

## Dossier De Conception (DDC)

du projet

# Challenge de Radiogoniométrie (CDR)

### Responsabilité documentaire

Action	NOM Prénom	Fonction	Date	Signature
Rédigé par	Jeremy LINDOIS Margot LESTAGE Mathis L'HARIDON	Technicien	22/01/2025	
Approuvé par	L. THEOLIER (IUT GEII Bdx)	Chef de projet	JJ/MM/AAAA	
Approuvé par	S. HEMOUR (IUT GEII Bdx)	Client	JJ/MM/AAAA	

## Suivi des révisions documentaires

Indice	Date	Nature de la révision
1	01/09/2022	Publication préliminaire du DDC document à compléter par le Technicien.
2	22/01/2025	Première publication

## Documents de références

Sigle	Référence	Titre	Rév.	Origine
[CDC]	CDR_CDC	Cahier des charges	1	IUT GEii Bdx

## Table des matières

<b>1. Nature du document</b>	<b>4</b>
<b>2. Conception préliminaire du produit</b>	<b>4</b>
<b>2.1 Architecture du produit</b>	<b>4</b>
<b>2.1.1 Choix du type d'antenne</b>	<b>6</b>
2.1.2 Choix des matériaux du directeur et du réflecteur	6
2.1.3 Choix des matériaux de la crosse	7
2.1.4 Choix du matériaux du boom	8
2.1.5 Choix du câble	9
2.1.6 Choix du connecteur entre l'antenne et le connecteur RF de la clé USB RTL SDR	9
<b>2.2 Conclusion de la conception préliminaire du produit</b>	<b>11</b>
<b>3. Conception détaillée du produit</b>	<b>12</b>
<b>3.1 Architecture de l'antenne</b>	<b>12</b>
<b>3.2 Conception détaillée d'antenne</b>	<b>13</b>
<b>3.2.1 Dimensionnement de l'antenne</b>	<b>13</b>
<b>3.3 Conception détaillée de l'adaptation d'impédance</b>	<b>16</b>
<b>3.3.1 Adaptation d'impédance entre l'antenne et la clé</b>	<b>16</b>
<b>4. Dérivage des solutions techniques retenues</b>	<b>20</b>
<b>4.1 Simulation du gain et de l'ouverture de l'antenne</b>	<b>21</b>
<b>4.3 Conclusion de la simulation / prototypage rapide du produit</b>	<b>22</b>
<b>5. Conclusion de la conception du produit</b>	<b>23</b>
<b>6. Matrice de conformité du produit</b>	<b>23</b>

## 1. Nature du document

Ce document est un dossier de conception et a pour but de détailler la conception du produit développé. Il apporte ainsi des preuves de la conformité du produit par rapport à l'ensemble des exigences client. Le paragraphe 3 du [CDC] décrit de façon plus détaillée la nature et le positionnement de ce document dans l'arborescence documentaire du projet.

## 2. Conception préliminaire du produit

Ce chapitre décrit l'architecture fonctionnelle du produit. Il apporte les premiers éléments de preuve de la faisabilité du produit vis-à-vis des exigences client.

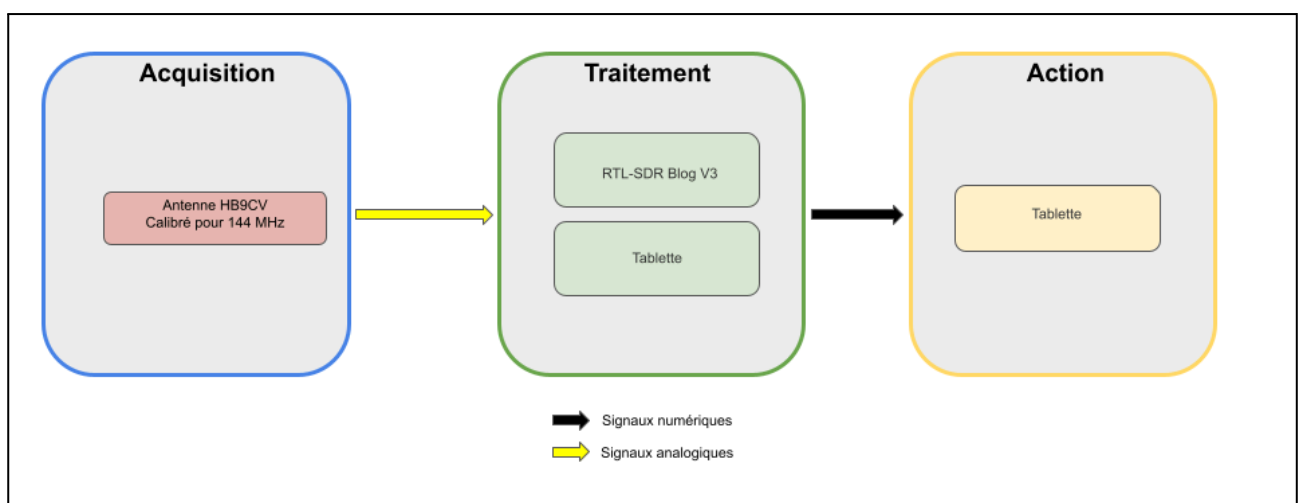
### 2.1 Architecture du produit

**Référence de pré-conception :** CPR\_SYNOPTIQUE

**Exigences client vérifiées par préconception :**

EXIG\_DIMENSIONS, EXIG\_MAINTIEN, EXIG\_MASSE, EXIG\_ALL\_IN\_ONE, EXIG\_RIGIDITE

Afin de répondre au cahier des charges, une analyse globale des exigences a conduit à l'architecture fonctionnelle présentée ci-dessous.



**Figure 1 : Architecture électronique de l'antenne**

## Challenge de Radiogoniométrie (CDR)

Explication des différents blocs :

- Acquisition : Dans la partie acquisition on retrouve une antenne calibrée pour la fréquence 144 MHz, le calibrage nous permet d'avoir un gain maximum pour cette fréquence. Une antenne adaptée signifie moins de perte et donc un signal plus clair.
- Traitement : Dans le bloc traitement on retrouve le RTL-SDR, ce module nous permet de transformer le signal capté par notre antenne en signal numérique pouvant être exploité par un étage numérique, dans notre cas une tablette équipé d'un logiciel permettant de traiter les messages en sortie du RTL-SDR.
- Action : Dans notre cas la partie action est également réalisée par la tablette, nous allons visualiser les messages reçus et traités via une application sur l'écran de la tablette.

### 2.1.1 Choix du type d'antenne

**Référence de pré-conception :** CPR\_ANTENNE

**Exigences client vérifiées par préconception :** EXIG\_DIMENSIONS, EXIG\_CAPTEUR, EXIG\_FREQUENCE

Nous avons fait une FAD (Figure 2) sur le type d'antenne. L'objectif est de trouver un type d'antenne répondant aux exigences du cahier des charges. Nous avons sélectionné deux solutions techniques : Yagi et HB9CV. Nous les avons départagés sur les critères de largeur et de longueur avec une fréquence de 144 MHz.

FICHE D'AIDE A LA DECISION (FAD)						
Référence exigence	EXIG_DIMENSIONS	Critères de sélection (valeur de 1 à 5)				
Solution technique proposée	Conformité à toutes les exigences (oui : 1 / non : 0)					
		Largeur	Longueur			
		0,925	1,045			
Yagi	0	1	5			0
HB9CV	1	0,5	1			25
		5	5			
IUT de Bordeaux Département GEII	Référence : CAR_FAD Révision : 1.6 – 22/01/2025					6 / 7

**Figure 2 : FAD pour le choix de l'antenne (en fonction des dimensions)**

Parmi ces deux types d'antennes, nous avons retenu l'antenne de type HB9CV. Parce que pour réaliser une antenne YAGI de 144 MHz, nous avons besoin d'une largeur de 0.925 mètre ce qui ne correspond pas à l'exigence de dimensions.

### 2.1.2 Choix des matériaux du directeur et du réflecteur

**Référence de pré-conception :** CPR\_RIGIDITE

**Exigences client vérifiées par préconception :** EXIG\_RIGIDITE, EXIG\_CAPTEUR

Nous avons fait une FAD (Figure 3) sur les matériaux que nous utiliserons pour le réflecteur et le directeur. L'objectif est de trouver un type de matériau répondant aux exigences du cahier des charges, donc un matériau qui conduit et qui est à mémoire de forme mais reste rigide. Nous avons sélectionné diverses solutions : cuivre, acier, bois, PVC.

## Challenge de Radiogoniométrie (CDR)

FICHE D'AIDE A LA DECISION (FAD)						
Reference exigence	EXIG_RIGIDITE	EXIG_CAPTEUR			Total  (produit des valeurs précédentes)	Commentaires  (si nécessaire)
Solution technique proposée	Conformité à toutes les exigences  (oui : 1 / non : 0)	Critères de sélection (valeur de 1 à 5)				
		Practicité	Conductibilité m/(Ohm*mm²)	Prix		
Section mètre à ruban (acier)	1	7,7	5,50€	60	5 mètres chez leroy merlin Réf 85609116	
		5	3			4
Fil de cuivre	0	58	3,66€	0	4 mètres farnell Réf Fabri : PP001231 Code de commande : 2528132	
		4	5			5
PVC	0	0	10€50	0	2 mètres Brico dépôt Réf Fabri : 3232637756754 Code de commande : 104632	
		4	1			1
Bois	0	0	1€99	0	3 mètres Brico dépôt Réf Fabri : 3663602863007 Code de commande : 900932	
		4	1			5
IUT de Bordeaux Département GEII	Référence : CAR_FAD Révision : 1.6 – 22/01/2025					3 / 7

**Figure 3 : FAD pour le choix du matériaux (Directeur et réflecteur)**

Parmi ces quatre solutions nous avons retenu l'acier et plus particulièrement des sections de ruban à mètre. Parce qu'il répond parfaitement aux critères de praticité (pas trop rigide et à mémoire de forme), de conductibilité et de prix.

### 2.1.3 Choix des matériaux de la crosse

**Référence de pré-conception :** CPR\_MAINTIEN

**Exigences client vérifiées par préconception :** EXIG\_MAINTIEN, EXIG\_ALL\_IN\_ONE

Nous avons fait une FAD (Figure 4) sur la technique que nous utiliserons pour la crosse de l'antenne. L'objectif est de trouver un type de matériau et une technologie répondant aux exigences du cahier des charges. Nous avons sélectionné diverses solutions : un simple bâton (type manche à balais), une crosse imprimé en 3D, fait par découpe laser ou grâce à un profilé de construction en aluminium.

FICHE D'AIDE A LA DECISION (FAD)							
Référence exigence	EXIG_MAINTIEN	EXIG_ALL_IN_ONE					
Solution technique proposée	Conformité à toutes les exigences  (oui : 1 / non : 0)	Critères de sélection (valeur de 1 à 5)				Total  (produit des valeurs précédentes)	Commentaires (si nécessaire)
		Prix	Forme ergonomique	Facilité de mise en oeuvre	Aspect visuel		
Manche à balais	1	2,99€ 3	2	5	3	90	une pièce
Imprimante 3D	1	2€ 4	5	3	5	300	20 € kg
Découpe laser	1	1 5	4	4	3,5	280	mdf 6 mm
Profilé de construction alu	0	4,04€ 2	3	5	1	0	1 mètre
IUT de Bordeaux Département GEII	Référence : CAR_FAD Révision : 1.6 – 22/01/2025						5 / 7

**Figure 4 : FAD pour le choix du matériaux de la crosse**

IUT Bordeaux Département GEII	Référence : CDR_DDC_Eq13 Révision : 1 – 22/01/2025	7/20
----------------------------------	---	------

## Challenge de Radiogoniométrie (CDR)

Nous avons finalement gardé une crosse faite par impression 3D, car elle permet un aspect visuel travaillé et une forme ergonomique tout en étant pas trop coûteux.

### 2.1.4 Choix du matériaux du boom

**Référence de pré-conception :** CPR\_BOOM

**Exigences client vérifiées par préconception :** EXIG\_RIGIDITE, EXIG\_CAPTEUR

Nous avons fait une FAD (Figure 5) sur le matériau du boom. L'objectif est de trouver un type de matériau et une technologie répondant aux exigences du cahier des charges. Nous avons sélectionné diverses solutions techniques : Section mètre à ruban (acier), Profilé de construction alu, PVC et Bois. Nous les avons départagés sur les critères de praticité, de conducteur, de rigidité et de prix.

FICHE D'AIDE A LA DECISION (FAD)							
Référence exigence	EXIG_RIGIDITE	EXIG_CAPTEUR					
Solution technique proposée	Conformité à toutes les exigences  (oui : 1 / non : 0)	Critères de sélection (valeur de 1 à 5)				Total  (produit des valeurs précédentes)	Commentaires  (si nécessaire)
		Praticité	Conducteur	Rigidité	Prix		
Section mètre à ruban (acier)	0	1	5	1	4	0	5 mètres chez leroy merlin Réf 85609116
Profilé de construction alu	1	5	5	5	4,04€	625	1 mètre
PVC	0	4	1	1	10€50	0	2 mètres Brico dépôt Réf Fabr : 3232637756754 Code de commande : 104632
Bois	0	4	1	1	1€99	0	3 mètres Brico dépôt Réf Fabr : 3663602863007 Code de commande : 900932
IUT de Bordeaux	Référence : CAR_FAD						
Département GEII	Révision : 1.6 – 22/01/2025						
4 / 7							

**Figure 5 : FAD pour le choix du matériaux du boom**

Nous avons finalement retenu le profilé de construction aluminium parce qu'il correspond parfaitement aux exigences du cahier des charges.

### 2.1.5 Choix du câble

**Référence de pré-conception :** CPR\_CABLE

**Exigences client vérifiées par préconception :** EXIG\_SOLIDITE\_CONNECTEUR  
EXIG\_TYPE\_CONNECTEUR

Nous avons fait une FAD (Figure 6) pour le choix du câble reliant l'antenne à la clé USB RTL SDR. Nous avons choisi trois solutions techniques : le fil de pêche, le fil de cuivre et le câble coaxial. De plus, nous les avons départagées sur leurs conductibilités et leurs protections contre les parasites électromagnétiques.

IUT Bordeaux Département GEII	Référence : CDR_DDC_Eq13 Révision : 1 – 22/01/2025	8/20
----------------------------------	---	------



## Challenge de Radiogoniométrie (CDR)

FICHE D'AIDE A LA DECISION (FAD)									
Référence exigence									
Solution technique proposée	Conformité à toutes les exigences  (oui : 1 / non : 0)	Critères de sélection (valeur de 1 à 5)				Total  (produit des valeurs précédentes)	Commentaires  (si nécessaire)		
		Conducteur	Protection contre parasite électromagnétique						
		Fil de pêche	0	1	1				0
		Cuivre	0	5	1				0
Cable coaxial	1	5	5		25				
IUT de Bordeaux		Référence : CAR_FAD							
Département GEII		Révision : 1.6 – 22/01/2025							
							7 / 7		

**Figure 6 : FAD pour le choix du câble**

Nous avons retenu le câble coaxial parce qu'il est conducteur et protège contre les parasites électromagnétiques.

### 2.1.6 Choix du connecteur entre l'antenne et le connecteur RF de la clé USB RTL SDR

**Référence de pré-conception :** CPR\_CONNECTEUR

**Exigences client vérifiées par préconception :** EXIG\_TYPE\_CONNECTEUR

Nous avons fait la FDA suivante afin de déterminer le type de connecteur que nous allons utiliser.

Afin de choisir le connecteur que nous allons utiliser afin de transmettre nôtre signal.

FICHE D'AIDE A LA DECISION (FAD)							
Solution technique proposée	Conformité à toutes les exigences  (oui : 1 / non : 0)	Critères de sélection (valeur de 1 à 5)				Total  (produit des valeurs précédentes)	Commentaires (si nécessaire)
		Compatibilité avec le câble choisi	Prix				
connecteur SMA femelle	1	5	6,11€	1		5	
connecteur USB A	0	0	1,43€	5		0	
IUT de Bordeaux	Référence : CAR_FAD						
Département GEII	Révision : 1.6 – 22/01/2025						
							8 / 8

**Figure 7 : FAD pour le choix du connecteur entre l'antenne et le connecteur RF**

Nous sommes finalement partis sur un connecteur SMA car il est compatible avec le RTL SDR auquel nous devons le brancher, il nous suffira donc plus que d'un câble coaxial SMA vers SMA afin de relier nôtre antenne au RTL SDR.

IUT Bordeaux Département GEII	Référence : CDR_DDC_Eq13 Révision : 1 – 22/01/2025	9/20
----------------------------------	---	------

## 2.2 Conclusion de la conception préliminaire du produit

Pour conclure, nous avons réussi à trouver des solutions techniques répondant parfaitement aux exigences du cahier des charges. Toutes les zones d'ombres ont été éclaircies et chaque choix de solution retenu a été fait via une Fiche d'Aide à la Décision (FAD). Nous pouvons passer à la phase de conception détaillée.

### 3. Conception détaillée du produit

Ce chapitre détaille la conception du produit développé. Il constitue une preuve de la conformité du produit. Chaque paragraphe de cette étude fait donc clairement référence aux exigences client issues du [CDC].

#### 3.1 Architecture de l'antenne

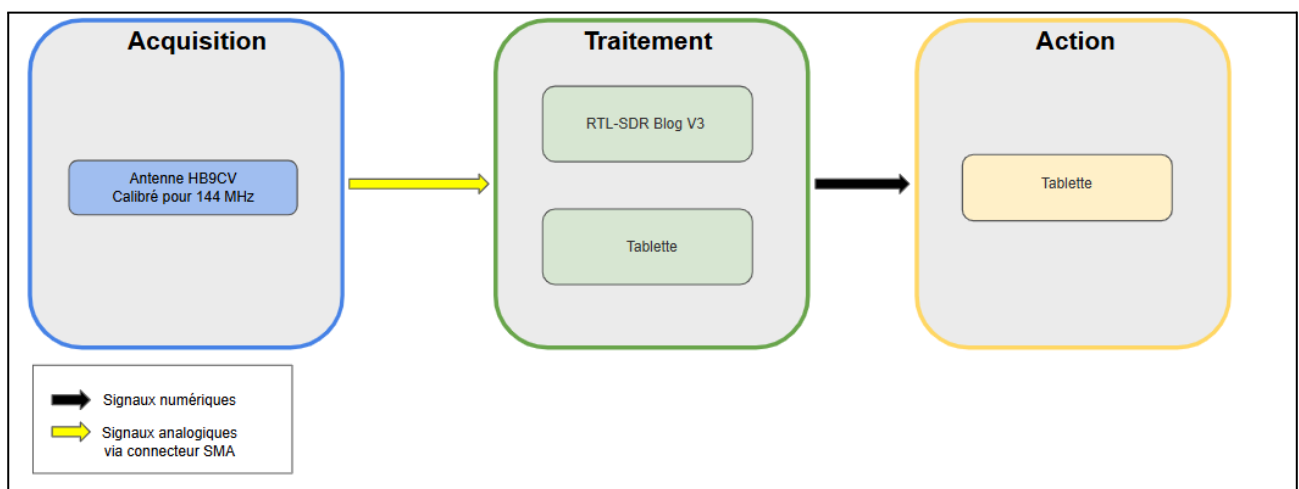
Chaque bloc fonctionnel doit faire l'objet d'un chapitre de conception détaillé, présenté comme suit.

**Référence de conception :** CDT\_SYNOPTIQUE

**Exigences client vérifiées :** /

L'architecture de l'antenne se compose de plusieurs blocs fonctionnels clés, chacun jouant un rôle spécifique dans la réception et l'émission du signal. La conception a été réalisée en tenant compte des exigences client, notamment la performance en termes de gain, d'ouverture et d'impédance.

A la suite de la conception préliminaire, l'activité de conception détaillée a été menée. Le synoptique détaillé est fourni ci-dessous.



**Figure 8 : Synoptique détaillé de l'antenne**

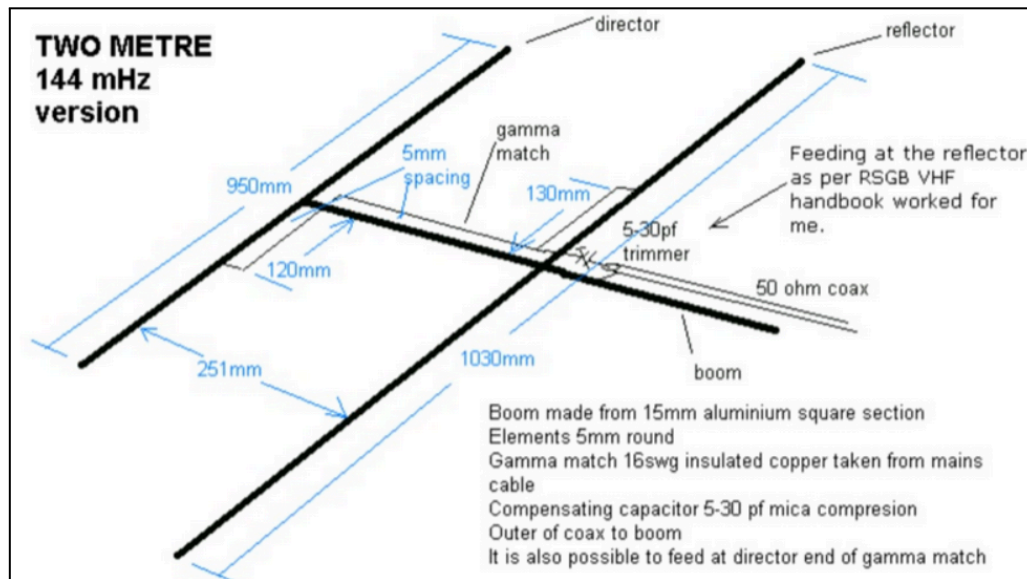
## 3.2 Conception détaillée d'antenne

### 3.2.1 Dimensionnement de l'antenne

Référence de conception : CDT\_DIMENSIONS

Exigences client vérifiées : EXIG\_DIMENSIONS

Les dimensions de l'antenne sont basées sur un modèle trouvé sur un site de référence pour une antenne HB9CV opérant à 144 MHz.

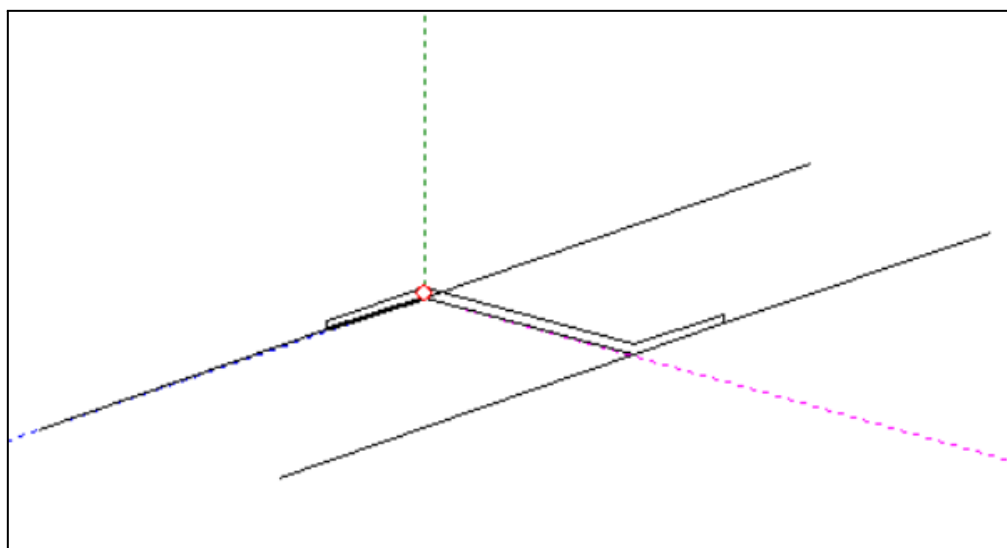


**Figure 9 : Dimensions d'une antenne HB9CV pour 144MHz**

Nous avons donc un directeur de 950 mm, un réflecteur de 1030 mm, un boom de 251 mm et un gamma de 52.1 mm (lorsqu'il est complètement déplié).

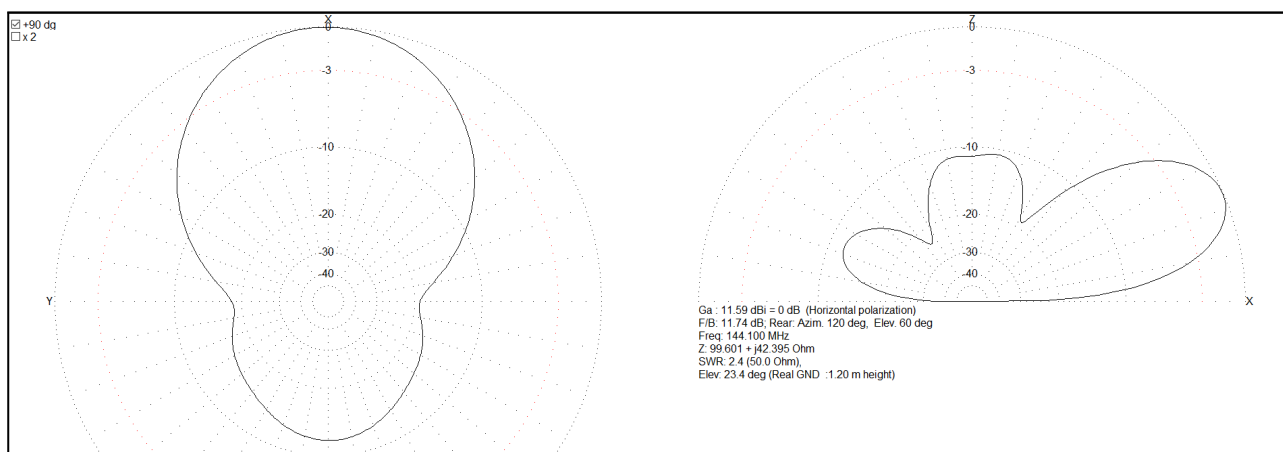
Puis nous avons pris ces dimensions pour faire les simulations sous MMANA-GAL, nous avons donc créé notre antenne avec les différentes coordonnées rentrées dans l'onglet "Geometry", puis nous avons visualisé dans l'onglet "View".

## Challenge de Radiogoniométrie (CDR)



**Figure 10 : Visualisation de la simulation de l'antenne**

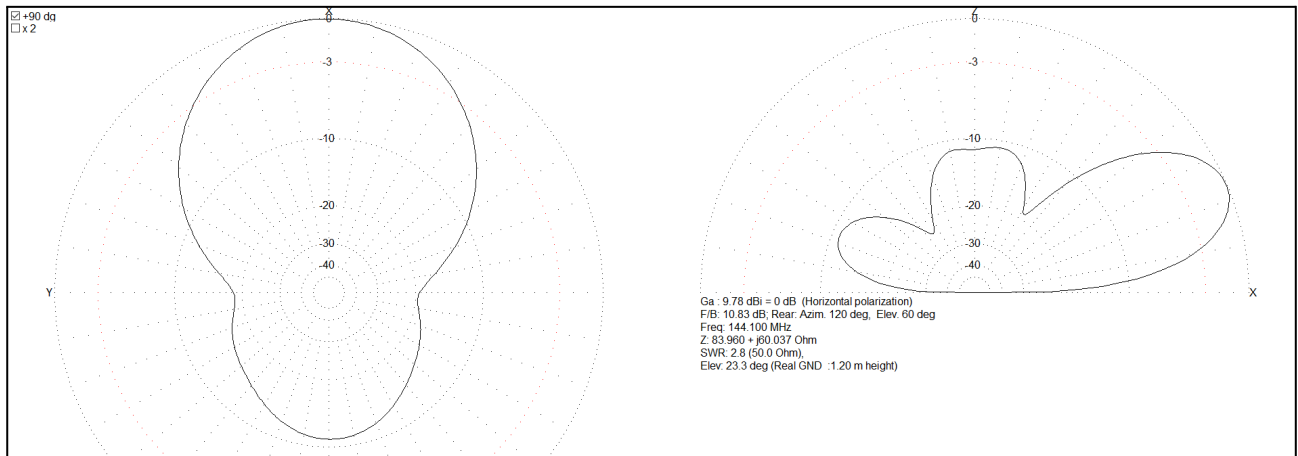
Nous avons testé plusieurs matériaux sous MMANA-GAL afin d'analyser leurs effets sur les performances de l'antenne, notamment le gain, le rapport avant/arrière et l'angle d'ouverture. Pour cela, nous avons modifié le paramètre "Material" dans l'onglet "Calculate" et observé les résultats dans l'onglet "Far field plot".



**Figure 11 : Simulation de notre antenne en aluminium sous MMANA-GAL**

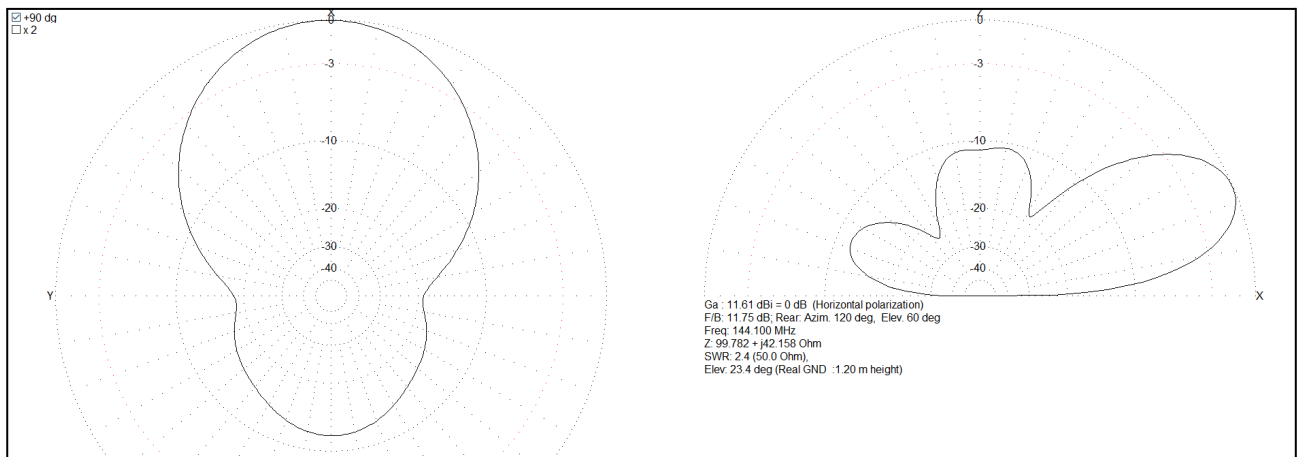
Donc pour l'aluminium nous trouvons un gain de 11.59dBi à 0 dB, un rapport avant/arrière de 11.74dB et un angle d'ouverture de 76° .

## Challenge de Radiogoniométrie (CDR)



**Figure 12 : Simulation de notre antenne en fer sous MMANA-GAL**

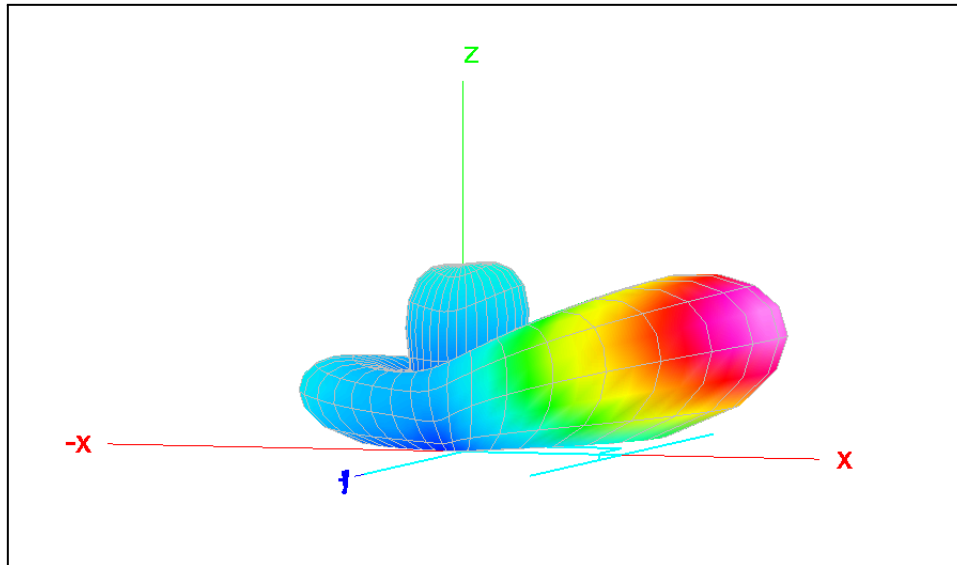
Ensuite pour le fer nous trouvons un gain de 9.78dBi à 0dB (polarisation horizontale), un rapport avant/arrière de 10.83dB et un angle d'ouverture correspondant au précédent : 76°.



**Figure 13 : Simulation de notre antenne en cuivre sous MMANA-GAL**

Nous avons fini par le cuivre ci dessus et nous trouvons un gain de 11.61 dBi, un rapport avant/arrière de 11.75dB et un angle d'ouverture de toujours de 76° .

Nous avons visualisé la forme 3D du lobe de l'antenne, qui montre la distribution de la réception selon l'angle. Cette représentation nous permet de mieux comprendre la zone de détection de l'antenne : plus l'intensité est rouge, plus la réception est forte.



**Figure 14 : Lobe de notre antenne**

Donc la Figure X nous indique que l'antenne capte principalement dans la direction devant elle, avec un léger biais vers le haut par rapport à l'horizontale de l'antenne.

Cette caractéristique est cruciale lors de la chasse aux renards (balise), car si l'antenne est tenue parallèlement au sol, elle pourrait ne pas détecter efficacement les balises situées au sol, en raison de l'orientation de son lobe de réception. Nous devons donc tenir compte de cette orientation et ajuster l'inclinaison de l'antenne pour optimiser la détection des balises à proximité du sol.

### 3.3 Conception détaillée de l'adaptation d'impédance

#### 3.3.1 Adaptation d'impédance entre l'antenne et la clé

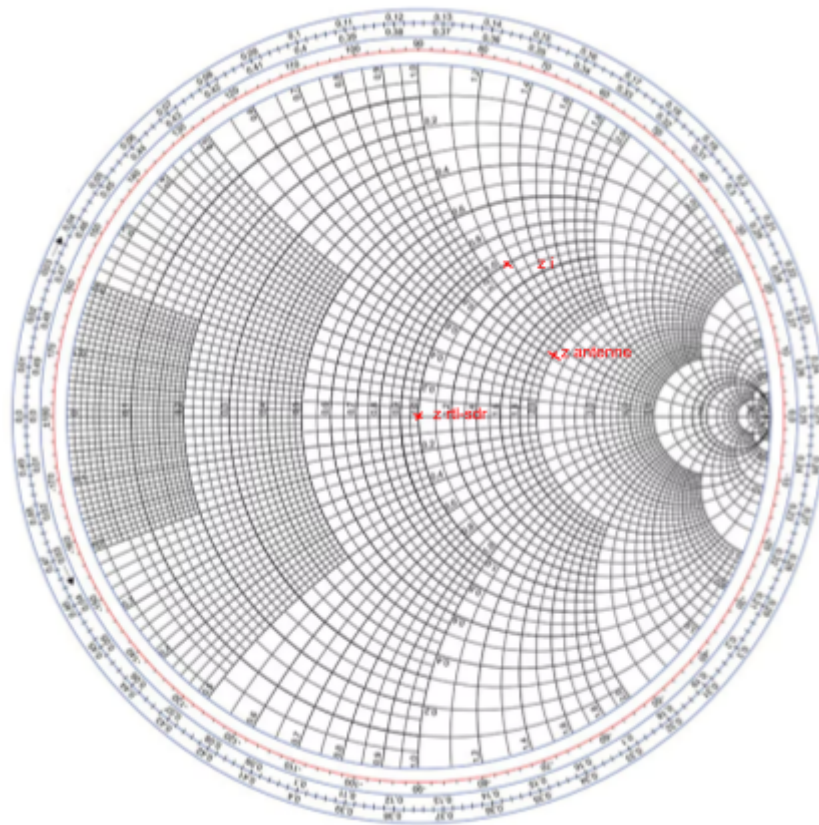
**Référence de conception** : CDT\_ADAPTATION\_IMPEDANCE

**Exigences client vérifiées** : /

Nous allons devoir ajouter un circuit d'adaptation d'impédance parce que nous n'avons pas la même impédance entre la clé USB RTL SDR et l'antenne. Sans ce circuit, nous aurons un problème de réflexion d'onde au niveau de la clé USB RTL SDR, ce qui perturbera le signal traité.

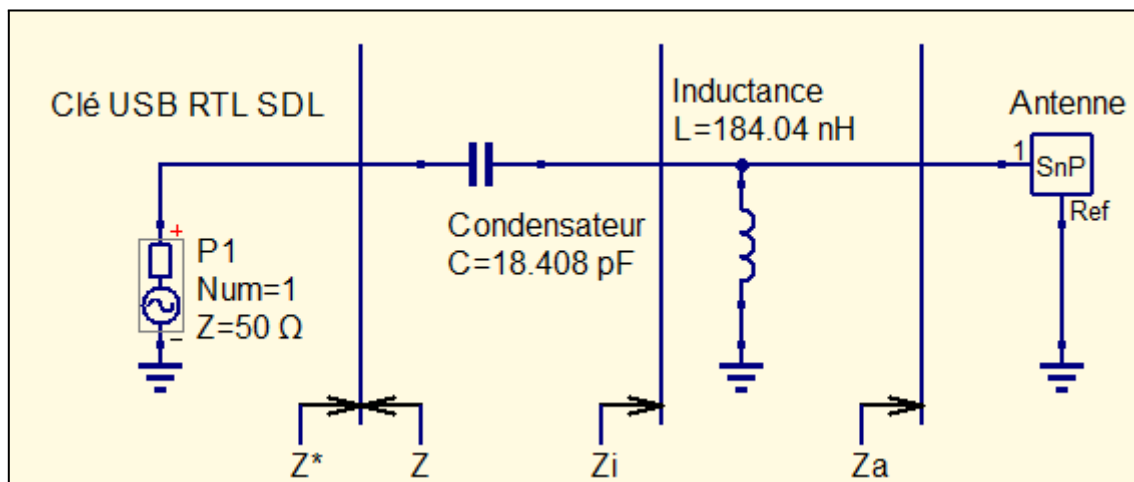
Pour dimensionner ce circuit, nous utilisons le cours sur l'adaptation d'impédance de Monsieur Hemour.

Pour l'antenne, nous avons une impédance de  $Z_a = (99.78 + 42.16j) \Omega$ , et pour la clé USB RTL SDR, l'impédance est de  $Z = 50 \Omega$ . En impédance réduite ( $Z_0 = 50 \Omega$ ), nous avons  $z_{ant} = 1.9956 + 0.9032j$ , pour l'antenne, et  $z = 1$  pour la clé USB RTL SDR. Puis, nous avons placé ces points sur l'abaque de Smith (Figure X).



**Figure 15 : Abaque de Smith avec les points de l'antenne et de la clé RTL SDR**

Grâce à l'abaque de Smith, nous pouvons en déduire que le circuit d'adaptation d'impédance sera composé d'une inductance en parallèle et d'un condensateur en série (Figure 15). Nous avons ajouté un point intermédiaire entre l'inductance et le condensateur permettant les calculs de leurs valeurs.



**Figure 16 : Schéma de l'adaptation d'impédance**

Dans le tableau ci dessous, nous avons regroupé les valeurs d'impédance, d'impédance réduite et d'admittance des trois points (Clé USB RTL SDR, Intermédiaire et Antenne)

IUT Bordeaux Département GEII	Référence : CDR_DDC_Eq13 Révision : 1 – 22/01/2025	16/20
----------------------------------	---	-------



# Challenge de Radiogoniométrie (CDR)

	Clé USB	Intermédiaire	Antenne
Impédance ( $\Omega$ )	$Z = 50$	$Z_i = 50 + 60j$	$Z_a = 99.78 + 42.16j$
Impédance réduite ( $\emptyset$ )	$z = 1$	$z_i = 1 + 1.2j$	$z_a = 1.9956 + 0.9032j$
Admittance réduite ( $\emptyset$ )	$y = 1$	$y_i = 0.4 - 0.5j$	$y_a = 0.4 - 0.2j$

Pour les calculs des valeurs de l'inductance L et du condensateur C, nous avons utilisé une fréquence de  $f = 144.1$  MHz, une impédance caractéristique de  $Z_0 = 50 \Omega$  et une pulsation  $\omega = 2\pi f$ . De plus, pour l'impédance Z de la clé, il faut prendre l'impédance conjuguée pour que toutes les impédances soient dans le même sens, dans notre cas, aucun changement parce que l'impédance Z de la clé est un réel pur.

Pour la valeur de L :

$$y_i = y_a + y_{self}$$

$$0.4 - 0.5j = 0.4 - 0.2j - j \frac{1}{L\omega} Z_0$$

$$-0.3j = -j \frac{1}{L \cdot 2\pi \cdot 144.1 \cdot 10^6} 50$$

$$L = 184.08 \text{ nH}$$

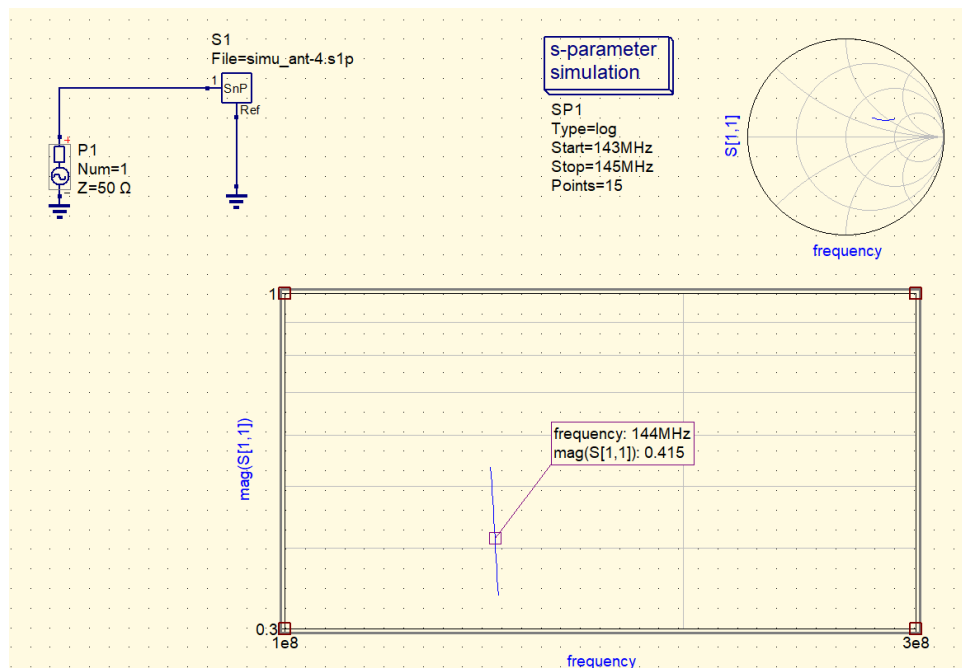
Pour la valeur de C :

$$z^* = z_i + z_{capa}$$

$$1 = 1 + 1.2j - j \frac{1}{C\omega Z_0}$$

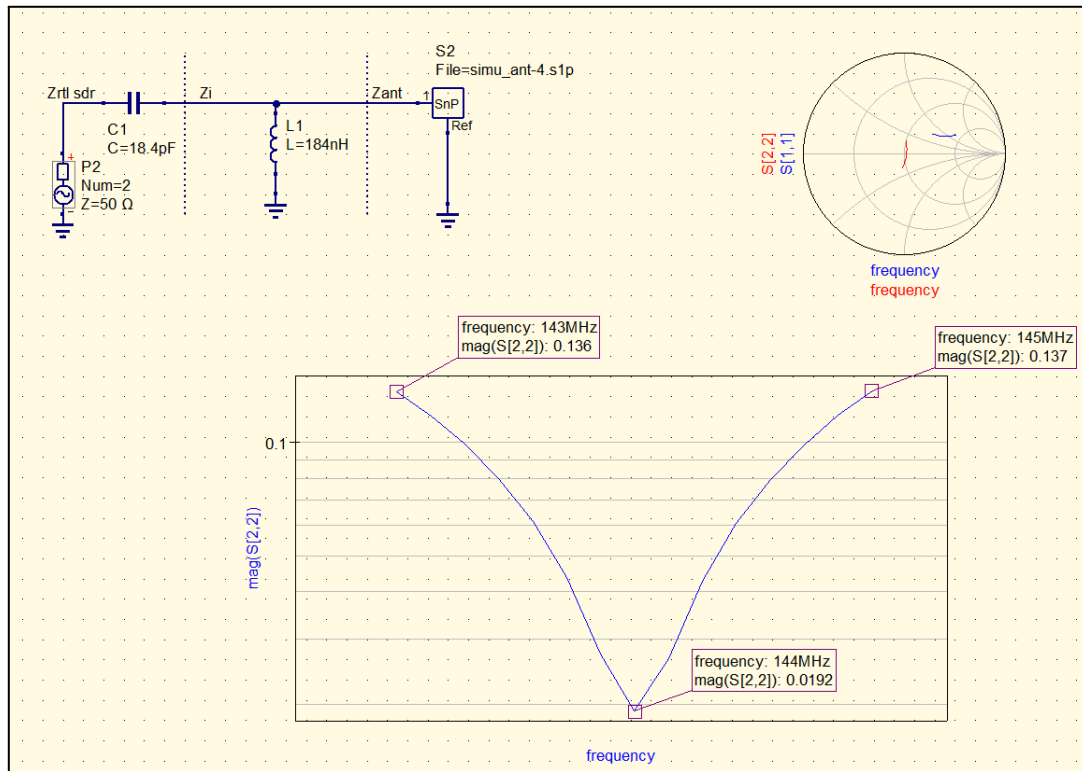
$$-1.2j = -j \frac{1}{C \cdot 2\pi \cdot 144.1 \cdot 10^6 \cdot 50}$$

$$C = 18.408 \text{ pF}$$



**Figure 17 : Simulation qucs du montage pour la plage de fréquence 143 MHz 145 MHz**

Nous avons dans un premier temps visualiser l'impédance réduite de nôtre antenne sur le locielle qucs et nous avons remarqué l'antenne n'était pas adapter en fréquence nous avons donc insérer les composants que nous avons calculer plutôt.



**Figure 18 : Adaptation d'impédance du montage pour la plage de fréquence 143 MHz 145 MHz**

Sur la figure X, nous avons adapté l'impédance de l'antenne grâce au composant que nous avons calculé plutôt, nous pouvons observer que l'antenne est finalement bien adaptée à la fréquence 144MHz

Donc, pour le circuit d'adaptation d'impédance, il nous faut une inductance en parallèle de 184.08 nH (normalisé à ...) et un condensateur en série de 18.408 pF (normalisé à )

## 4. Dérivage des solutions techniques retenues

Ce chapitre détaille les activités de dérivation des solutions techniques retenues : simulation et/ou prototypage rapide. Il constitue une preuve partielle de la conformité du produit. Chaque paragraphe de l'étude fait donc clairement référence aux exigences client issues du [CDC].

Il permet également de confirmer les résultats théoriques effectués aux paragraphes 2 et 3 en vérifiant le fonctionnement à travers des simulations et/ou prototypages rapides. Pour chaque

simulation et/ou prototypage rapide est renseigné le protocole de mise en œuvre. Les résultats des simulations et/ou prototypages rapides sont confrontés aux résultats de l'étude théorique.

L'ensemble des fichiers est disponible dans le dossier : renseignez ici le chemin du dossier où sont situés les fichiers de simulation et/ou prototypage rapide du projet.

## 4.1 Simulation du gain et de l'ouverture de l'antenne

**Référence de la simulation :** SIM01

**Exigences client vérifiées :** EXIG\_GAIN, EXIG\_OUVERTURE

**But de l'essai :** Le but de l'essai est de vérifier que notre antennes possède un rapport avant / arrière de 3 dB minimum et vérifié qu'elle a un angle d'ouverture inférieure à 160°

**Fichiers :** [simu\\_ant.maa](#)

**Procédure de simulation :**

Nous avons préalablement créé l'antenne en entrant les coordonnées dans l'onglet "Geometry" de MMANA-GAL. Ensuite, nous avons testé chaque matériau en modifiant le paramètre "Material" dans l'onglet "Calculate". Pour chaque test, nous avons visualisé les résultats dans l'onglet "Far field plot" et nous avons veillé à activer l'option "real" dans l'onglet "Calculate" pour obtenir des résultats réalistes.

**Résultats attendus :**

Grandeur	Valeur mesurée
Rapport avant/arrière	> 3dB
Angle d'ouverture	< 160°

**Résultats obtenus :**

Pour l'aluminium :

Grandeur	Valeur mesurée	Conf/Non conf.
Rapport avant/arrière	11.74 dB	Conforme
Angle d'ouverture	76°	Conforme

Pour le fer :

Grandeur	Valeur mesurée	Conf/Non conf.
Rapport avant/arrière	10.83 dB	Conforme
Angle d'ouverture	76°	Conforme

Pour le cuivre :

Grandeur	Valeur mesurée	Conf/Non conf.
Rapport avant/arrière	11.61 dB	Conforme

Grandeur	Valeur mesurée	Conf/Non conf.
Angle d'ouverture	76°	Conforme

**Statut de l'essai :** Peu importe le choix du matériau, l'essai est conforme mais nous privilégions le cuivre car il permet d'avoir un meilleur rapport avant/arrière.

**Problèmes rencontrés :** Aucun problème rencontré

### 4.3 Conclusion de la simulation / prototypage rapide du produit

Les simulations et prototypages rapides ont validé avec succès la conception de l'antenne, confirmant que les performances répondent aux exigences du Cahier des Charges, notamment le rapport avant/arrière et l'angle d'ouverture. Les tests sur aluminium, fer et cuivre ont tous respecté les critères, mais le cuivre a montré de meilleures performances. Aucune non-conformité n'a été identifiée, et les résultats sont conformes aux attentes. En conclusion, la conception et les matériaux sélectionnés assurent une solution conforme aux besoins du client.

## 5. Matrice de conformité du produit

Ce chapitre synthétise par l'intermédiaire d'un tableau la conformité du produit développé par rapport aux exigences issues du Cahier des Charges.

Exigence	Méthodes Vérification	Statut
EXIG_DIMENSIONS	Conception Conception/Fab. Vérification	Conforme
EXIG_GAIN	Conception Conception/Fab. Vérification	
EXIG_OUVERTURE	Conception Conception/Fab. Vérification	