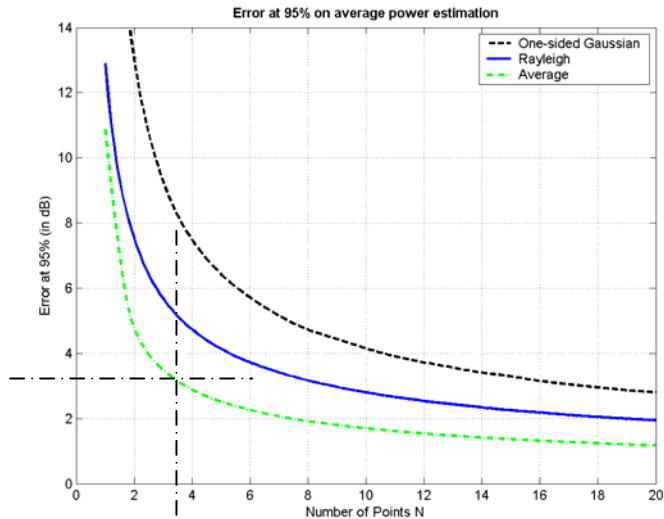
( COST 281, projet EUREKA Base  
expo et projet RNRT ADONIS)





# Evaluation de la moyenne

- Combien de points?
- Pour quelle précision?



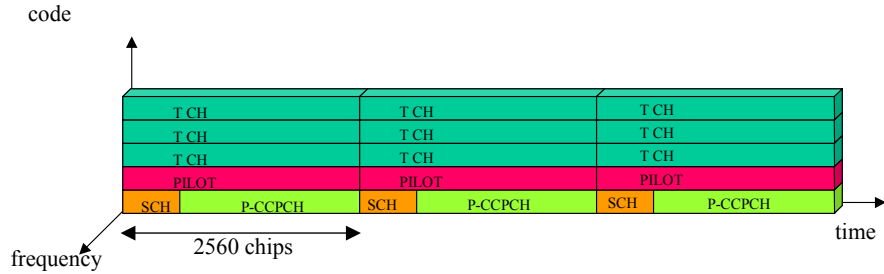
# Le Trafic cas de l'UMTS



- France



- *ADONIS (SP: ISIS)*

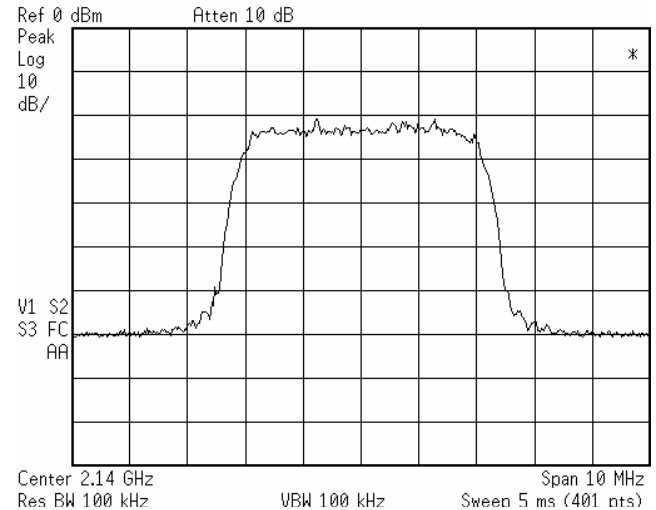


- Europe

- *COST 281*



- *CENELEC*





# *Dosimétrie individuelle*

- Des dosimètres "large bande" existent
  - *Simple*
  - *Limités dans les environnements multifréquence*
- Des travaux ont été menés en France pour mettre au point un dosimètre individuel sélectif en fréquence
  - *Plus encombrant que les "large bande"*
  - *Parfaitement adaptés aux environnements multiantenne*





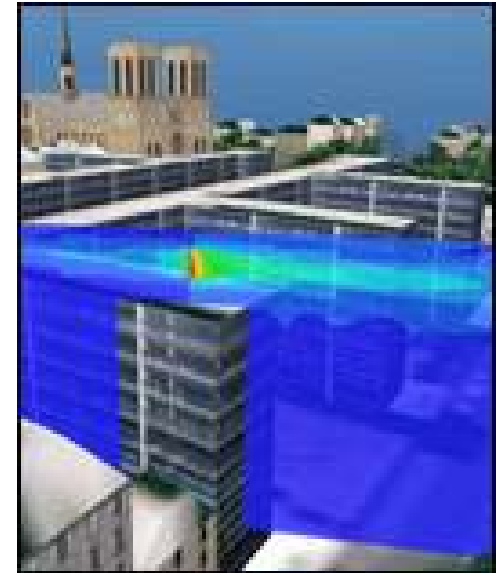


# Outils de Prédiction

*Des efforts sont mis en œuvre pour développer des outils de prédiction près des antennes en combinant les champs émis par différentes antennes*

- *FTRD mode sphérique*
- *Supelec mode cylindrique*

*Des efforts sont également mis en œuvre pour évaluer les champs dans l'environnement proche de l'antenne (eg. EMF Visual)*



- **développement de EMF Visual**
- **Projet RNRT ORPPER**





# *Normes dans le domaine RF*

- **Mobile**
  - *CENELEC EN50360&EN 50361*
  - *IEC part1 & part2 (part1 en phase d'adoption va remplacer la normes « de base » du CENELEC*
- **Station de Base**
  - *CENELEC « to put on the market »*
  - *CENELEC « to put into service » en phase d'adoption*
  - *CENELEC « in situ measurement » en phase de rédaction*
  - *IEC a un nouveau projet « base station measurement. »*



