

# Antennes RF pour l'imagerie médicale (IRM)



DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE



F.G. NIZERY\*, M. LUONG\*, G. MAITRE\*  
P-F. GAPAIS\*\*, E. GIACOMINI\*\*  
F. LOMELLO\*\*\*

\*CEA-PSAC/DRF/IRFU

\*\*CEA-NeuroSpin/Baobab

\*\*\* CEA-PSAC/DES/ISAS/DPC/SEARS/LISL  
fnizery@cea.fr

Colloque FA appliquée à la Physique des 2 infinis - 7 Juin 2021 - Orsay & OnLine, France

1. Les antennes RF pour l'imagerie médicale (IRM) de cerveaux
2. Définition du besoin et court bilan
3. Optimisation géométrique CAO d'une antenne pour macaque
4. Calcul en simulation numérique électromagnétique avec HFSS
5. Choix d'une technologie et finalisation du design avec l'imprimeur
6. Feedbacks sur les 2 premières boucles pour macaque en EBM
7. Etats de surface et marquage
8. Point sur les mesures électriques
9. Post-traitements et actions en cours et à prévoir
10. Le heaume pour tête humaine
11. Conclusion

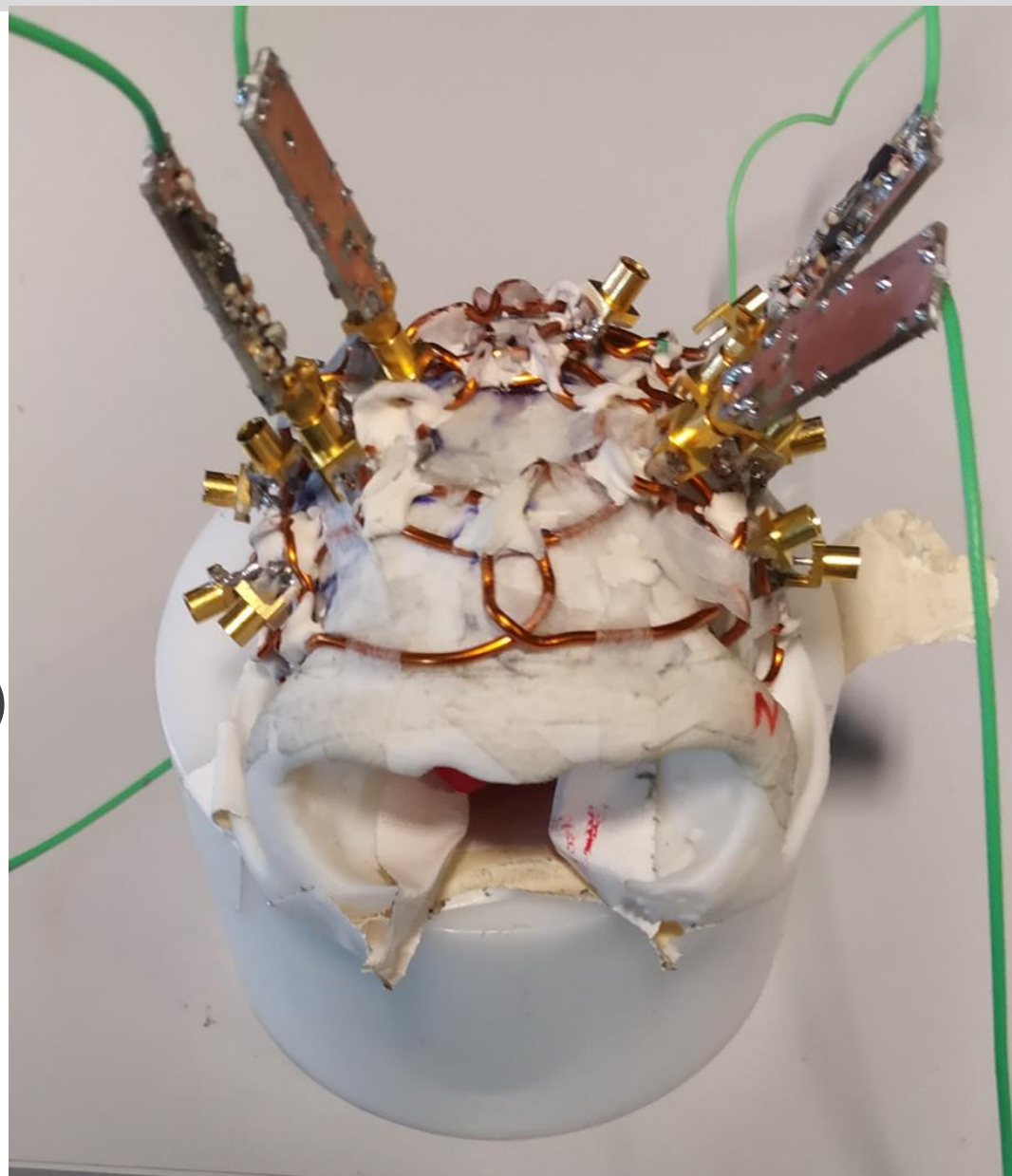
## Initialement

Antennes RF pour macaque :

**d=30mm**

**IT  $\leq 0,5$ mm sur l'ensemble**

- 1-2 boucles prototypes planes
- 1 ensemble de ~16 boucles pré-positionnées en FA sur une surface gauche (sur-mesure pour chaque crâne)
- La Conductivité RF (à 300 ou 500 MHz) doit être comparable au CuC2





## Initialement

Antennes RF pour crâne humain :

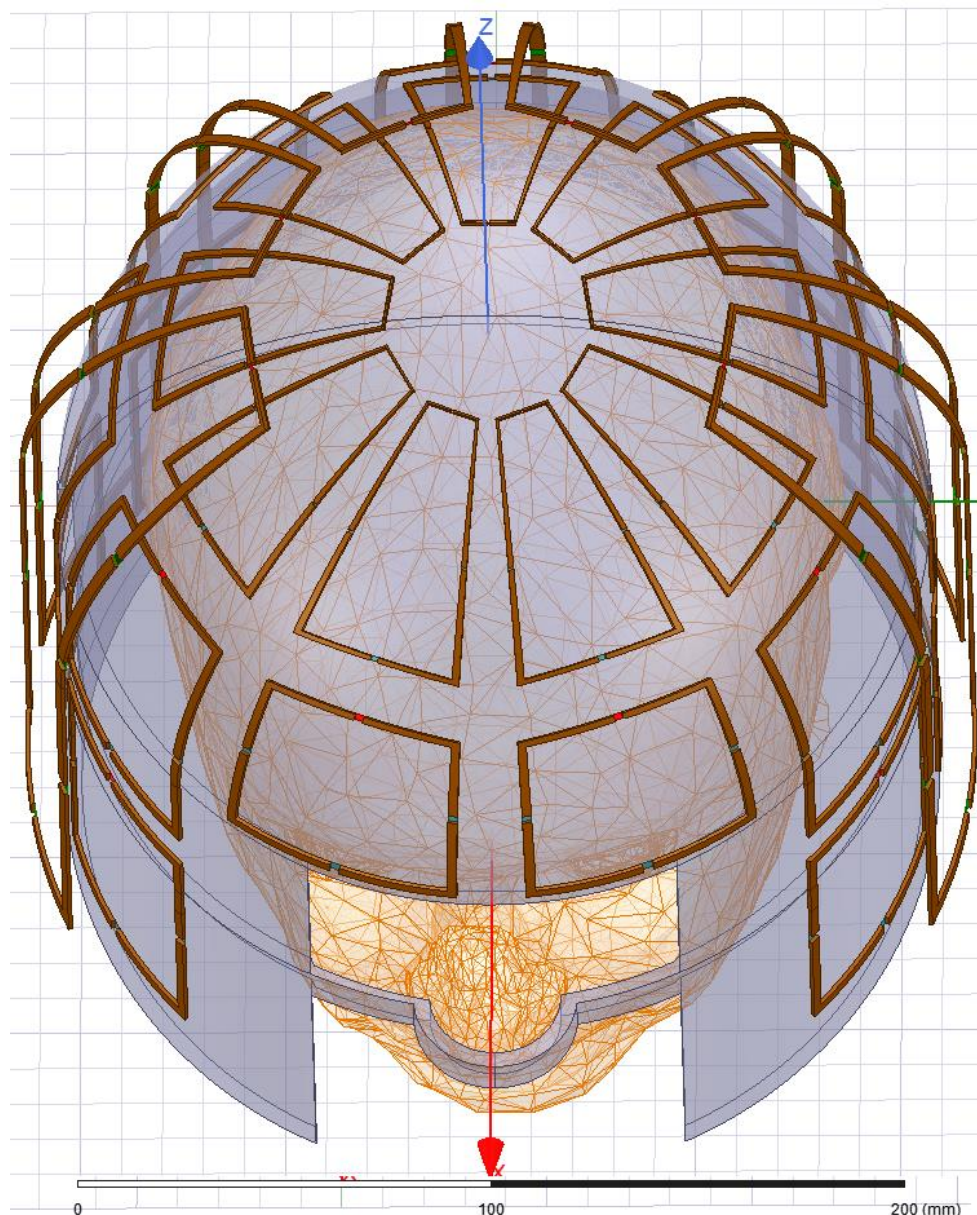
**Boucles rectangulaires  $d \approx 100\text{mm}$**

**$IT \leq 1\text{mm}$  sur l'ensemble**

**$IT \leq 0,3\text{mm}$  sur une boucle**

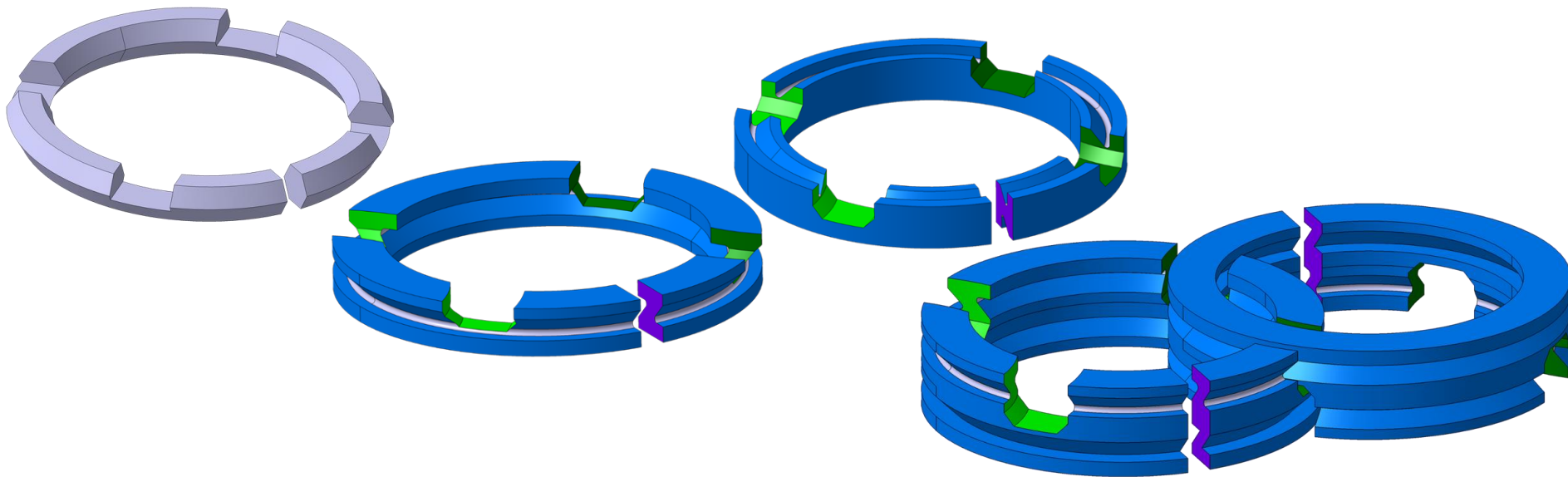
→ 1-2 boucles prototypes planes

→ 1 ensemble  
de  $\approx 8$  boucles pré-positionnées  
en FA sur une surface gauche  
Heaume  $d \approx 200\text{mm}$



Manuel jusqu'à présent	FA demain	Bilan si FA
95 < %IACS < 100 ⇒ fil $\varnothing 1$ en CuC2	Impression en EBM (sous vide)	Conductivité RF (à 300 ou 500 MHz) comparable au CuC2
Surface de conduction d'un fil $d=\varnothing 1$ sur une épaisseur de $\approx 10\mu\text{m}$ à 300 MHz	Travailler la géométrie de la section du jonc afin d'augmenter le périmètre et la surface de conduction	Augmentation possible mais limitation liée à la physique et à la présence des supports en EBM
Fabrication et réglage boucle par boucle en manuel ⇒ plusieurs semaines à plusieurs mois	Ensemble de boucles pré-positionnées sur une surface gauche	Impression des boucles séparément en box. Nous n'aurons plus de modifications individuelles à faire mais il restera à les pré-positionner
Fil étiré et $R_a \approx 0,8$ mais déformé	$IT \leq 0,5$ demandé et 0,6 spécifié La rugosité n'est pas une contrainte : 25-30 $\mu\text{m}$ spécifié	$IT \pm 0,3$ OK Ra30 un peu fort mais ce n'est pas bloquant et n'a à priori pas d'impact sur la conduction électrique

sans excroissances planes au niveau des croisements			Simple hauteur						Double hauteur	
			Circulaire	Hexagonale	En "U"	En "N"	En "Z"	En "X"	ZZ	Spider
									2.h	2.h
Largeur	a	mm	4	4	3,6	4	4	4	4	4
Hauteur	h	mm	4	3,46	4	4	4	4	8	8
Ep paroi mini	p	mm	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Espace mini	e	mm	1	1	1	1	1	1	1	1
Périmètre	P		$\pi.a$	3.a	2.(2.h+p+e)			2v2.[a+h+2.(1-v2).p]		"X" +4.(h'-h)
		mm	12,57	12	20,6			19,58		35,58
Diamètre du tore	D	mm	30	30	30	30	30	30	30	30
Surface mouillée	S = P.π.D	mm <sup>2</sup>	$4.\pi^2.r.R = \pi^2.a.D$	P.π.D	P.π.D			P.π.D		P.π.D
			1 184	1 131	1 942			1 845		3 353
	CATIA	mm <sup>2</sup>		1 101	1 838	1 722	1 670	1 637	2 862	2 835
Comparaison / section circulaire			100%	93%	155%	145%	141%	138%	242%	239%



Diamètre moyen : 30mm

Ajouter un emplacement pour condensateur et une fixation pour une carte PCB avec son connecteur par portion de boucle

« U » de  
3,8x4mm

Plat de  
1,4x9mm

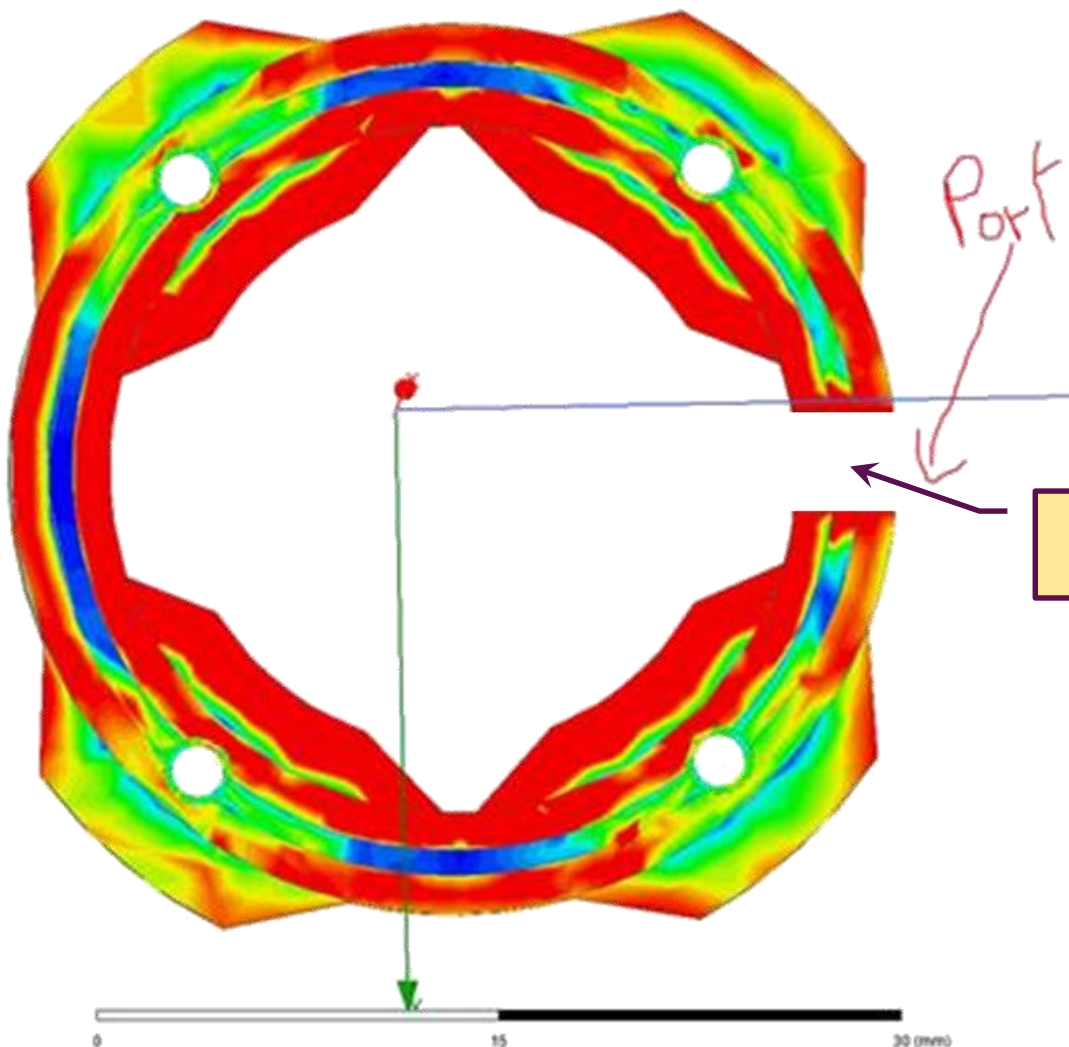
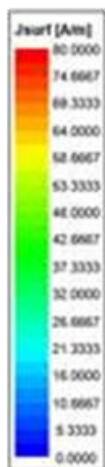
Gap de 2mm pour  
l'adaptation d'impédance  
(tune/match)

Gabriel MAITRE



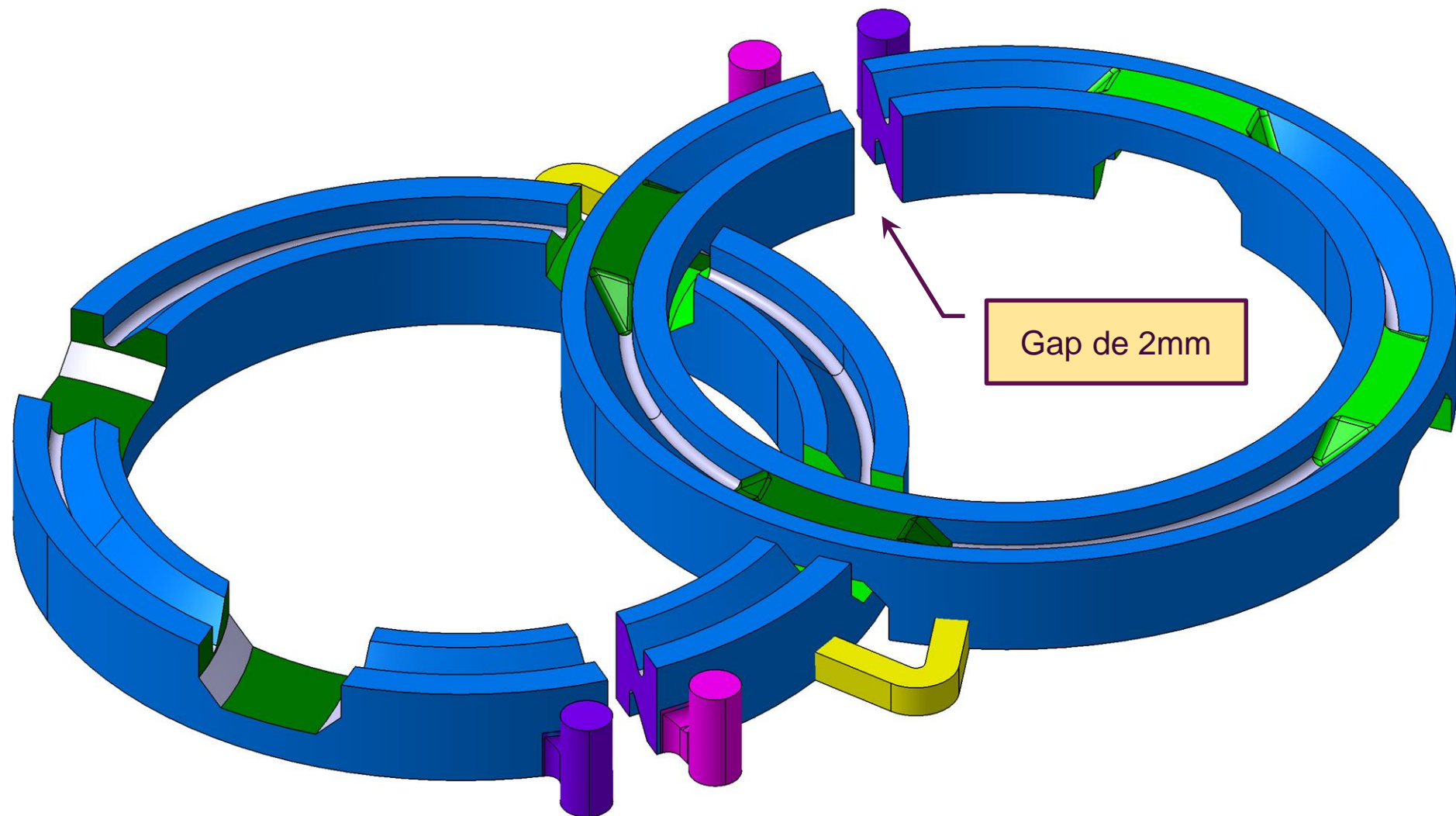
Diamètre moyen boucle : 30mm  
100 MHz

Calcul des courants surfaciques

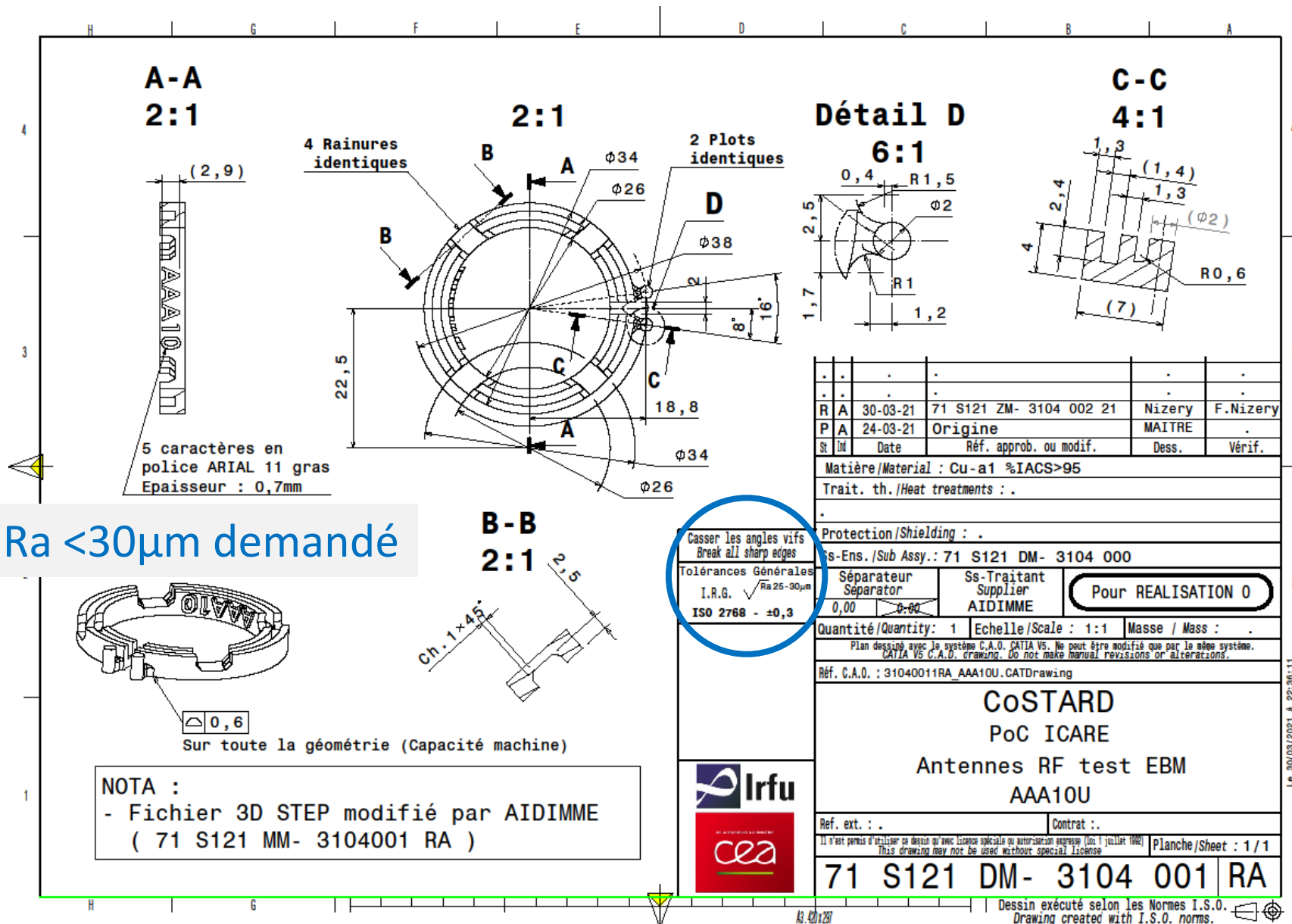


Paul-François GAPAIS

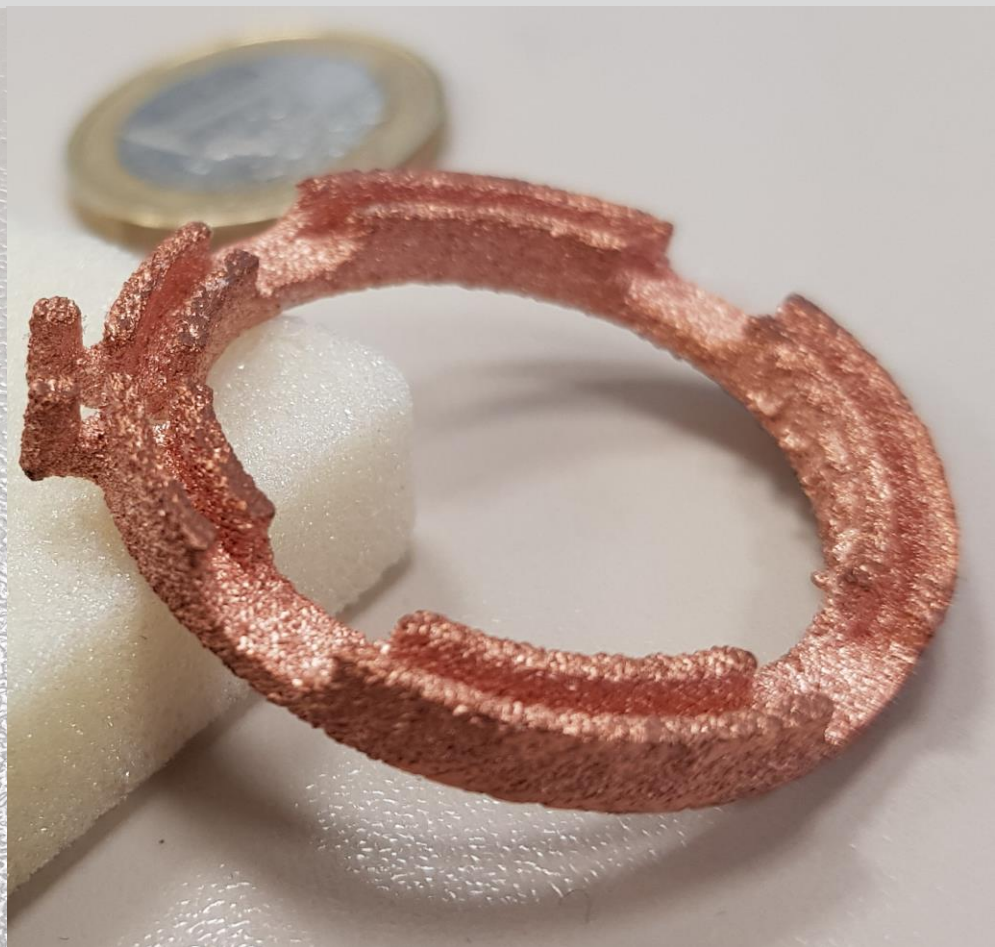




**Design après les premiers échanges avec l'imprimeur en EBM**







**Première paire de boucles  
imprimée en avril-mai 2021**



**Marquage AAA00**  
**Arial 11 Gras**



Le marquage AAA00 en ARIAL 11 Gras reste un peu difficile à lire.  
Nous pourrions revenir à un marquage binaire inspiré du code Morse.



Rappel sur les conductivités électriques %IACS  
tel que supposées au début du projet

EBM : 100% IACS

LBM : 98% IACS

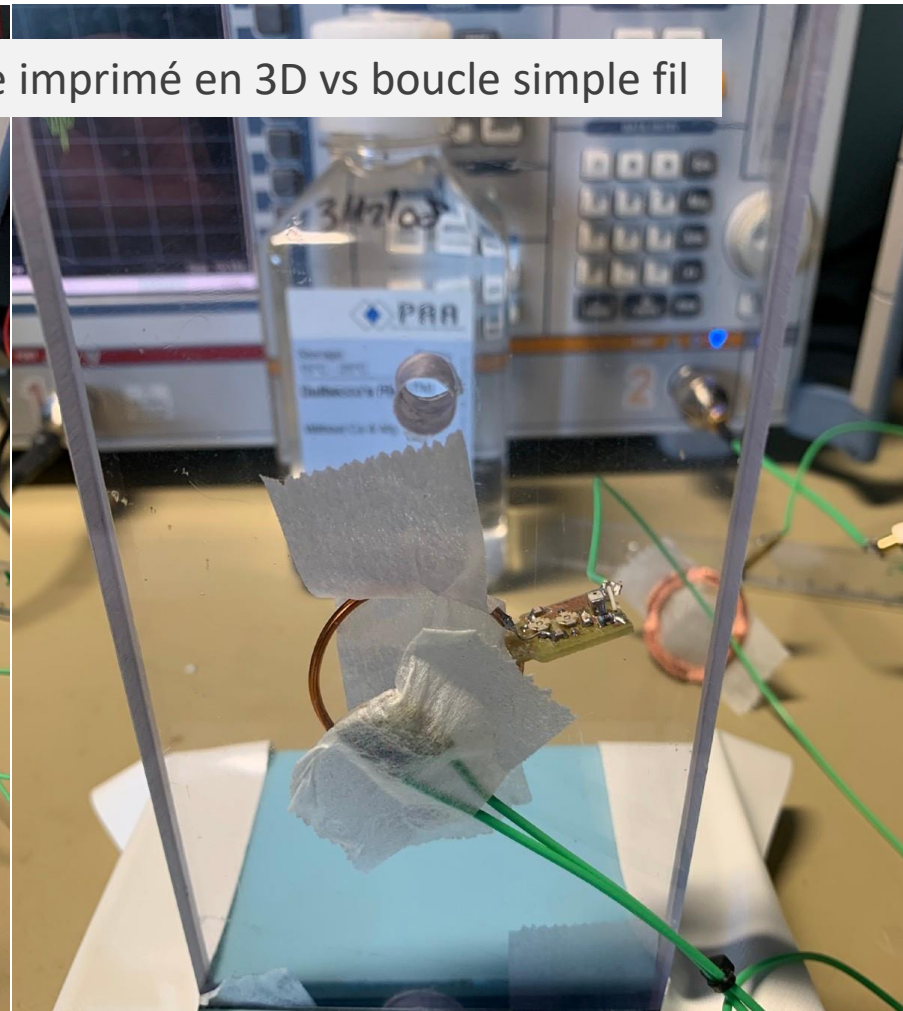
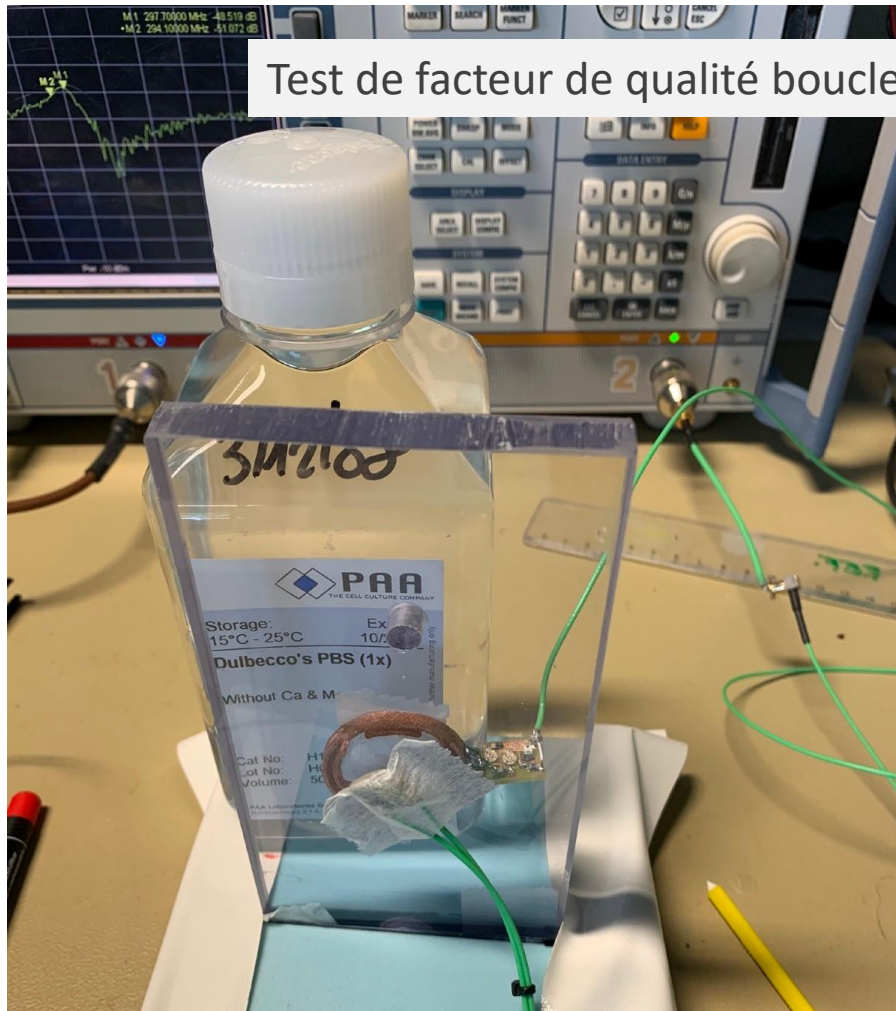
MBJ : 80% IACS (provisoirement)

## Test de qualité d'une boucle imprimé en 3D vs boucle simple fil Qfactor et SNR par F-P. GAPAIS



Paul-François a mesuré le facteur de qualité puis le rapport signal sur bruit.

## Test de facteur de qualité boucle imprimé en 3D vs boucle simple fil

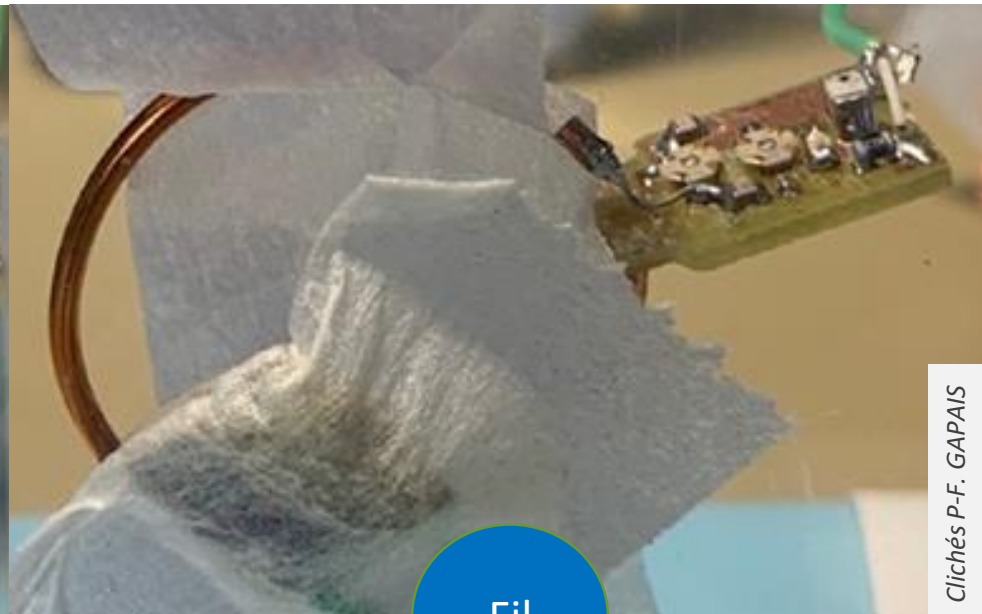


2 petites boucles auscultatrices sont placées au centre des boucles.  
On calcule le facteur de qualité (à -3dB) via la transmission entre ces 2 petites boucles (S21)  
NB : Les 2 boucles ont le même diamètre.

## Test de facteur de qualité boucle imprimé en 3D vs boucle simple fil



EBM



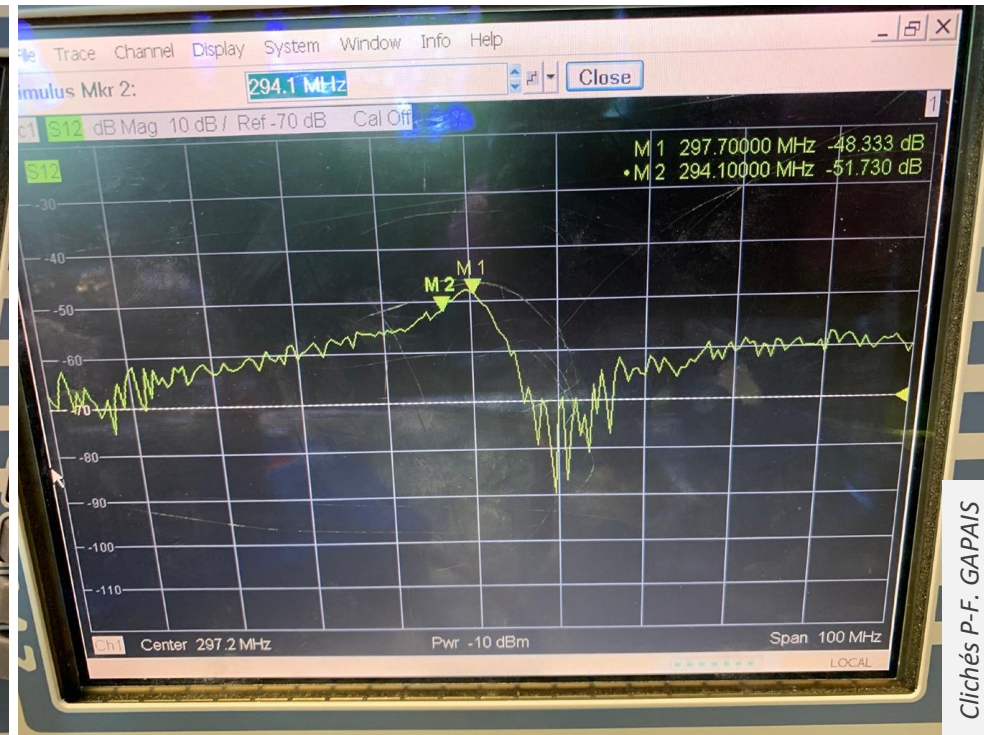
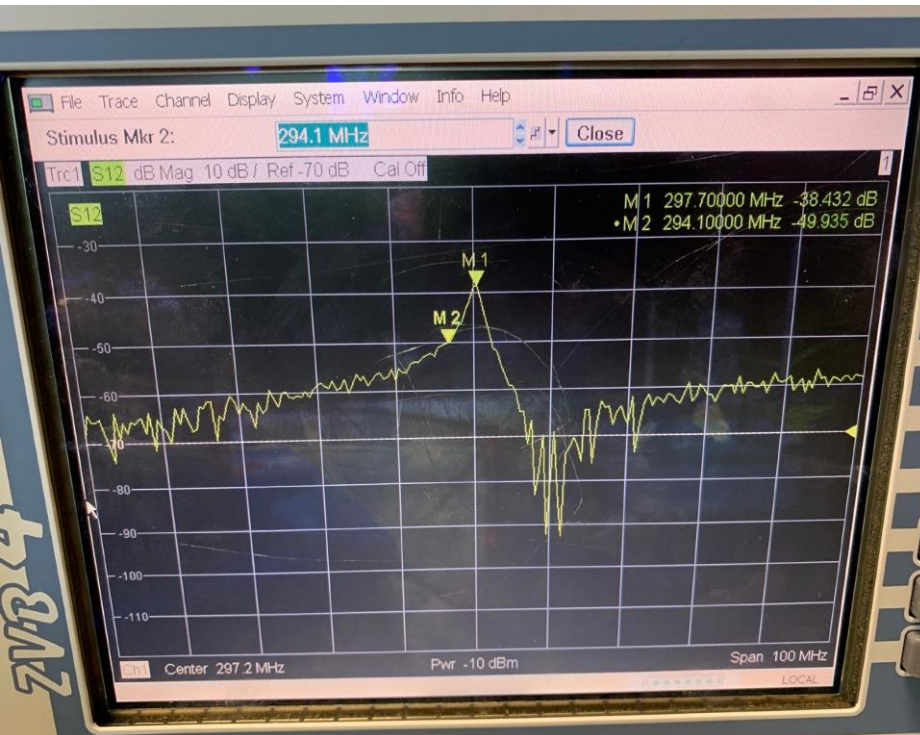
Fil

Clichés P-F. GAPAIS

2 petites boucles auscultatrices sont placées au centre des boucles.  
On calcule le facteur de qualité (à -3dB) via la transmission entre ces 2 petites boucles ( $S_{21}$ )  
NB : Les 2 boucles ont le même diamètre.



## Test de facteur de qualité boucle imprimé en 3D vs boucle simple fil



### Boucles en EBM :

$$Q_{\text{unloaded}} = 206$$

$$Q_{\text{loaded}} = 63$$

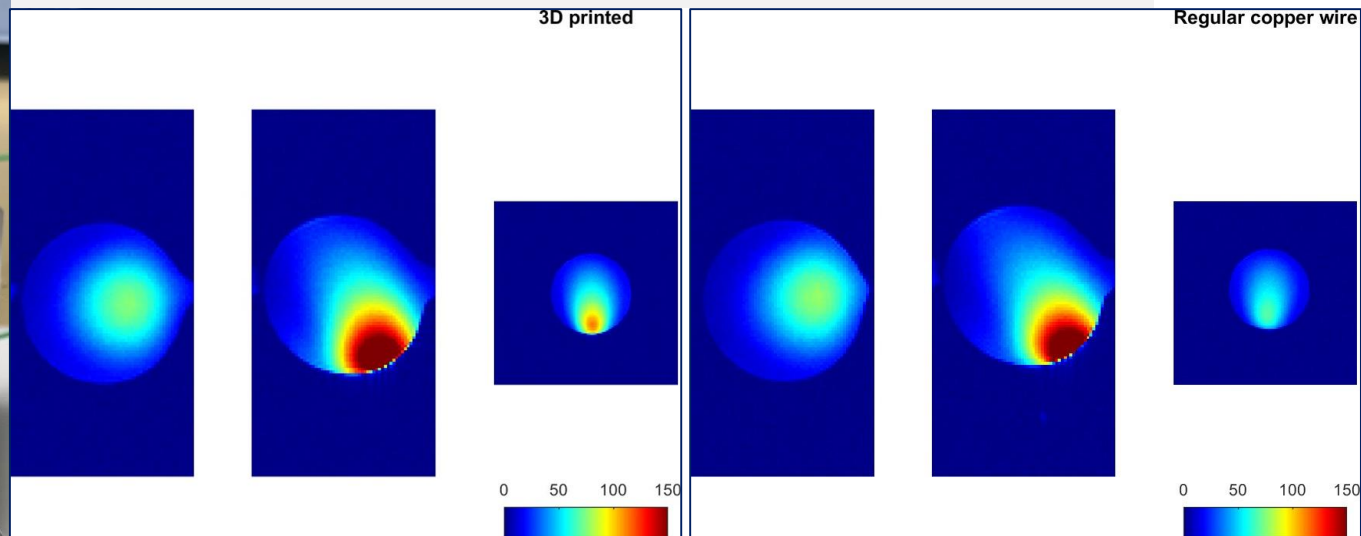
### Boucles simple fil de cuivre :

$$Q_{\text{unloaded}} = 220$$

$$Q_{\text{loaded}} = 57$$

→ Aux erreurs de mesures près, facteur de qualité sensiblement identique (même comportement)

## Tests de SNR (Rapport Signal-sur-Bruit) dans le scanner



$\langle \text{SNR} \rangle (\text{EBM}) = 37.5$

$\langle \text{SNR} \rangle (\text{fil de cuivre}) = 35$

→ Difficile de placer la boucle en une position exactement similaire entre les deux expériences, amélioration peut-être insignifiante; en tout cas : ce n'est définitivement pas moins bien !

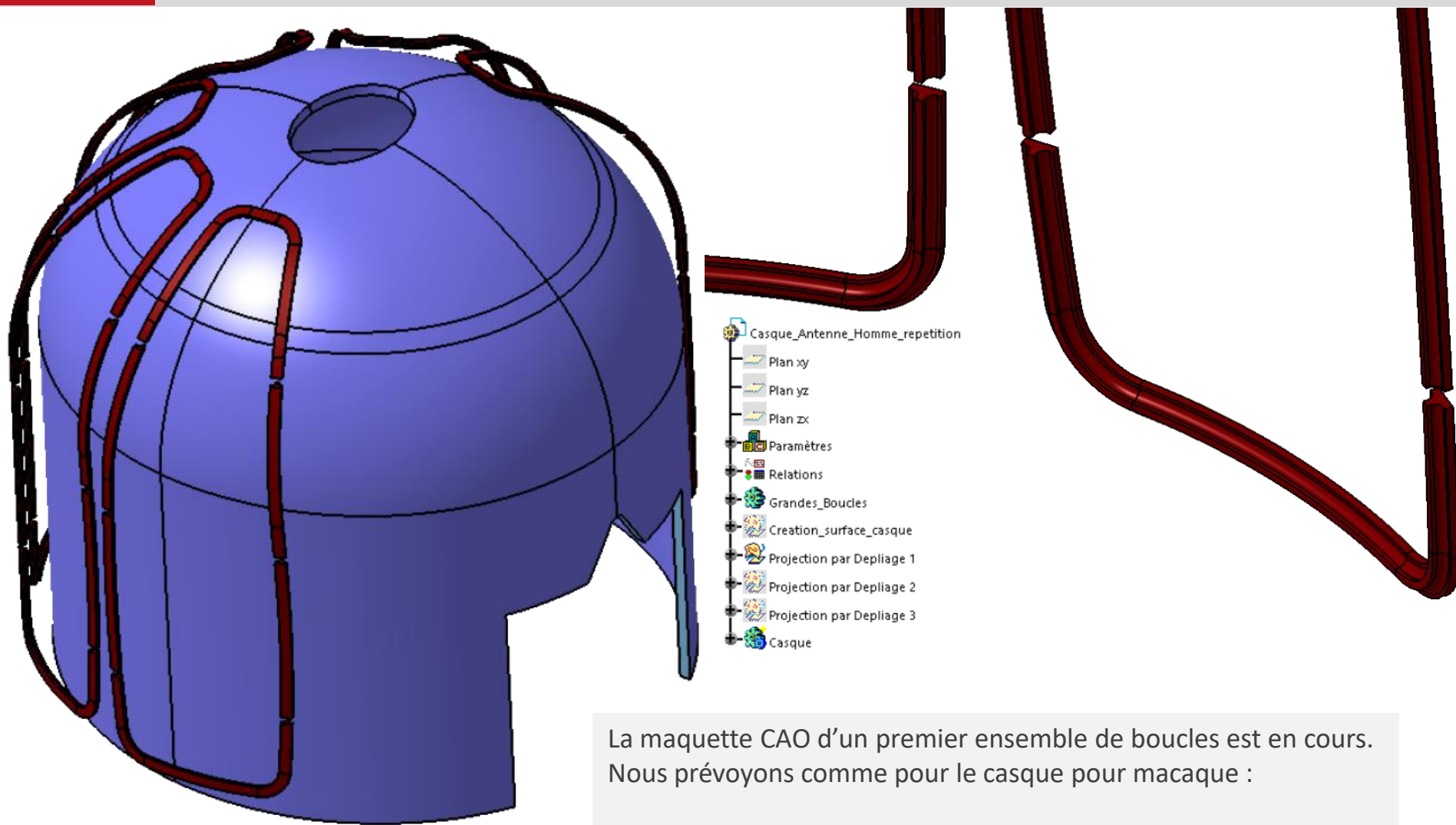
→ La section des deux joncs sont différentes, d'où l'avantage de l'impression 3D car on peut avoir la géométrie que l'on veut.

### ***Action en cours : Essais de grenaillage et de sablage***

1 des 2 boucles a été retournée chez l'imprimeur EBM pour des essais de grenaillage/sablage afin d'améliorer l'état de surface.  
L'idée est de vérifier si cela impact les mesures.

### ***A prévoir : Mesure des dimensions***

Contrôler les dimensions de la boucle restée à Saclay : pied à coulisse, mesures 3D à envisager.



La maquette CAO d'un premier ensemble de boucles est en cours.  
Nous prévoyons comme pour le casque pour macaque :

- Un premier jeu de quelques boucles (5) pour tests et validation.
- Un heaume complètement équipé.



La fabrication additive permet la fabrication d'antennes entièrement basée sur un seul procédé. L'automatisation, la haute précision, la reproductibilité et les cycles d'itération relativement courts rendent ce processus très attrayant pour le prototypage, le développement, et potentiellement la production à grande échelle d'antennes radiofréquences

La fabrication d'antennes devrait également bénéficier de l'innovation rapide et continue dans la fabrication additive.

En ce qui concerne la conception de réseaux RF, une caractéristique très intéressante de la fabrication numérique est qu'elle peut être combinée de manière transparente avec une optimisation de la conception basée sur la simulation de champ électromagnétique, même lorsque cela entraîne une complexité géométrique élevée.

La conductivité électrique du métal est clairement le critère qui aura guidé nos choix.

Les facteurs Q élevés déjà atteints indiquent que l'impression EBM sera compétitive en termes de performances électriques.

Un gain supplémentaire de conductance devrait être possible en ajoutant un peu d'argent à la poudre (IACS $\approx$ 106%).

Les résultats que nous obtiendrons sur ces projets avec l'EBM nous permettront d'envisager d'autres applications pour la physique des deux infinis.

En particulier les applications en supraconductivité nécessitent aussi du cuivre CuC2 : cavité supra, amenées de courant, support de capteurs de mesures thermiques, etc.

Aujourd'hui les premiers résultats de mesures électriques montrent déjà que la qualité obtenue en EBM est au rendez-vous.

**MERCI DE VOTRE ATTENTION**

