

Code Affaire
Référence
Date**1-10-ASI-2400**
DP083196NTE006/00
29/11/24N° Commande
Classification--
Confidentiel industrie

ANALYSE DE L'IMPACT DE LA PLAQUE METALLIQUE DANS LE RADOME ASI SUR LES PERFORMANCES DU SYSTEME FLASHHAWK

Nombre de pages : [47]

Rédigé par	Vérifié par	Approuvé par
Responsable Technique	Chef de Projet	Qualité
Nom : CLAUZIER Olivier Date : Visa :	Nom : DOUBERCOURT Hervé Date : Visa :	Nom : Date : Visa :

TABLE DES MATIERES

Table des matières.....	2
Liste des figures	3
Liste des tableaux	5
1. Scope.....	6
1.1. Identification.....	6
1.1.1. Versions du document.....	6
1.1.2. Documents applicables.....	6
1.1.3. Glossaire et abréviations	7
1.2. Présentation du document.....	7
2. Documents de référence	7
3. Description du POD.....	8
4. Présentation de simulations électromagnétiques.....	10
5. Analyse des résultats sur la sous bande basse (BB) du réseau antenne FlashHawk.....	12
5.1. 70 MHz.....	12
5.2. 130 MHz.....	14
5.3. 430 MHz.....	16
5.4. 750 MHz.....	19
6. Analyse des résultats sur la sous bande haute (BH) du réseau antenne FlashHawk	22
6.1. Analyse des diagrammes de rayonnement	22
6.1.1. 800 MHz.....	23
6.1.2. 1640 MHz.....	26
6.1.3. 2640 MHz.....	29
6.2. Analyse des dégradations de la précision de localisation	32
6.2.1. Méthodologie	32
6.2.2. Résultats obtenus	34
7. Conclusions.....	46

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Modèle de simulation du réseau antenne FlashHawk.	10
Figure 2 : Modèle de simulation du réseau antenne FlashHawk incorporant la plaque métallique présente dans le radôme ASI.	10
Figure 3 : Rappel de la définition des angles d'élévation θ et d'azimut ϕ .	11
Figure 4 : Position des antennes bande basse et de la plaque métallique dans le repère.	12
Figure 5 : Diagrammes de gain de l'antenne BBV4 à 70 MHz. Réseau Antennaire seul (figures du haut) ; Réseau Antennaire en présence de la plaque métallique (figures du bas).	13
Figure 6 : Diagrammes de gain de l'antenne BBV5 à 70 MHz. Réseau Antennaire seul (figures du haut) ; Réseau Antennaire en présence de la plaque métallique (figures du bas).	13
Figure 7 : Diagrammes de gain de l'antenne BBH4 à 70 MHz. Réseau Antennaire seul (figures du haut) ; Réseau Antennaire en présence de la plaque métallique (figures du bas).	14
Figure 8 : Diagrammes de gain de l'antenne BBV4 à 130 MHz. Réseau Antennaire seul (figures du haut) ; Réseau Antennaire en présence de la plaque métallique (figures du bas).	15
Figure 9 : Diagrammes de gain de l'antenne BBV5 à 130 MHz. Réseau Antennaire seul (figures du haut) ; Réseau Antennaire en présence de la plaque métallique (figures du bas).	15
Figure 10 : Diagrammes de gain de l'antenne BBH4 à 130 MHz. Réseau Antennaire seul (figures du haut) ; Réseau Antennaire en présence de la plaque métallique (figures du bas).	16
Figure 11 : Diagrammes de gain de l'antenne BBV4 à 430 MHz. Réseau Antennaire seul (figures du haut) ; Réseau Antennaire en présence de la plaque métallique (figures du bas).	17
Figure 12 : Diagrammes de gain de l'antenne BBV5 à 430 MHz. Réseau antenne seul (figures du haut) ; Réseau antenne en présence de la plaque métallique (figures du bas).	18
Figure 18 : Diagramme de rayonnement de l'antenne BBH4 à 750 MHz selon la composante U_{ϕ} du champ électrique pour une élévation de 80° .	21
Figure 19 : Position des antennes bande haute et de la plaque métallique dans le repère.	22
Figure 20 : Diagrammes de gain de l'antenne BH4P à 800 MHz. Réseau Antennaire seul (figures du haut) ; Réseau Antennaire en présence de la plaque métallique (figures du bas).	23
Figure 21 : Diagrammes de gain de l'antenne BH5P à 800 MHz. Réseau Antennaire seul (figures du haut) ; Réseau Antennaire en présence de la plaque métallique (figures du bas).	24
Figure 22 : Diagramme de rayonnement de l'antenne BH5P à 800 MHz selon la composante U_{θ} du champ électrique pour une élévation de 80° .	24
Figure 23 : Diagrammes de gain de l'antenne BH4M à 800 MHz. Réseau Antennaire seul (figures du haut) ; Réseau antenne en présence de la plaque métallique (figures du bas).	25
Figure 24 : Diagrammes de gain de l'antenne BH5M à 800 MHz. Réseau Antennaire seul (figures du haut) ; Réseau Antennaire en présence de la plaque métallique (figures du bas).	25
Figure 25 : Diagrammes de gain de l'antenne BH4P à 1640 MHz. Réseau antenne seul (figures du haut) ; Réseau antenne en présence de la plaque métallique (figures du bas).	26
Figure 27 : Diagramme de rayonnement de l'antenne BH5P à 1640 MHz selon la composante U_{θ} du champ électrique pour une élévation de 80° .	27
Figure 28 : Diagrammes de gain de l'antenne BH4M à 1640 MHz. Réseau antenne seul (figures du haut) ; Réseau antenne en présence de la plaque métallique (figures du bas).	28

Figure 29 : Diagrammes de gain de l'antenne BH5M à 1640 MHz. Réseau antenneur seul (figures du haut) ; Réseau antenneur en présence de la plaque métallique (figures du bas).	28
Figure 30 : Diagrammes de gain de l'antenne BH4P à 2640 MHz. Réseau antenneur seul (figures du haut) ; Réseau antenneur en présence de la plaque métallique (figures du bas).	29
Figure 31 : Diagrammes de gain de l'antenne BH5P à 2640 MHz. Réseau antenneur seul (figures du haut) ; Réseau antenneur en présence de la plaque métallique (figures du bas).	30
Figure 32 : Diagrammes de gain de l'antenne BH4M à 2640 MHz. Réseau antenneur seul (figures du haut) ; Réseau antenneur en présence de la plaque métallique (figures du bas).	30
Figure 33 : Diagrammes de gain de l'antenne BH5M à 2640 MHz. Réseau antenneur seul (figures du haut) ; Réseau antenneur en présence de la plaque métallique (figures du bas).	31
Figure 34 : Diagramme de rayonnement de l'antenne BH5P à 2640 MHz selon la composante U_φ du champ électrique pour une élévation de 80°	31
Figure 35 : Descriptif des secteurs angulaires utilisées pour l'analyse ; (a) secteur à élévation comprise entre $0^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$; (b) secteur à élévation comprise $45^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$	33
Figure 36 : Descriptif des secteurs angulaires utilisées pour l'analyse selon l'angle d'élévation.	33
Figure 37 : Orientation de l'avion dans le repère.	34
Figure 38 : Erreur de localisation avec le réseau antenneur seul (a) et le réseau antenneur avec la plaque métallique (b).	35
Figure 39 : Dégradation des performances de localisation sur le secteur 1 provoquée par l'ajout de la plaque métallique.	35
Figure 40 : Dégradation des performances de localisation sur le secteur 2 provoquée par l'ajout de la plaque métallique.	36
Figure 41 : Dégradation des performances de localisation sur le secteur 3 provoquée par l'ajout de la plaque métallique.	36
Figure 42 : Dégradation des performances de localisation sur le secteur 4 provoquée par l'ajout de la plaque métallique.	37
Figure 43 : Dégradation des performances de localisation sur le secteur 5 provoquée par l'ajout de la plaque métallique.	37
Figure 44 : Dégradation des performances de localisation sur le secteur 6 provoquée par l'ajout de la plaque métallique.	38
Figure 45 : Dégradation des performances de localisation sur le secteur 7 provoquée par l'ajout de la plaque métallique.	38
Figure 46 : Dégradation des performances de localisation sur le secteur 8 provoquée par l'ajout de la plaque métallique.	39
Figure 47 : Dégradation des performances de localisation sur le secteur 9 provoquée par l'ajout de la plaque métallique.	39
Figure 48 : Dégradation des performances de localisation sur le secteur 10 provoquée par l'ajout de la plaque métallique.	40
Figure 49 : Dégradation des performances de localisation sur le secteur 11 provoquée par l'ajout de la plaque métallique.	40
Figure 50 : Dégradation des performances de localisation sur le secteur 12 provoquée par l'ajout de la plaque métallique.	41

Figure 51 : Dégradation des performances de localisation sur le secteur 13 provoquée par l'ajout de la plaque métallique.	41
Figure 52 : Dégradation des performances de localisation sur le secteur 14 provoquée par l'ajout de la plaque métallique.	42
Figure 53 : Dégradation des performances de localisation sur le secteur 15 provoquée par l'ajout de la plaque métallique.	42
Figure 54 : Dégradation des performances de localisation sur le secteur 16 provoquée par l'ajout de la plaque métallique.	43
Figure 55 : Mise en évidence du secteur « avant » (zone rouge) présentant une très importante dégradation des performances de précision de localisation.	44
Figure 56 : Mise en évidence du secteur « aile avant » (zone marron) présentant une importante dégradation des performances de précision de localisation.	44
Figure 57 : Mise en évidence du secteur « arrière » (zone verte) présentant une légère dégradation des performances de précision de localisation.	44
Figure 58 : Mise en évidence du secteur « nadir » (zone jaune) présentant une légère dégradation des performances de précision de localisation.	45

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Descriptif des 16 secteurs utilisés pour l'analyse de l'impact de la plaque métallique sur la précision de localisation.	32
Tableau 2 : Synthèse des dégradation de précision de localisation selon les secteurs angulaires.	43
Tableau 3 : Résumé des performances du FlashHawk avec la plaque métallique dans le radôme.	46

1. SCOPE

1.1. IDENTIFICATION

1.1.1. VERSIONS DU DOCUMENT

IND.	DATE	REDACTEUR	OBJET
00	29/11/24	O. CLAUZIER	Version initiale

1.1.2. DOCUMENTS APPLICABLES

Rep.	Intitulé	Référence	Date/Indice

1.1.3. GLOSSAIRE ET ABREVIATIONS

Abbr.	Définition
BB	Bande Basse (30 - 764 MHz)
BBH	Antenne Bande Basse à polarisation Horizontale
BBV	Antenne Bande Basse à polarisation Verticale
BCR	Borne Cramer Rao
BH	Bande Haute (764 – 3000 MHz)
BHM	Antenne Bande Haute à polarisation -45°
BHP	Antenne Bande Haute à polarisation +45°
EM	Electromagnétique
FH	FlashHawk
PMR	Private Mobile Radio
RA	Réseau Antennaire

1.2. PRESENTATION DU DOCUMENT

Ce document décrit l'Analyse de l'impact de la plaque métallique dans le radôme ASI sur les performances du système FlashHawk.

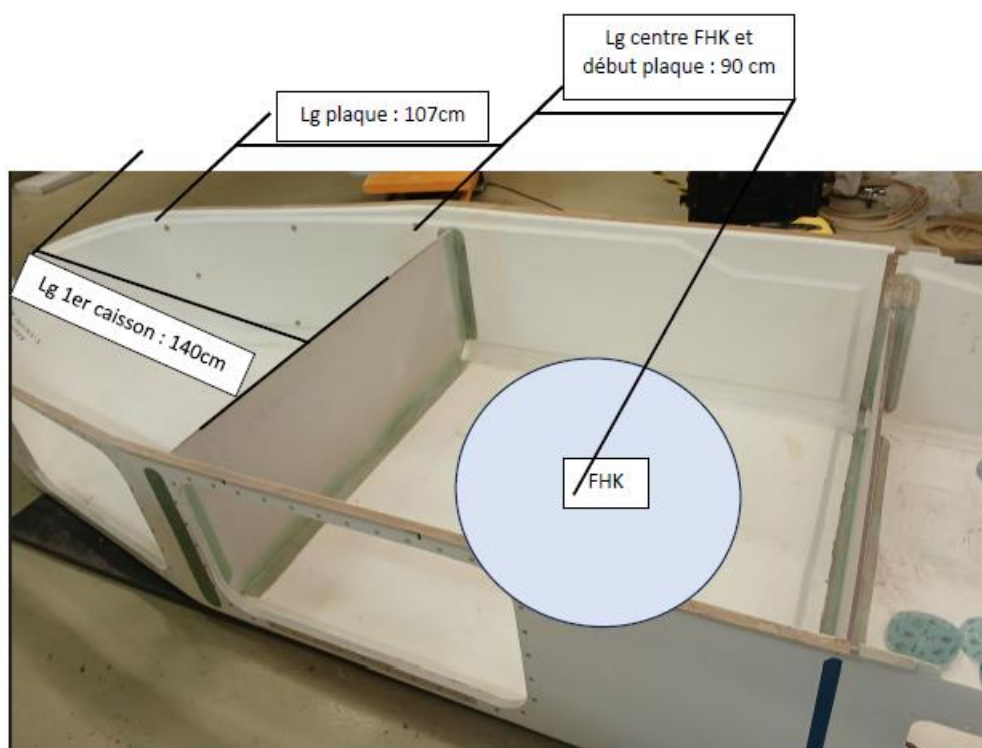
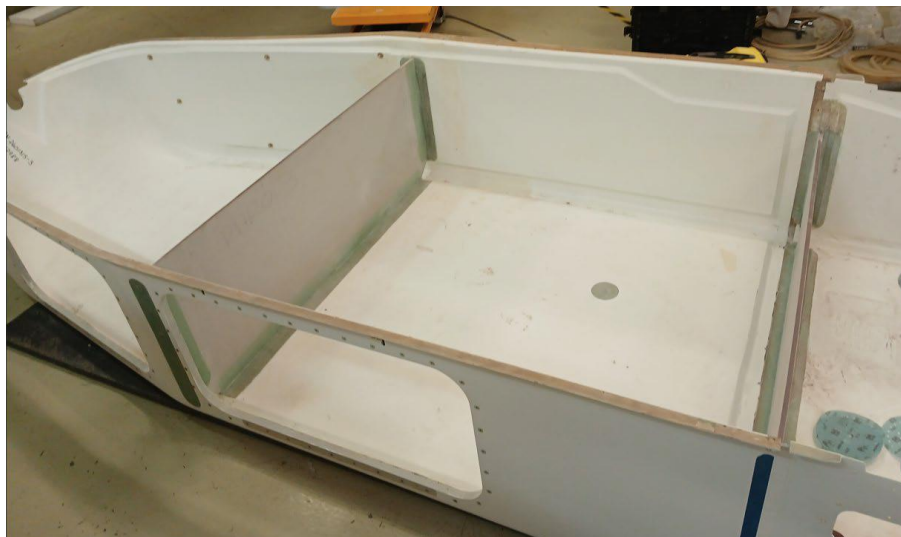
2. DOCUMENTS DE REFERENCE

Rep.	Intitulé	Référence	Date/Indice
R1	Manuel Qualité AVANTIX	96QP007	25
R2	Photographies du radôme ASI	Radome C208B	21/11/2024

3. DESCRIPTION DU POD

Le document [R2] donne les caractéristiques du POD accueillant les systèmes FlashHawk et ICSDR. Dans les figures suivantes, les photographies issues de ce document sont données.





A l'issue de ces photographies, des simulations électromagnétiques décrites dans le chapitre suivant ont été menées afin de quantifier les dégradations de performances sur le système FlashHawk.

4. PRESENTATION DE SIMULATIONS ELECTROMAGNETIQUES

La première partie de l'étude consiste à ajouter, conformément aux données issues de [R2], la plaque métallique dans le modèle 3D du réseau antenneur sur le logiciel de simulation électromagnétique Ansys HFSS. Les autres matériaux constituant le radôme (POD) ne sont pas modélisés car ceux-ci peuvent être considérés comme transparents aux ondes.

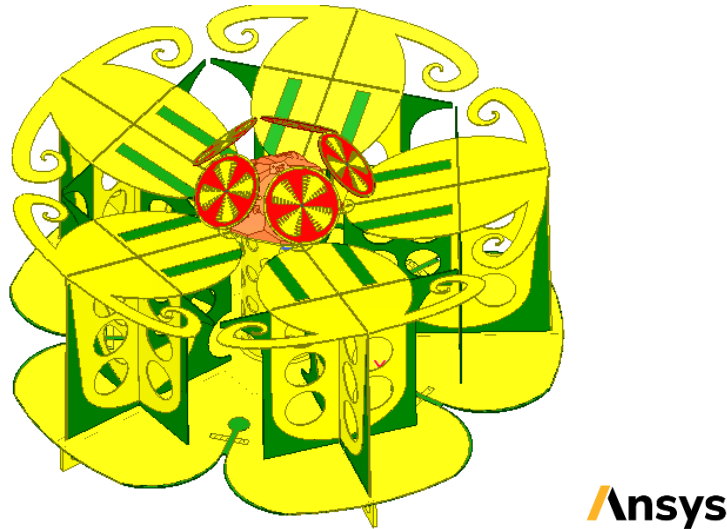


Figure 1 : Modèle de simulation du réseau antenneur FlashHawk.

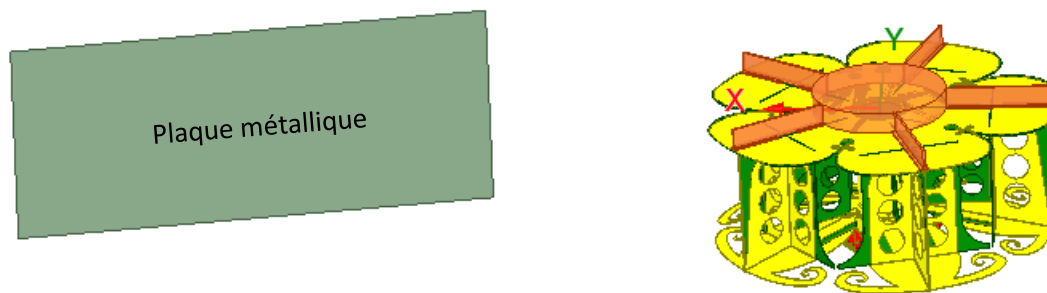


Figure 2 : Modèle de simulation du réseau antenneur FlashHawk incorporant la plaque métallique présente dans le radôme ASI.

Pour cette étude, les deux sous réseaux (bande basse et bande haute) sont simulés. L'influence de la plaque métallique dans le radôme est divisée en deux parties selon la sous bande du réseau antenneur :

- En sous bande basse (BB) : Pour rappel, la sous bande 30-764 MHz est calibrée sur porteur. L'ajout de la plaque métallique est ainsi pris en compte dans la calibration. En revanche, cette dernière peut induire un phénomène de masquage pouvant aller jusqu'à rendre le système FlashHawk aveugle selon certains secteurs angulaires. L'analyse en sous bande basse se portera sur cet aspect.
- En sous bande haute (BH) : Pour rappel, la sous bande 764-3000 MHz est calibrée en chambre anéchoïde. L'ajout de la plaque métallique peut modifier la réponse (diagrammes de rayonnement) des antennes du sous réseau. En

conséquence, les performances de précision de localisation peuvent être fortement altérées. Par ailleurs, similairement à la sous bande basse, la plaque peut provoquer une zone de masquage. L'analyse en sous bande haute se portera donc sur ces deux aspects.

Auparavant, il convient de rappeler la définition des angles utilisés dans la suite du document. L'angle θ désigne l'angle d'élévation et l'angle φ l'angle de gisement (voir figure 3 pour le rappel de la définition de ces angles dans le repère).

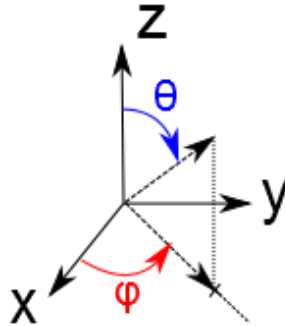


Figure 3 : Rappel de la définition des angles d'élévation ϑ et d'azimut φ .

5. ANALYSE DES RESULTATS SUR LA SOUS BANDE BASSE (BB) DU RESEAU ANTENNAIRE FLASHHAWK

Dans cette sous bande, le réseau antenne étant calibré sur porteur, l'analyse se porte sur des éventuelles zones de masquage induite par la présence. L'analyse se portera sur des fréquences d'intérêt pour le système FlashHawk (70 MHz, 130 MHz, 430 MHz et 750 MHz). Les trois premières fréquences correspondent à des fréquences PMR.

Tout d'abord, la figure4 suivante donne les positions des différentes antennes du sous réseau basse dans le repère.

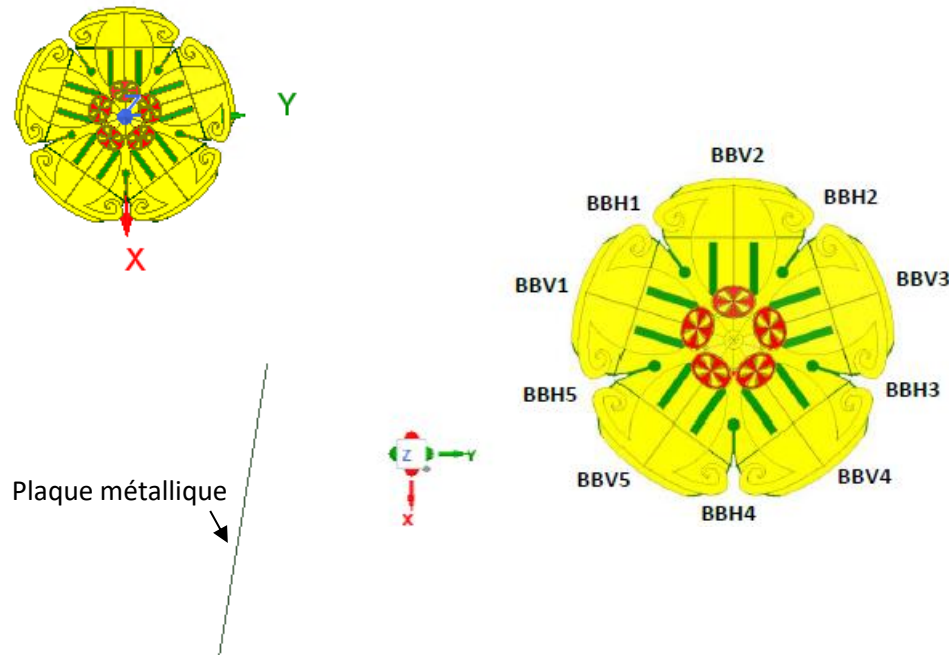


Figure 4 : Position des antennes bande basse et de la plaque métallique dans le repère.

Dans les paragraphes suivants, seuls les diagrammes de rayonnement des antennes BBV4, BBV5 et BBH4 seront présentés. Il s'agit des antennes les plus fortement impactées par la présence de la plaque métallique dans le radôme.

Par définition, l'antenne BBV4 correspond à l'antenne **B**ande **B**asse (BB) n°4 à polarisation majoritairement **V**erticale.

L'antenne BBV5 désigne l'antenne **B**ande **B**asse (BB) n°5 à polarisation majoritairement **V**erticale.

L'antenne BBH4 désigne l'antenne **B**ande **B**asse (BB) n°4 à polarisation majoritairement **H**orizontale.

5.1. 70 MHz

La figure5 trace les diagrammes de rayonnement de l'antenne BBV4 (selon les composantes E_θ et E_ϕ du champ électrique) à 70 MHz.

Nous pouvons observer sur ces cartographies des performances de gain sensiblement similaires selon les 2 cas considérés :

- Diagrammes de gain **SANS** la plaque métallique (figures du haut),
- Diagrammes de gain **AVEC** la plaque métallique (figures du bas). Sur ces figures, des rectangles rouge matérialisant les secteurs angulaires suspectés d'être impactés par la présence de la plaque métallique sont représentés.

Similairement, aucune effet de masquage n'est observé sur les antennes BBV5 (cf. figure 6) et BBH4 (cf. figure 7). Cette absence de dégradation peut s'expliquer par le fait que la plaque métallique est électriquement petite à cette fréquence (environ $\lambda_0/4$).

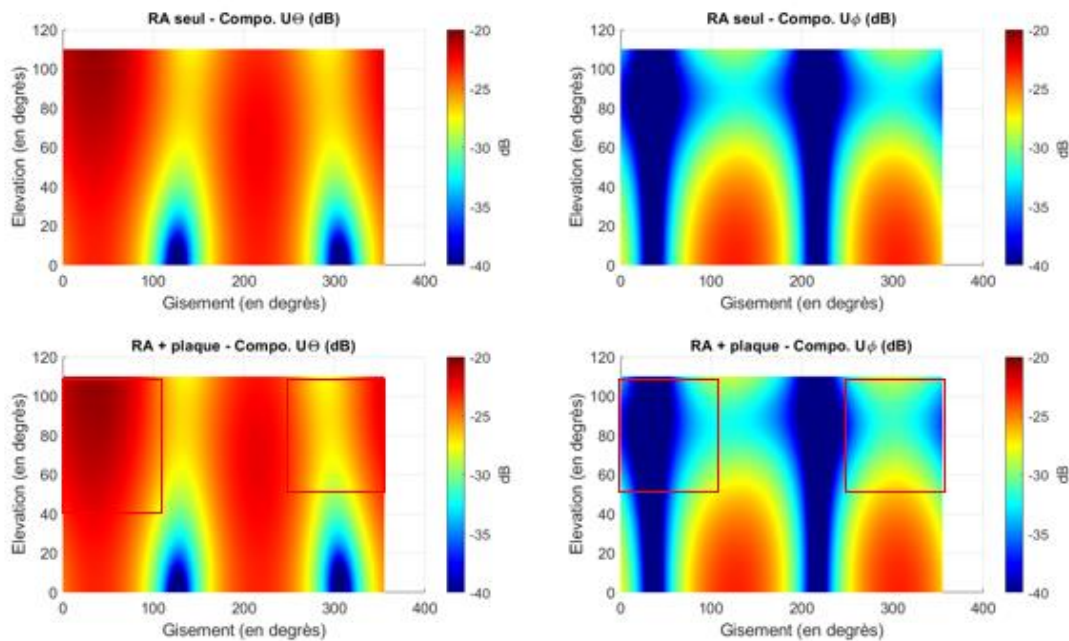


Figure 5 : Diagrammes de gain de l'antenne BBV4 à 70 MHz. Réseau Antennaire seul (figures du haut) ; Réseau Antennaire en présence de la plaque métallique (figures du bas).

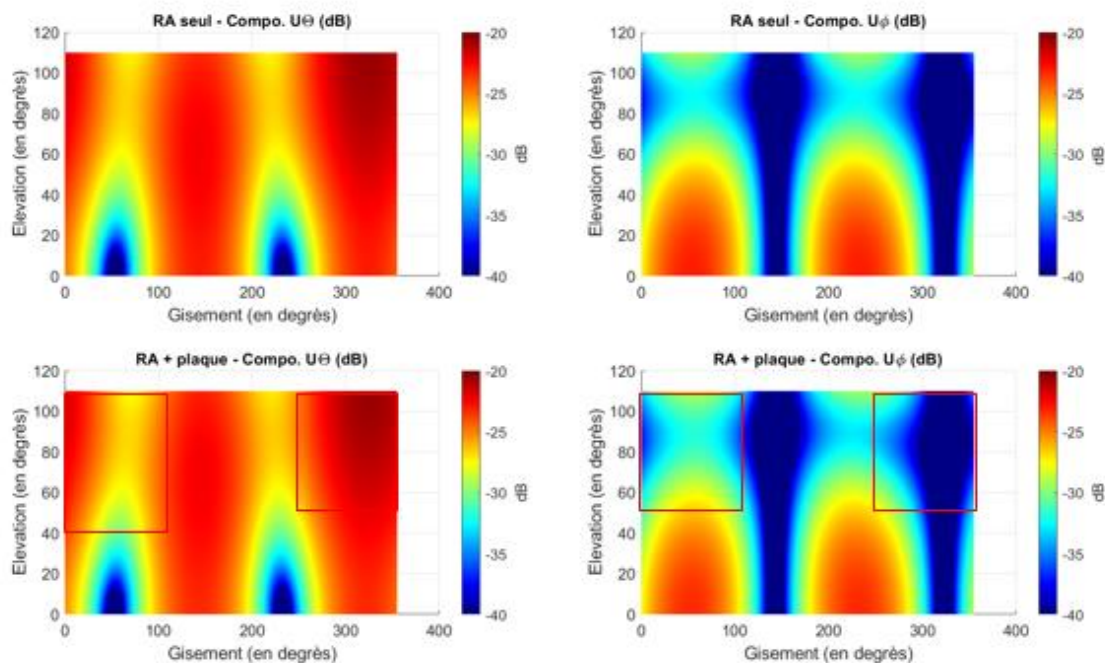


Figure 6 : Diagrammes de gain de l'antenne BBV5 à 70 MHz. Réseau Antennaire seul (figures du haut) ; Réseau Antennaire en présence de la plaque métallique (figures du bas).

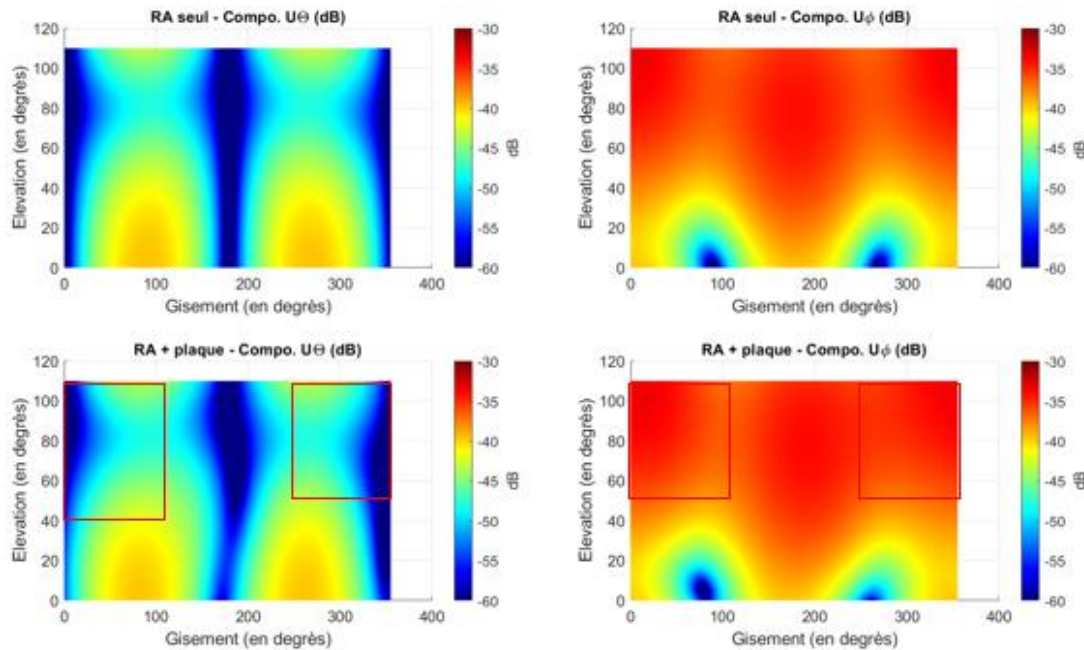


Figure 7 : Diagrammes de gain de l'antenne BBH4 à 70 MHz. Réseau Antennaire seul (figures du haut) ; Réseau Antennaire en présence de la plaque métallique (figures du bas).

5.2. 130 MHz

Dans ce paragraphe, les performances de gain à 130 MHz sont analysées.

Les figures 8, 9 et 10 tracent respectivement les diagrammes de rayonnement des antennes BBV4, BBV5 et BBH4 (selon les composantes E_θ et E_φ du champ électrique). Il est à noter sur ces figures que l'influence de la plaque métallique est mineure avec aucun effet de masquage constaté. À nouveau, la dimension de la plaque vis-à-vis de la longueur d'onde peut expliquer ce phénomène (environ $\lambda_0/2$).

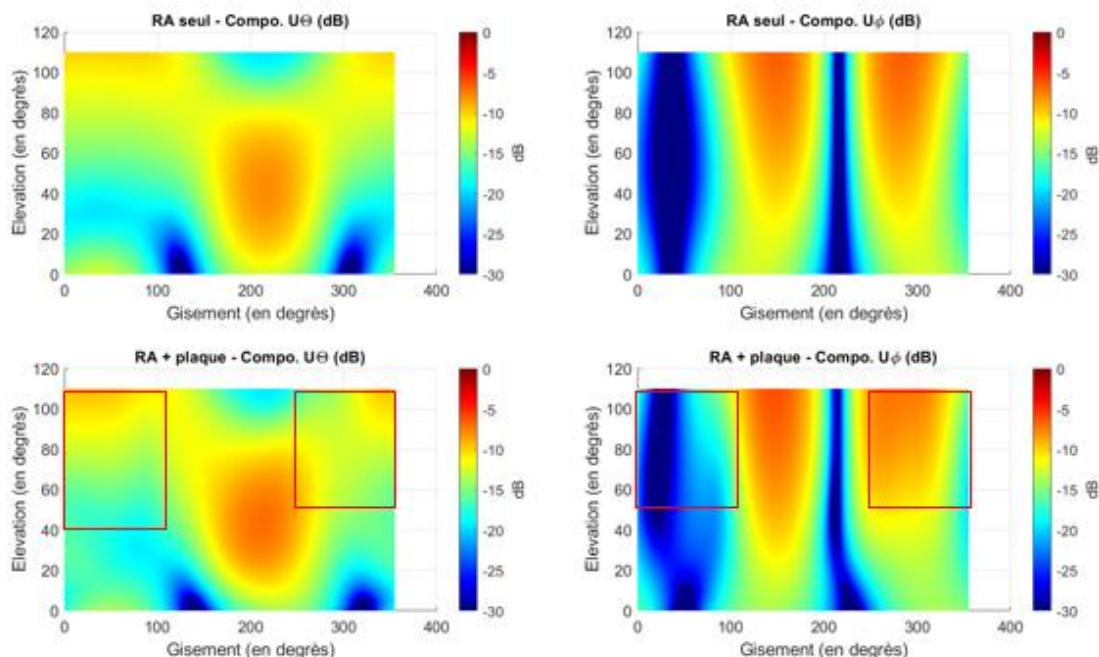


Figure 8 : Diagrammes de gain de l'antenne BBV4 à 130 MHz. Réseau Antennaire seul (figures du haut) ; Réseau Antennaire en présence de la plaque métallique (figures du bas).

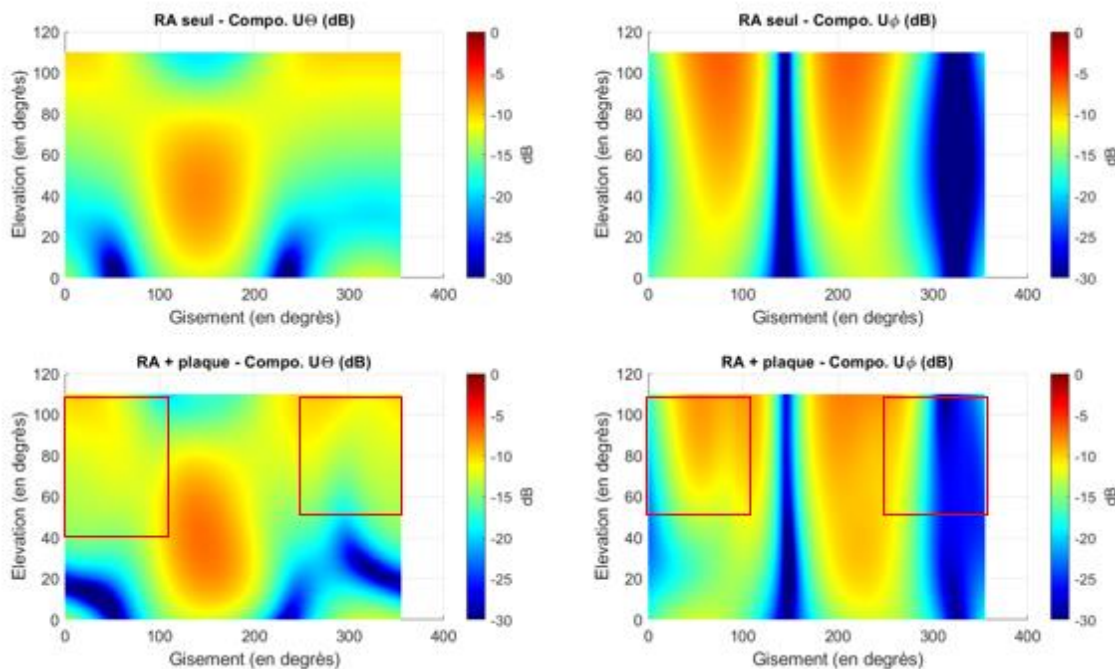


Figure 9 : Diagrammes de gain de l'antenne BBV5 à 130 MHz. Réseau Antennaire seul (figures du haut) ; Réseau Antennaire en présence de la plaque métallique (figures du bas).

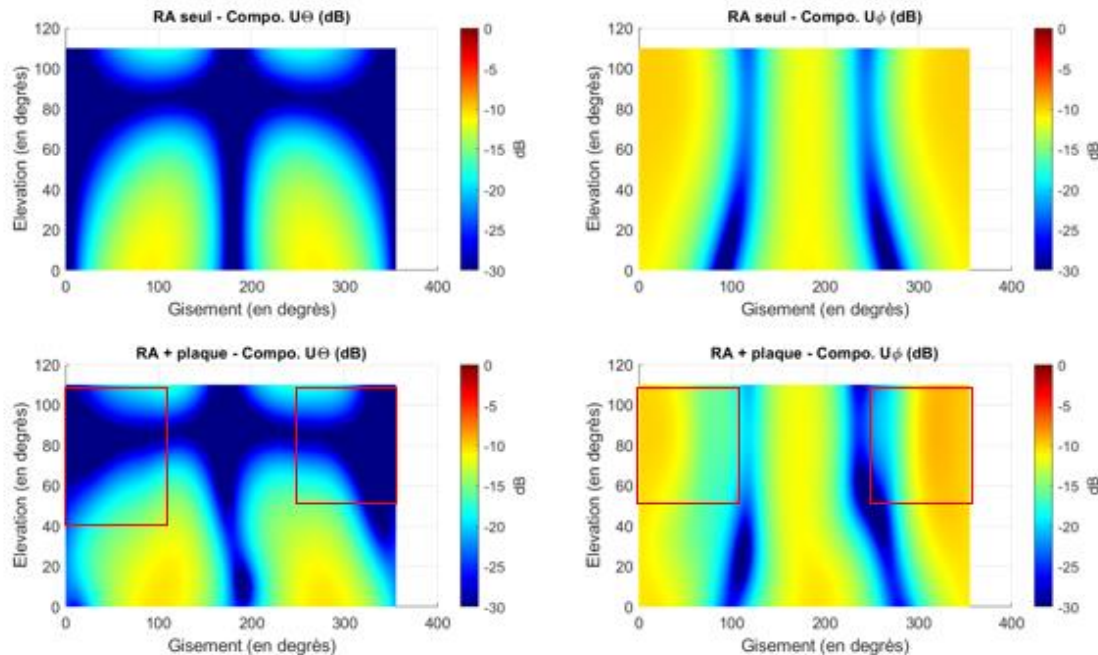


Figure 10 : Diagrammes de gain de l'antenne BBH4 à 130 MHz. Réseau Antennaire seul (figures du haut) ; Réseau Antennaire en présence de la plaque métallique (figures du bas).

5.3. 430 MHz

Dans ce paragraphe, les performances de gain à 430 MHz sont analysées.

Les figures 11, 12 et 13 tracent respectivement les diagrammes de rayonnement des antennes BBV4, BBV5 et BBH4 (selon les composantes E_θ et E_ϕ du champ électrique). Il est à noter sur ces figures que l'influence de la plaque métallique commence à apparaître. En effet, on remarque l'apparition d'ondulation de gain pouvant engendrer localement des creux de gain. La figure 14 traçant le gain dans un plan de coupe (élévation $\theta = 80^\circ$) montre clairement les impacts de cette plaque. Ainsi, pour un signal cible dont la direction d'arrivée est définie par $\theta = 80^\circ$ et $\phi = 300^\circ$, l'influence de la plaque métallique peut se matérialiser par 2 conséquences :

- Au mieux, une dégradation de la précision de localisation. Effectivement, dans cette direction et avec la plaque métallique, l'antenne BBH4 possède un gain réduit de 8 dB. Selon la puissance du signal incident, cette antenne est susceptible de ne plus être utile pour le calcul de la direction d'arrivée augmentant ainsi la BCR.
- Au pire, une désensibilisation du système. En effet, cette chute de gain de 8 dB peut provoquer une réduction de la sensibilité de FlashHawk réduisant de fait la distance de localisation d'une cible. A titre indicatif, les pertes en dB en termes de portée sont regroupées dans le tableau suivant :

Dégradation de la sensibilité (dB)	Ratio de réduction de la portée
3	1.4
6	2
10	3
12	4
20	10
36	63

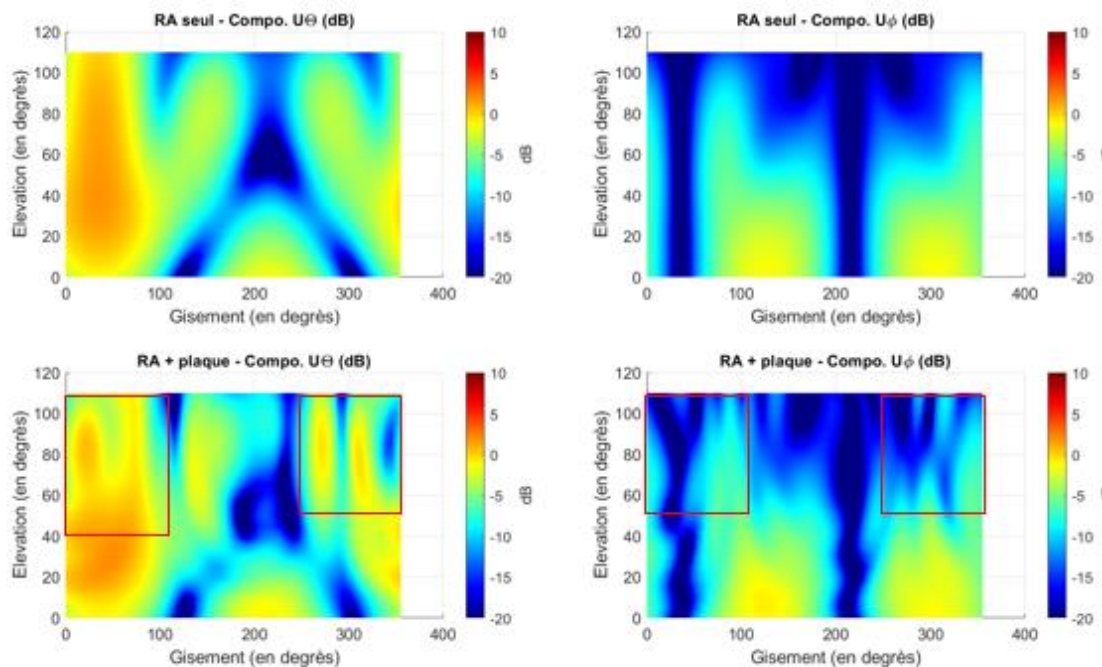


Figure 11 : Diagrammes de gain de l'antenne BBV4 à 430 MHz. Réseau Antennaire seul (figures du haut) ; Réseau Antennaire en présence de la plaque métallique (figures du bas).

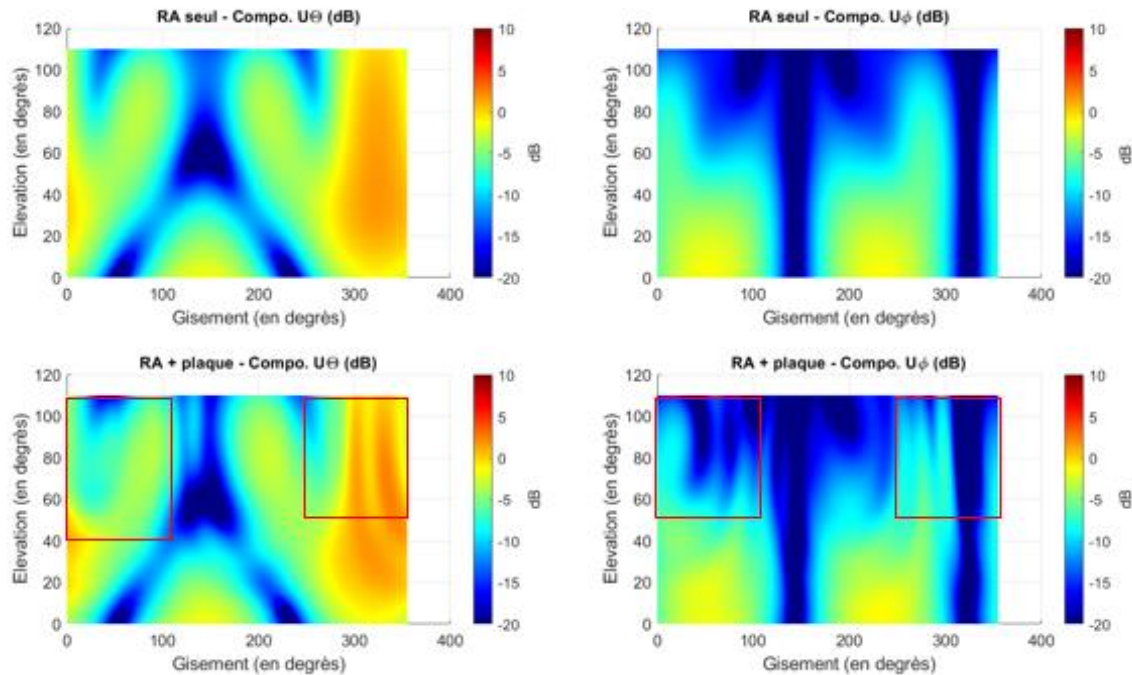


Figure 12 : Diagrammes de gain de l'antenne BBV5 à 430 MHz. Réseau antenneur seul (figures du haut) ; Réseau antenneur en présence de la plaque métallique (figures du bas).

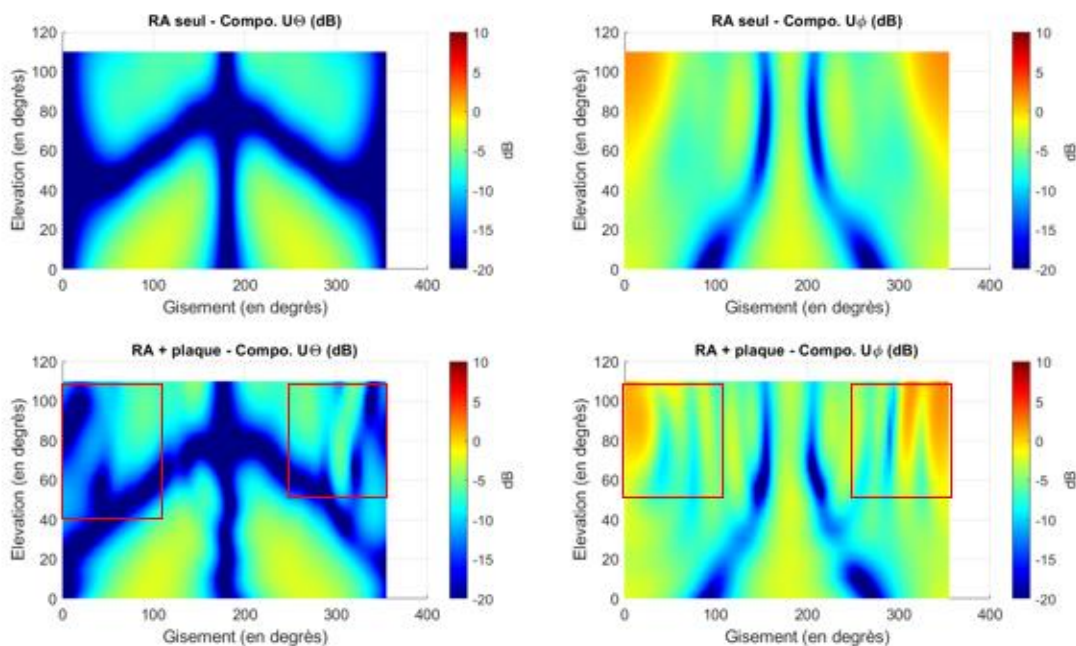


Figure 13 : Diagrammes de gain de l'antenne BBH4 à 430 MHz. Réseau antenneur seul (figures du haut) ; Réseau antenneur en présence de la plaque métallique (figures du bas).

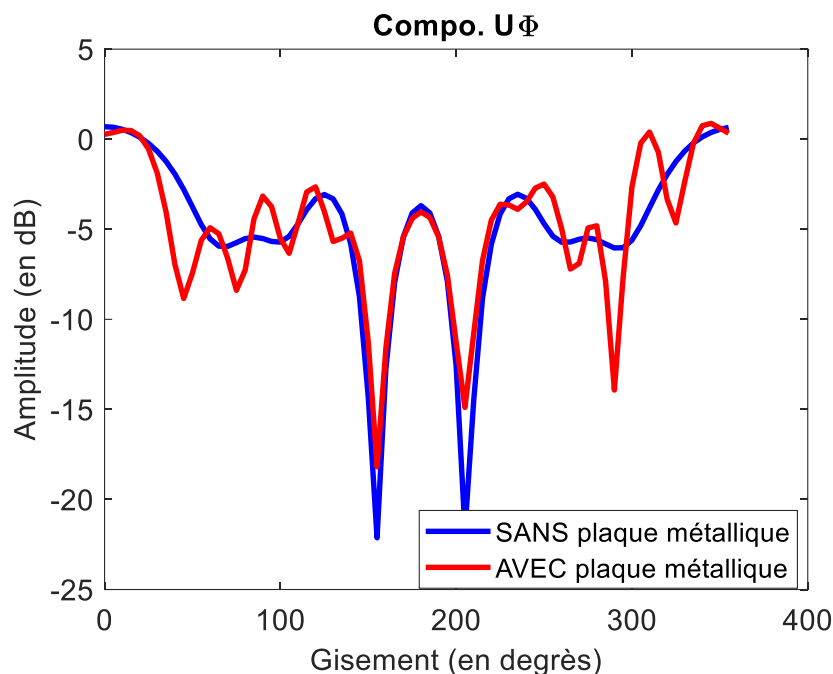


Figure 14 : Diagramme de rayonnement de l'antenne BBH4 à 430 MHz selon la composante U_{ϕ} du champ électrique pour une élévation de 80° .

5.4. 750 MHz

Dans ce paragraphe, les performances de gain à 750 MHz sont analysées.

Les figures 15, 16 et 17 tracent respectivement les diagrammes de rayonnement des antennes BBV4, BBV5 et BBH4 (selon les composantes E_{θ} et E_{ϕ} du champ électrique). Similairement à 430 MHz, on constate localement **des zones de masquage avec la présence de la plaque métallique** mis notamment en évidence par la figure 18 traçant le diagramme de gain de l'antenne BBH4 à élévation $\theta = 80^{\circ}$. De ce fait, ces creux de gain peuvent induire une réduction importante de la distance de détection de ces cibles provenant du secteur « avant » de l'avion ($0^{\circ} \leq \varphi \leq 45^{\circ}$ et $315^{\circ} \leq \varphi \leq 360^{\circ}$).

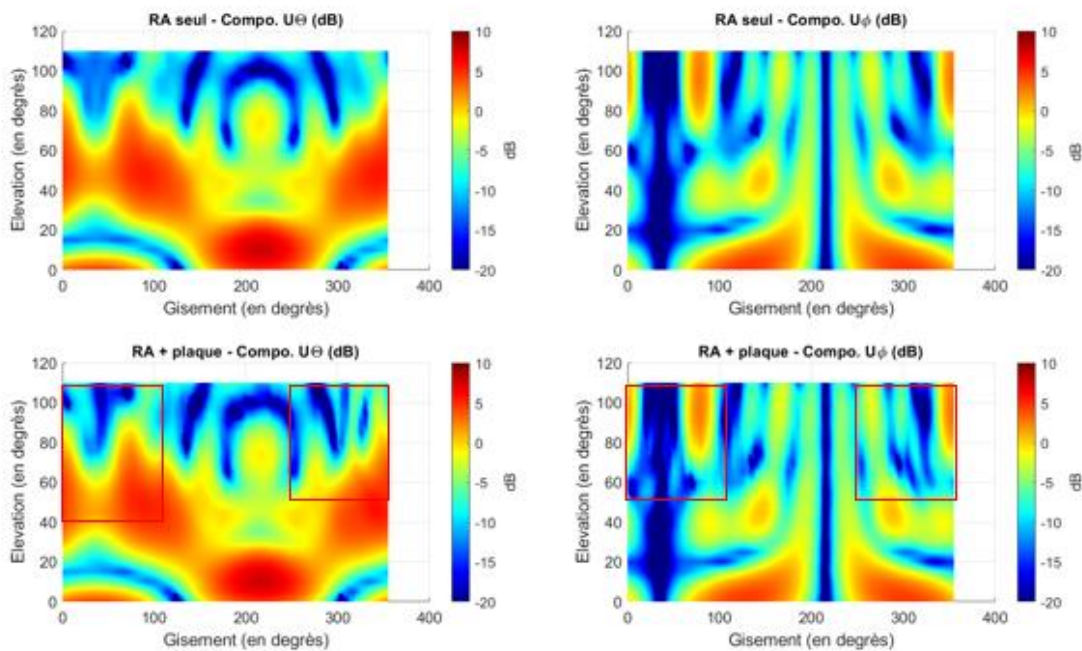


Figure 15 : Diagrammes de gain de l'antenne BBV4 à 750 MHz. Réseau antenneur seul (figures du haut) ; Réseau antenneur en présence de la plaque métallique (figures du bas).

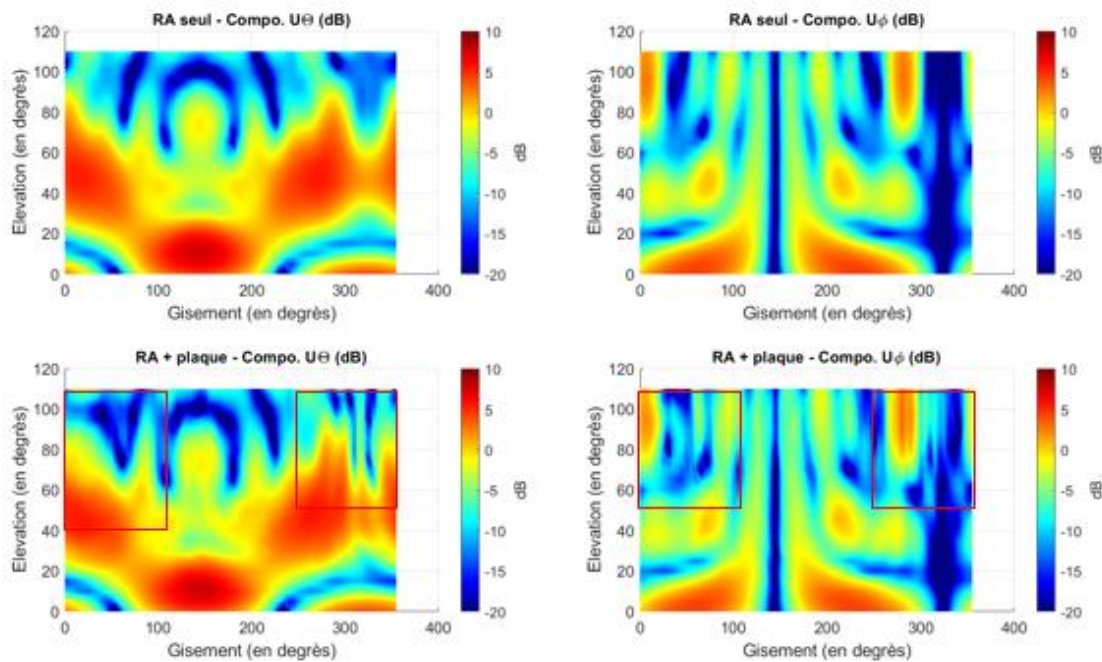


Figure 16 : Diagrammes de gain de l'antenne BBV5 à 750 MHz. Réseau antenneur seul (figures du haut) ; Réseau antenneur en présence de la plaque métallique (figures du bas).

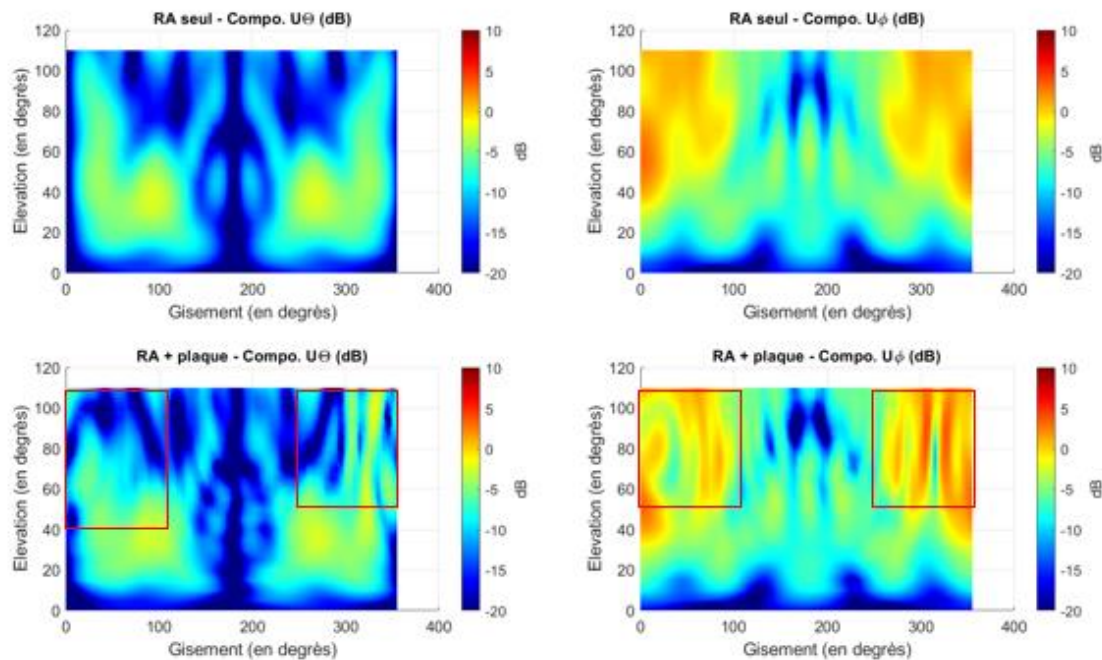


Figure 17 : Diagrammes de gain de l'antenne BBH4 à 750 MHz. Réseau antenneur seul (figures du haut) ; Réseau antenneur en présence de la plaque métallique (figures du bas).

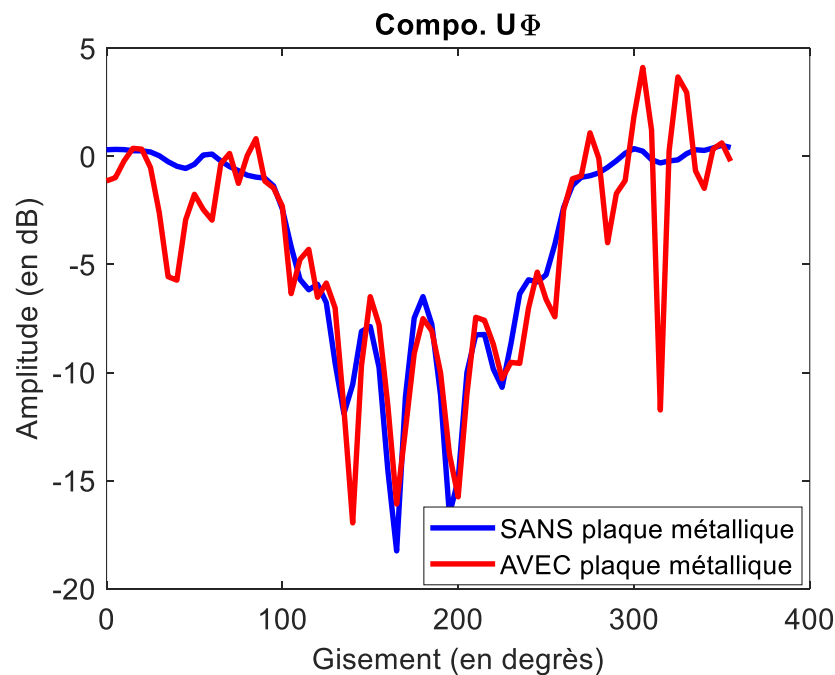


Figure 18 : Diagramme de rayonnement de l'antenne BBH4 à 750 MHz selon la composante U_{ϕ} du champ électrique pour une élévation de 80°.

6. ANALYSE DES RESULTATS SUR LA SOUS BANDE HAUTE (BH) DU RESEAU ANTENNAIRE FLASHHAWK

Dans cette sous bande, le réseau antennaire étant calibré en chambre anéchoïde. L'analyse dans cette sous bande se porte sur deux aspects :

- Les effets de masquage éventuels,
- Les dégradations des précisions de localisation.

6.1. ANALYSE DES DIAGRAMMES DE RAYONNEMENT

Pour illustrer l'influence de la plaque métallique sur les diagrammes de rayonnement du réseau antennaire, des cartographies de gain sont données à plusieurs fréquences (800 MHz, 1640 MHz, 2640 MHz). Ces fréquences correspondent à des bandes cellulaires (800 MHz : B20 DL et 2640 MHz : B7 DL) ou des fréquences de téléphone satellite (1640 MHz).

Tout d'abord la position des antennes bande haute dans le repère est donnée dans la figure suivante.

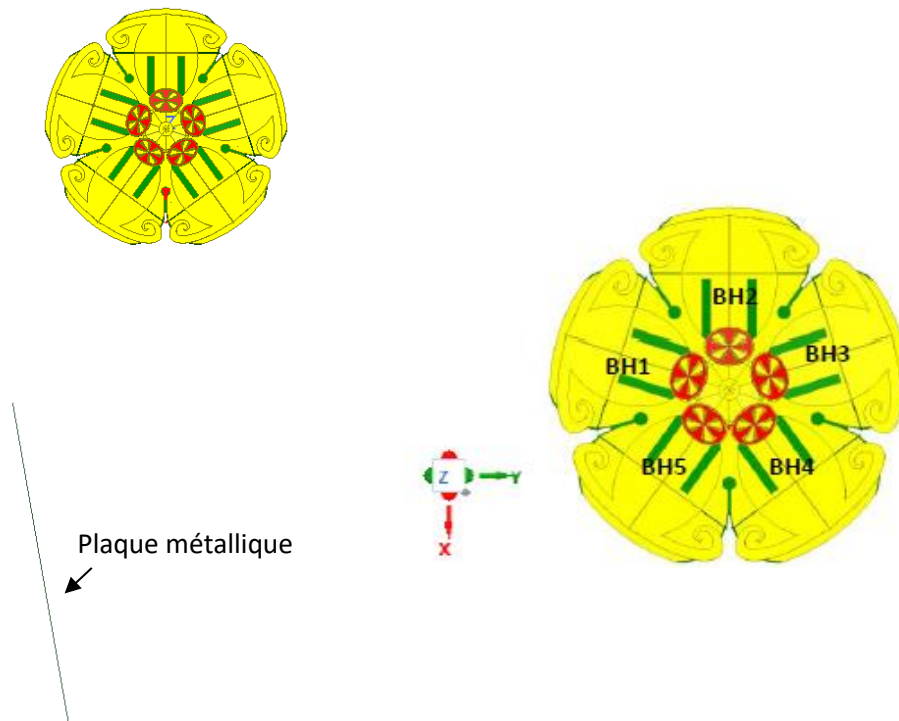


Figure 19 : Position des antennes bande haute et de la plaque métallique dans le repère.

Dans les paragraphes suivants, seuls les diagrammes de rayonnement des antennes BH4P, BH5P, BH4M et BH5M seront présentés. Il s'agit des antennes les plus fortement impactées par la présence de la plaque métallique dans le radôme.

Par définition, l'antenne BH4P correspond à l'antenne **Bande Haute (BH) n°4** à polarisation majoritairement **+45°**.

L'antenne BH5P désigne l'antenne **Bande Haute (BH) n°5** à polarisation majoritairement **+45°**.

L'antenne BH4M désigne l'antenne **Bande Haute (BH) n°4** à polarisation majoritairement **-45°**.

L'antenne BH5M désigne l'antenne **Bande Haute (BH) n°5** à polarisation majoritairement **-45°**.

6.1.1. 800 MHz

Dans ce paragraphe, les performances de gain à 800 MHz sont analysées.

Les figures 20, 21, 23 et 24, et tracent respectivement les diagrammes de rayonnement des antennes BH4P, BH5P, BH4M et BH5M (selon les composantes E_θ et E_φ du champ électrique). Nous pouvons observer sur ces cartographies des différences sur les diagrammes de rayonnement de l'antenne selon les deux composantes du champ. En premier lieu, un phénomène de multi trajet engendre des ondulations de gain sur le secteur angulaire : $40^\circ \leq \theta \leq 110^\circ$ et $0^\circ \leq \varphi \leq 100^\circ$. En second lieu, un léger phénomène de masquage est observable sur le secteur angulaire suivant : $80^\circ \leq \theta \leq 110^\circ$ et $300^\circ \leq \varphi \leq 360^\circ$. Ces observations sont notamment visibles sur la figure 22 traçant le diagramme de gain de l'antenne BH5P à élévation $\theta = 80^\circ$.

Ces modifications des diagrammes de rayonnement peuvent entraîner plusieurs conséquences :

- Dégradation des performances de précision de localisation que nous discuterons en chapitre 6.2,
- Localement les secteurs angulaires « avant » de l'avion ont des performances de distance de détection pouvant être fortement réduites.

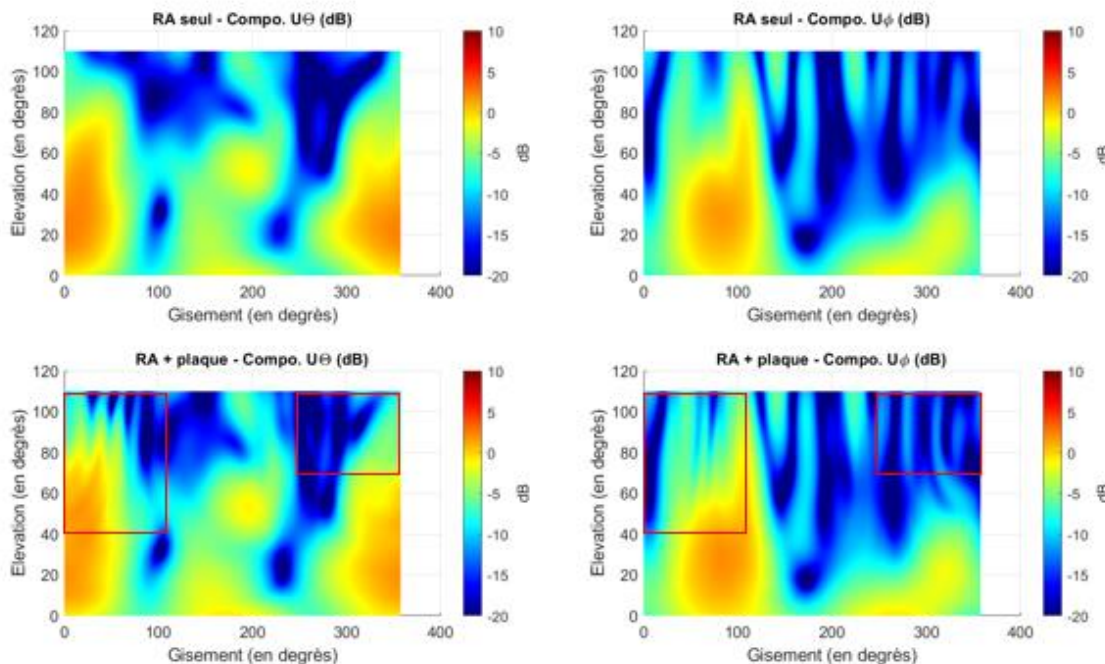


Figure 20 : Diagrammes de gain de l'antenne BH4P à 800 MHz. Réseau Antennaire seul (figures du haut) ; Réseau Antennaire en présence de la plaque métallique (figures du bas).

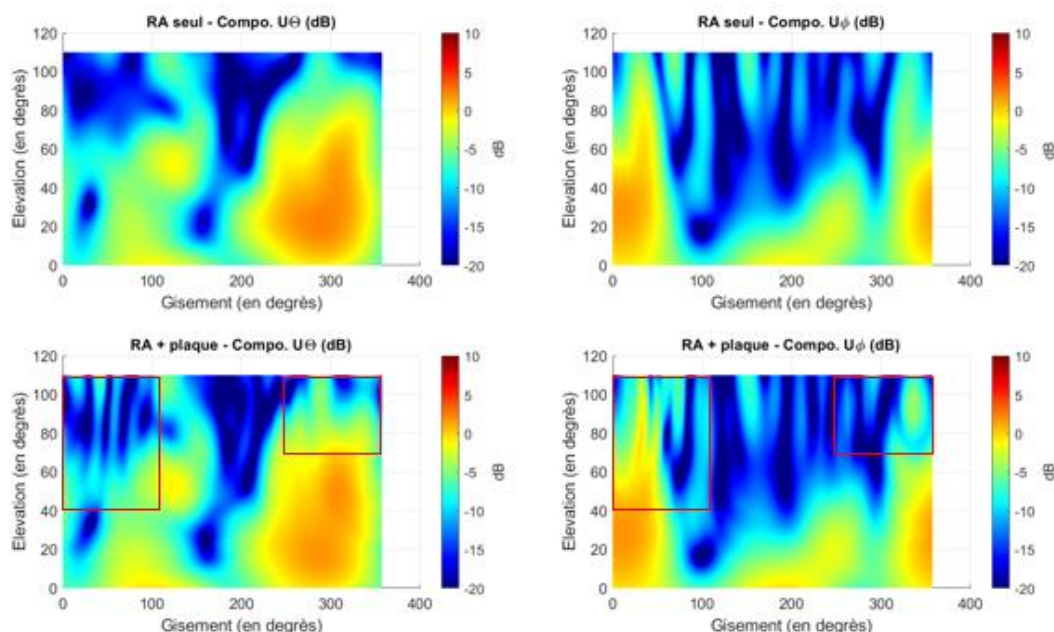


Figure 21 : Diagrammes de gain de l'antenne BH5P à 800 MHz. Réseau Antennaire seul (figures du haut) ; Réseau Antennaire en présence de la plaque métallique (figures du bas).

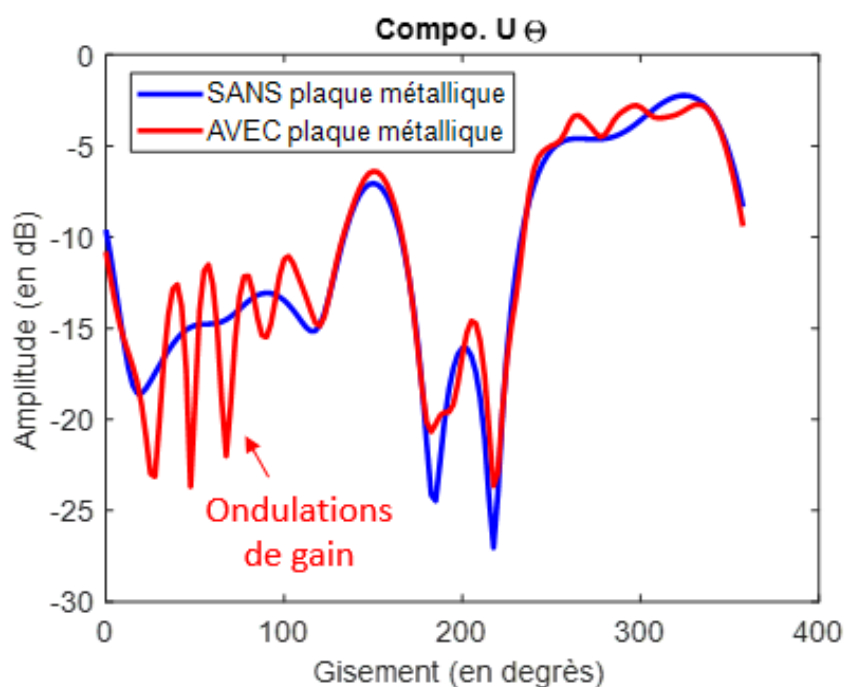


Figure 22 : Diagramme de rayonnement de l'antenne BH5P à 800 MHz selon la composante U_{θ} du champ électrique pour une élévation de 80° .

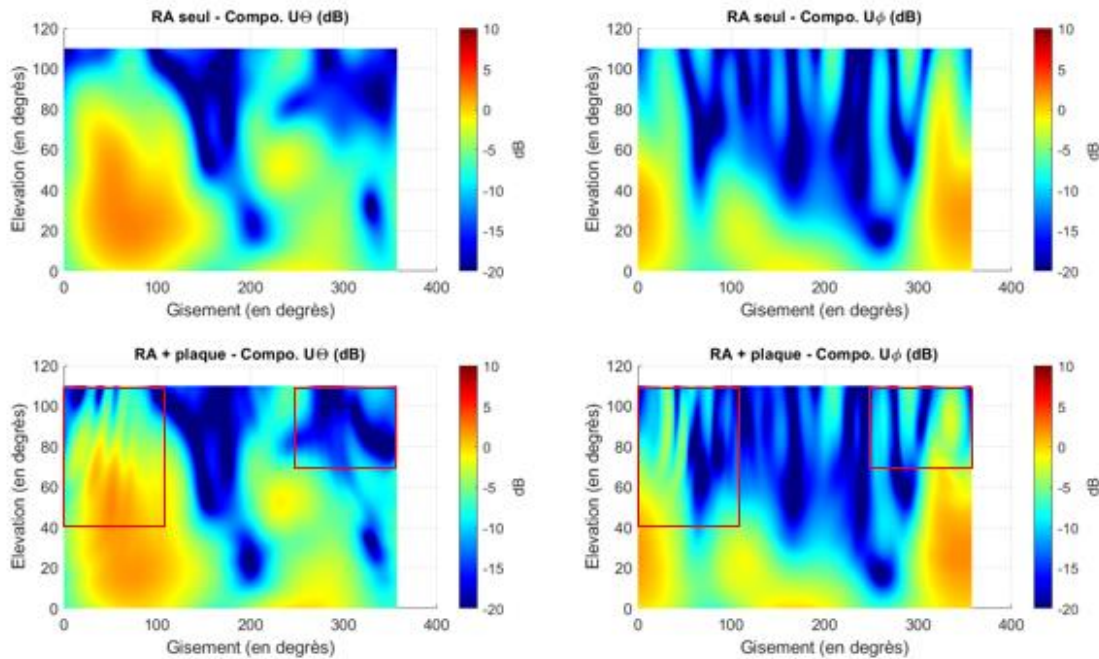


Figure 23 : Diagrammes de gain de l'antenne BH4M à 800 MHz. Réseau Antennaire seul (figures du haut) ; Réseau antenne en présence de la plaque métallique (figures du bas).

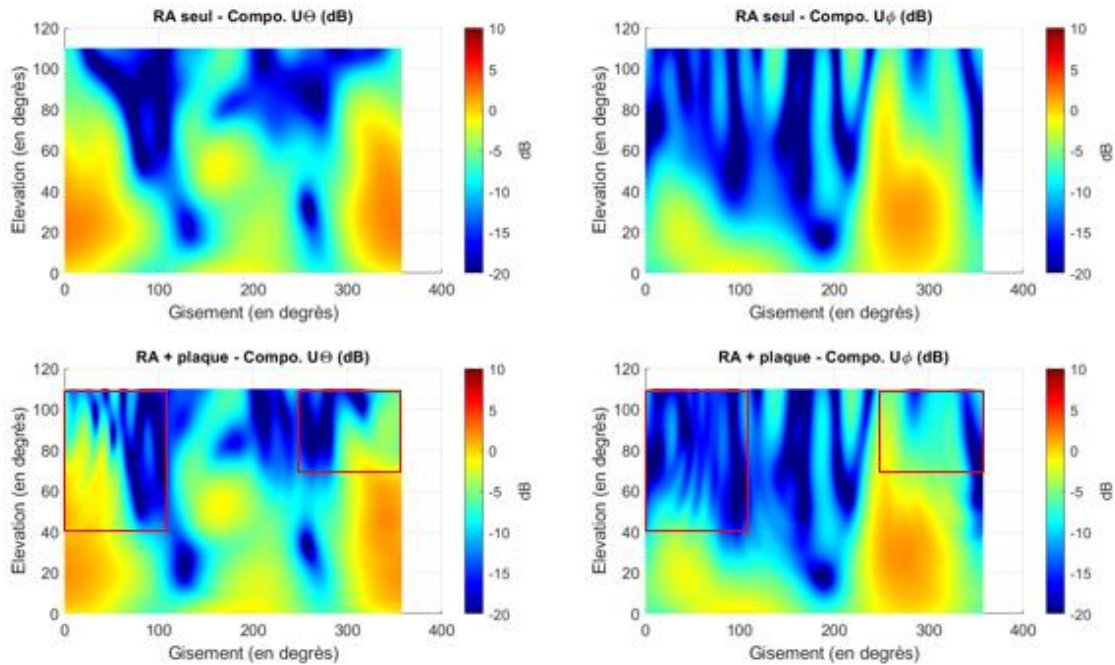


Figure 24 : Diagrammes de gain de l'antenne BH5M à 800 MHz. Réseau Antennaire seul (figures du haut) ; Réseau Antennaire en présence de la plaque métallique (figures du bas).

6.1.2. 1640 MHz

Dans ce paragraphe, les performances de gain à 1640 MHz sont analysées.

Les figures 25, 26, 28 et 29 tracent respectivement les diagrammes de rayonnement des antennes BH4P, BH5P, BH4M et BH5M (selon les composantes E_θ et E_ϕ du champ électrique). De la même manière qu'à 800 MHz, des ondulations de gain et un léger phénomène de masquage sont observables avec l'ajout de la plaque métallique. Pour l'illustrer, la figure 27 trace le diagramme de rayonnement de l'antenne BH5P avec et sans la plaque métallique pour un angle d'élévation $\theta = 80^\circ$.

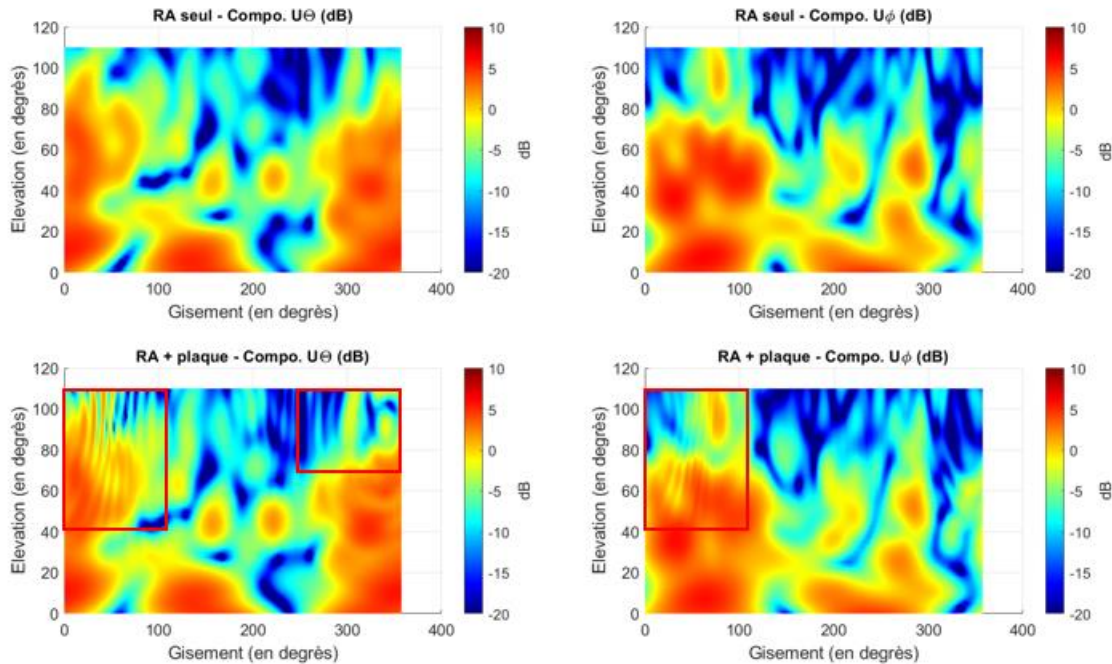


Figure 25 : Diagrammes de gain de l'antenne BH4P à 1640 MHz. Réseau antenneur seul (figures du haut) ; Réseau antenneur en présence de la plaque métallique (figures du bas).

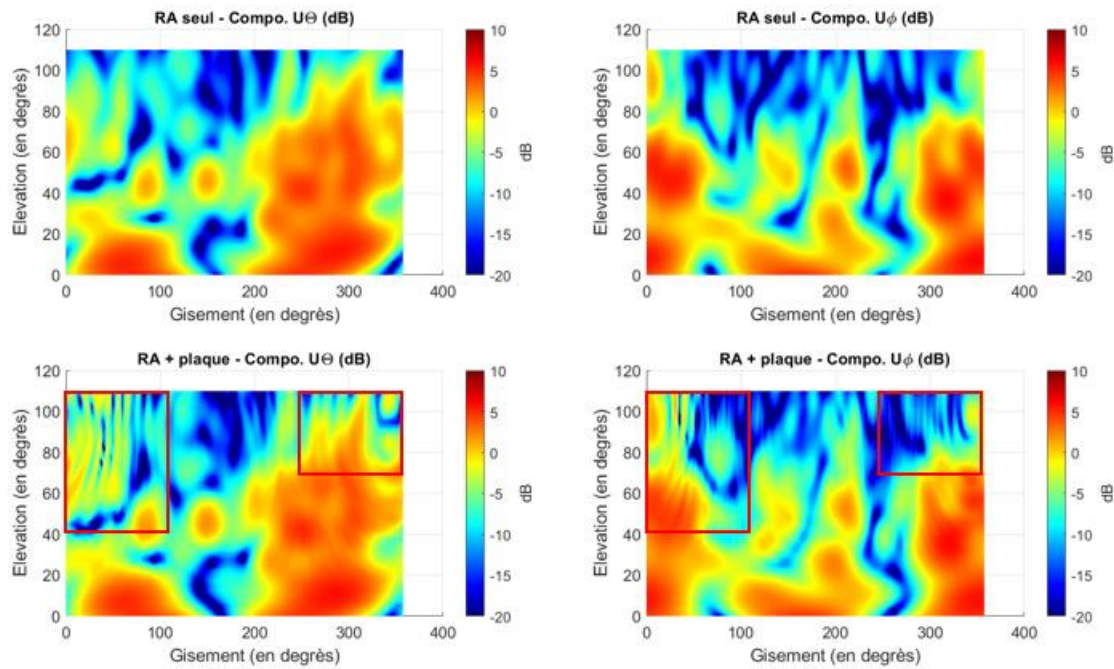


Figure 26 : Diagrammes de gain de l'antenne BH5P à 1640 MHz. Réseau antenneur seul (figures du haut) ; Réseau antenneur en présence de la plaque métallique (figures du bas).

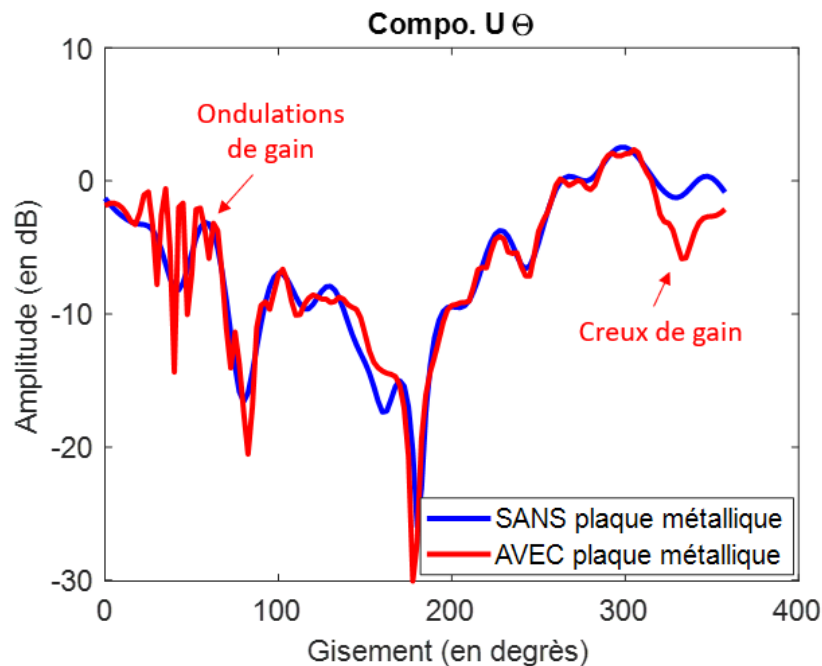


Figure 27 : Diagramme de rayonnement de l'antenne BH5P à 1640 MHz selon la composante U_θ du champ électrique pour une élévation de 80°.

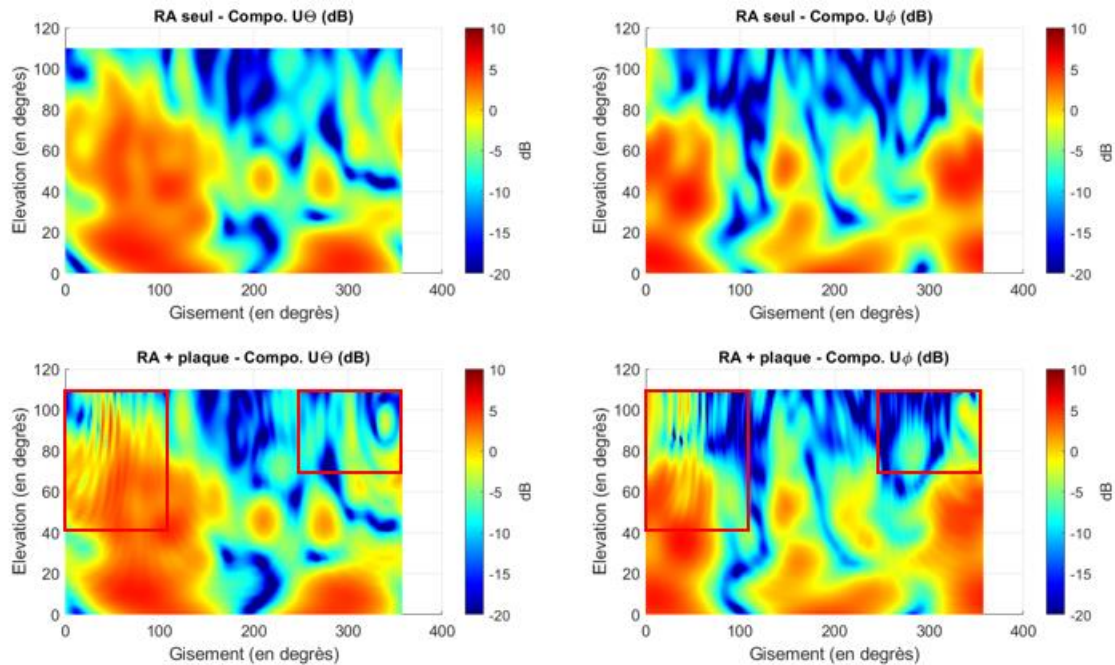


Figure 28 : Diagrammes de gain de l'antenne BH4M à 1640 MHz. Réseau antenneur seul (figures du haut) ; Réseau antenneur en présence de la plaque métallique (figures du bas).

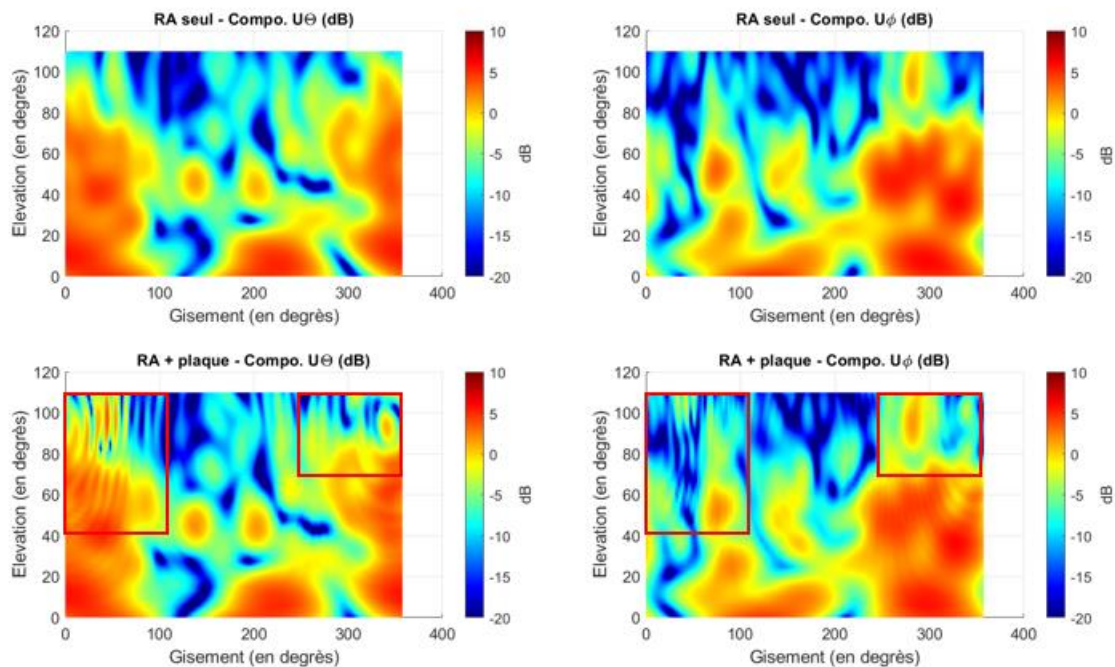


Figure 29 : Diagrammes de gain de l'antenne BH5M à 1640 MHz. Réseau antenneur seul (figures du haut) ; Réseau antenneur en présence de la plaque métallique (figures du bas).

6.1.3. 2640 MHz

Dans ce paragraphe, les performances de gain à 2640 MHz sont analysées.

Similairement au paragraphe précédent, nous comparons ici les diagrammes de rayonnement des antennes BH4P (cf. figure 30), BH5P (cf. figure 31), BH4M (cf. figure 32) et BH5M (cf. figure 33) avec et sans la plaque métallique à 2640 MHz. Les cartographies suivantes montrent que l'ajout de la plaque métallique provoque des ondulations de gain et un léger effet de masquage. Cette observation est également mise en lumière par les diagrammes de rayonnement de l'antenne BH5P sur un plan de coupe à élévation 80° (cf. figure 34).

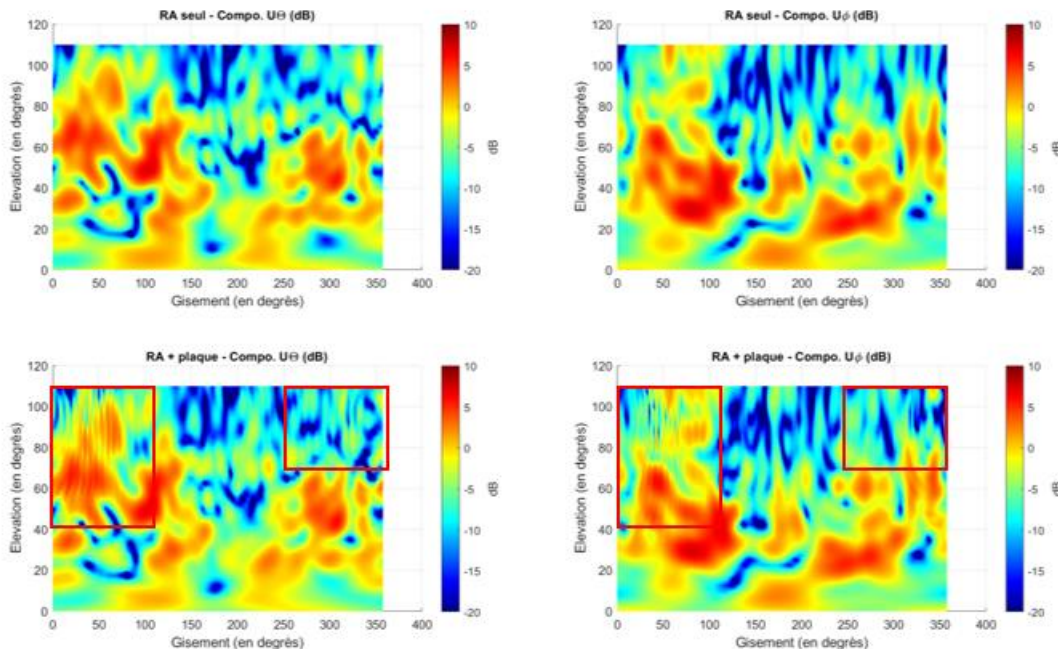


Figure 30 : Diagrammes de gain de l'antenne BH4P à 2640 MHz. Réseau antennaire seul (figures du haut) ; Réseau antennaire en présence de la plaque métallique (figures du bas).

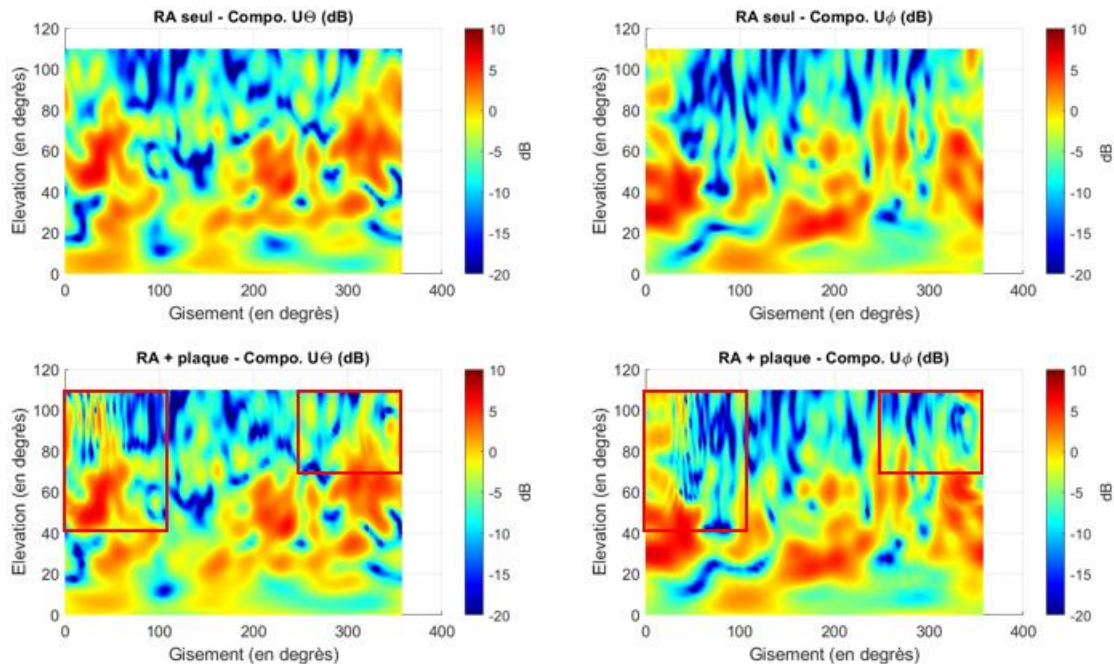


Figure 31 : Diagrammes de gain de l'antenne BH5P à 2640 MHz. Réseau antenneur seul (figures du haut) ; Réseau antenneur en présence de la plaque métallique (figures du bas).

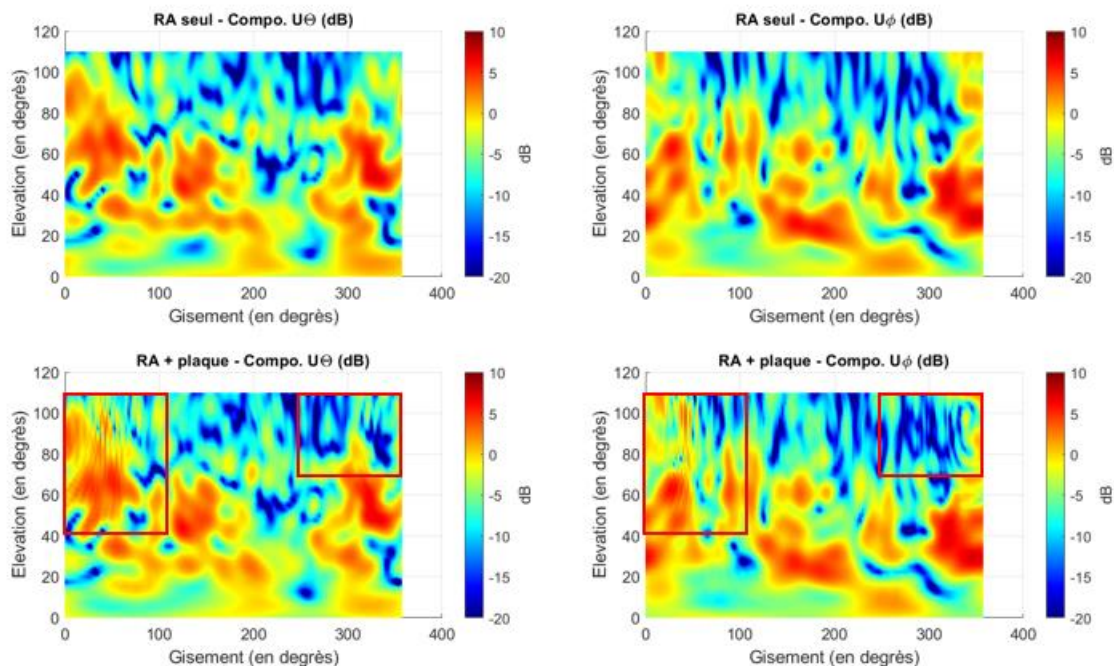


Figure 32 : Diagrammes de gain de l'antenne BH4M à 2640 MHz. Réseau antenneur seul (figures du haut) ; Réseau antenneur en présence de la plaque métallique (figures du bas).

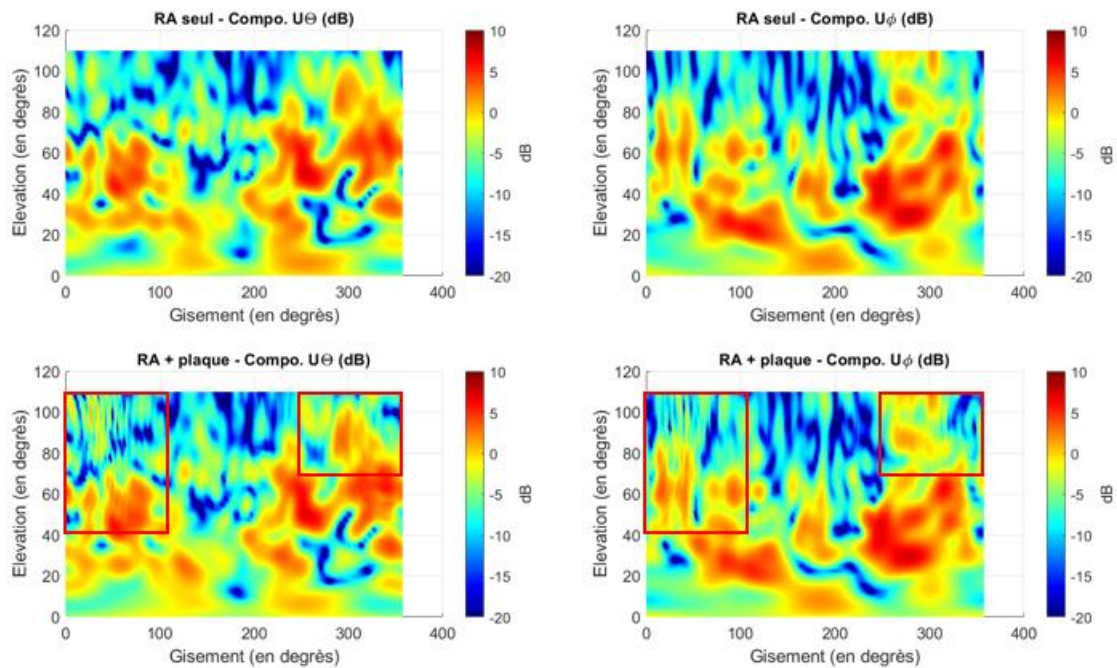


Figure 33 : Diagrammes de gain de l'antenne BH5M à 2640 MHz. Réseau antenne seul (figures du haut) ; Réseau antenne en présence de la plaque métallique (figures du bas).

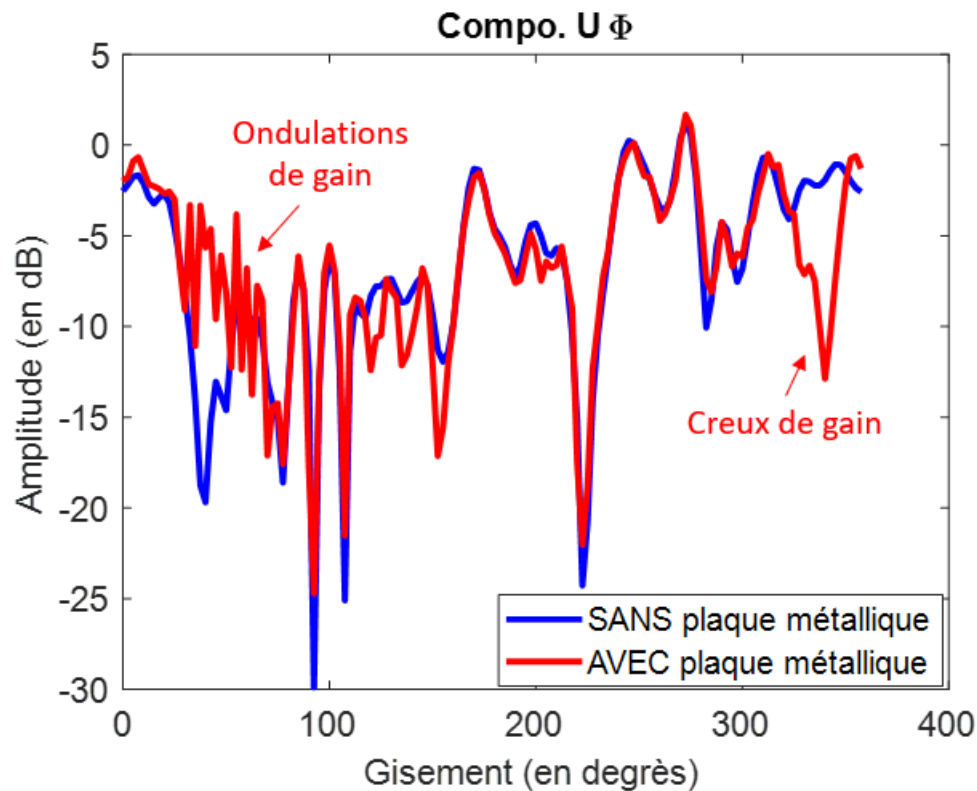


Figure 34 : Diagramme de rayonnement de l'antenne BH5P à 2640 MHz selon la composante U_ϕ du champ électrique pour une élévation de 80° .

6.2. ANALYSE DES DEGRADATIONS DE LA PRECISION DE LOCALISATION

6.2.1. METHODOLOGIE

Pour quantifier la dégradation de la précision de la localisation, la méthodologie suivante est appliquée :

1. A partir de simulations électromagnétiques sur le réseau antenne « seul » (sans plaque métallique), une table de calibration est générée.
2. Ensuite, nous bruitons (SNR=20 dB) les simulations du réseau antenne seul. Selon l'algorithme calculant les direction d'arrivée, nous pouvons estimer les meilleures performances atteignables.
3. Ensuite, nous bruitons (SNR=20 dB) les simulations du réseau antenne en présence de la plaque métallique.
4. Enfin, nous comparons les performances obtenues en 2. et 3. dans le but de connaître la dégradation des performances de localisation.

Par ailleurs, afin de quantifier précisément ces dégradations, nous décomposons l'analyse en 16 secteurs angulaires décrits comme suit :

Numéro de secteurs	Angle d'élévation	Angle de gisement
1	$0^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$	$0^\circ \leq \varphi \leq 45^\circ$
2	$0^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$	$45^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$
3	$0^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$	$90^\circ \leq \varphi \leq 135^\circ$
4	$0^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$	$135^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ$
5	$0^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$	$180^\circ \leq \varphi \leq 225^\circ$
6	$0^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$	$225^\circ \leq \varphi \leq 270^\circ$
7	$0^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$	$270^\circ \leq \varphi \leq 315^\circ$
8	$0^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$	$315^\circ \leq \varphi \leq 360^\circ$
9	$45^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$	$0^\circ \leq \varphi \leq 45^\circ$
10	$45^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$	$45^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$
11	$45^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$	$90^\circ \leq \varphi \leq 135^\circ$
12	$45^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$	$135^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ$
13	$45^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$	$180^\circ \leq \varphi \leq 225^\circ$
14	$45^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$	$225^\circ \leq \varphi \leq 270^\circ$
15	$45^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$	$270^\circ \leq \varphi \leq 315^\circ$
16	$45^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$	$315^\circ \leq \varphi \leq 360^\circ$

Tableau 1 : Descriptif des 16 secteurs utilisés pour l'analyse de l'impact de la plaque métallique sur la précision de localisation.

Les figures 35 et 36 représentent schématiquement la position des 16 secteurs dans le repère. Rappelons tout d'abord quelques précisions :

- L'angle d'élévation $\theta = 0^\circ$ correspond au nadir (vertical au sol),
- Le plan xOy (horizon) est défini à l'angle d'élévation $\theta = 90^\circ$,
- L'angle de gisement (azimut) $\varphi = 0^\circ$ pointe vers l'avant de l'avion,
- L'angle de gisement (azimut) $\varphi = 90^\circ$ pointe vers l'aile droite (cf. figure 37),
- L'angle de gisement (azimut) $\varphi = 180^\circ$ pointe vers l'arrière de l'avion,
- L'angle de gisement (azimut) $\varphi = 270^\circ$ pointe vers l'aile gauche (cf. figure 37).

La demi-sphère sous l'avion est découpée en secteurs d'élévation : $0^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$ et $45^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$. Pour chaque secteur d'élévation, la zone est ensuite divisée en 8 secteurs de gisement 45° .

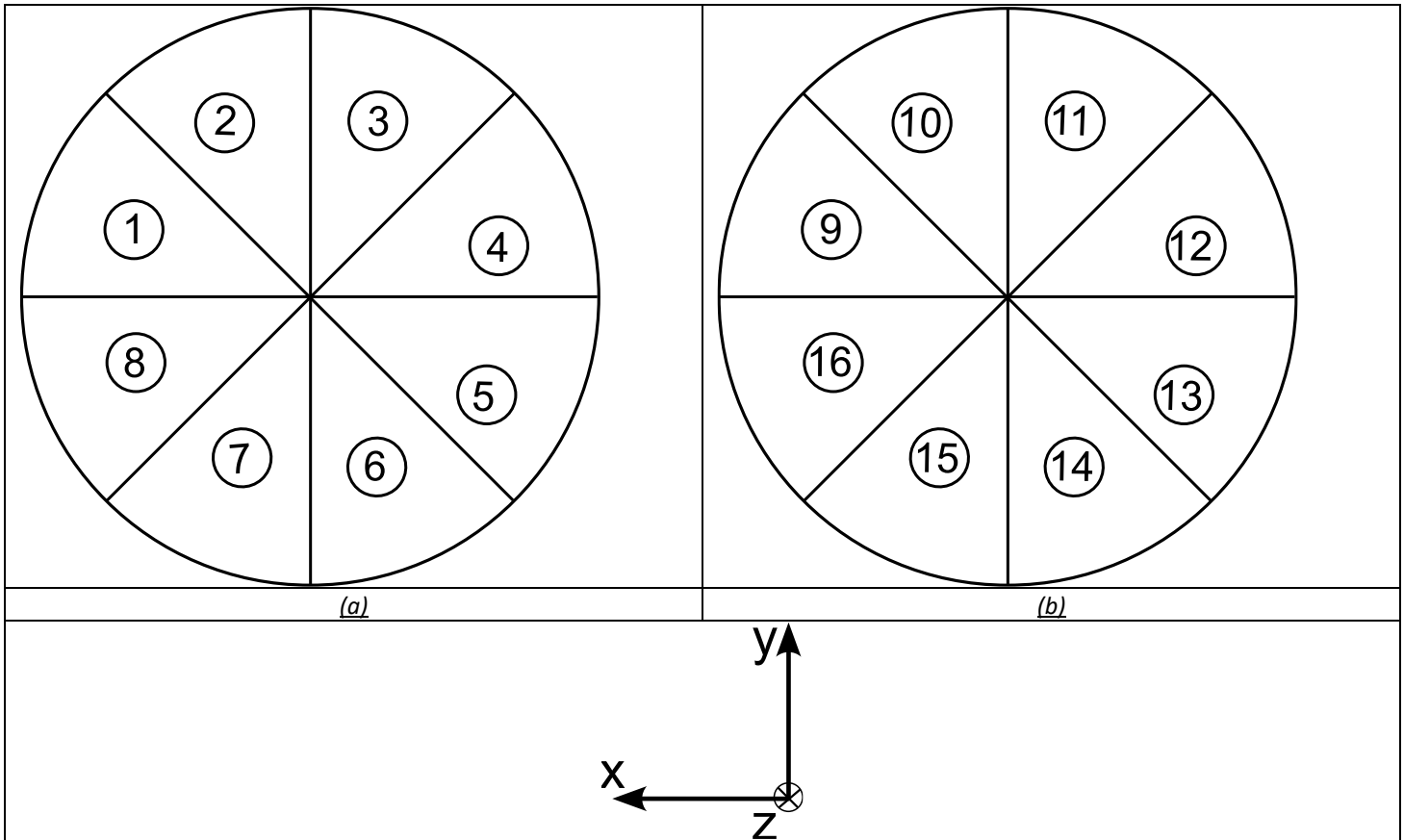


Figure 35 : Descriptif des secteurs angulaires utilisées pour l'analyse ; (a) secteur à élévation comprise entre $0^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$; (b) secteur à élévation comprise $45^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$.

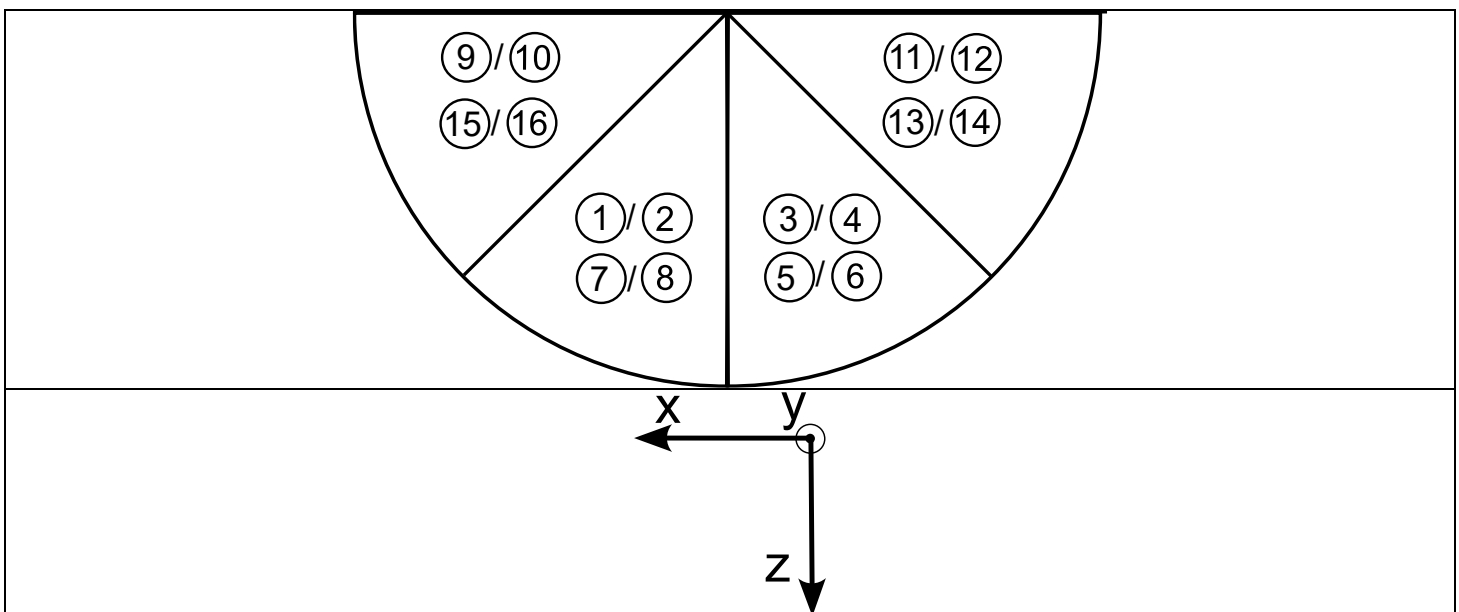


Figure 36 : Descriptif des secteurs angulaires utilisées pour l'analyse selon l'angle d'élévation.

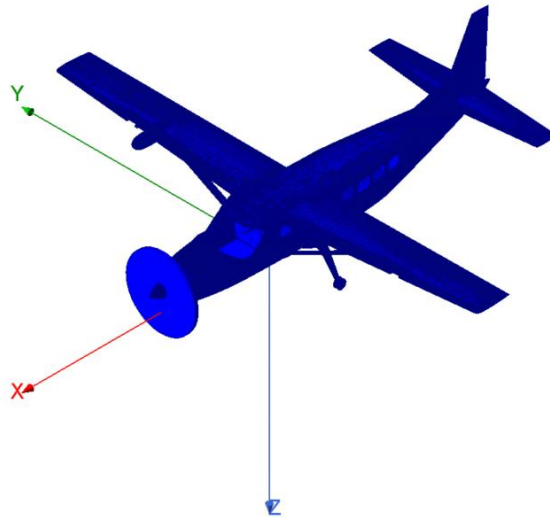


Figure 37 : Orientation de l'avion dans le repère.

6.2.2. RESULTATS OBTENUS

6.2.2.1. SECTEUR 1

Pour la méthodologie décrite précédemment, nous calculons l'erreur de localisation. Sur le secteur 1 (décrit par $0^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$ et $0^\circ \leq \phi \leq 45^\circ$), avec le réseau antennaire seul (étape 2., cf. figure 38 (a)), l'erreur de localisation est inférieure à 2° sur l'ensemble de la bande 760-3000 MHz. L'erreur devient inférieure à 1° à partir de 920 MHz.

En présence de la plaque métallique (étape 3., cf. figure 38 (b)), l'erreur de localisation est supérieure à 2° pour des fréquences inférieures à 840 MHz et supérieure à 1° jusqu'à 2440 MHz (hors 1480 MHz et 2200 MHz). Enfin, il est possible d'estimer la dégradation des performances de localisation induite par l'ajout de la plaque métallique (étape 4.). Comme tracé sur la figure 39, la dégradation des performances de localisation est inférieure à 2° sur l'ensemble de la bande d'étude. **Ainsi, dans ce secteur angulaire, l'influence de la plaque métallique peut être jugée comme faible.**

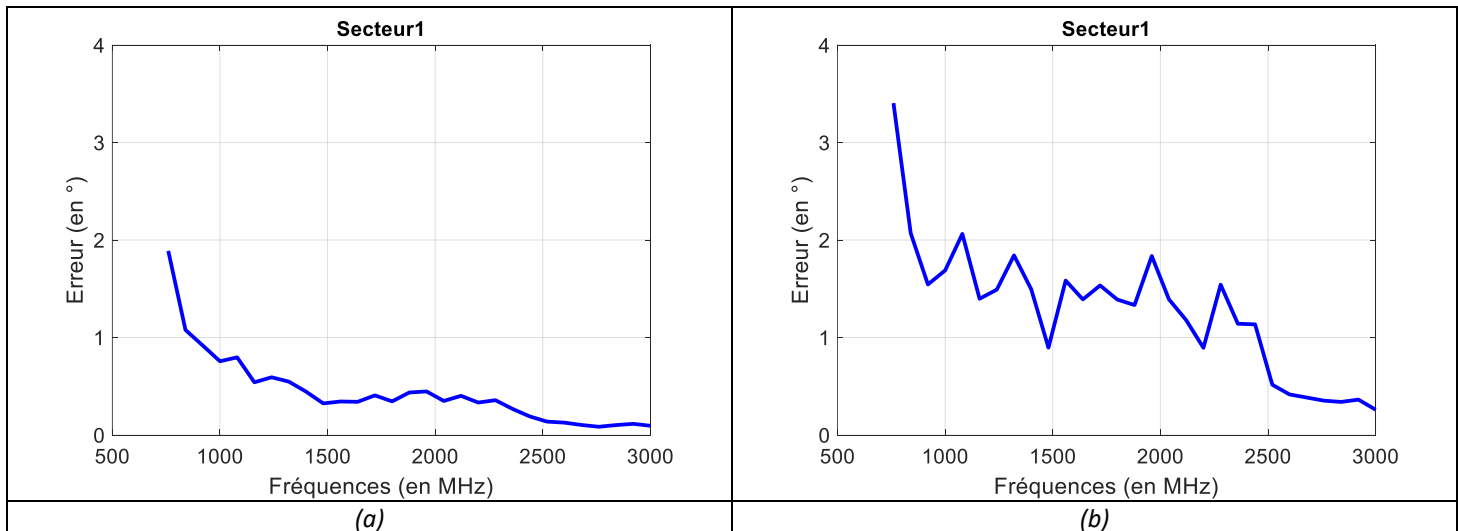


Figure 38 : Erreur de localisation avec le réseau antenne seul (a) et le réseau antenne avec la plaque métallique (b).

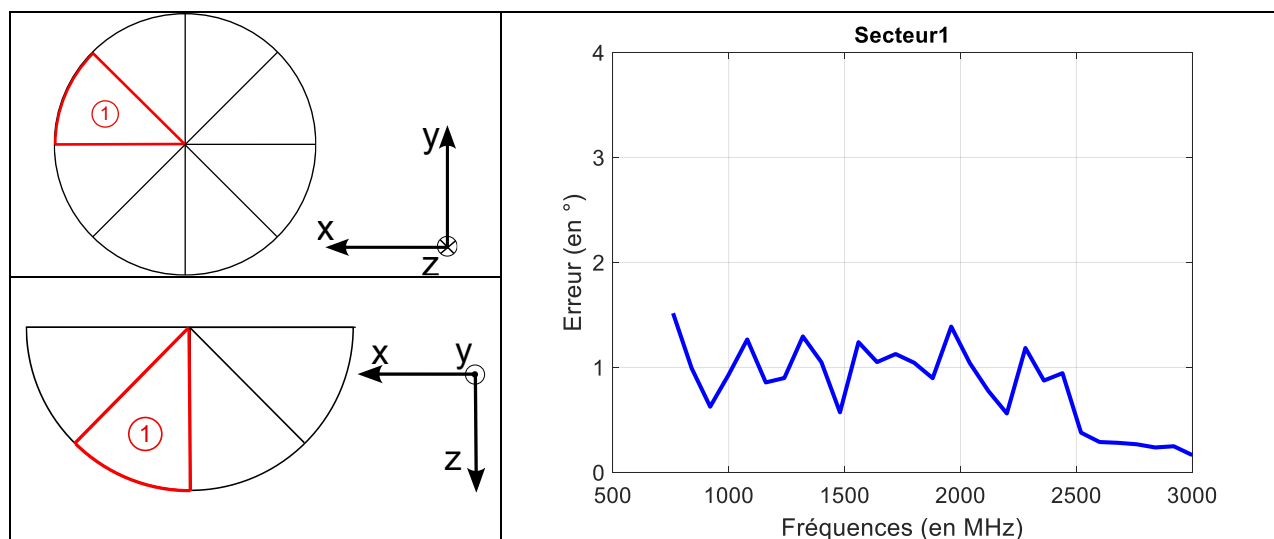


Figure 39 : Dégradation des performances de localisation sur le secteur 1 provoquée par l'ajout de la plaque métallique.

6.2.2.2. SECTEUR 2

Dans ce paragraphe, nous analysons les éventuelles dégradations de performances de précision de localisation sur le secteur 2 (décrit par $0^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$ et $45^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$). Comme observé sur le premier secteur, **la dégradation de la localisation est faible dans ce secteur angulaire** (inférieure à 2° sur l'ensemble de la bande couverte par le sous réseau bande haute).

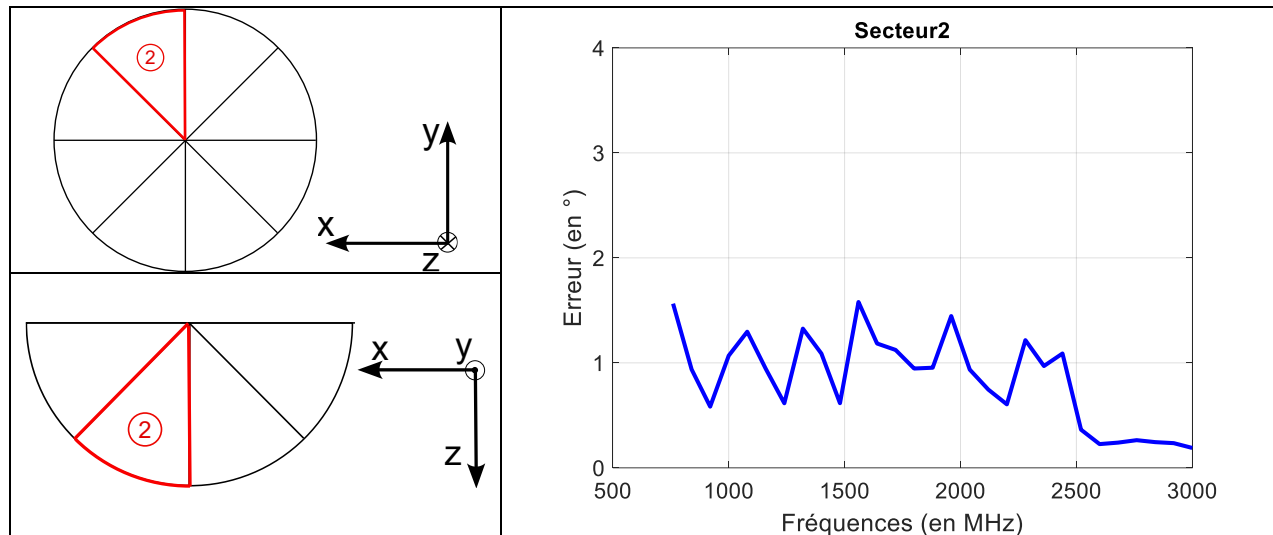


Figure 40 : Dégradation des performances de localisation sur le secteur 2 provoquée par l'ajout de la plaque métallique.

6.2.2.3. SECTEUR 3

Dans ce paragraphe, nous analysons les éventuelles dégradations de performances de précision de localisation sur le secteur 3 (décrit par $0^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$ et $90^\circ \leq \theta \leq 135^\circ$). Comme observé sur les premiers secteurs analysés, **la dégradation de la localisation reste faible** dans ce secteur angulaire (inférieure à 2° sur l'ensemble de la bande couverte par le sous réseau bande haute).

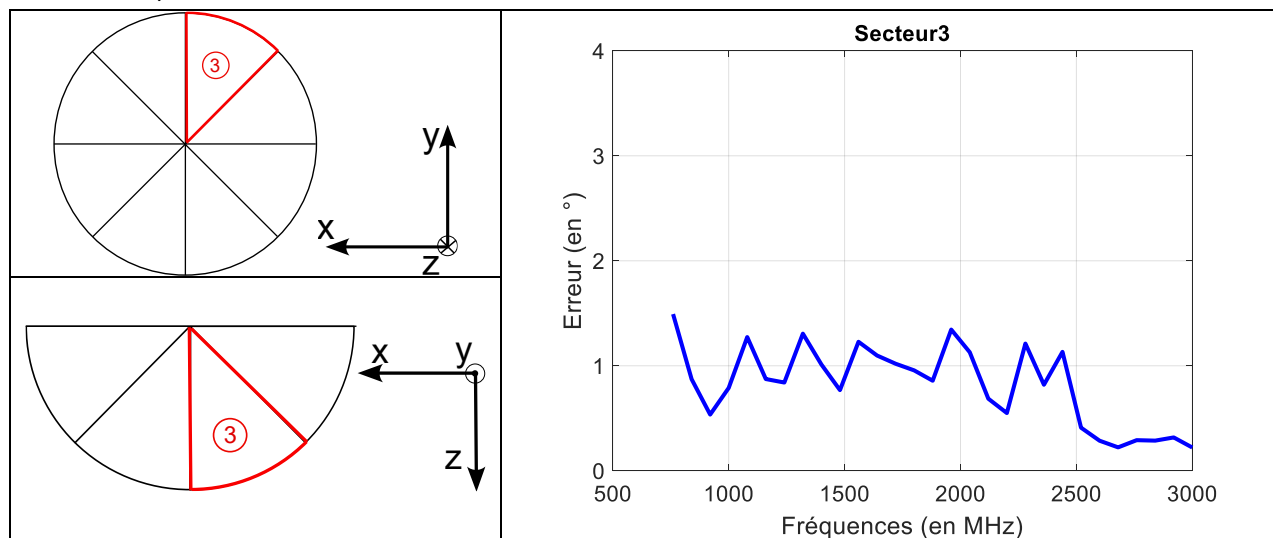


Figure 41 : Dégradation des performances de localisation sur le secteur 3 provoquée par l'ajout de la plaque métallique.

6.2.2.4. SECTEUR 4

Dans ce paragraphe, nous analysons les éventuelles dégradations de performances de précision de localisation sur le secteur 4 (décrit par $0^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$ et $135^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$). Comme observé sur les précédents secteurs analysés, **la dégradation de la localisation reste faible dans ce secteur angulaire** (inférieure à 2° sur l'ensemble de la bande couverte par le sous réseau bande haute).

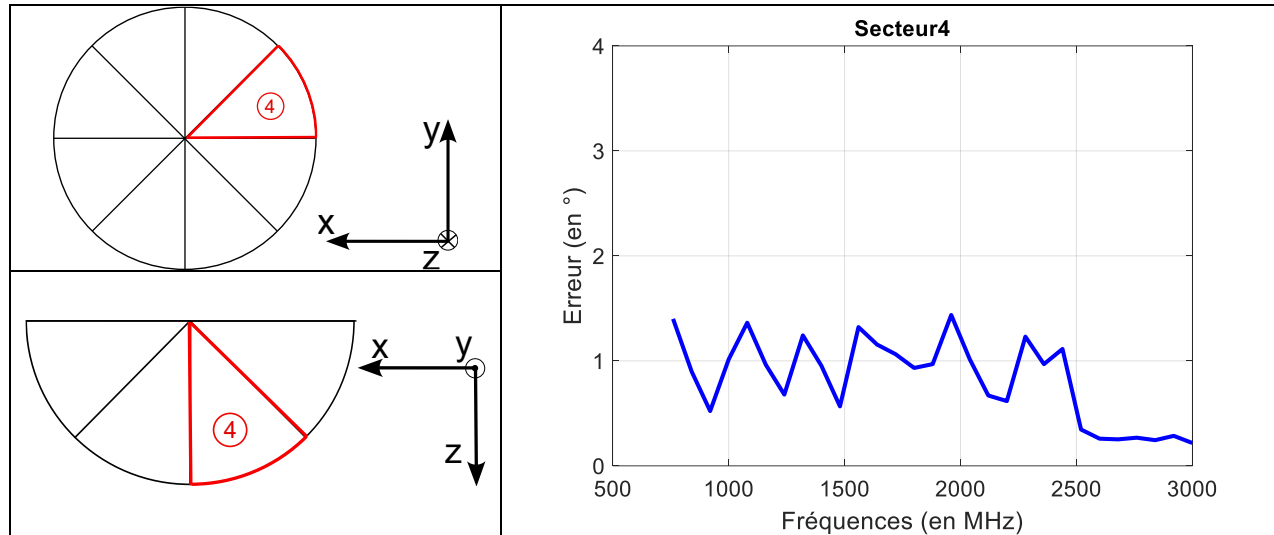


Figure 42 : Dégradation des performances de localisation sur le secteur 4 provoquée par l'ajout de la plaque métallique.

6.2.2.5. SECTEUR 5

Dans ce paragraphe, nous analysons les éventuelles dégradations de performances de précision de localisation sur le secteur 5 (décrit par $0^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$ et $180^\circ \leq \theta \leq 225^\circ$). Comme observé sur les précédents secteurs analysés, **la dégradation de la localisation reste faible dans ce secteur angulaire** (inférieure à 2° sur l'ensemble de la bande couverte par le sous réseau bande haute).

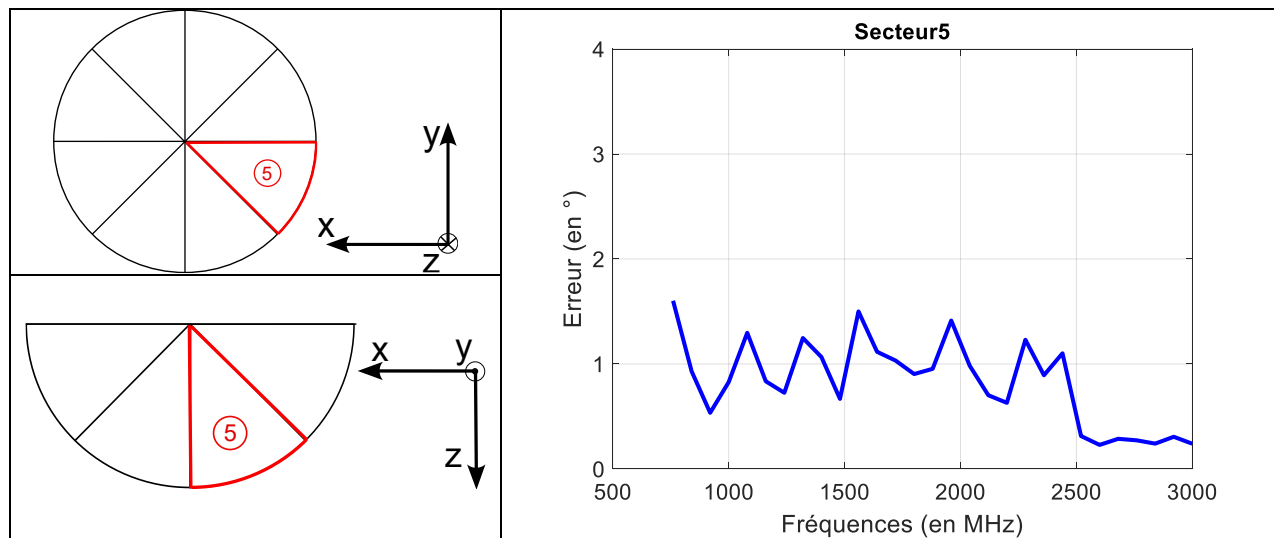


Figure 43 : Dégradation des performances de localisation sur le secteur 5 provoquée par l'ajout de la plaque métallique.

6.2.2.6. SECTEUR 6

Dans ce paragraphe, nous analysons les éventuelles dégradations de performances de précision de localisation sur le secteur 6 (décrit par $0^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$ et $225^\circ \leq \theta \leq 270^\circ$). Comme observé sur les précédents secteurs analysés, **la dégradation de la localisation reste faible dans ce secteur angulaire** (inférieure à 2° sur l'ensemble de la bande couverte par le sous réseau bande haute).

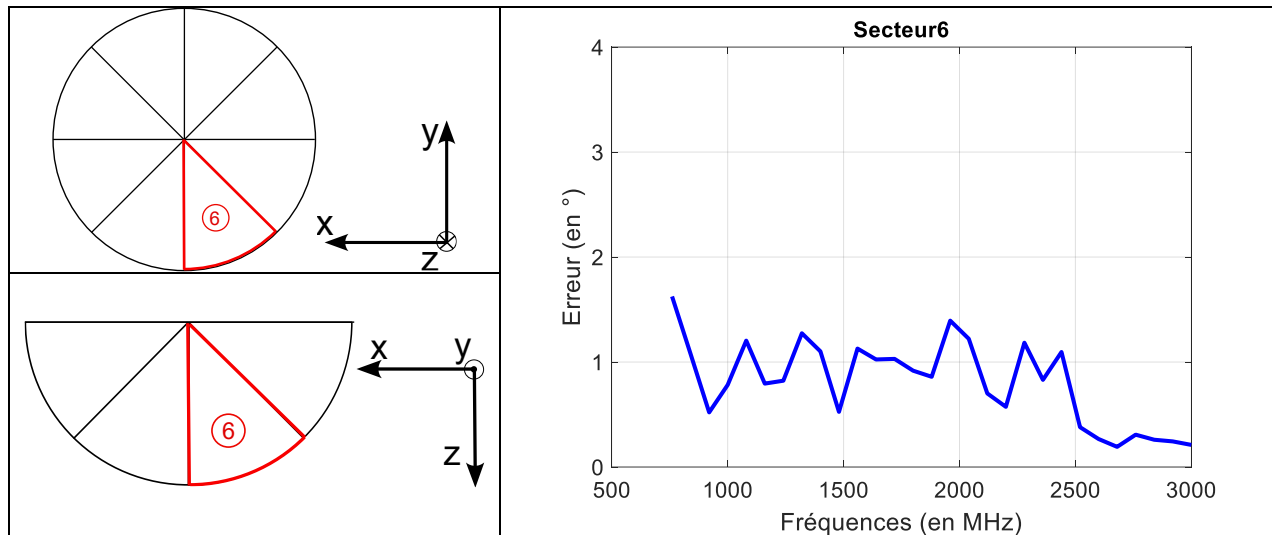


Figure 44 : Dégradation des performances de localisation sur le secteur 6 provoquée par l'ajout de la plaque métallique.

6.2.2.7. SECTEUR 7

Dans ce paragraphe, nous analysons les éventuelles dégradations de performances de précision de localisation sur le secteur 7 (décrit par $0^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$ et $270^\circ \leq \theta \leq 315^\circ$). Comme observé sur les précédents secteurs analysés, **la dégradation de la localisation reste faible dans ce secteur angulaire** (inférieure à 2° sur l'ensemble de la bande couverte par le sous réseau bande haute).

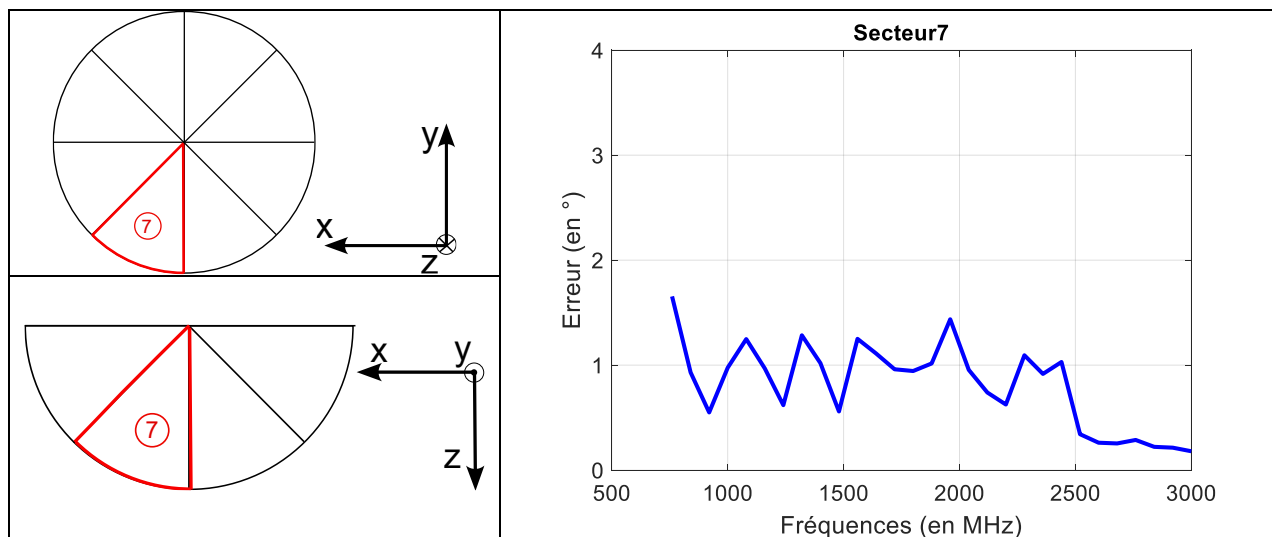


Figure 45 : Dégradation des performances de localisation sur le secteur 7 provoquée par l'ajout de la plaque métallique.

6.2.2.8. SECTEUR 8

Dans ce paragraphe, nous analysons les éventuelles dégradations de performances de précision de localisation sur le secteur 8 (décrit par $0^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$ et $315^\circ \leq \theta \leq 360^\circ$). Comme observé sur les précédents secteurs analysés, **la**

dégradation de la localisation reste faible dans ce secteur angulaire (inférieure à 2° sur l'ensemble de la bande couverte par le sous réseau bande haute).

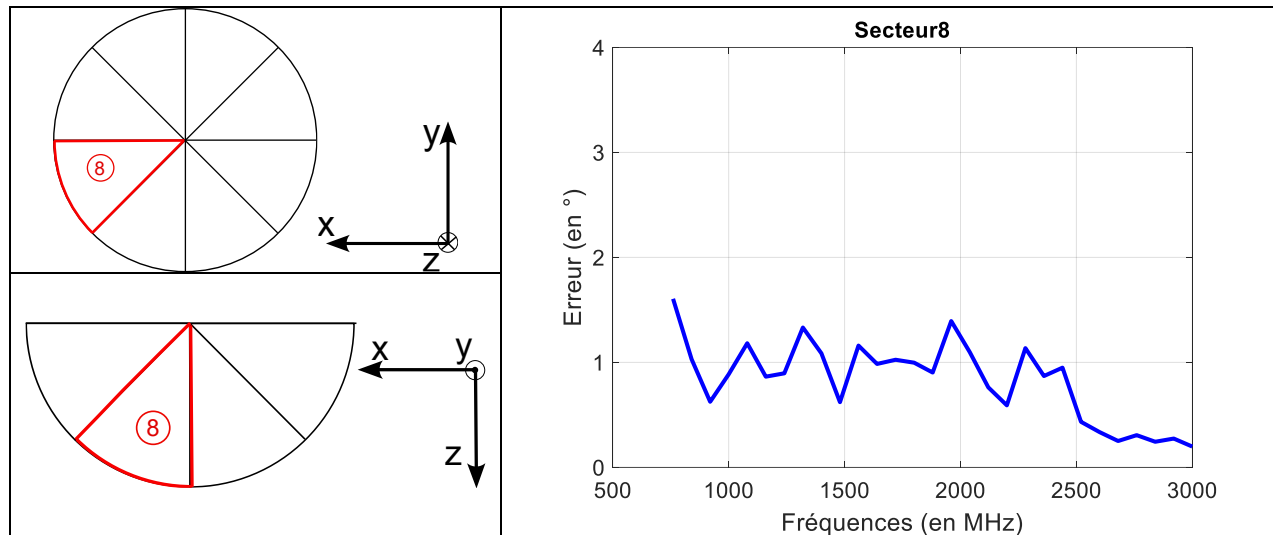


Figure 46 : Dégradation des performances de localisation sur le secteur 8 provoquée par l'ajout de la plaque métallique.

6.2.2.9. SECTEUR 9

Dans ce paragraphe, nous analysons les éventuelles dégradations de performances de précision de localisation sur le secteur 9 (décrit par $45^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ et $0^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$). **Au contraire des secteurs précédemment analysés, ce secteur présente une forte dégradation sur l'ensemble de la bande d'étude.** Pour des fréquences inférieures à 1 GHz, les dégradations de la précision de localisation sont même supérieures à 6°.

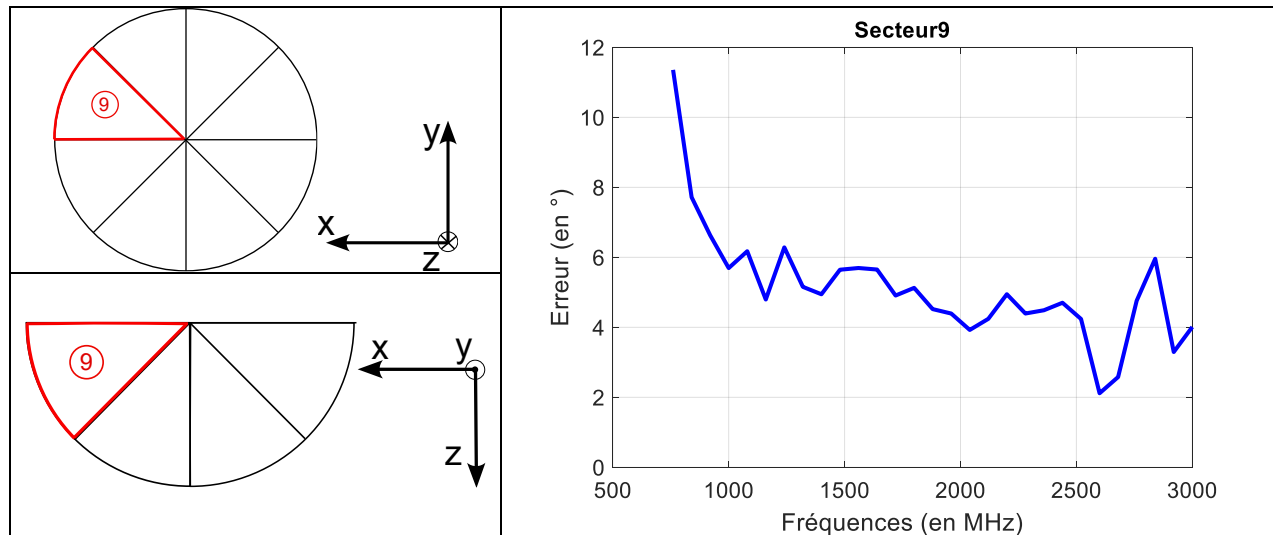


Figure 47 : Dégradation des performances de localisation sur le secteur 9 provoquée par l'ajout de la plaque métallique.

6.2.2.10. SECTEUR 10

Dans ce paragraphe, nous analysons les éventuelles dégradations de performances de précision de localisation sur le secteur 10 (décrit par $45^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ et $45^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$). Sur ce secteur, la dégradation de la précision est supérieure à 2°

en deçà de 1.8 GHz. De ce fait, nous pouvons considérer que **la présence de la plaque métallique sur ce secteur détériore de manière non négligeable les performances sur la bande 760-1800 MHz.**

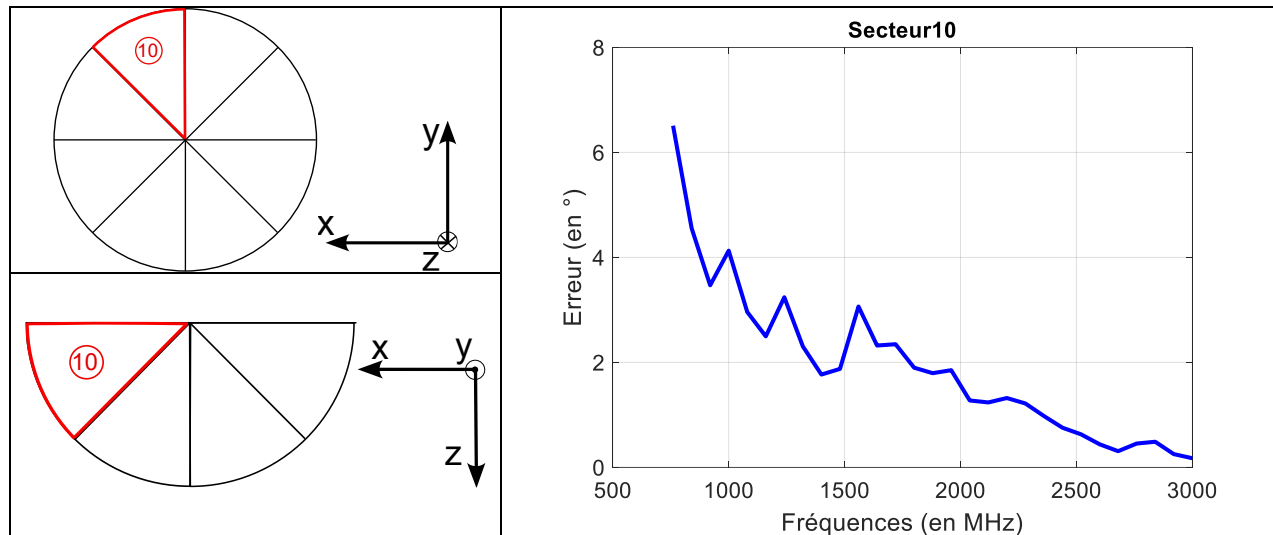


Figure 48 : Dégradation des performances de localisation sur le secteur 10 provoquée par l'ajout de la plaque métallique.

6.2.2.11. SECTEUR 11

Dans ce paragraphe, nous analysons les éventuelles dégradations de performances de précision de localisation sur le secteur 11 (décrit par $45^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ et $90^\circ \leq \theta \leq 135^\circ$). Sur ce secteur, la dégradation de la précision est inférieure à 2° en deçà de 840 MHz. De ce fait, nous pouvons considérer que **la présence de la plaque métallique sur ce secteur détériore faiblement les performances sur l'ensemble de la bande d'étude.**

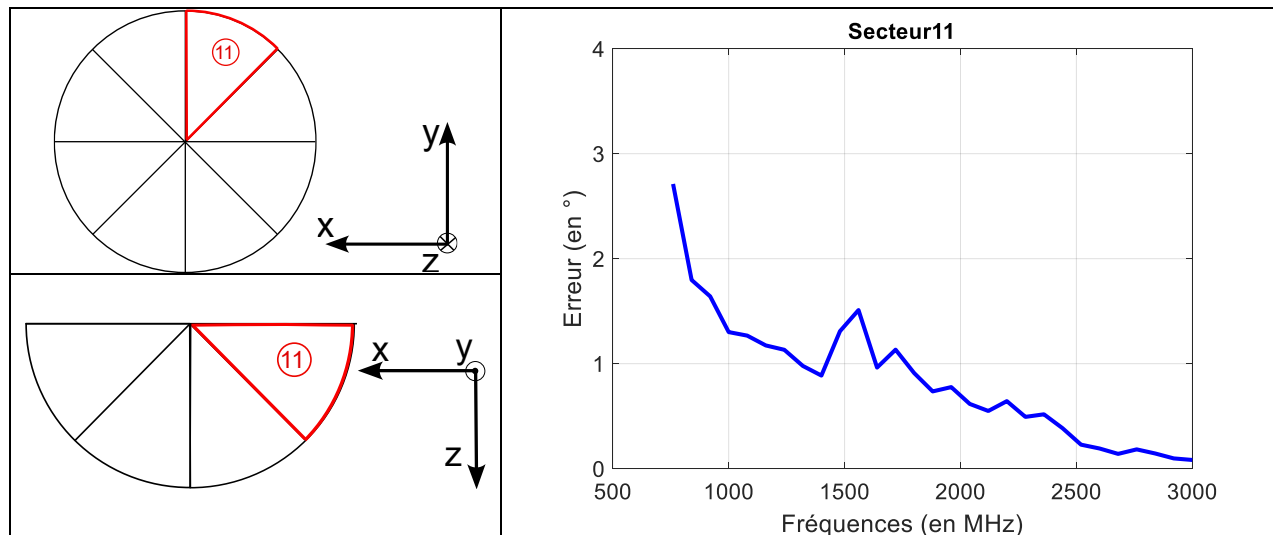


Figure 49 : Dégradation des performances de localisation sur le secteur 11 provoquée par l'ajout de la plaque métallique.

6.2.2.12. SECTEUR 12

Dans ce paragraphe, nous analysons les éventuelles dégradations de performances de précision de localisation sur le secteur 12 (décrit par $45^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ et $135^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$). Sur ce secteur, la dégradation de la précision est inférieure à 2° en deçà de 840 MHz. De ce fait, nous pouvons considérer que **la présence de la plaque métallique sur ce secteur détériore faiblement les performances sur l'ensemble de la bande d'étude.**

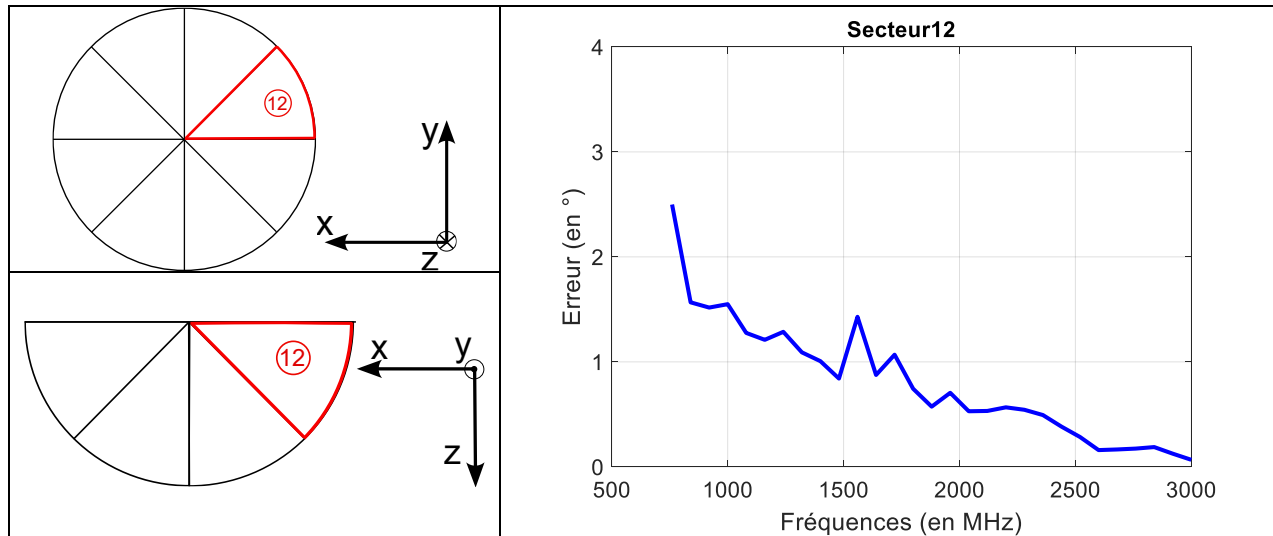


Figure 50 : Dégradation des performances de localisation sur le secteur 12 provoquée par l'ajout de la plaque métallique.

6.2.2.13. SECTEUR 13

Dans ce paragraphe, nous analysons les éventuelles dégradations de performances de précision de localisation sur le secteur 13 (décrit par $45^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ et $180^\circ \leq \theta \leq 225^\circ$). Sur ce secteur, la dégradation de la précision est inférieure à 2° en deçà de 840 MHz. De ce fait, nous pouvons considérer que **la présence de la plaque métallique sur ce secteur détériore faiblement les performances sur l'ensemble de la bande d'étude.**

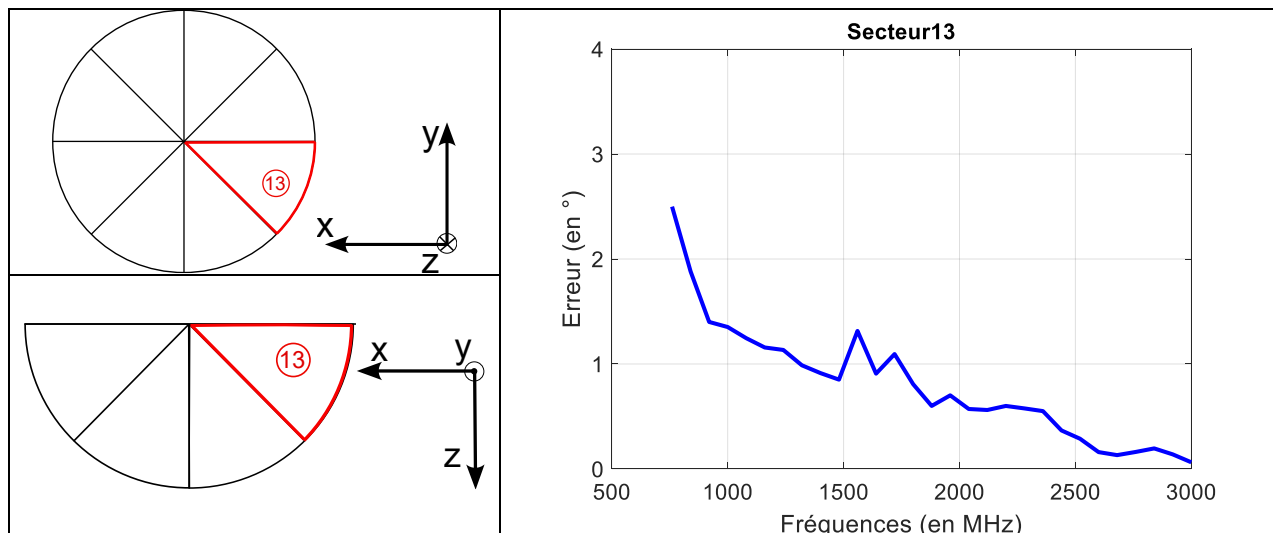


Figure 51 : Dégradation des performances de localisation sur le secteur 13 provoquée par l'ajout de la plaque métallique.

6.2.2.14. SECTEUR 14

Dans ce paragraphe, nous analysons les éventuelles dégradations de performances de précision de localisation sur le secteur 14 (décrit par $45^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ et $225^\circ \leq \theta \leq 270^\circ$). Sur ce secteur, la dégradation de la précision est inférieure à 2° en deçà de 840 MHz. De ce fait, nous pouvons considérer que **la présence de la plaque métallique sur ce secteur détériore faiblement les performances sur l'ensemble de la bande d'étude.**

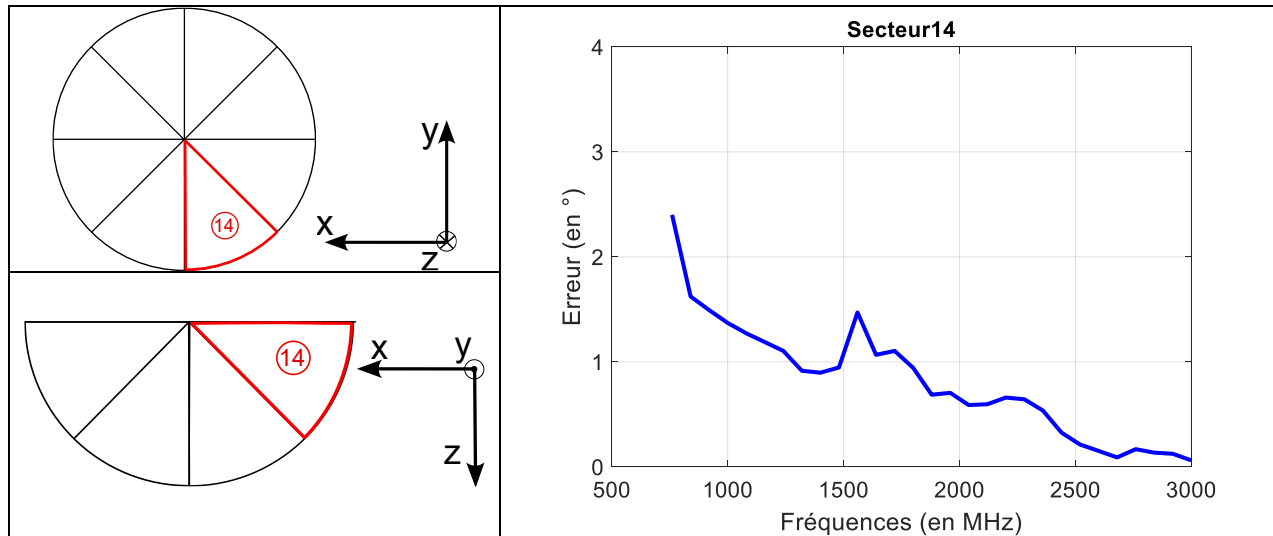


Figure 52 : Dégradation des performances de localisation sur le secteur 14 provoquée par l'ajout de la plaque métallique.

6.2.2.15. SECTEUR 15

Dans ce paragraphe, nous analysons les éventuelles dégradations de performances de précision de localisation sur le secteur 15 (décrit par $45^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ et $270^\circ \leq \theta \leq 315^\circ$). Sur ce secteur, la dégradation de la précision est supérieure à 2° en deçà de 1.8 GHz. De ce fait, nous pouvons considérer que **la présence de la plaque métallique sur ce secteur détériore de manière non négligeable les performances sur la bande 760-1800 MHz.**

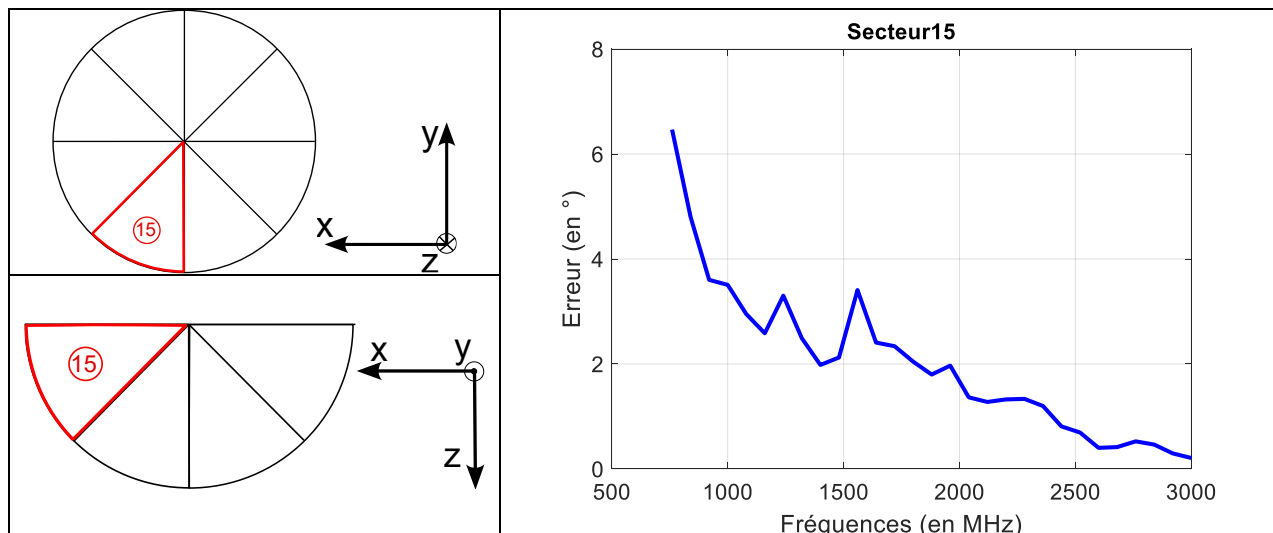


Figure 53 : Dégradation des performances de localisation sur le secteur 15 provoquée par l'ajout de la plaque métallique.

6.2.2.16. SECTEUR 16

Dans ce paragraphe, nous analysons les éventuelles dégradations de performances de précision de localisation sur le secteur 9 (décrit par $45^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ et $315^\circ \leq \theta \leq 360^\circ$). Sur **ce secteur présente une forte dégradation sur l'ensemble de la bande d'étude**. Pour des fréquences inférieures à 1 GHz, les dégradations de la précision de localisation sont même supérieures à 6° .

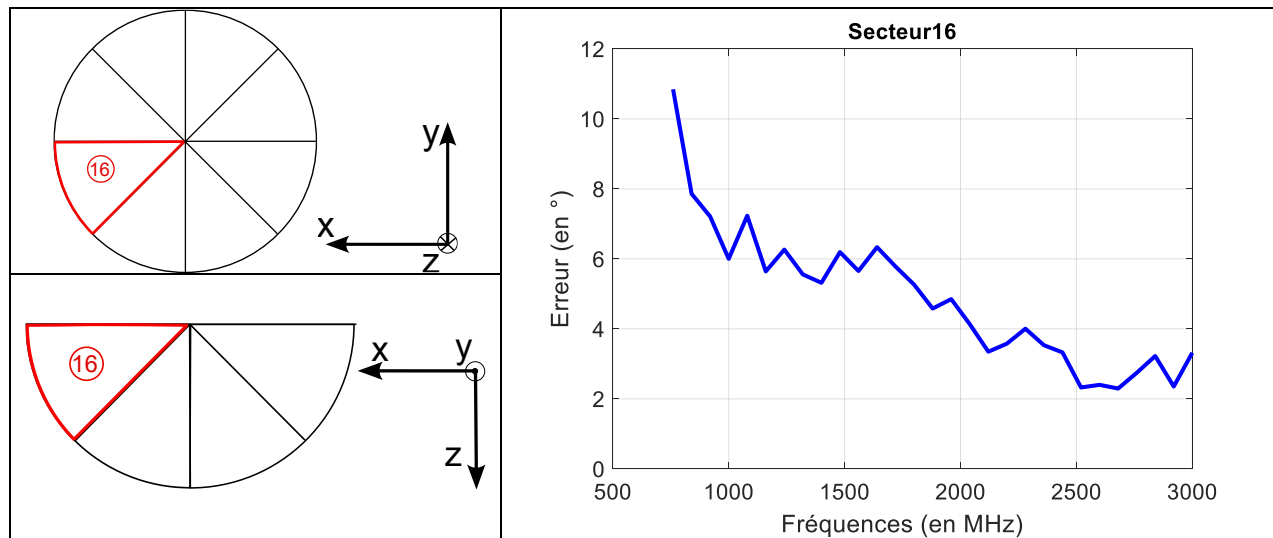


Figure 54 : Dégradation des performances de localisation sur le secteur 16 provoquée par l'ajout de la plaque métallique.

6.2.2.17. SYNTHÈSE DES RESULTATS

Les résultats obtenus dans les paragraphes précédents sont résumés dans le tableau 2 suivant :

Secteurs angulaires	<u>SANS</u> plaque métallique	<u>AVEC</u> plaque métallique
Secteurs 1 à 8	<5°	<7°
Secteurs 9 et 16	<5°	<16°
Secteurs 10 et 15	<5°	<11.5°
Secteurs 11 à 14	<5°	<7.5°

Tableau 2 : Synthèse des dégradation de précision de localisation selon les secteurs angulaires.

En résumé, l'ajout de la plaque métallique dans le radôme dégrade l'ensemble des secteurs angulaires avec des proportions différentes :

- **Les 2 secteurs « avant »** compris dans des angles d'élévation $45^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ (secteurs 9 et 16) ont **des dégradations très importantes de la précision de localisation**. Ces résultats rendant le système inopérant dans ces secteurs angulaires.

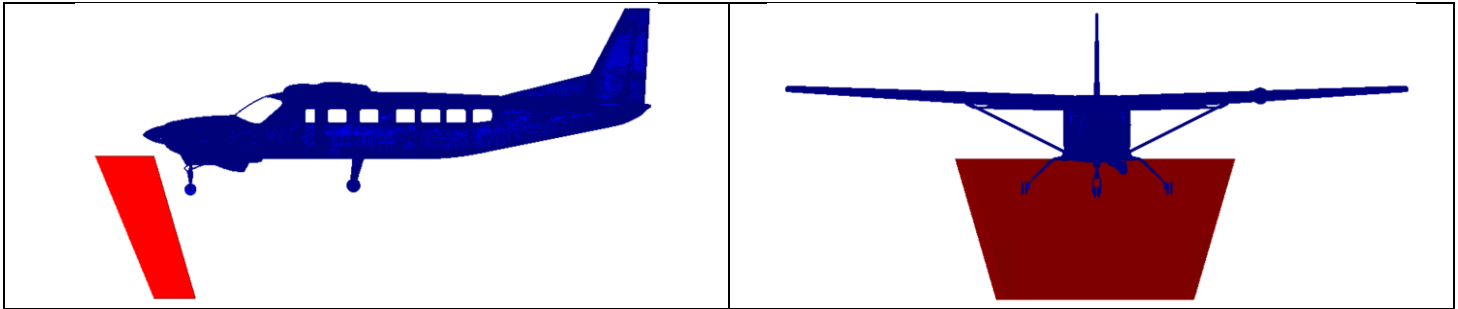


Figure 55 : Mise en évidence du secteur « avant » (zone rouge) présentant une très importante dégradation des performances de précision de localisation.

A titre d'exemple, si un émetteur d'intérêt provient de ce secteur angulaire, la dégradation de la localisation au sol pourrait être supérieure à 6.5 km dans la configuration suivante :

- Vol : 10000 pieds,
- Emetteur à élévation $\theta = 60^\circ$.
- **Les 2 secteurs « aile avant »** compris dans des angles d'élévation $45^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ (secteurs 10 et 15) ont **des dégradations importantes de la précision de localisation**. Ces résultats rendent le système inefficace dans ces secteurs angulaires.

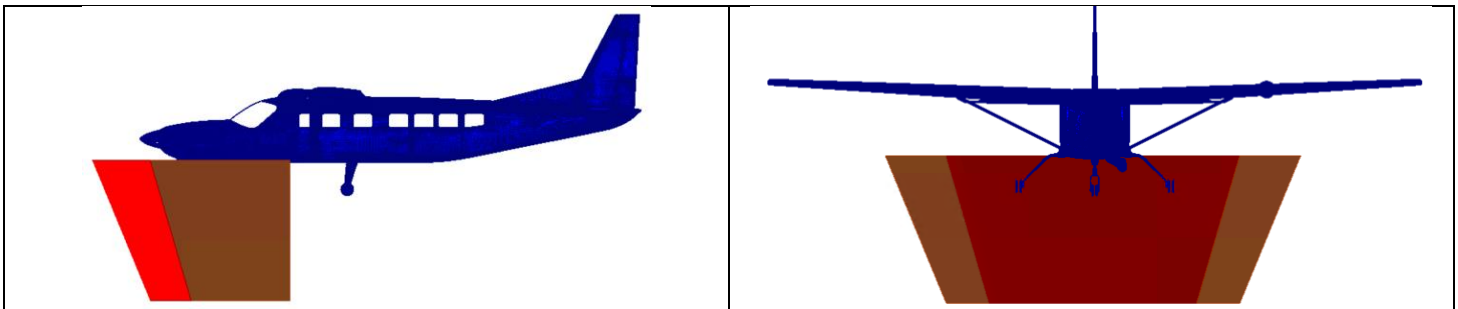


Figure 56 : Mise en évidence du secteur « aile avant » (zone marron) présentant une importante dégradation des performances de précision de localisation.

- **Les secteurs « arrière »** compris dans des angles d'élévation $45^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ (secteurs 11 à 14) **sont faiblement impactés par la présence de la plaque métallique**. Ces résultats rendent le système exploitable dans ces secteurs angulaires.

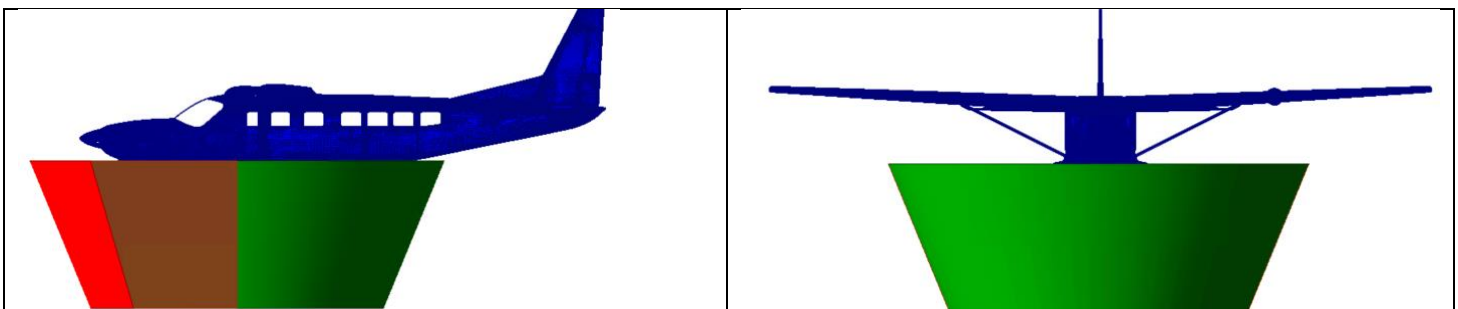


Figure 57 : Mise en évidence du secteur « arrière » (zone verte) présentant une légère dégradation des performances de précision de localisation.

- Les secteurs « nadir » compris dans des angles d'élévation $0^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$ (secteurs 1 à 8) **sont faiblement impactés par la présence de la plaque métallique**. Ces résultats rendent le système opérationnel dans ces secteurs angulaires.

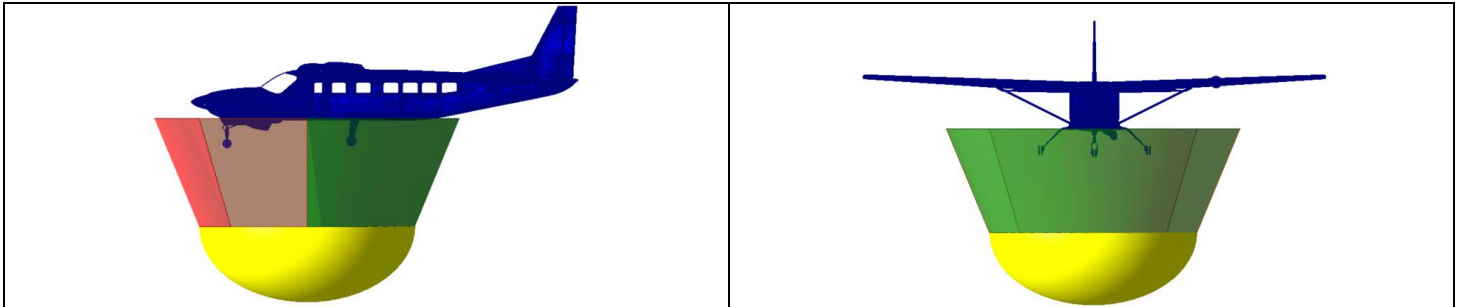


Figure 58 : Mise en évidence du secteur « nadir » (zone jaune) présentant une légère dégradation des performances de précision de localisation.

7. CONCLUSIONS

Ce document analyse l'influence de la plaque métallique sur les performances du système FlashHawk. L'étude s'est portée sur deux aspects :

- La recherche d'éventuelles zones de masquage pouvant rendre localement FlashHawk aveugle.
- La dégradation des performances de précision de localisation dans la sous bande haute du réseau antenneaire.

Cette étude a montré que :

- En bande basse :
 - o La plaque métallique provoque notamment des ondulations de gain dues à des phénomènes de multi trajets. Ces ondulations peuvent rendre FlashHawk localement aveugle sur certaines directions d'arrivée pour des fréquences supérieures à 400 MHz.
- En bande haute :
 - o Tout d'abord, similairement à la bande basse, la présence de la plaque métallique provoque des phénomènes d'ondulations de gain provoquées par des effets de multi-trajets. Ces ondulations peuvent rendre FlashHawk localement aveugle sur certaines directions d'arrivée.
 - o Ensuite, la plaque métallique occasionne des modifications des diagrammes de rayonnement des antennes. Ces modifications provoquent des dégradations des performances de localisation. Rappelons que, dans cette sous bande, le réseau antenneaire est calibré en chambre anéchoïde sans cette plaque métallique. Une proposition consistant à recalibrer la bande haute sur porteur est inenvisageable pour plusieurs raisons :
 - Il sera impossible d'avoir les autorisations d'émettre des signaux de calibration dans les bandes de fréquences couvertes par le sous réseau bande haute (téléphonie mobile, ...),
 - Il serait nécessaire d'effectuer un très long vol de calibration (algorithme d'interpolation inexploitable sur le sous réseau bande haute).

En conclusion, le tableau suivant résume l'influence importante de la présence de la plaque métallique sur les performances du FlashHawk. En l'état, le système est inexploitable sur une zone angulaire conséquente.

Sous bande du RA	Fréquences	Zone aveugle ?	Dégradation de la précision ?
BB	30-400 MHz		
	400-764 MHz		
BH	764-3000 MHz		

* Des creux de gain peuvent induire une réduction importante de la distance de détection de ces cibles provenant du secteur « avant » de l'avion ($45^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ et $-45^\circ \leq \varphi \leq 45^\circ$)

** Les dégradations de la précision de localisation sont résumées, selon le secteur angulaire, dans le tableau 2.

Tableau 3 : Résumé des performances du FlashHawk avec la plaque métallique dans le radôme.

Précisons, enfin, que les résultats discutés dans ce document sont issus de simulations électromagnétiques. Elles ne peuvent, en aucun cas, donner lieu à de nouvelles exigences de précision de localisation. D'autant plus, que cette configuration avec la plaque métallique n'a jamais été testée en vol. Elles donnent plutôt une tendance à une forte dégradation des performances du FlashHawk.

Cependant, des solutions simples peuvent exister. Il conviendrait notamment d'analyser la faisabilité de réaliser un radôme en composite quartz. Ce matériau, présentant des performances électromagnétiques intéressantes, pourrait (à étudier) permettre le retrait de la plaque métallique.