



Antenne boucle pour gélule ingérable: bilan de liaison en champ proche

A coil antenna for ingestible capsule: near-field magnetic induction

Marjorie GRZESKOWIAK, Fatiha El hatmi, David Delcroix, Thierry Alves, Stéphane Protat, Shermila Mostarshedi, et Odile Picon

le cnam

ESIEE
PARIS

UP
EM
UNIVERSITÉ
PARIS-EST
MARNE-LA-VALLÉE



Plan de la présentation

- **Introduction**
 - Le système ingérable
 - Problématique

- **Bilan de liaison par IMCP**
 - Bilan de liaison à 40 MHz à travers le corps humain (simulation)
 - Mesures à 40,68 MHz

- **Conclusion et perspectives**

Plan de la présentation

- **Introduction**
 - **Le système ingérable**
 - Problématique

- **Bilan de liaison par IMCP**
 - Bilan de liaison à 40 MHz à travers le corps humain (simulation)
 - Mesures à 40,68 MHz

- **Conclusion et perspectives**

Introduction

Le système ingérable

- **Transmission des données physiologiques (pH, pression, température) mesurés dans le petit intestin (situé à 5cm de la peau)**
- **Miniaturisation de l'antenne d'émission insérée dans la gélule (10.1mm de diamètre), compacité et robustesse**
- **Maximiser le transfert de puissance entre les 2 antennes : celle à l'intérieur de la gélule et celle à la surface du corps humain**
- **Garantir la transmission des données quelque soient l'orientation et la position de la gélule lors de sa progression dans le système gastro-intestinal**

Plan de la présentation

■ Introduction

- Le système ingérable
- **Problématique**

■ Bilan de liaison par IMCP

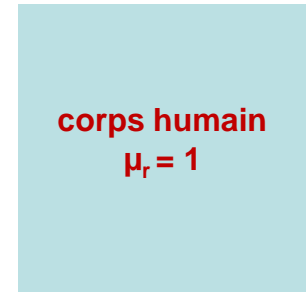
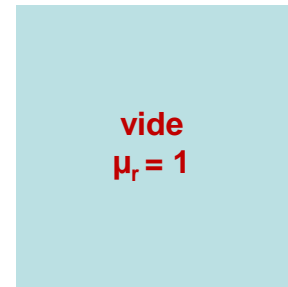
- Bilan de liaison à 40 MHz à travers le corps humain (simulation)
- Mesures à 40,68 MHz

■ Conclusion et perspectives

Problématique

■ Antennes par couplage magnétique?

Canal de transmission pour le champ magnétique proche



■ Champ magnétique:

- ❑ Indépendant des propriétés diélectriques des tissus biologiques
- ❑ Dépend de la perméabilité du milieu qui est égale à 1
- ❑ Antennes bobines miniatures en basses fréquences



le champ magnétique proche décroît en $1/r^3$



Comportement du champ magnétique dans les milieux dissipatifs
Induction Magnétique en Champ Proche (IMCP)

Plan de la présentation

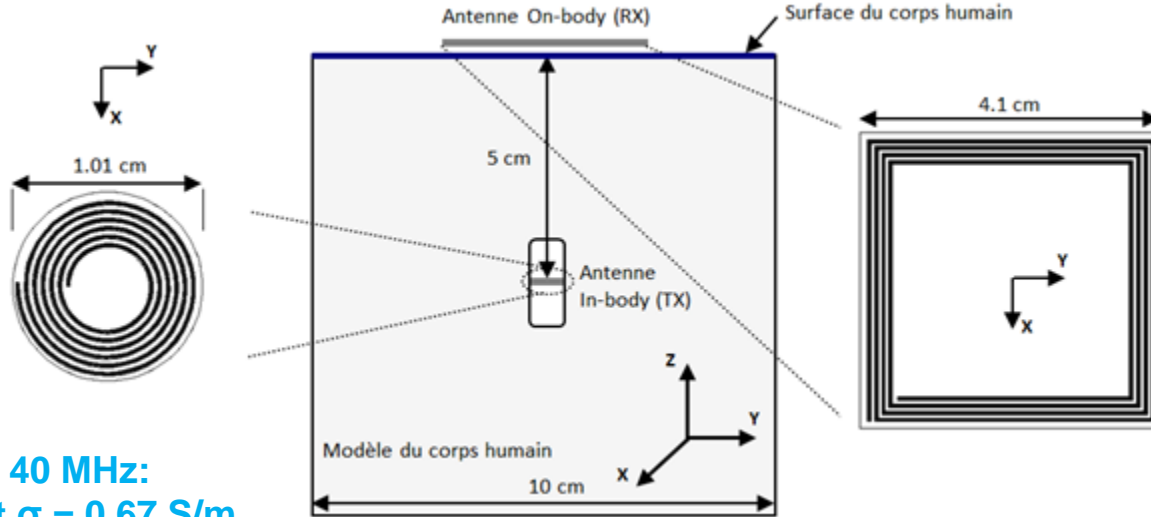
- **Introduction**
 - Le système ingérable
 - Problématique

- **Bilan de liaison par IMCP**
 - **Bilan de liaison à 40 MHz à travers le corps humain (simulation)**
 - Mesures à 40,68 MHz

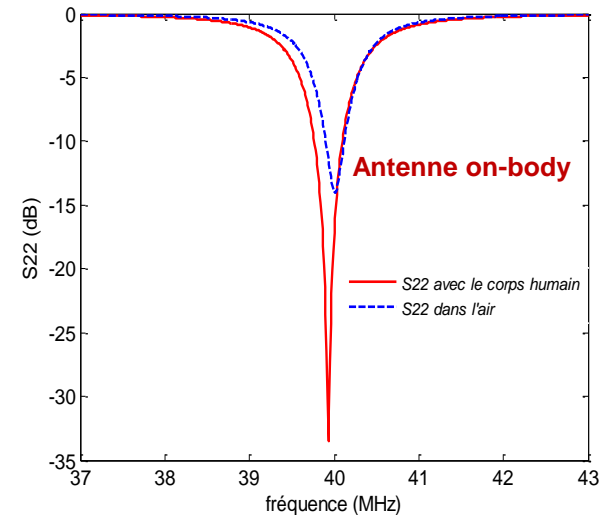
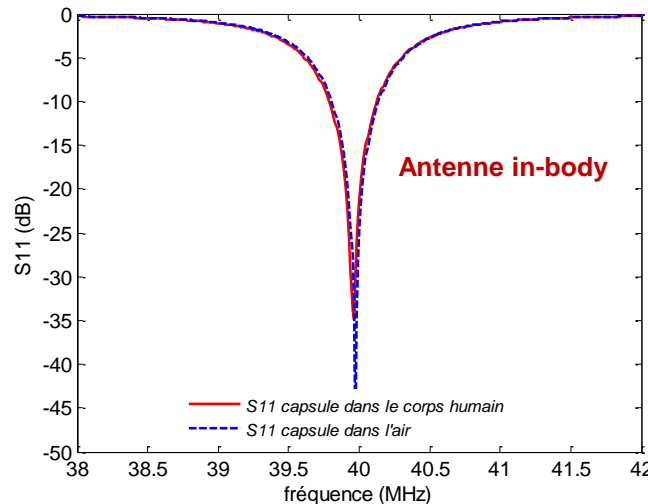
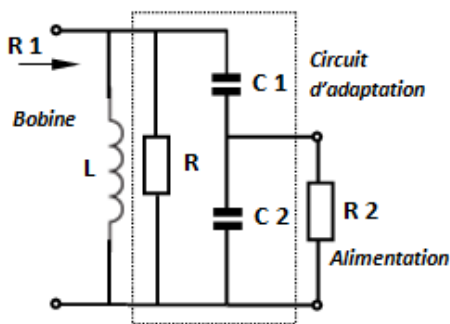
- **Conclusion et perspectives**

Bilan de liaison par IMCP

Bilan de liaison à 40 MHz à travers le corps humain (simulation)



Muscle à 40 MHz:
 $\epsilon_r = 83$ et $\sigma = 0.67$ S/m



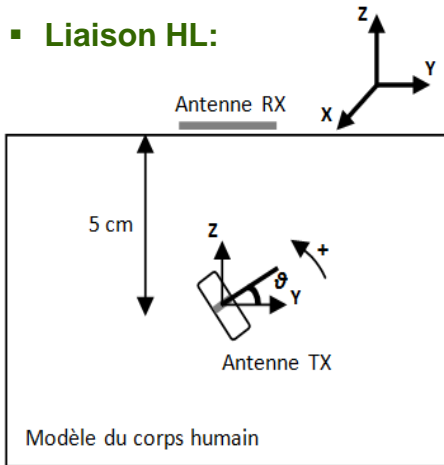
Bilan de liaison par IMCP

Bilan de liaison à 40 MHz à travers le corps humain (simulation)

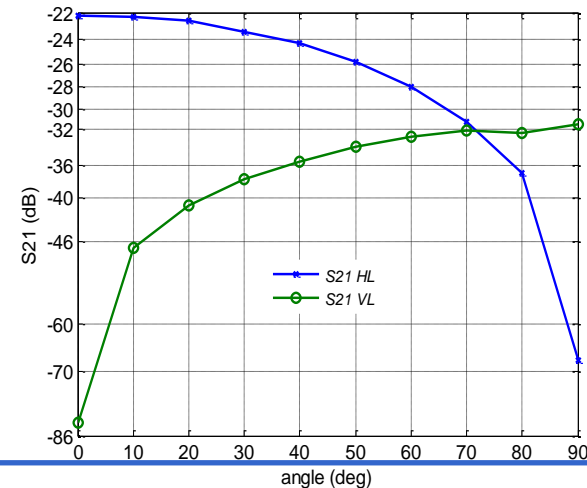
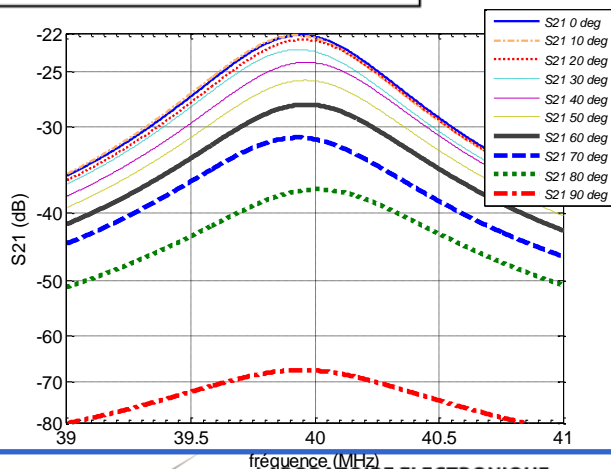
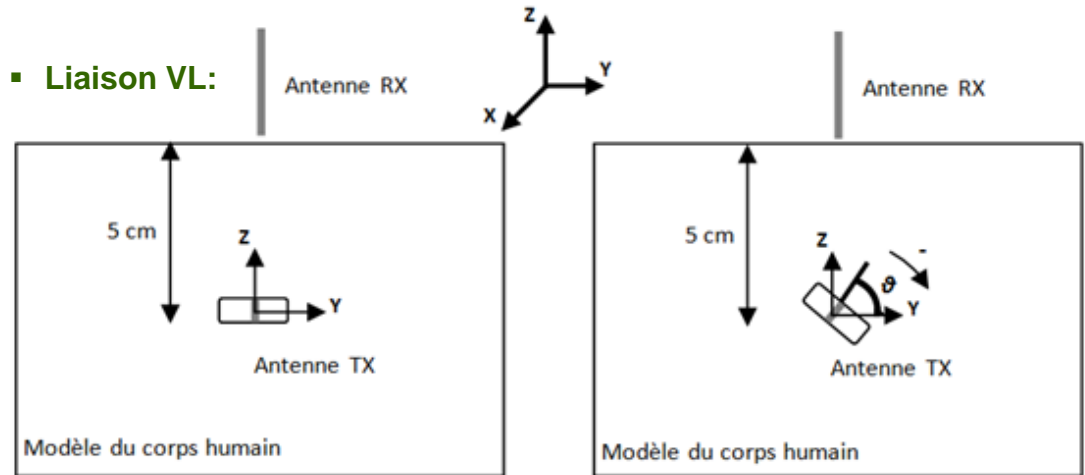
La capsule ingérable glisse à l'intérieur du système gastro-intestinal (GI)

Besoin d'étudier l'influence de la variation de la position et de l'orientation de la capsule sur le bilan de liaison

■ Liaison HL:

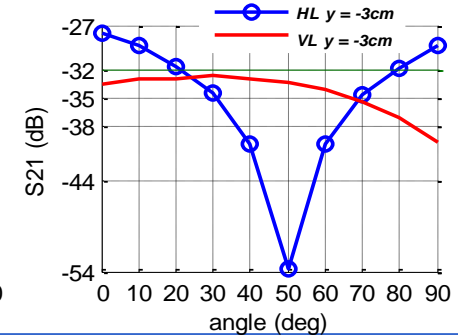
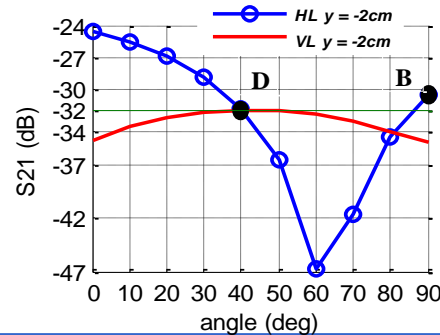
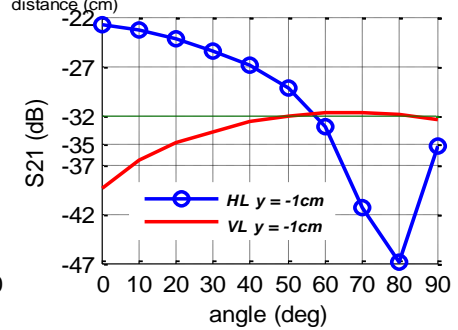
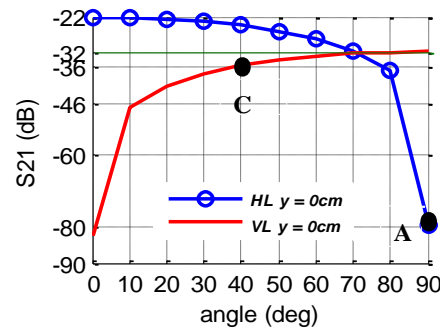
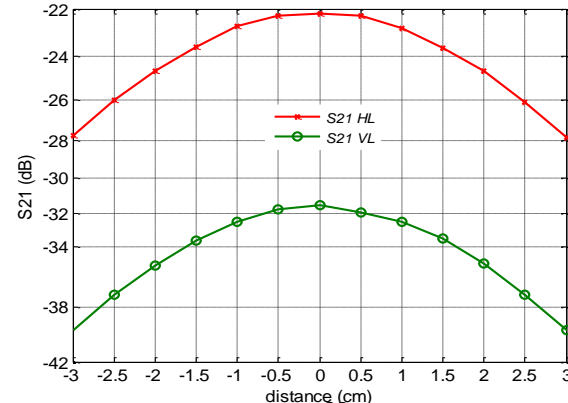
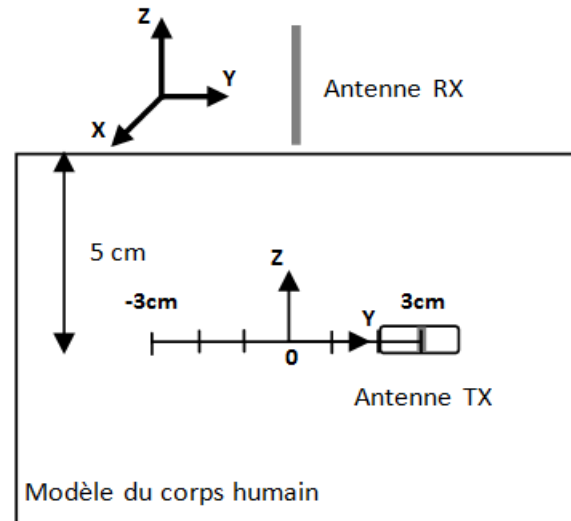
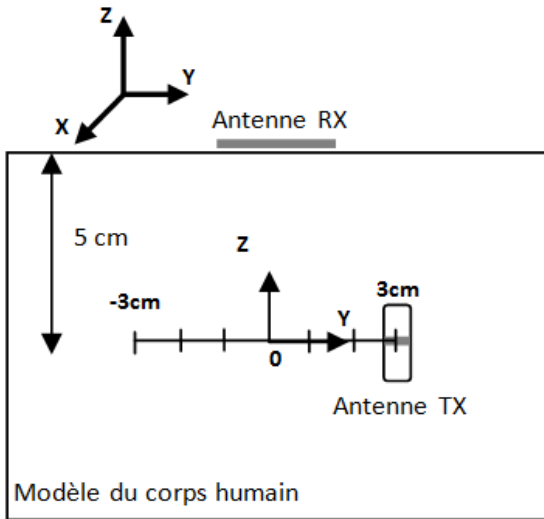


■ Liaison VL:



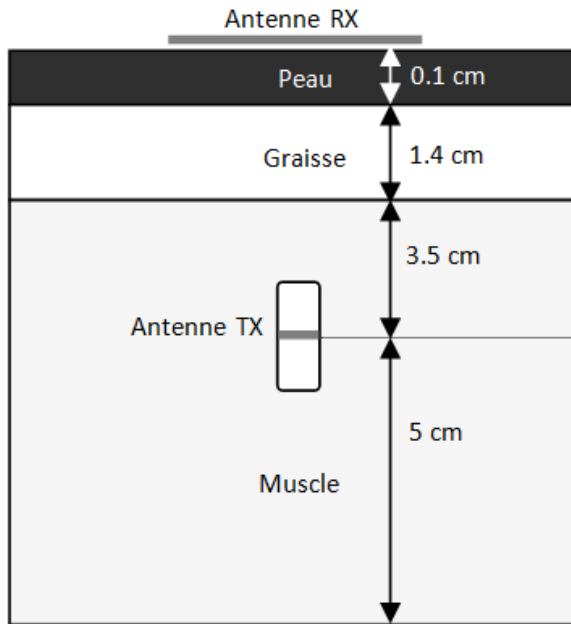
Bilan de liaison par IMCP

Bilan de liaison à 40 MHz à travers le corps humain (simulation)

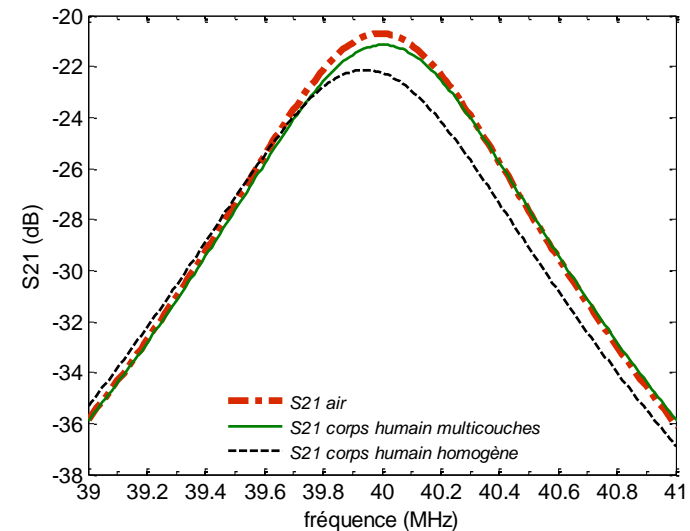


Bilan de liaison par IMCP

Bilan de liaison à 40 MHz à travers le corps humain (simulation)



Tissu humain	Permittivité relative	Conductivité (S/m)
Muscle	82.6	0.67
Graisse	7.3	0.034
Peau	124.3	0.38



	Air	Modèle à trois couches	Modèle homogène
$S_{21} \text{ (dB)}_{40 \text{ MHz}}$	-20.7	-21.1	-22.1

- ❑ L'énergie perdue dans un milieu dissipatif est convertie en chaleur et les pertes sont proportionnelles au volume et à la conductivité de chaque type de tissu
- ❑ La conductivité de la graisse à 40 MHz (0.034 S/m) est proche de celle de l'air (0 S/m), contrairement à la conductivité du muscle qui est égale à 0.67 S/m

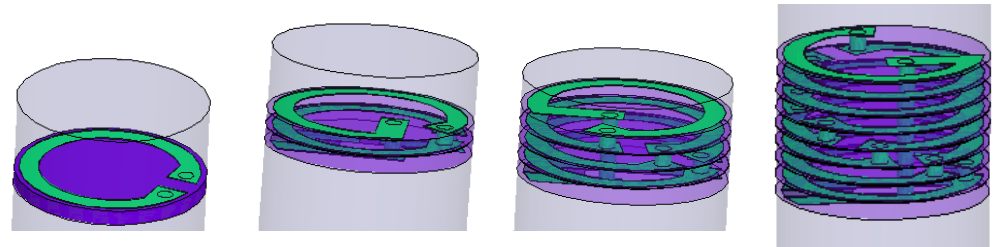
Les pertes d'énergie dans le muscle sont plus fortes que celles dans la graisse.

Bilan de liaison par IMCP

Bilan de liaison à 40 MHz à travers le corps humain (simulation)

Paramètres de la boucle d'émission	Paramètres de la boucle de réception	S_{21} à 5.2cm (dB)	S_{21} 8.2cm (dB)
Bobine spirale 5.5 tours 1 couche ; Q=86	Bobine spirale carrée 2cmx2cm, 6 tours ; Q=141	-28.3	-39.6
Bobine spirale 6 tours 1 couche ; Q=80	Bobine spirale carrée 4.1cmx4.1cm, 4 tours ; Q=65	-22.1	-32.4
Bobine spirale 5.5 tours 1 couche; Q=90	Bobine spirale carrée 8cmx5cm, 3 tours ; Q=44	-20	-30
Bobine 1 tour 1 couche ; Q=70	Bobine spirale carrée 8cmx5cm, 3 tours ; Q=44	-22.4	-31.5
Bobine 1 tour 2 couches ; Q=98	Bobine spirale carrée 8cmx5cm, 3 tours ; Q=44	-19	-28
Bobine 1 tour 4 couches ; Q=112	Bobine spirale carrée 8cmx5cm, 3 tours ; Q=44	-16.1	-25.2
Bobine 1 tours 8 couches ; Q=99	Bobine spirale carrée 8cmx5cm, 3 tours ; Q=44	-14.5	-23.5

Structures à 1 couche et multi-couches de l'antenne d'émission



Plan de la présentation

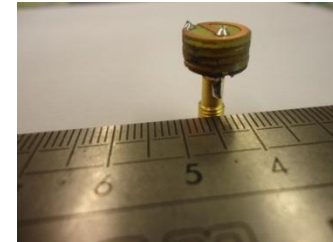
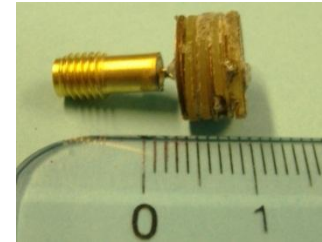
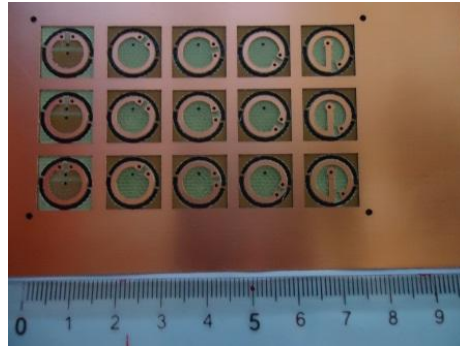
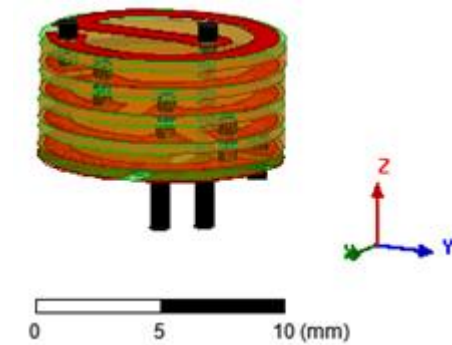
- **Introduction**
 - Le système ingérable
 - Problématique

- **Bilan de liaison par IMCP**
 - Bilan de liaison à 40 MHz à travers le corps humain (simulation)
 - **Mesures à 40,68 MHz**

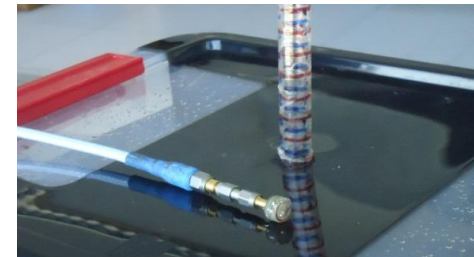
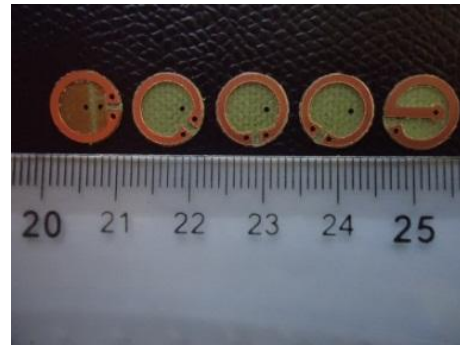
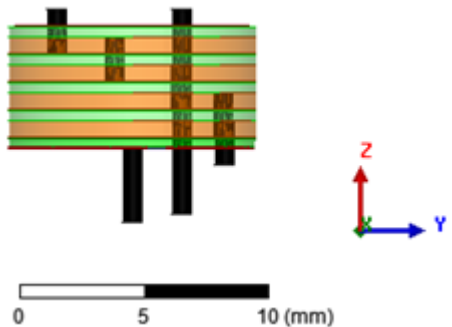
- **Conclusion et perspectives**

Bilan de liaison par IMCP

Mesures à 40,68 MHz: bobine ingérable à 5 tours empilés



Bobine imprimée: robustesse et la solidité des différents tours de la bobine

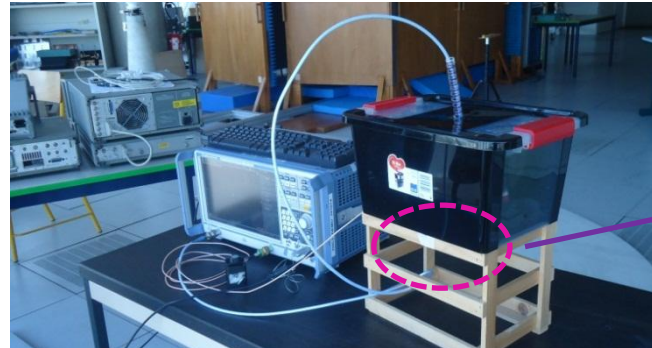
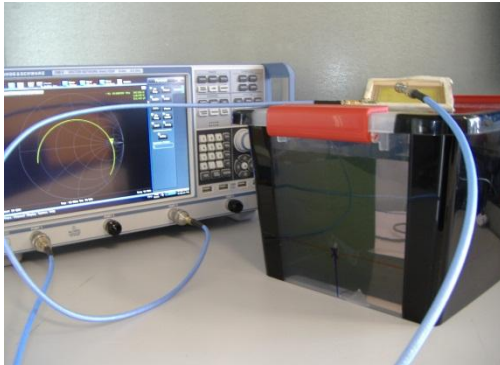


Caractéristiques diélectriques du fluide du tissu-équivalent humain mesurées à 40,68 MHz: $\epsilon_r = 64$ et $\sigma = 0,78$ S/m

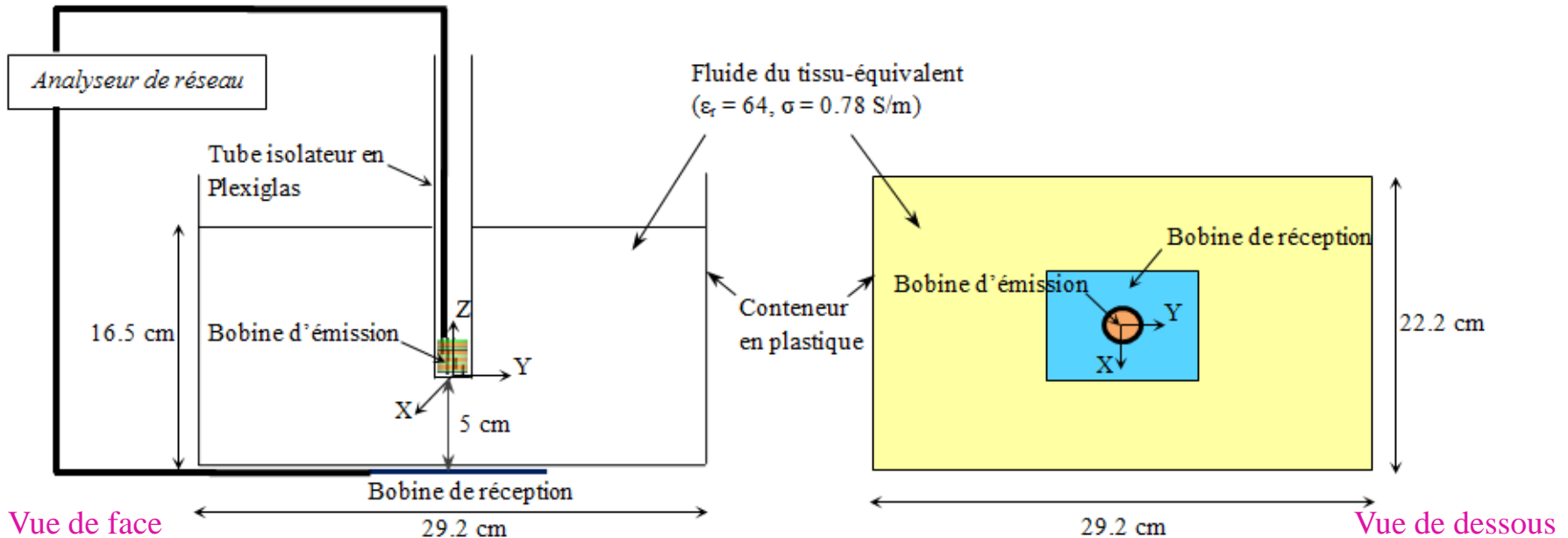


Bilan de liaison par IMCP

Mesures à 40,68 MHz: banc de mesure

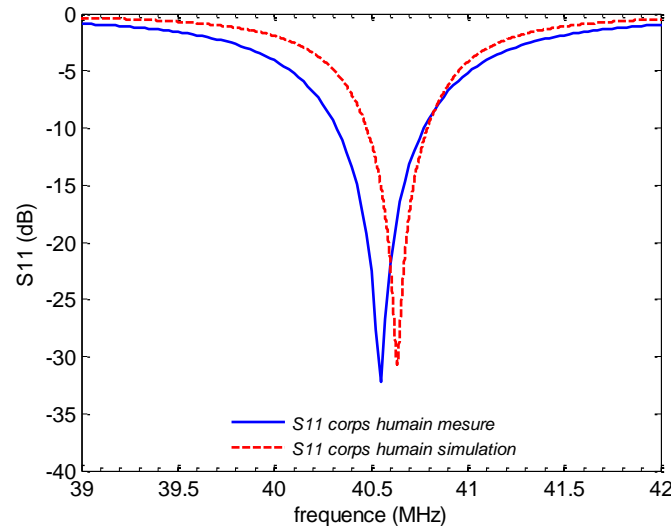


Antenne de réception



Bilan de liaison par IMCP

Mesures à 40,68 MHz: bobine ingérable à 5 tours empilés



$C_1=180\text{pF}$; $C_2=800\text{ pF}$
 C_1 série et C_2 parallèle

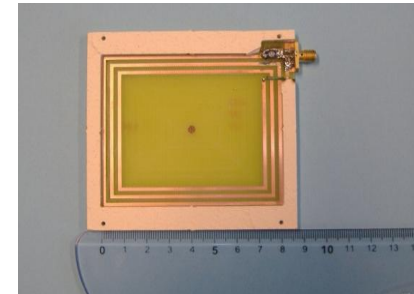
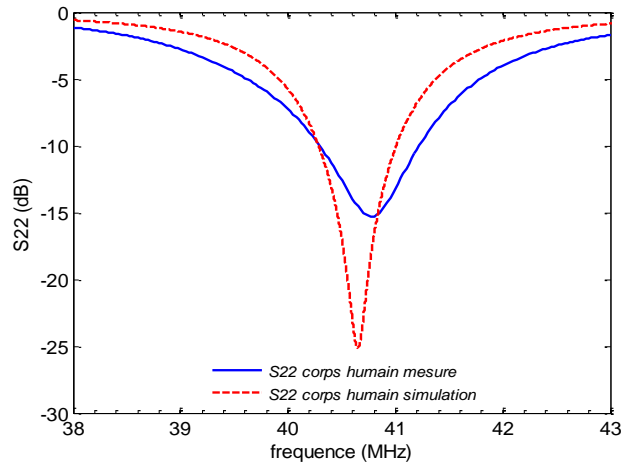
	Simulation	Mesure
Résistance R_{LT} (Ω)	0.32	0.52
Réactance X_{LT} (Ω)	30.6	30.8
$Q_{T1}=X_T/R_{TR}$	95.3	58.7
$Q_{T2}=X_T/R_{TR}+R_S$	0.6	0.61



$BP_{\text{mesurée}} \approx 0.4\text{ MHz}$

Bilan de liaison par IMCP

Mesures à 40,68 MHz: bobine spirale de réception



$C_1=7.6$ pF; $C_2=56$ pF

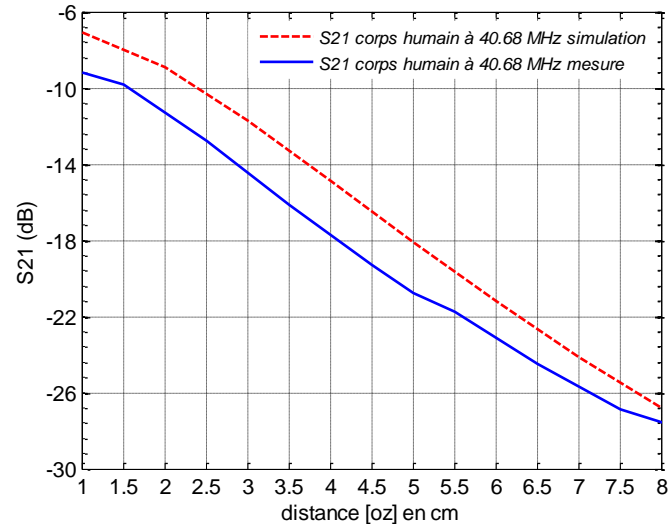
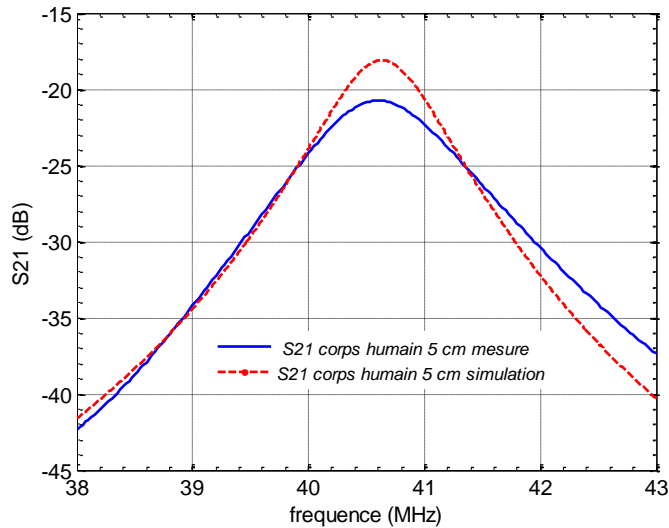
	Simulation	Mesure
Résistance R_{LR} (Ω)	14.2	26.8
Réactance X_{LR} (Ω)	433	544
$Q_{R1}=X_R/R_{LR}$	30.6	20.3
$Q_{R2}=X_R/R_{LR}+R_L$	6.7	7.1



$BP_{\text{mesurée/corps humain}} \approx 0.9$ MHz

Bilan de liaison par IMCP

Mesures à 40,68 MHz: bilan de liaison

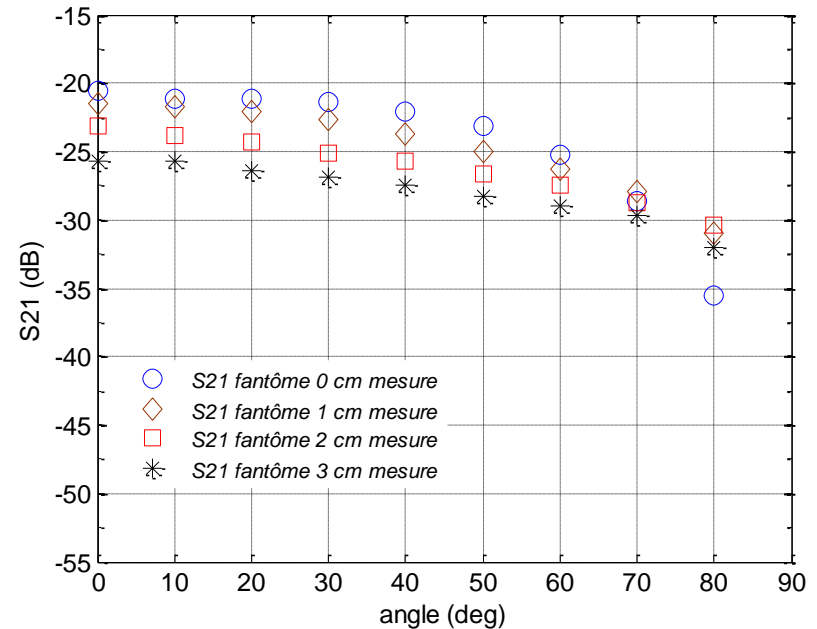
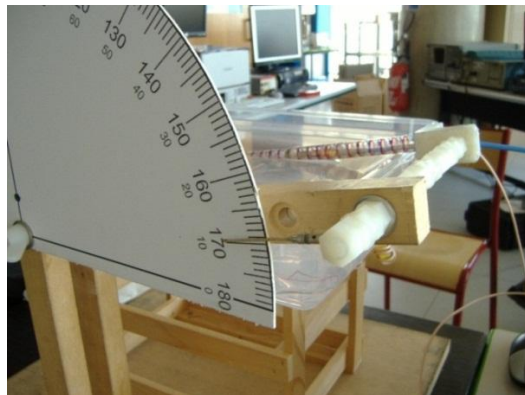
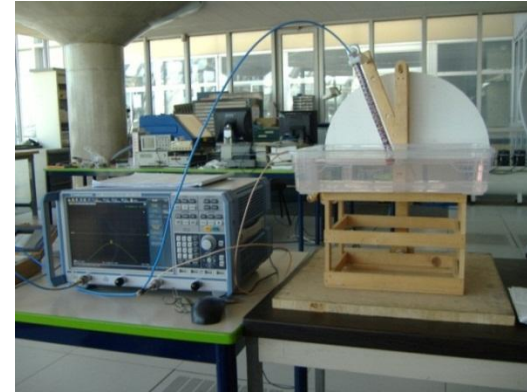
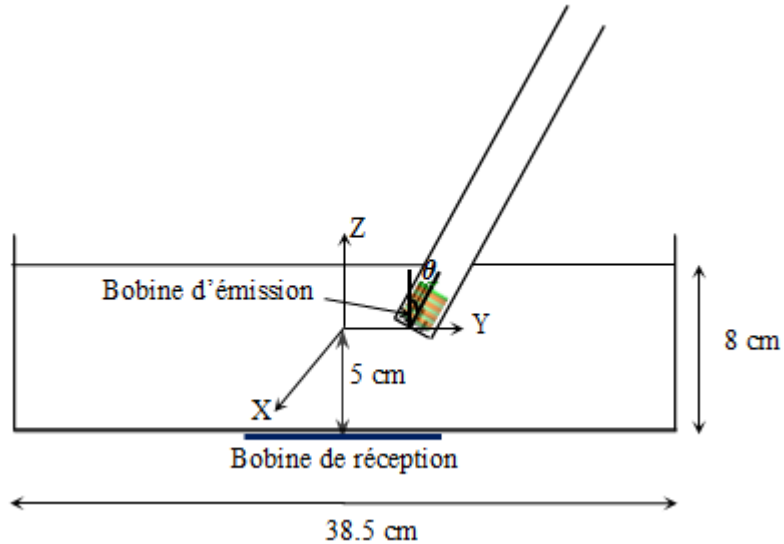


- La transmission à 40.68MHz : -18.1dB en simulation et -20.7dB en mesure dans le corps humain.
- Le couplage S_{21} à 40.68MHz: -9dB pour $z=1$ cm et -27.5dB pour $z=8$ cm en mesure dans le corps humain.

$$S_{21} = -20.7\text{dB à } 5\text{cm}$$

Bilan de liaison par IMCP

Mesures à 40,68 MHz: bilan de liaison



Plan de la présentation

- **Introduction**
 - Le système ingérable
 - Problématique

- **Bilan de liaison par IMCP**
 - Bilan de liaison à 40 MHz à travers le corps humain (simulation)
 - Mesures à 40,68 MHz

- **Conclusion et perspectives**

Conclusion et perspectives

Conclusion:

- **Réalisation et caractérisation des antennes par couplage magnétique TX et RX au travers d'un liquide homogène représentant le corps humain**
- **Dimension réduite de l'antenne d'émission insérée dans la gélule (10.1mm de diamètre) et compacité (hauteur de 5mm)**
- **Transmission du signal pour différentes positions et orientations de la gélule**
- **Pas de localisation de la gélule**

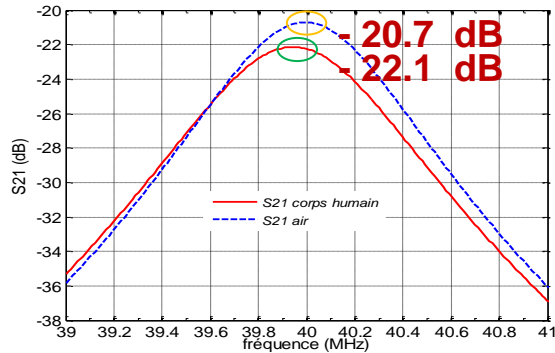
Conclusion et perspectives

Perspectives:

- **Déterminer la position de la gélule par l'utilisation de plusieurs antennes à la périphérie du corps humain**
 - **Antennes radiatives**
 - **Antennes par couplage magnétique**
- **Association avec des capteurs (pH, température,...)**
- **Si antennes radiatives, s'affranchir de la variation des tissus humains au cours de la progression de la gélule dans le système gastro-intestinal par un système permettant l'optimisation de la transmission du signal**
- **Mesure en ambulatoire (compacité du système)**

Bilan de liaison par IMCP

Bilan de liaison à 40 MHz à travers le corps humain (simulation)

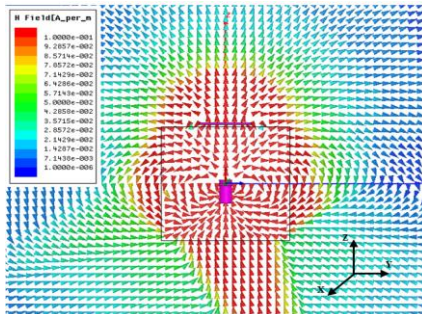


$$S_{21} = \frac{R_L}{R_S} = \eta_T \eta_R Q_T Q_R k^2 (d)$$

$$\eta_T = \frac{R_S}{R_S + R_{LT}}; \eta_R = \frac{R_L}{R_L + R_{LR}}$$

$$Q_T = \frac{\omega_0 L_T}{R_S + R_{LT}}; Q_R = \frac{\omega_0 L_R}{R_L + R_{LR}}$$

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_T L_R}}$$

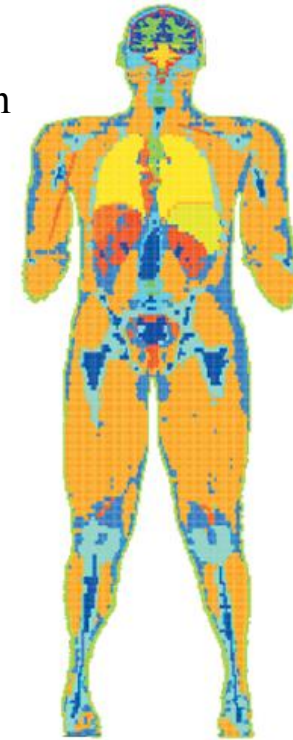


Modèle théorique Agbinya et Masihpour

		Corps humain	Espace libre
$R_{LT} (\Omega)$		0.8	0.8
$R_{LR} (\Omega)$		7	4
$L_T (\mu H)$		1.8	1.8
$L_R (\mu H)$		12.8	10.3
Q_T		1.5	1.5
Q_R		9	9.5
η_T		0.98	0.98
η_R		0.88	0.92
k		0.04	0.05
S_{21} (dB)	théorique	-18.9	-15
	simulation	-22.1	-20.7
ΔS_{21} (dB)		3.2	5.7
S_{21} (%)	théorique	1.3	3.1
	simulation	0.6	0.85
ΔS_{21} (%)		0.7	2.25

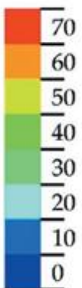
Problématique

1. Canal de transmission: le corps humain qui est un milieu multicouche à pertes!
2. Antennes à l'intérieur du corps humain: miniaturisation des antennes!
3. Quelle fréquence? En augmentant la fréquence, l'atténuation d'une onde RF se propageant dans le corps humain augmente!
4. L'efficacité de rayonnement des antennes radiatives diminue fortement dans les tissus biologiques (0,1 %, 0,3 % et 0,9 %)!
5. Canal de transmission varie en fonction de la progression de la gélule



402 MHz

Permittivity



Canal de transmission
pour une onde RF



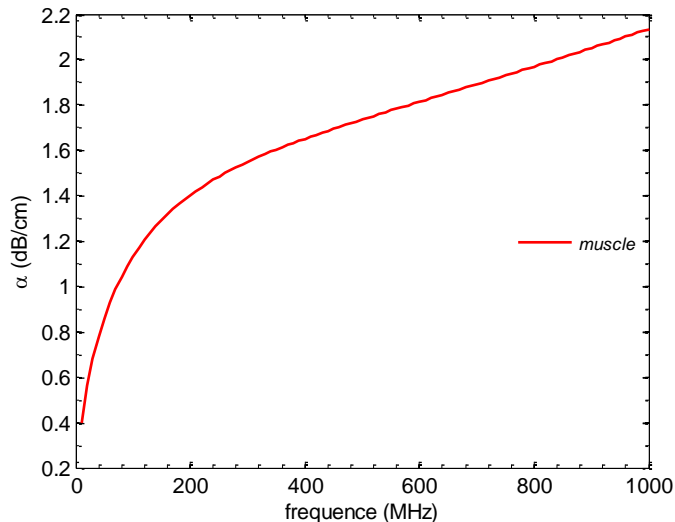
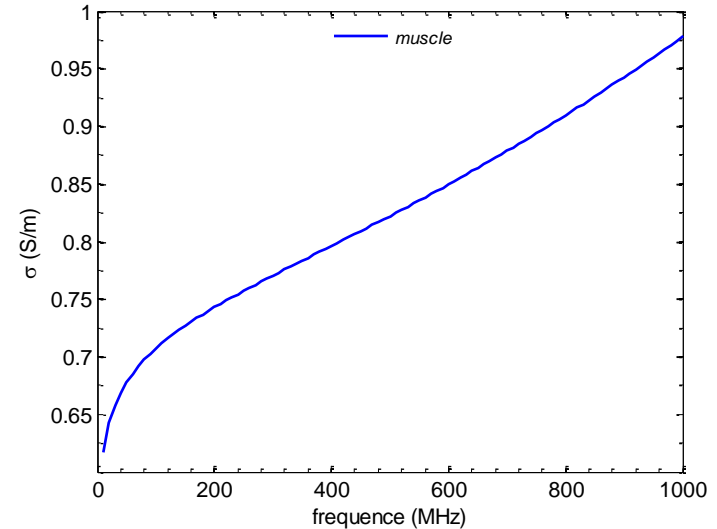
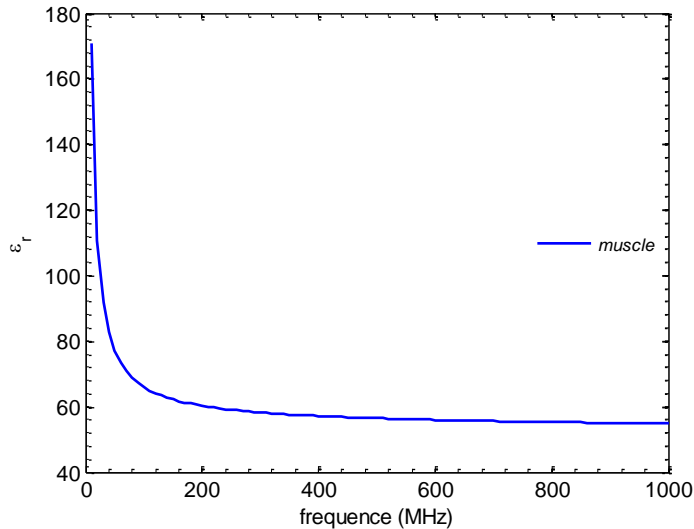
vide
 $\epsilon_r = 1, \sigma = 0 \text{ S/m}$

corps humain

ϵ_{r1}, σ_1
 ϵ_{r2}, σ_2
⋮
 ϵ_{rn}, σ_n

Problématique

Caractéristiques diélectriques des tissus humains



$$\bar{\epsilon}_r = \epsilon_r - j \frac{\sigma}{\omega \epsilon_0}$$

Muscle à 40 MHz:
 $\epsilon_r = 83$ et $\sigma = 0.67$ S/m

$$\gamma = \alpha + j\beta = j\omega\sqrt{\mu\epsilon_0\epsilon_r} \sqrt{1 - j \frac{\sigma}{\omega\epsilon_0\epsilon_r}}$$

- Augmentation de la fréquence:
 - atténuations importantes dues aux tissus dissipatifs
 - problème au niveau de la miniaturisation des antennes