

Dossier De Conception (DDC)

du projet

Challenge De Radiogoniometrie (CDR)

Responsabilité documentaire

Action	NOM Prénom	Fonction	Date	Signature
Rédigé par	CORDEAU Maxence, GHARIB Rayan	Technicien	31/01/2025	
Approuvé par	<Chef de Projet> (IUT GEII Bdx)	Chef de projet	31/01/2025	
Approuvé par	<Client> (IUT GEII Bdx)	Client	31/01/2025	

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	08/02/2025	Première publication

Documents de références

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

Table des matières

1. Nature du document	5
2. Conception préliminaire du produit	5
2.1 Architecture Électronique	5
2.1.1 Partie acquisition	7
2.3 Conclusion de la conception préliminaire du produit	10
3. Conception détaillée du produit	11
3.1 Conception détaillée de la partie acquisition	12
3.1.1 Récepteur de l'antenne	12
3.1.1.1 Conception 3D	12
3.1.1.2 Modèle équivalent	17
3.2 Coût de développement	18
3.3 Délais du projet	19
4. Conclusion de la conception du produit	20
5. Matrice de conformité du produit	20

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 Électronique

Référence de pré-conception : CPR01

Exigences client vérifiées par préconception : EXIG_FREQUENCE / EXIG_TYPE_CONNECTEUR / EXIG_SOLIDITE_CONNECTEUR / EXIG_DIMENSIONS / EXIG_RIGIDITE / EXIG_CAPTEUR / EXIG_MASSE

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

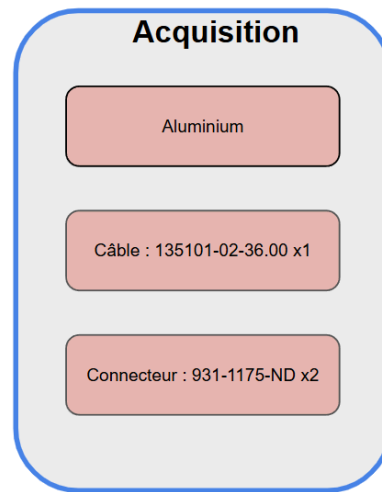


Figure x : Architecture électronique de l'antenne

Bloc Acquisition :

L'antenne qui suivra le modèle HB9CV est composée d'un bloc acquisition décomposé en 3 parties. Premièrement, le récepteur sera fait d'aluminium pour plusieurs raisons telles que ses propriétés de conduction électrique, son faible coût ainsi que sa rigidité, le tout explicité dans la FAD correspondante. Il sert à la réception des ondes émettrices et compose le réflecteur, le directeur ainsi que le gamma. Afin de transmettre le signal à la clé USB RTL SDR, nous utilisons un câble SMA to SMA qui est relié lui-même au connecteur SMA de l'antenne. Cela permet à l'antenne de transférer le signal à la clé qui elle-même transmet le signal à la tablette afin d'interpréter les signaux interceptés.

Challenge De Radiogoniométrie (CDR)

2.1.1 Partie acquisition

Référence de pré-conception : CPR02

Exigences client vérifiées par préconception : EXIG_FREQUENCE / EXIG_TYPE_CONNECTEUR / EXIG_SOLIDITE_CONNECTEUR

Nous avons le choix entre deux connecteurs SMA de même type.



Solution technique proposée	Conformité à toutes les exigences (oui : 1 / non : 0)	de selection (valeur de 1 à 5)				Total (produit des valeurs précédentes)	Commentaires (si nécessaire)
		Prix	Fréquence max > 144 MHz	Solidité	Sma mâle		
Réf : 931-1175-ND	1	3,22€	12.4GHz	Soudure	Oui	625	
		5	5	5	5		
Réf : MP-60-04 TGG	1	9,40€	18 GHz	Soudure	Oui	125	
		1	5	5	5		
IUT de Bordeaux Département GEII	Référence : PRJ_FAD Révision : 1.6 – 19/09/2022						2 / 7

Figure x : FAD pour le choix du connecteur SMA

Nos deux connecteurs sont conformes à toutes les exigences. Notre choix se caractérise par l'analyse des datasheets de chaque élément qui regroupe toutes les informations techniques nécessaire à la comparaison des 2 connecteurs. Cependant pour des raisons de prix, nous privilégions le connecteur 931-1175-ND qui est plus ou moins 300% moins coûteux et répond aux exigences du CDC.

Notre choix s'est donc porté dessus.

Référence de pré-conception : CPR03

Exigences client vérifiées par préconception : EXIG_FREQUENCE / EXIG_TYPE_CONNECTEUR

Nous avons le choix entre deux câbles SMA de même type.



Solution technique proposée	Conformité à toutes les exigences (oui : 1 / non : 0)	de selection (valeur de 1 à 5)			Total (produit des valeurs précédentes)	Commentaires (si nécessaire)
		Interface	Fréquence max	Fréquence max > 144 MHz		
Réf : 135101-02-36.00	1	5	5	5	125	
		Sma to Sma	2.7 GHz	15,30€		
Réf : 135101-02-M0.25	1	5	5	4,5	112,5	
		Sma to Sma	3 GHz	15,40€		
IUT de Bordeaux Département GEII	Référence : PRJ_FAD Révision : 1.6 – 19/09/2022					2 / 7

Figure x : FAD pour le choix du câble

IUT Bordeaux Département GEII	Référence : RMS_DDC_EQ27 Révision : 2 – 7/02/2025	6/20
----------------------------------	--	------

Challenge De Radiogoniométrie (CDR)

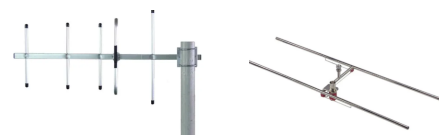
Nos deux connecteurs sont conformes à toutes les exigences. Les informations techniques nous permettant de trouver les différents composants sont accessibles sur le site de [Farnell](#). Le câble SMA to SMA 135101-02-36.00 a un prix nettement moins élevé q

Poue le câble 135101-02-M0-25 et remplit tous les critères présents dans le CDC.

Notre choix s'est donc porté dessus.

Référence de pré-conception : CPR04

Exigences client vérifiées par préconception : EXIG_DIMENSIONS



Nous avons le choix entre deux types de technologie pour l'antenne entre YAGI et HB90

L'antenne **Yagi** est directionnelle avec un bon gain, idéale pour la télévision et la radio. L'**HB9CV** quant à elle est optimisée pour la radioamateur, offrant un gain et une stabilité supérieurs.

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)
		Longueur inférieur à 0,6m	Largeur inférieur à 1,2m		
YAGI	0	1m	1m	5	
HB9CV	1	0,5m	1m	25	
		5	5		
IUT de Bordeaux	Référence : PRJ_FAD				
Département GEII	Révision : 1.6 – 19/09/2022				2 / 7

Figure x : FAD pour le choix du type de technologie de l'antenne

Seule la technologie HB9CV rentre dans les clous de l'exigence **EXIG_DIMENSIONS**.

Référence de pré-conception : CPR05

Exigences client vérifiées par préconception : EXIG_RIGIDITE / EXIG_CAPTEUR / EXIG_MASSE / EXIG_ALL_IN_ONE

Plusieurs matériaux sont disponibles, l'**aluminium**, le **cuivre**, l'**acier** et le **nitinol**. Nous les comparons afin de choisir le matériau le plus adapté à notre projet. Pour cela, nous nous basons sur plusieurs critères :

- La rigidité (Module de Young)
- La mémoire de forme
- La conductivité électrique

IUT Bordeaux Département GEII	Référence : RMS_DDC_EQ27 Révision : 2 – 7/02/2025	7/20
----------------------------------	--	------

Challenge De Radiogoniométrie (CDR)

- Le coût
- Le poids au m³

Ces critères nous permettent d'évaluer chaque matériau et de sélectionner la solution la plus adaptée en fonction des exigences du projet.

Solution technique proposée	Conformité à toutes les exigences (oui : 1 / non : 0)	(valeurs en Pa)					Total (produit des valeurs précédentes)
		Rigidité (Module de Young) en GPa	Mémoire de forme	Conductivité électrique	Coût	Poids au m ³	
Aluminium	1	5	1	4	4	5	400
		69 GPa	partiellement oui	3.5*10 ⁻⁷ S/m	1,05€ / kg	2700 kg / m ³	
Culvre	1	3	1	5	2	1	30
		117 GPa	partiellement oui	5.96*10 ⁻⁷ S/m	8€ / kg	8900 kg / m ³	
Acier	1	1	1	2	5	2	20
		210 GPa	partiellement oui	10 ⁻⁶ S/m	0.64€ / kg	8100 kg / m ³	
Nitinol	1	4	5	1	1	3	60
		75 GPa	oui	1.1*10 ⁻⁶	60€ / kg	6450 kg / m ³	
Référence : PRJ_FAD							
Département GEII		Révision : 1.6 – 19/09/2022					

Figure x : FAD pour le choix du matériaux

En ce qui concerne le réflecteur, le directeur et le gamma, l'aluminium est le meilleur choix avec un score de 400. Il allie rigidité (69 GPa), légèreté (2700 kg/m³) et faible coût (1,05 €/kg), offrant un excellent compromis entre performance et économie. Sa bonne conductivité électrique et sa conformité aux exigences renforcent son avantage, malgré une mémoire de forme partielle. En ce qui concerne le boom de l'antenne, il est préférable d'utiliser un matériau rigide et peu conducteur afin de ne pas interférer avec les signaux reçus par l'antenne. Ainsi, nous choisissons l'acier de par sa faible conductivité électrique et sa rigidité élevée.

2.3 Conclusion de la conception préliminaire du produit

En conclusion, l'antenne sera composée des composants choisis grâce aux FAD dans les paragraphes précédents. Nous concluons la conception préliminaire avec les choix du modèle HB9CV pour sa taille adaptée aux exigences, ainsi que l'aluminium correspondant au matériau que nous préférons pour sa légèreté, son faible coût ainsi que sa rigidité adaptée au projet, suivi du connecteur 931-1175-ND choisi pour son coût largement inférieur, et finalement le câble SMA to SMA 135101-02-36.00 également privilégié pour son coût avantageux. Cela dit, la conception préliminaire est terminée et conforme au Cahier Des Charges. La faisabilité technique du produit est à cette étape assurée.

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 Conception détaillée de la partie acquisition

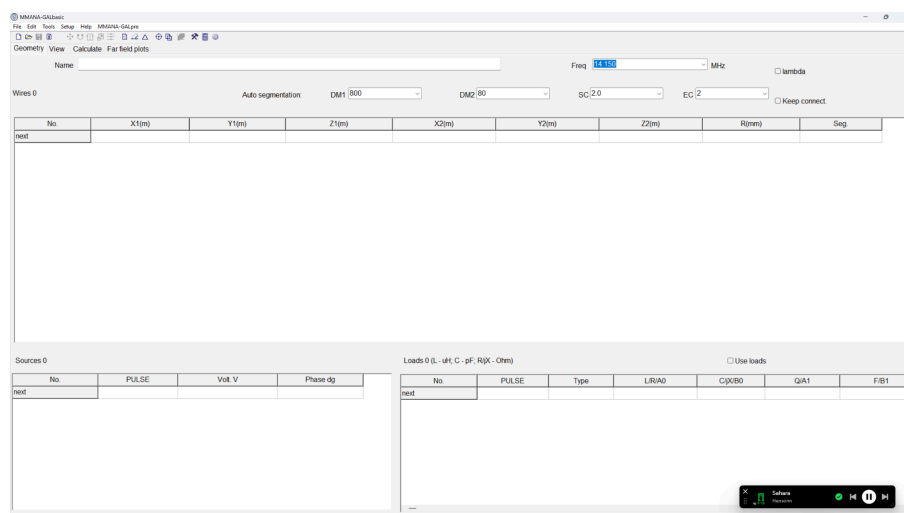
3.1.1 Récepteur de l'antenne

Référence de conception : CDT01

Exigences client vérifiées : EXIG_OUVERTURE, EXIG_GAIN, EXIG_IMPEDANCE, EXIG_MASSE, EXIG_DIRECTIVITE, EXIG_FREQUENCE, EXIG_DIMENSIONS

3.1.1.1 Conception 3D

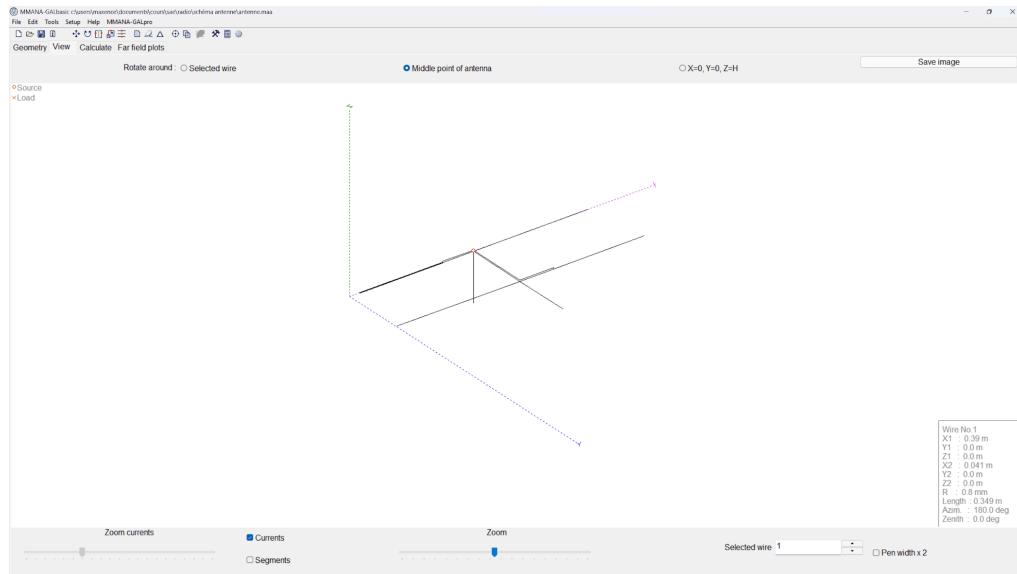
Afin de pouvoir fabriquer l'antenne, il est nécessaire de lui donner forme dans un premier temps dans un environnement 3D. Pour cela nous utilisons le logiciel MMANA-GAL qui permet la simulation d'antennes complètes en conditions réelles.



Le logiciel est doté de 4 onglets. Un onglet Geometry dans lequel nous pouvons créer des segments et leur donner une position et une taille dans l'espace à l'aide de 2 points reliés entre eux qui forment un fil. Un onglet view qui permet de voir en temps réel la visualisation de l'antenne dans l'espace 3D. Ensuite, nous remarquons un onglet Calculate qui sert à démarrer la simulation ainsi qu'à calculer les valeurs d'impédances réelles qui seront utilisées plus tard dans la partie de réalisation du modèle équivalent sous le logiciel Qucs (= uSimmics). Enfin un onglet Far field plots qui permet de voir le fonctionnement de l'antenne. Nous pouvons y recueillir diverses informations telles que le gain avant / arrière, l'angle d'ouverture, la fréquence de fonctionnement, l'impédance de l'antenne ou encore le SWR.

Dans un premier temps, nous nous focalisons sur l'onglet Geometry afin de former l'antenne. Dans le but d'obtenir la taille réelle et réalisable de l'antenne, il est nécessaire de calculer au préalable les dimensions de chacune des parties de l'antenne, pour ce faire nous utilisons le logiciel [Changpuak](#) qui est un logiciel libre d'accès sur internet. Il permet de simuler le fonctionnement d'une antenne en fonction d'une fréquence afin d'obtenir les dimensions adaptées qui permettent d'obtenir cette fréquence en particulier.

Challenge De Radiogoniométrie (CDR)



Pour ce faire, nous utilisons plusieurs formules en nous basant sur le fait que l'antenne est constituée de tubes d'acier. Nous sommes dans un premier temps, l'entièreté des segments présents dans l'antenne entre eux grâce à leurs coordonnées avec la formule :

$$L = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2 + (Z_2 - Z_1)^2}$$

Il suffit donc d'appliquer cette formule à tous les segments composant l'antenne pour obtenir le résultat. Cela fait, nous obtenons une longueur totale de 2,865m pour chaque segment mis bout à bout. Ensuite, il est nécessaire de calculer le volume des segments avec la formule :

$$V = \pi * \left(\frac{d}{2}\right)^2 * L$$

Sachant que dans notre cas $d = 8\text{mm}$ et $L = 2,865\text{m}$:

$$V = \pi * \left(\frac{0,008}{2}\right)^2 * 2,865 = 0,00144\text{m}^3$$

Enfin, la masse totale de l'antenne est donnée par la formule :

$$m = V * \rho$$

Dans notre cas, $V = 0,00144\text{m}^3$ et $\rho = 8100\text{kg/m}^3$ donc :

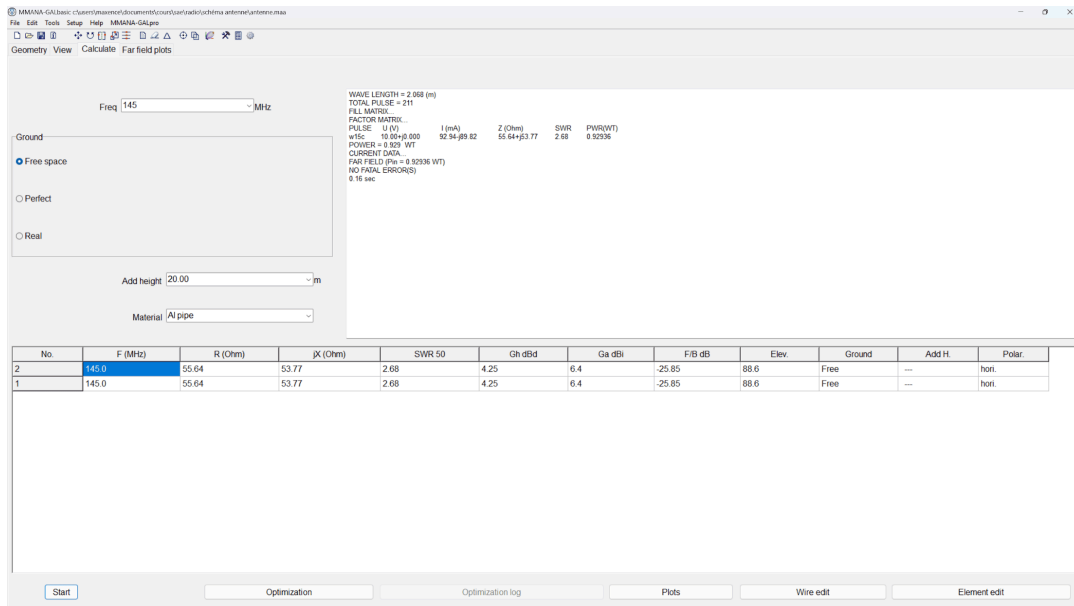
$$m = 0,00144 * 8100 = 1,17\text{kg} < 1,20\text{kg}$$

L'exigence **EXIG_MASSE** est donc vérifiée.

IUT Bordeaux Département GEII	Référence : RMS_DDC_EQ27 Révision : 2 – 7/02/2025	13/20
----------------------------------	--	-------

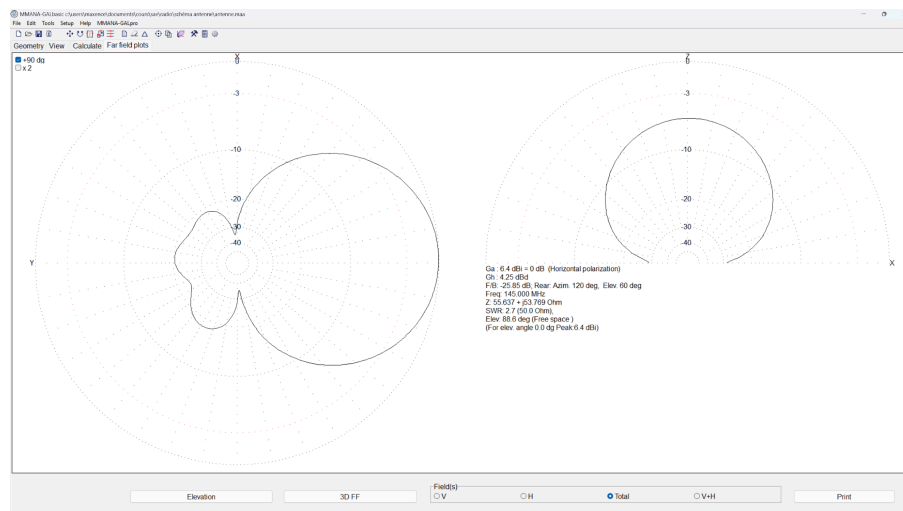
Challenge De Radiogoniométrie (CDR)

En ce qui concerne les exigences **EXIG_DIRECTIVITE**, **EXIG_FREQUENCE**, **EXIG_OUVERTURE**, **EXIG_GAIN** et **EXIG_IMPEDANCE**, elles sont toutes vérifiables sous MMANA-GAL à l'aide des onglets Calculate et Far field plots.



Après simulation à une fréquence de 145MHz, nous regardons les différents résultats obtenus. Dans cet onglet il est possible de voir le gain Avant / Arrière de l'antenne qui est ici de 25,85 dB ce qui est largement suffisant puisque un seuil de 3dB est demandé par le client. Les exigences **EXIG_GAIN**, **EXIG_FREQUENCE** et **EXIG_DIRECTIVITE** sont donc vérifiées.

Lorsque nous nous penchons sur le dernier onglet, nous observons plusieurs données.



Afin d'obtenir l'angle d'ouverture nous relevons le point de gain maximum et les 2 points à -3 dB des deux côtés de ce point en relevant l'angle correspondant ces 2 points. En faisant la différence de ces deux points nous obtenons l'angle d'ouverture. Dans notre cas, le gain maximum est de 6,7 dB, nous relevons donc les angles des points à -3dB donc à 3,7 dB. Nous obtenons pour le premier point un angle de 122° et pour le deuxième un angle de 56° ce qui suite à la différence

Challenge De Radiogoniométrie (CDR)

donne un résultat de 66° or le client exige un angle d'ouverture inférieur à 160°. De plus, nous remarquons que le paramètre S[1,1] ne dépasse jamais les 10dB. Cela fait, les exigences **EXIG_OUVERTURE** et **EXIG_IMPEDANCE** sont donc vérifiées.

Résultats attendus :

Grandeur	Valeur attendue	Tolérance
Gain Avant / Arrière	> 3 dB	X
Dimensions	< 0,6 m x 1,2 m	X
Masse	< 1,2 kg	X
Fréquence de résonance	144 MHz	+/- 1 MHz
Impédance S[1,1]	< 10 dB	X
Ouverture	< 160°	X

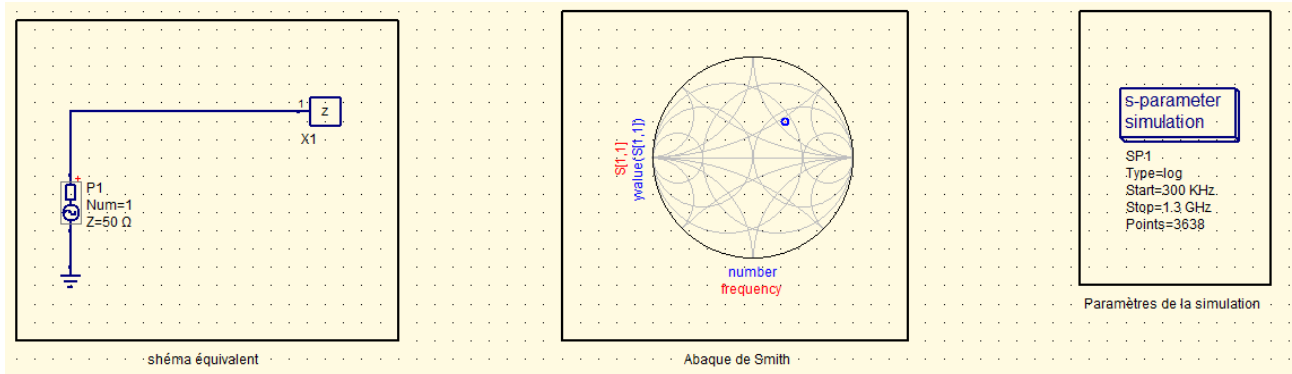
Résultats obtenus :

Grandeur	Valeur mesurée	Conf/Non conf.
Gain Avant / Arrière	25,85 dB	Conforme
Dimensions	0,26 m x 1,04 m	Conforme
Masse	1,17 kg	Conforme
Fréquence de résonance	145 MHz	Conforme
Impédance S[1,1]	< 10 dB	Conforme
Ouverture	56°	Conforme

3.1.1.2 Modèle équivalent

Nous avons ensuite réalisé sur Qucs (= uSimmics) notre schéma équivalent composé dans un premier temps :

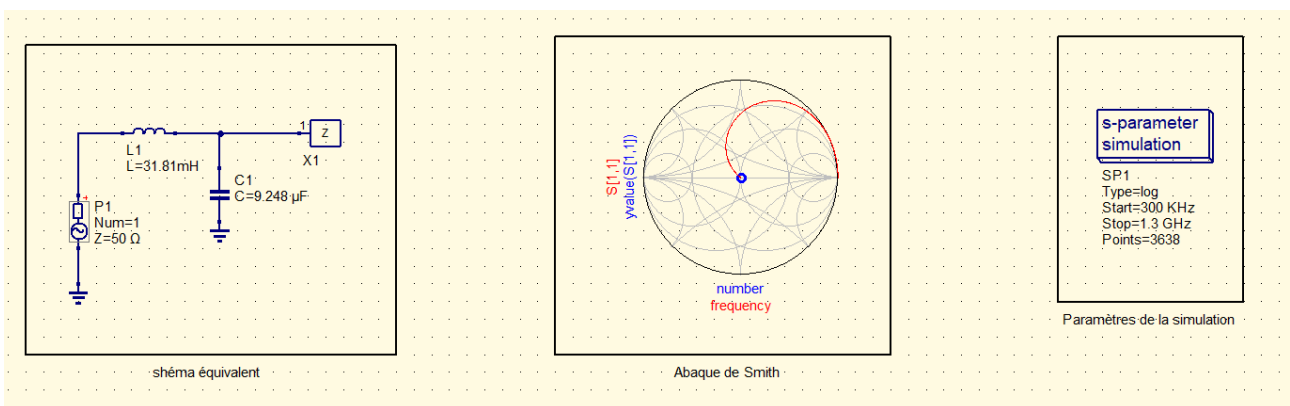
- d'une source d'impédance de sortie 50Ω
- d'un frequency domain (paramétré avec l'impédance $65,63 + 60,8j$ (la valeur d'impédance de votre antenne sur MMANA-GAL))



Nous avons donc pu affiché notre point d'impédance à l'aide d'un abaque de smith et nous constatons qu'il se situe en haut à gauche au milieu de l'abaque. Notre objectif va donc être de le faire déplacer au milieu de notre abaque pour avoir un coefficient de réflexion optimal et pour pouvoir transmettre le plus de puissance à la charge.

Pour cela, nous pouvons faire déplacer le point à l'aide du cercle d'admittance et d'impédance à l'aide d'un condensateur et d'une bobine.

Nous rajoutons donc une bobine de 31.81 mH et un condensateur de 9.25 μF pour obtenir l'adaptation d'impédance. (c'est à dire l'impédance du schéma = 1)



Référence de conception : CDT02

Exigences client vérifiées : EXIG_RIGIDITE, EXIG_CAPTEUR

Notre antenne est Les éléments rayonnant de l'antenne sont réalisés en acier. c'est un matériau à la fois flexible et à mémoire de forme.

Ce matériau nous permettra de ne pas casser les éléments lors de la recherche de la balise dans un terrain accidenté.

Pour prouver que ce matériau répond aux critères d'exigence, il suffit d'observer un mètre de mesure. On constate que sa partie déployable est parfaitement flexible et dotée d'une mémoire de forme. De plus, cette partie est fabriquée en acier.



L'acier est également un bon matériau en terme de transmission électromagnétique avec sa conductivité de $6.99 \cdot 10^5$ S/m. Ce matériau est souvent utilisé dans l'industrie pour des cages de Faraday ou des antennes comme des pylônes de radiodiffusion ou des mâts d'antennes

3.2 Coût de développement

Référence de conception : CDT03

Exigences client vérifiées : EXIG_COUT

Le cahier des charges nous impose un coût total de développement de l'ensemble des composants électroniques et mécaniques pour un seul prototype inférieur à 50€ HT.

Suite à la conception détaillée du prototype, nous avons pu déterminer le coût total de développement. Nous avons déterminé que le développement du produit est de X HT.

[Coût de développement du projet](#)

IUT Bordeaux Département GEII	Référence : RMS_DDC_EQ27 Révision : 2 – 7/02/2025	17/20
----------------------------------	--	-------

3.3 Délais du projet

Référence de conception : CDT04

Exigences client vérifiées : EXIG_DELAI

Le temps qui nous était donné pour réaliser le développement de l'antenne (phase de conception + phase de fabrication + phase de vérification + phase de rédaction + phase de présentation/démonstration) est de 9 semaines. Nous en sommes actuellement à la phase de conception. Nous venons donc de terminer la phase de conception préliminaire. Nous respectons à l'heure actuelle parfaitement le planning de développement que vous pouvez trouver ci-joint ([planning de développement](#)). Nous respectons ainsi pour l'instant le cahier des charges et l'exigence de délai.

IUT Bordeaux Département GEII	Référence : RMS_DDC_EQ27 Révision : 2 – 7/02/2025	18/20
----------------------------------	--	-------

4. Conclusion de la conception du produit

La conception détaillée a permis d'élaborer toutes les simulations et de concevoir notre antenne. À cette étape du projet, les dérisquages mis en œuvre montrent la conformité des dimensionnements réalisés.

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.

Éléments concernés	Exigence	Méthodes Vérification	Éléments vérifiant l'exigence	Statut
Exigences mécaniques	EXIG_DIMENSIONS	Conception Test	CPR01, CPR04, CDT01	Conf.
	EXIG_MASSE	Conception Test	CPR05, CDT01	Conf.
	EXIG_RIGIDITE	Conception Test	CPR01, CPR05, CDT02	Conf.
Exigences d'acquisition d'information	EXIG_DIRECTIVITE	Conception Test	CDT01	Conf.
	EXIG_FREQUENCE	Conception Test	CPR01, CPR02, CPR03, CDT01	Conf.
	EXIG_IMPEDANCE	Conception Test	CDT01	Conf.
	EXIG_GAIN	Conception Test	CDT01	Conf.
	EXIG_OUVERTURE	Conception Test	CDT01	Conf.
	EXIG_CAPTEUR	Conception Test	CPR01, CPR05, CDT02	Conf.
	EXIG_TYPE_CONNECTEUR	Conception Test	CPR01, CPR02, CPR03	Conf.
	EXIG_SOLIDITE_CONNECTEUR	Conception Test	CPR01, CPR02	Conf.
Exigences de contraintes internes	EXIG_DELAI	Calcul	CDT04	Conf.
	EXIG_COUT	Calcul	CDT03	Conf.

Challenge De Radiogoniométrie (CDR)

IUT Bordeaux Département GEII	Référence : RMS_DDC_EQ27 Révision : 2 – 7/02/2025	20/20
----------------------------------	--	-------