



principes de l'évaluation numérique de l'exposition des personnes aux ondes radiofréquences

D. Lautru, V. Monebhurrin, M.F. Wong et al

david.lautru@upmc.fr

vikass.monebhurrin@supelec.fr

manfai.wong@orange-ftgroup.com



Plan

- Des interactions Ondes-Personnes
- Du Débit d'Absorption Spécifique (DAS)
- Des valeurs limites d'exposition et des grandeurs physiques
- Des sources
- Des couplages
- Des modèles de corps
- Des perspectives



2009

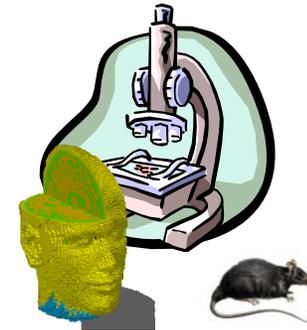
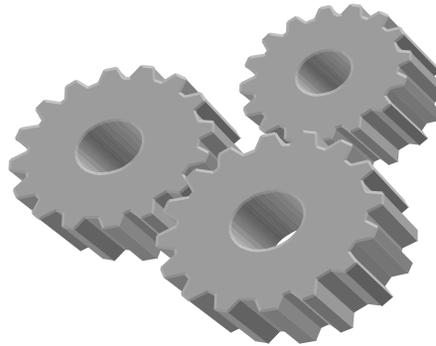
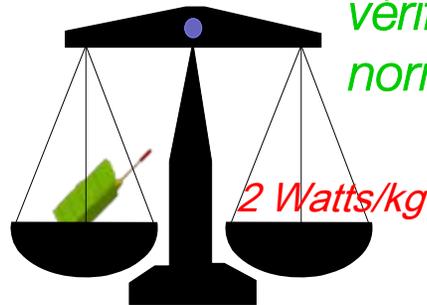


unrestricted



Objectifs de la dosimétrie

- *Estimer les champs ou la puissance absorbée pour vérifier la conformité aux normes*



- *Connaître le champ dans les tissus pour permettre aux biologistes de conclure*



- *Estimer les niveaux de champs induits par un mobile et une station de base en fonctionnement réel*



2009

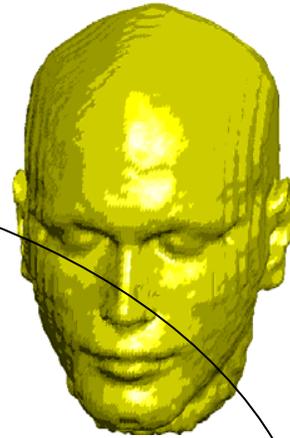
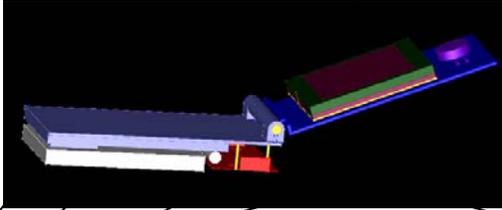
UPMC
PARIS UNIVERSITAS

Supélec

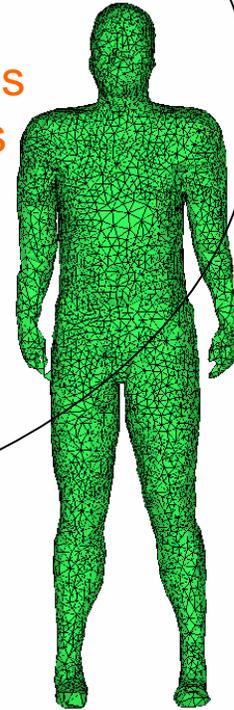
unrestricted



source EM – corps humain



Champs électromagnétiques
Ondes électromagnétiques



2009



unrestricted



Equation de Pennes (1948)

- Equation de la chaleur dans les tissus (bioheat equation)

Variation de l'énergie

thermique stockée

Conductivité thermique

$$\underbrace{C(\mathbf{r})\rho(\mathbf{r})}_{\text{Variation de l'énergie thermique stockée}} \frac{\partial T(\mathbf{r}, t)}{\partial t} = \underbrace{\nabla \cdot (K(\mathbf{r})\nabla T(\mathbf{r}, t))}_{\text{Conductivité thermique}}$$

W/m³=J/s/m³

σE^2

Métabolisme

Perfusion sanguine

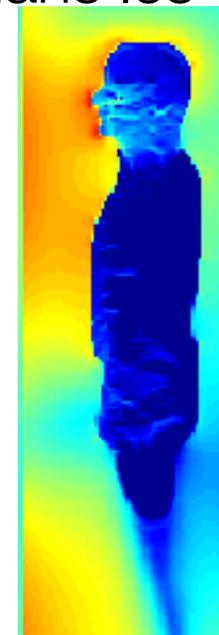
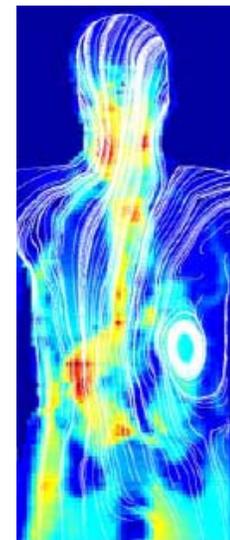
Débit d'Absorption Spécifique

Débit d'absorption ou d'évacuation



grandeurs physiques dans le corps

- courant induit J
 - exprimé en A/m^2
 - lié à la stimulation des tissus (système nerveux central)
- puissance absorbée par unité de masse dans les tissus
 - SAR (Specific Absorption Rate)
 - \Leftrightarrow DAS (Débit d'Absorption Spécifique)
 - exprimé en Watt par kilogramme (W/kg , ...)
 - lié à l'absorption d'énergie



2009



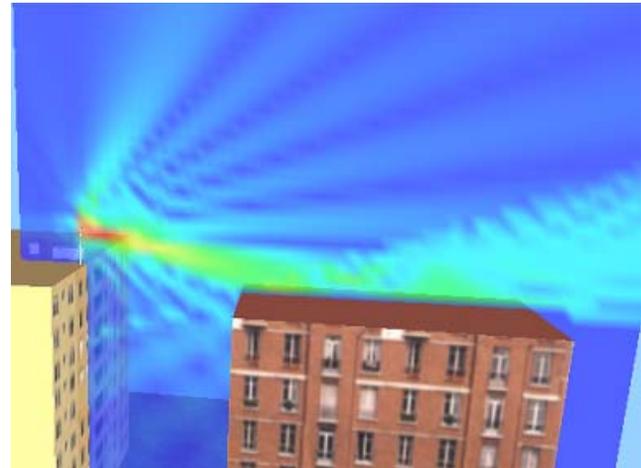
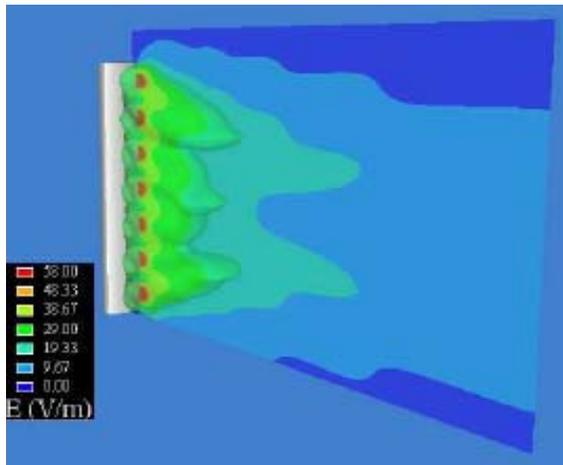
unrestricted



grandeurs physiques en l'absence du corps

- champ électromagnétique

- champ magnétique H en Ampère par mètre (A/m, dBmA/m, ...)
- champ électrique E en Volt par mètre (V/m, dBmV/m, ...)
- densité de puissance S en Watt par mètre carré (W/m^2 , ...)

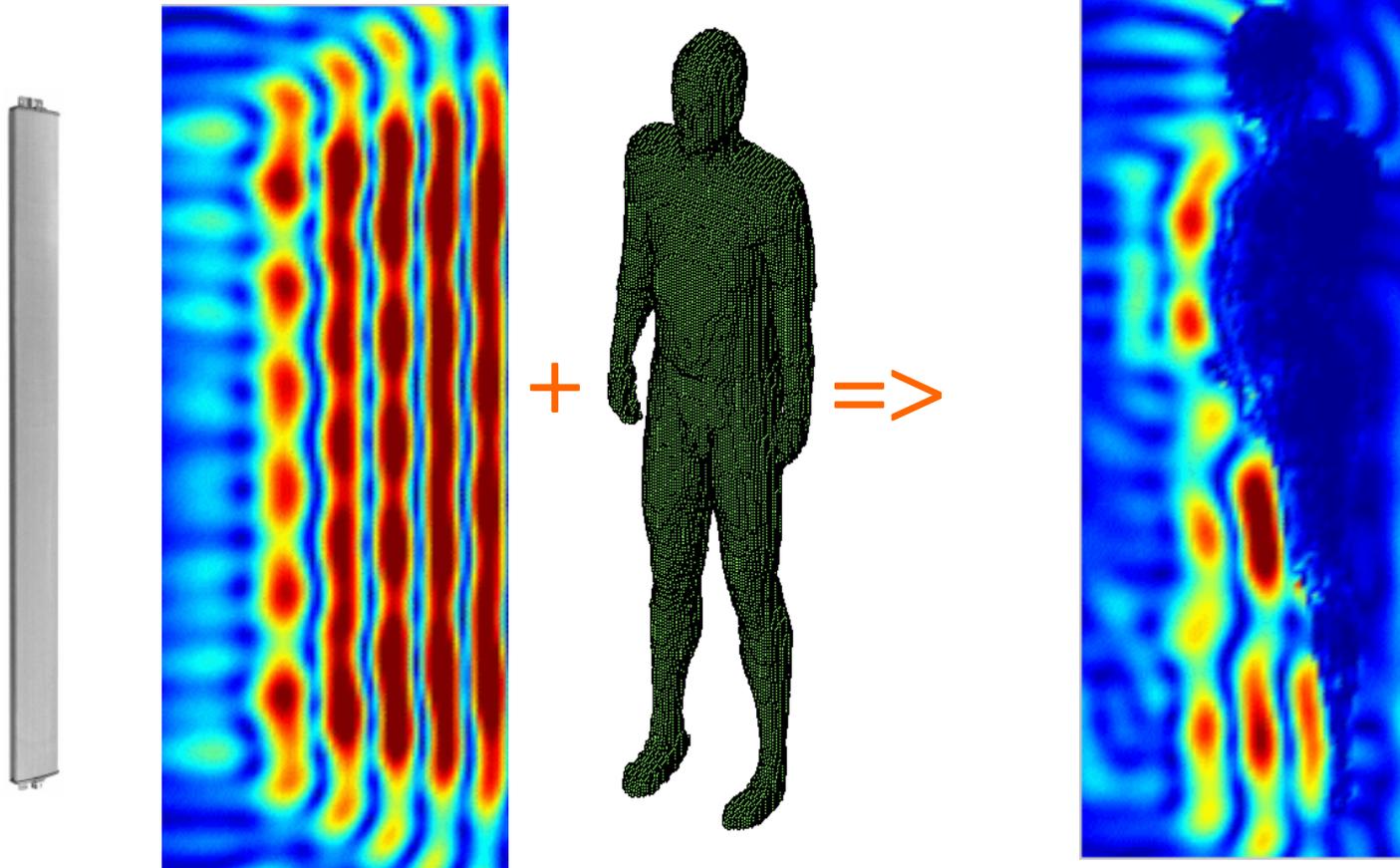


2009

Relation champ incident et absorption dans des tissus

Champ E

DAS



Champ incident en l'absence de la personne

Champ induit dans la personne : absorption des ondes



2009

UPMC
PARIS UNIVERSITÉS

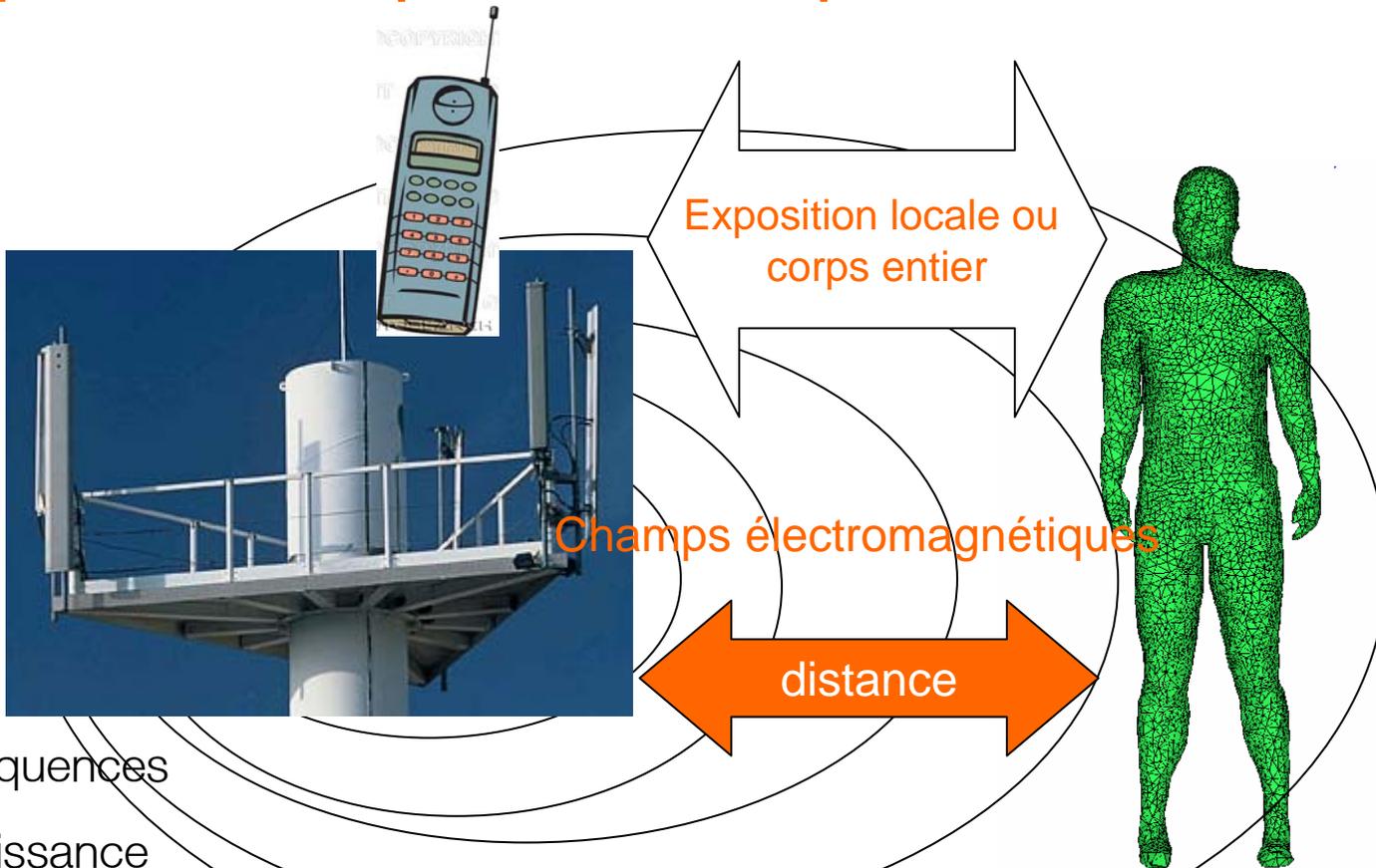


Supélec

unrestricted



quels sont les paramètres importants ?

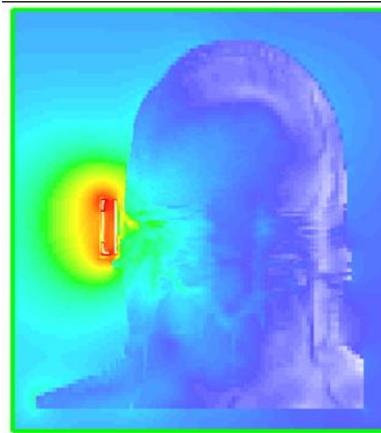
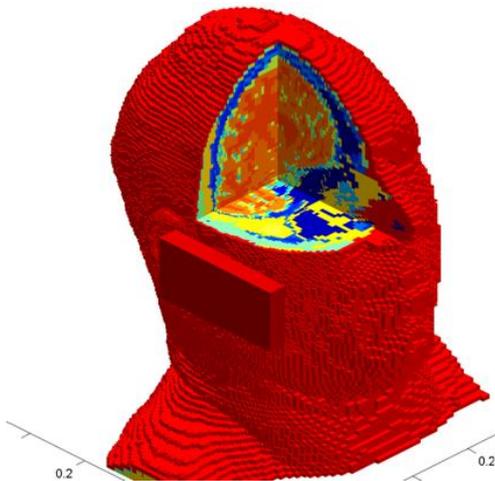


- fréquences
- puissance
- variation temporelle
- types d'antennes

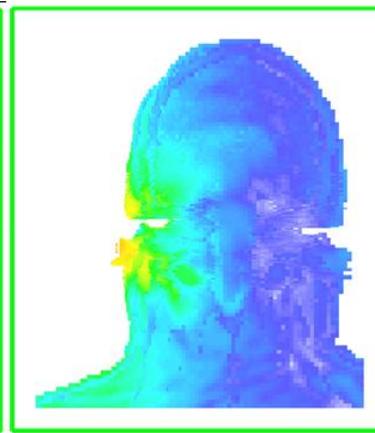
- milieu, environnement
- personne
- géométrie
- propriétés diélectriques



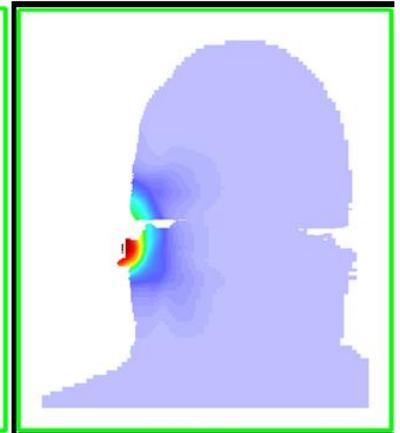
Téléphone portable et DAS



$20\log E$



$10\log DAS$



DAS (lin)



2009

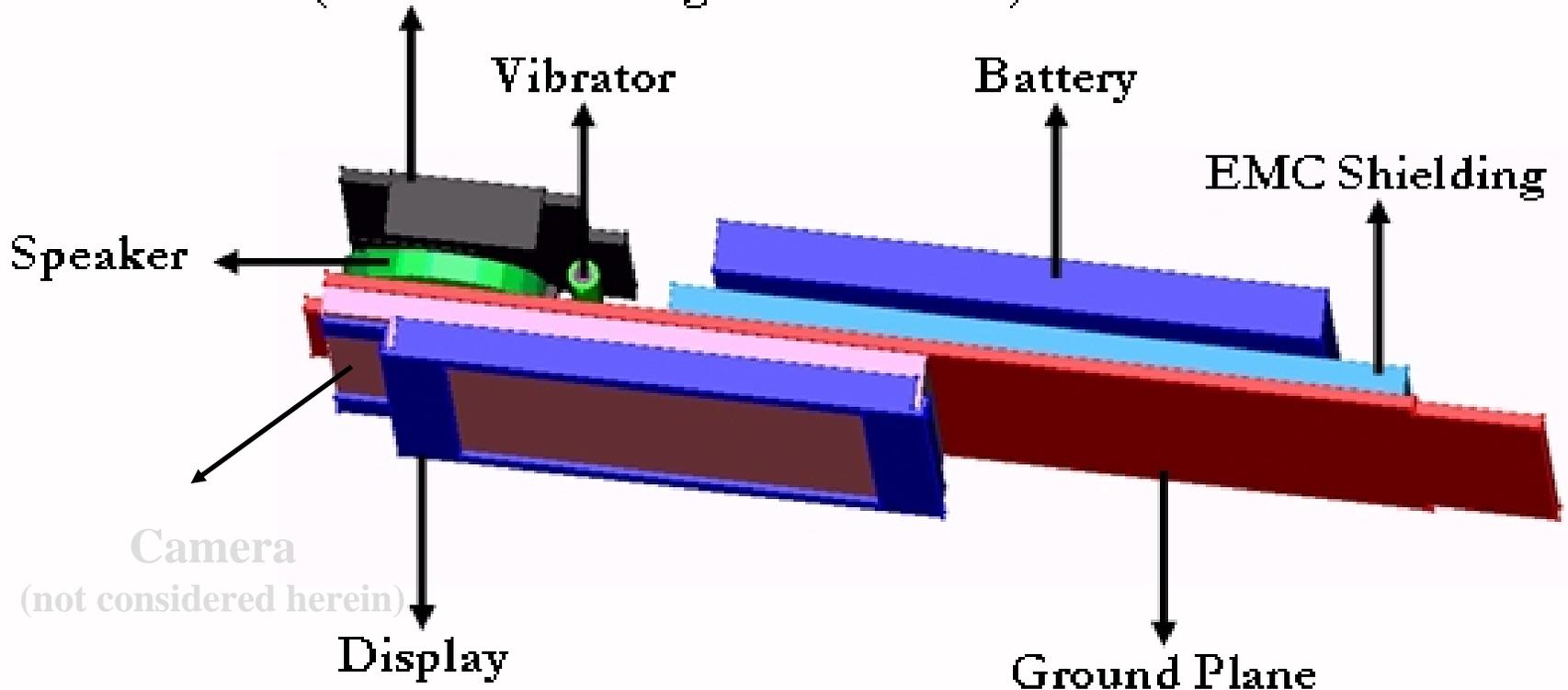


unrestricted



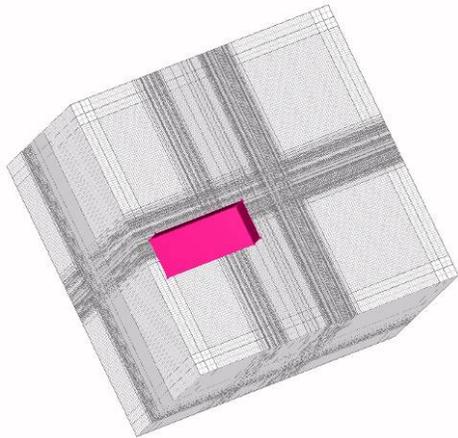
Modélisation d'un téléphone mobile, quels sont les éléments importants ?

Antenna (includes Shorting-Pin and Feed)



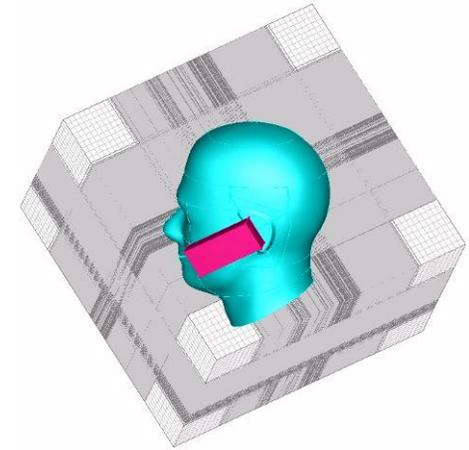
(les dimensions et les positions dépendent du modèle de téléphone mobile considéré)

Maillage et temps de calculs



Maillage généré par un modèle de mobile commercial

La densité du maillage global est dicté par le mobile



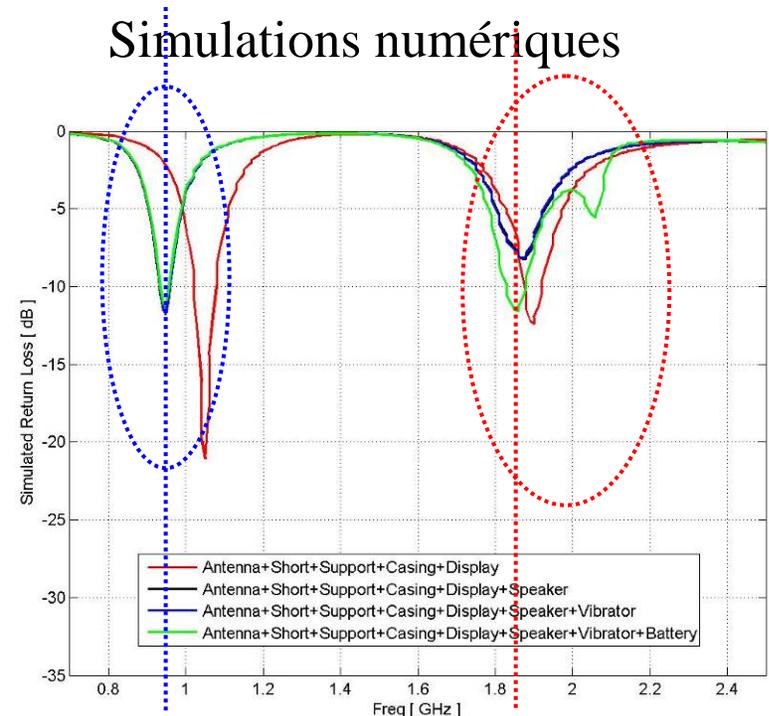
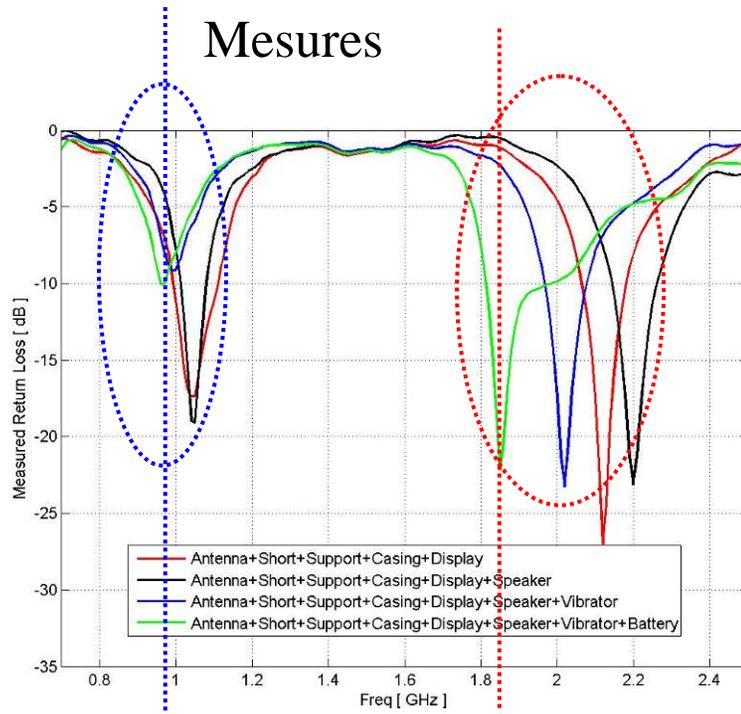
Maillage généré par un modèle de mobile commercial + fantôme SAM

Maillage par défaut ($\lambda/20 - \lambda/10$):
requiert 12-24 heures pour les calculs avec la tête!



Pas pratique pour optimiser les performances de l'antenne
(e.g. par une étude paramétrique)

Influence des éléments pris en compte sur l'adaptation de l'antenne



900 MHz : bonne concordance

1800 MHz : Mêmes fréquences de résonance (moins profond)

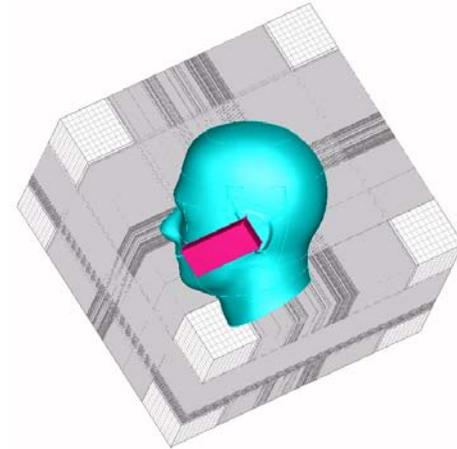
Même comportement observé avec un autre logiciel de simulation numérique

Influence des éléments pris en compte sur le DAS

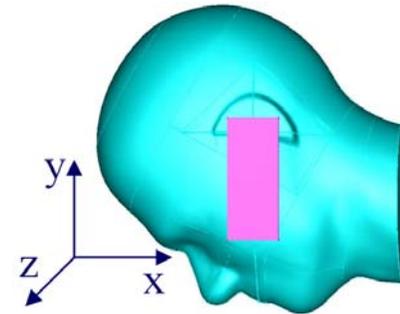
Toutes les valeurs sont normalisées par rapport à la puissance effectivement acceptée par l'antenne (i.e. le return loss n'est pas pris en compte)

Éléments du mobile	DAS10g [W/kg]	
	900 MHz	1725 MHz
Antenne + Court Circuit	1.50	0.44
Antenne + Court Circuit + Support	1.30	0.43
Antenne + Court Circuit + Support + Coque (boîtier)	1.30	0.44
Antenne + Court Circuit + Support + Coque + Ecran	1.07	0.62
Antenne + Court Circuit + Support + Coque + Ecran + Haut parleur	0.90	0.59
Antenne + Court Circuit + Support + Coque + Ecran + Haut parleur + Vibreur	0.92	0.57
Antenne + Court Circuit + Support + Coque + Ecran + Haut parleur + Vibreur + Batterie	0.91	0.64

Incertitudes associées au positionnement SAM

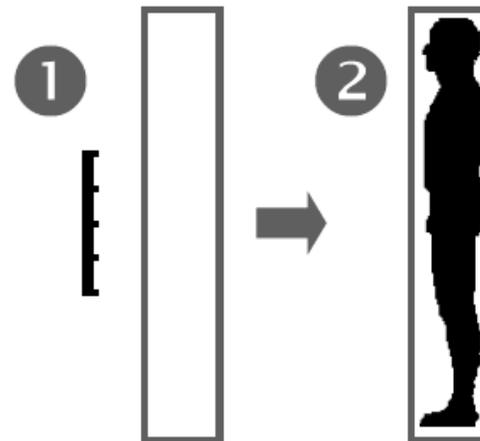


- Initial left-cheek position : Positioned according to IEEE1528 specifications
- Induce positioning error : Perform transformations (rotations/translations) from initial position until the new position clearly appears to be wrong
 - - Rotation around x-axis : SAR deviation < 5 %
 - - Rotation around z-axis : SAR deviation < 1%
 - - Combinations of rotations around x-axis and/or z-axis and translations along y-axis : SAR deviation < 5%
- Maximum deviation of 5% for SAR10g from initial position (considered to be correct)

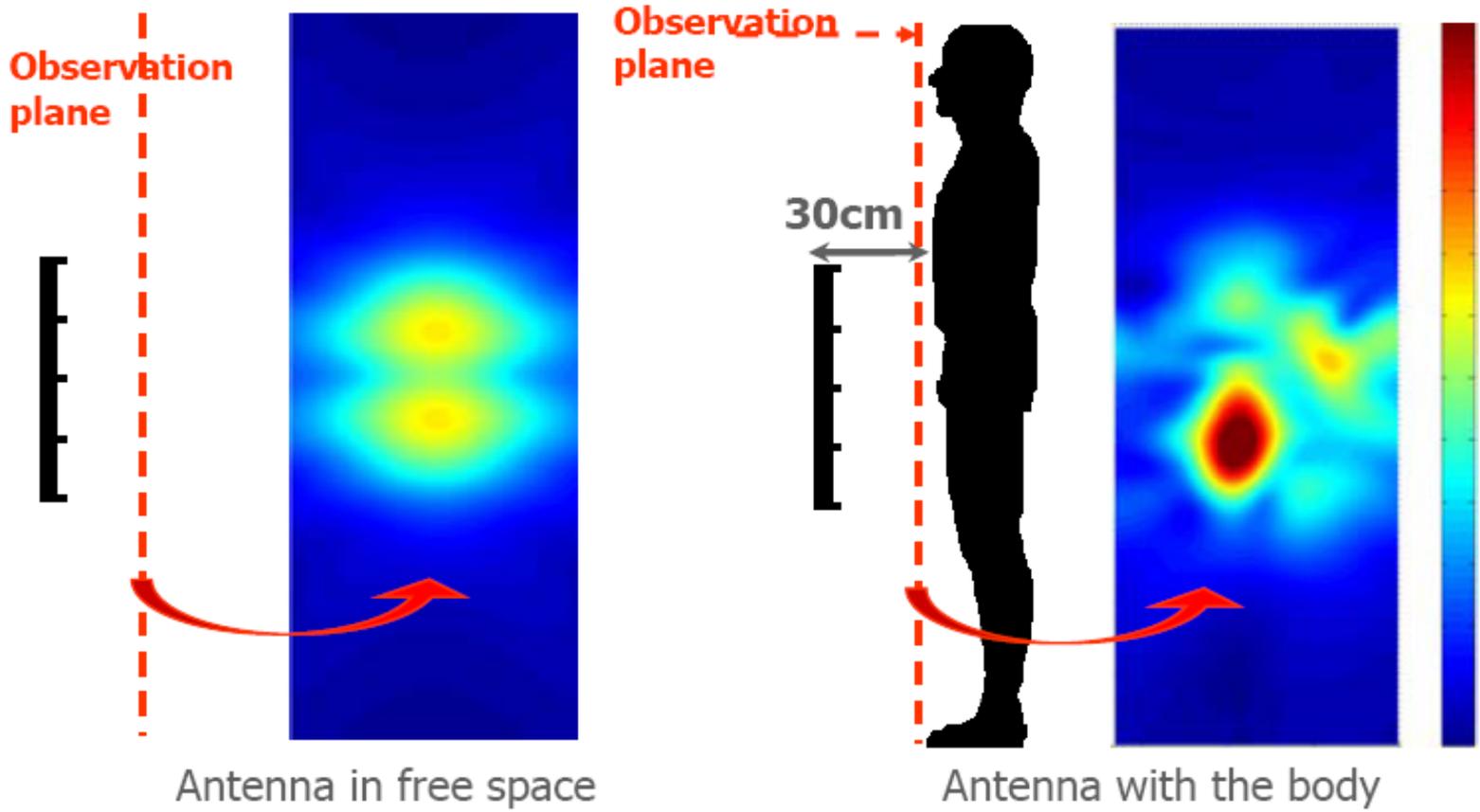


Couplage champ très proche, champ proche, champ lointain

- Hybridation de méthode MoM/FDTD
- 2 étapes
 - Source simulée seule en l'absence de la personne sur une boîte de Huygens avec une méthode comme la MoM ou autre technique ou mesures
 - Calcul FDTD avec le champ incident déterminé à l'étape 1 sur la boîte de Huygens
- Couplage dans un seul sens



Distribution du champ en l'absence et en présence du corps



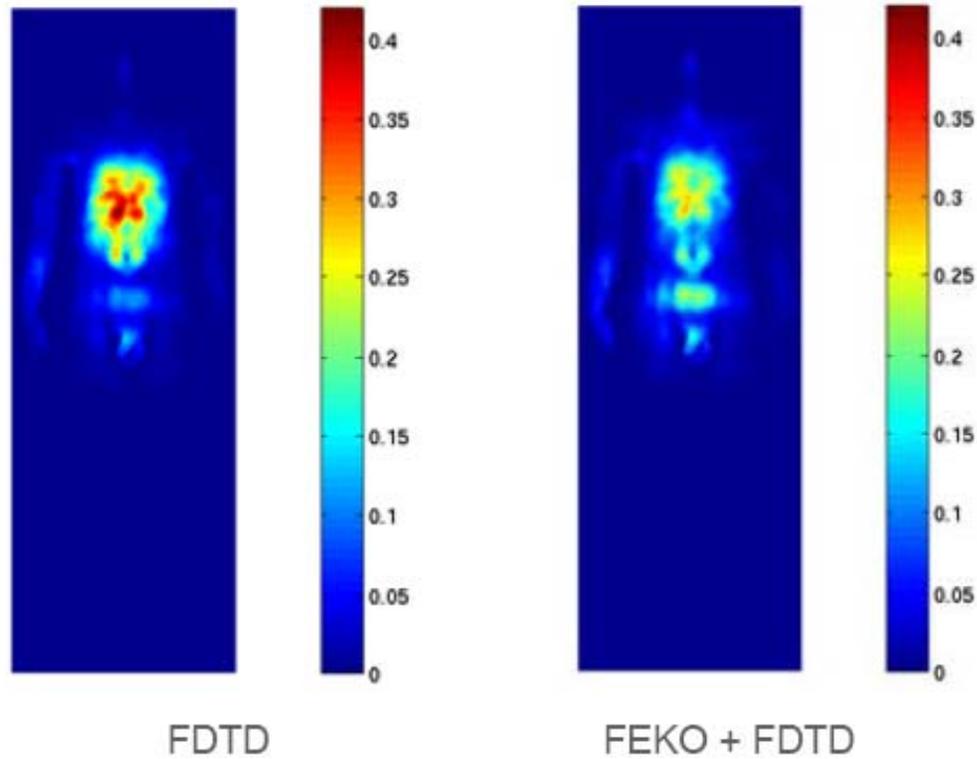
2009



unrestricted



Comparaison des cartes de DAS



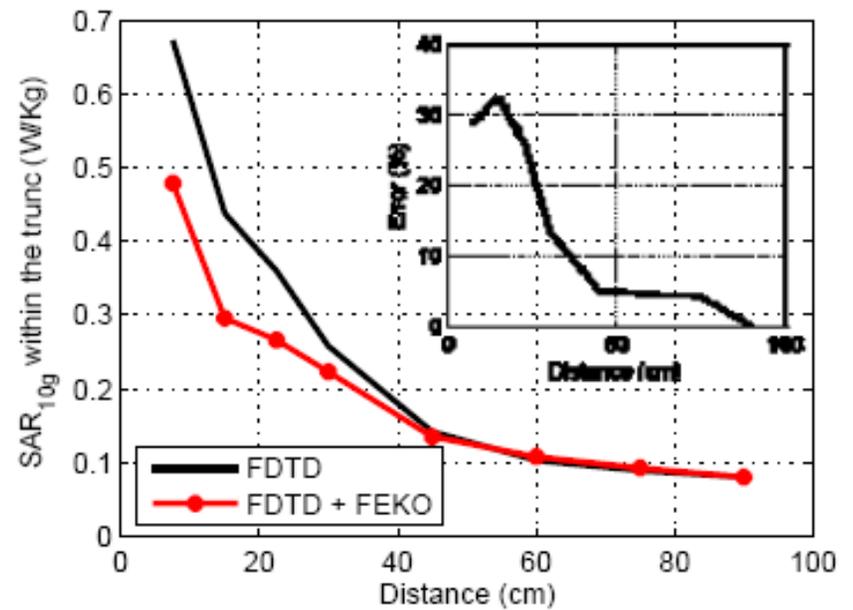
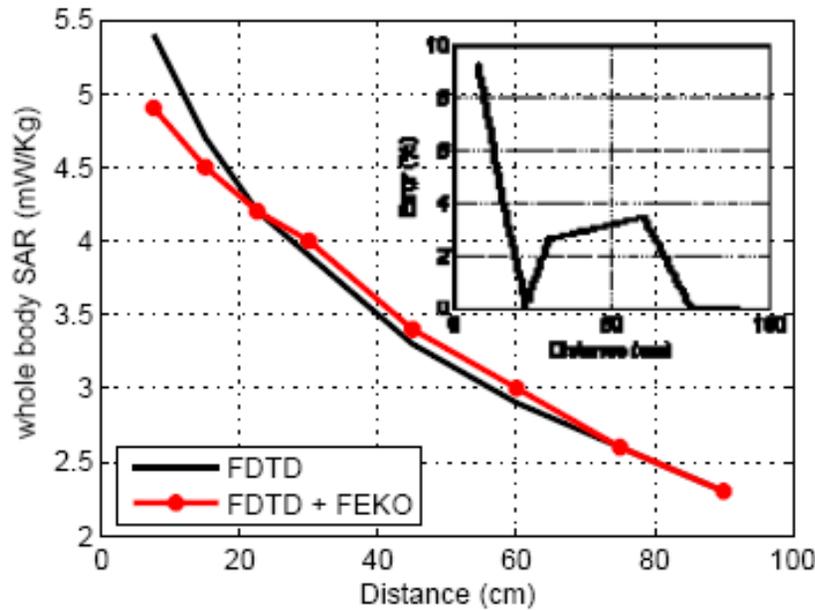
2009



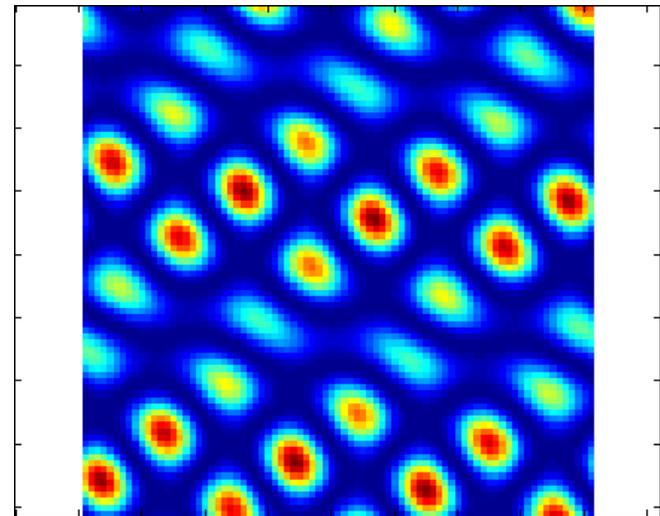
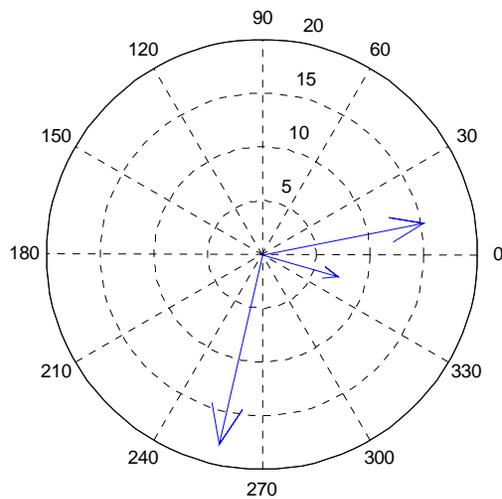
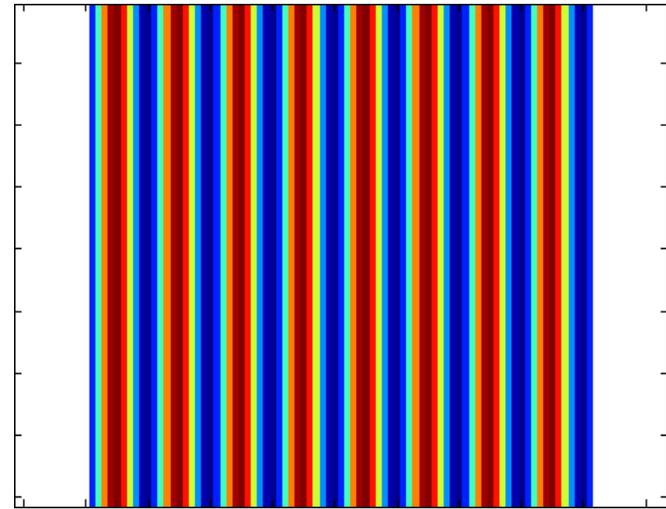
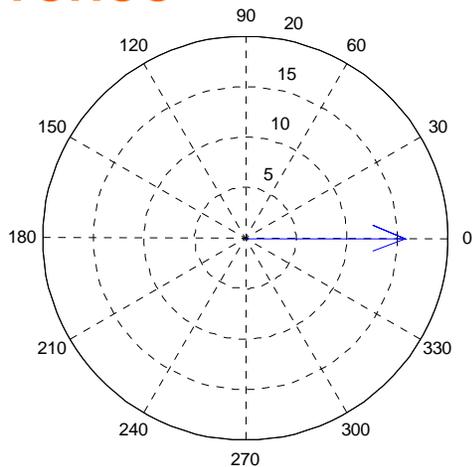
unrestricted



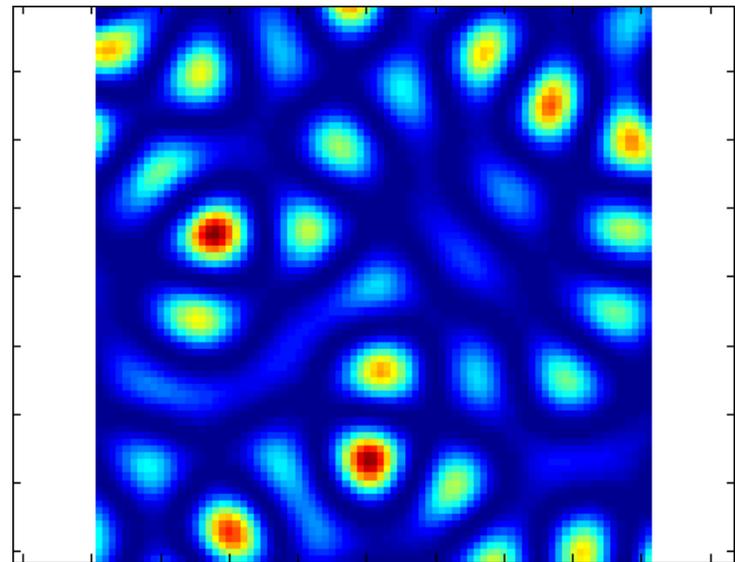
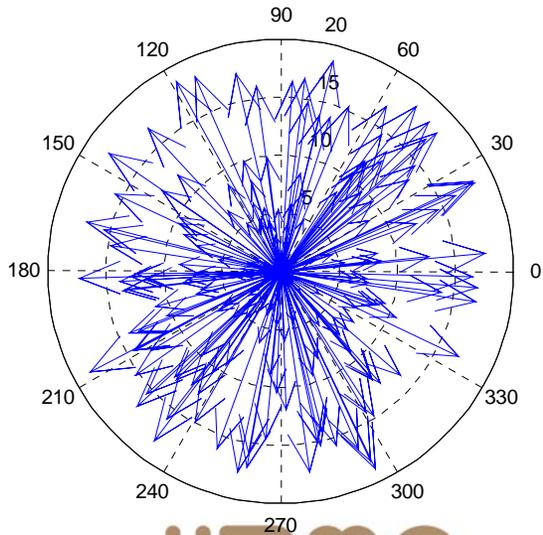
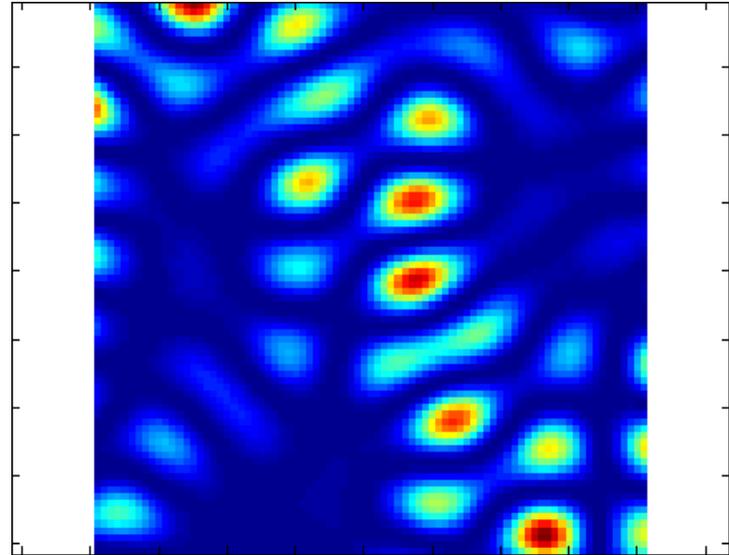
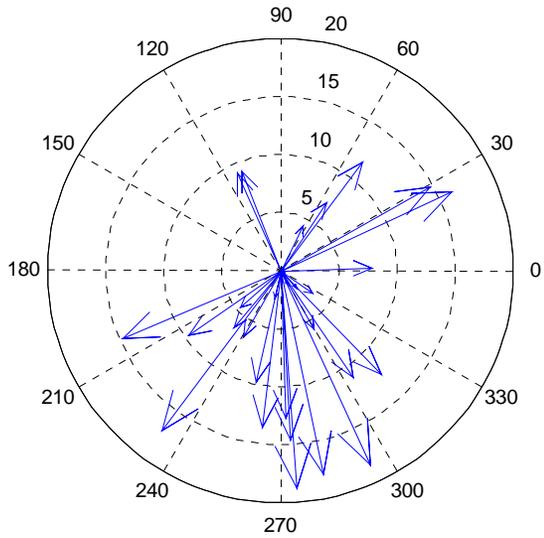
Comparaison du DAS en fonction de la distance à l'antenne



Ondes planes et multiples ondes planes en cohérence



2009



2009

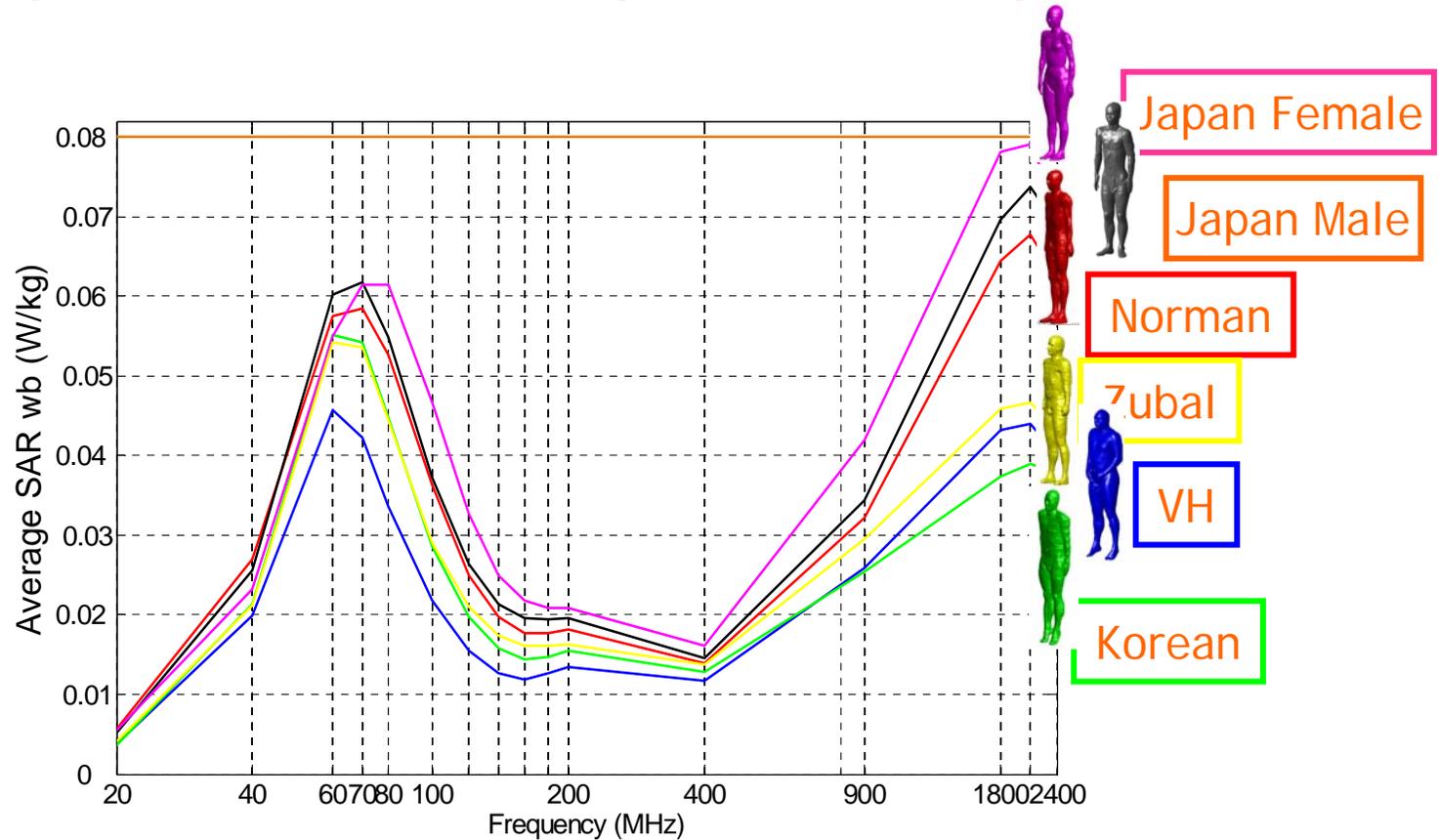
UPMC
PARIS UNIVERSITÉS

Supélec

unrestricted



DAS corps entier dans différents modèles de corps humains éclairés par une onde plane



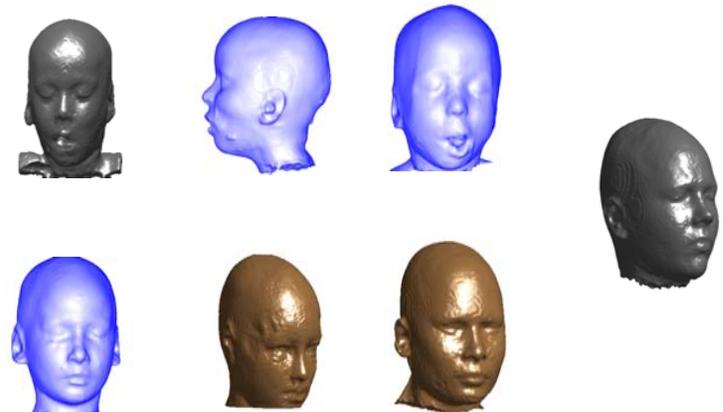
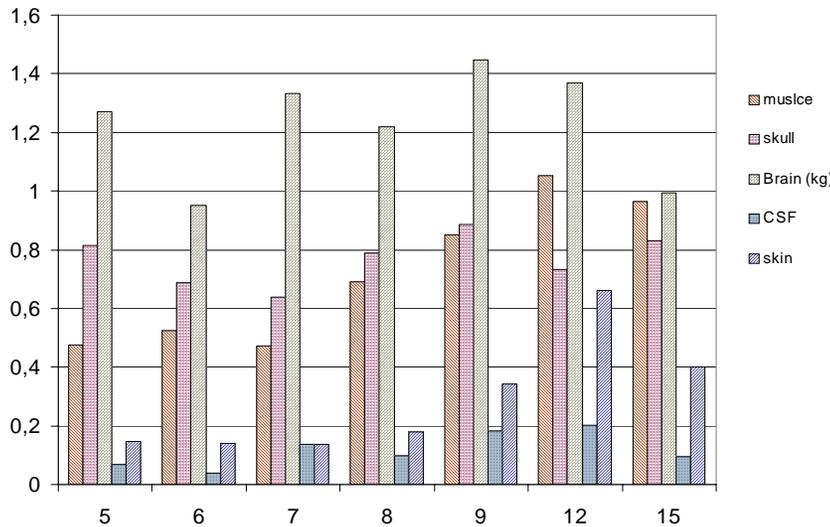
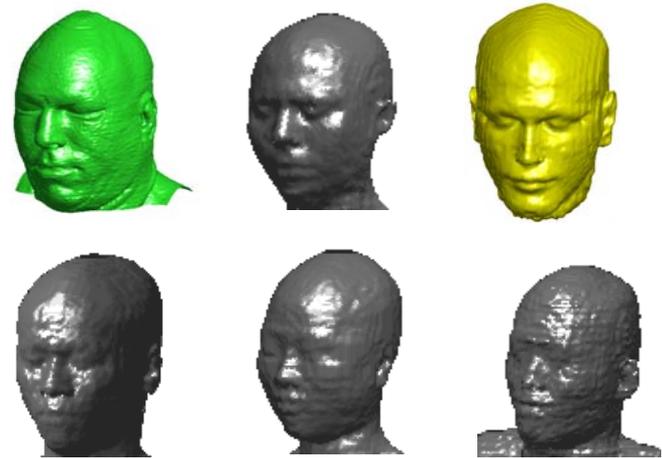
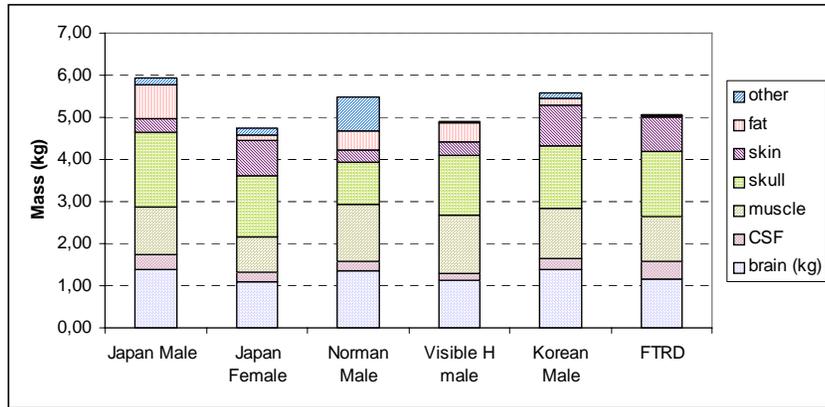
2009



unrestricted



DAS local induit par un téléphone pour différents modèles de tête



2009

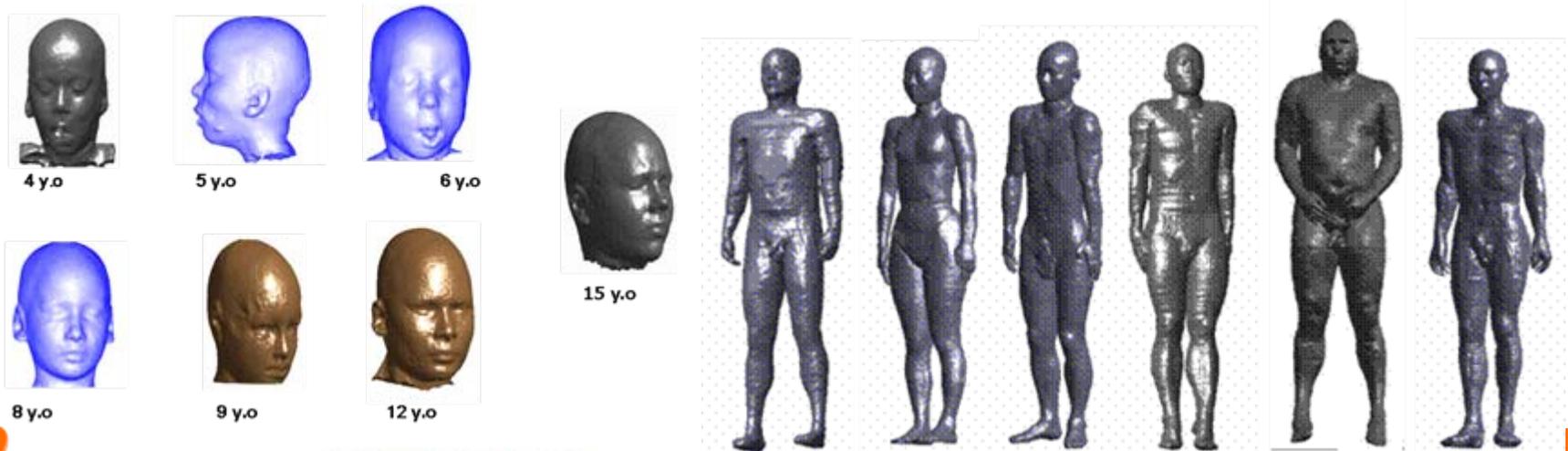


unrestricted



one question – one challenge

- what is the validity of a computational result using **a unique** human model ? (given obvious morphology differences)
- take care of
 - the variability to give representative results when general population is considered
 - the lack of knowledge
- Adjoint method, stochastic finite elements, surrogate models



2009

UPMC
PARIS UNIVERSITÉS

Supélec

unrestricted

orange™

lack of knowledge !

- in real life applications, it remains **UNCERTAINTIES**
 - actual fabrication tolerances
 - variabilities
 - unknown parameters
 - uncontrollable variations



2009

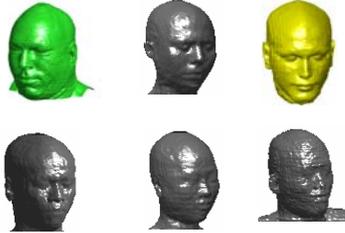
UPMC
PARIS UNIVERSITAS


Supélec

unrestricted



Uncertainties on the wave solutions in dosimetry



Object variabilities

- Dielectric properties
- Geometries

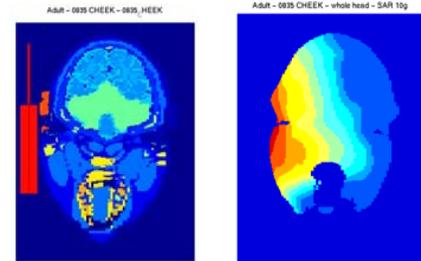
Source illuminations



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



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

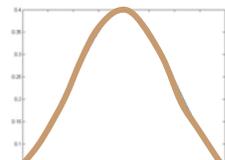
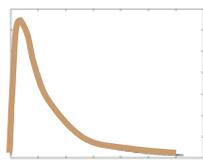


Power absorption, SAR

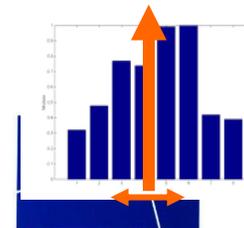
Radiation patterns

Return loss

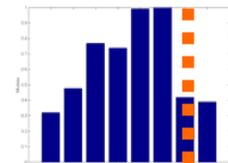
- Variance/sensitivity around the mean
- Probability Distribution: "reliability", 95% lower than ?



2009



Supélec



<95
unrestricted



Perspectives

- Pour comprendre et évaluer l'exposition des personnes aux radiofréquences
- Améliorer les modèles physiques
 - EM, thermique, multiphysique, multiphysique
- Améliorer les modèles des corps humains
 - Caractérisation, représentativité, posture
- S'appuyer sur les progrès matériels
 - GPU, multi-core, parallélisation
- Croiser avec les modèles stochastiques
 - Méthodes, Métamodèles
 - Améliorer les chaînes en pré-traitements et post-traitements



2009



unrestricted



merci

"La théorie n'est qu'une question posée à l'expérience"

*"No one trusts the simulation except the engineer who ran the simulation.
Everyone trusts the test except the engineer who ran the test"*



2009



unrestricted

