

IV.1 Introduction

Dans ce chapitre, on aborde la synthèse d'un réseau d'antenne intelligent en utilisant une méthode d'optimisation récente connue par BCO (Bee colony Optimization). Cette méthode créée par Karaboga [26] en se basant sur le comportement des abeilles pendant la recherche de la nourriture. Alors on va modifier les paramètres du réseau afin de satisfaire les besoins de l'environnement tel que les caractéristiques électrique ou mécanique de notre réseau d'antennes. Parmi ces paramètres, on peut citer la distance inter-élément d , l'alimentation de chaque élément dans le réseau (amplitude et phase) et le diagramme d'élément du réseau (A_e). L'objectif de la conception est d'aboutir un diagramme de rayonnement avec un niveau de lobe secondaire très bas avec un rapport signal à bruit plus interférences (SINR) très grand ce qui permet d'orienter le lobe principale vers la direction utile θ_0 et intercaler les zéros vers les directions des interférences.

Pendant l'optimisation, pour simplifier les calculs, on va fixer quelques paramètres tels que : le nombre des éléments N , le diagramme d'élément est supposé isotrope ($A_e=1$) et la distance inter-élément d . Le paramètre à optimiser sera le vecteur de pondération (amplitude et/ou phase).

On prend une plage de variation d'amplitudes de $\{-1,1\}$ et une gamme de $\{-\pi, \pi\}$ pour la phase. Alors la dimension de notre problème devient $2*N$. Le nombre des interférences est fixé à huit (08) avec un seul signal utile.

Supposons que le signal d'intérêt (SOI : *signal of interest*) est arrivé depuis l'angle $\theta_0 = 30^\circ$ et les 8 signaux d'interférences arrivés respectivement depuis les angles suivants

$\theta_n \in \{-70^\circ, -40^\circ, -30^\circ, -10^\circ, 0^\circ, 10^\circ, 50^\circ, 70^\circ\}$, tous les signaux sont non corrélés entre eux.

IV.2 définition de la fonction coût

La fonction de coût, utilisée pour faire l'optimisation, prend en considération deux caractéristiques dans le diagramme de rayonnement; le niveau de lobes secondaire (SLL : *side-lobe level* en anglais) et le rapport signal à bruit plus interférence (SINR : *signal to interference plus noise ratio* en anglais).

Pour atteindre notre but global, un compromis entre ces deux caractéristiques sous forme d'une pondération (α_1, α_2) d'où la fonction de coût peut prendre la formule suivante

$$Cost = \alpha_1 SINR^{-1} + \alpha_2 SLL \quad (IV.1)$$

où

$$SINR = \frac{S \bar{w}^H \bar{a}_0 \bar{a}_0^H \bar{w}}{\bar{w}^H \bar{A} \bar{R}_{ii} \bar{A}^H \bar{w} + \sigma^2 \bar{w}^H \bar{w}} \quad (IV.2)$$

avec

$$\bar{w} = [w_1 \ w_2 \ \dots \ w_M]^T \quad (IV.3)$$

La matrice de direction ou de source \bar{A} est donnée par

$$\bar{A} = [\bar{a}_1 \ \bar{a}_2 \ \dots \ \bar{a}_N]$$

et le $n^{\text{ième}}$ vecteur source \bar{a}_n peut s'exprimer par

$$\bar{a}_n = [1 \ e^{j\frac{2\pi}{\lambda}d \sin \theta_n} \dots \ e^{j(N-1)\frac{2\pi}{\lambda}d \sin \theta_n}]^T \text{ avec : } n=0,1,\dots,N \quad (\text{IV.4})$$

Le bruit est supposé être non corrélé avec un signal, non corrélé d'un capteur (antenne réceptrice) à l'autre et a une variance σ^2 donnée par

$$\sigma_{\text{bruit}}^2 = 10^{-\frac{SNR}{10}} \quad (\text{IV.5})$$

Les vecteurs sources $\bar{a}_n(\theta)$ représentent la réponse complexe de l'antenne à des fronts d'ondes élémentaires arrivant dans des directions d'arrivées (DDA) données (signal utile et interférence). Ils dépendent des paramètres géométriques de réseau d'antenne (distance inter-élément d, \dots), des gains des antennes et de l'angle d'arrivée. Suivant les applications, d'autres paramètres peuvent être pris en compte dans ce modèle tel que la distance de la source à l'antenne, la polarisation des sources, etc. Dans toute la suite, on suppose que tous ces paramètres sont connus de sorte que les vecteurs sources ne dépendent que des DDA.

Le niveau de lobe secondaire (NLS) ou SLL en anglais est la différence de puissance en dB entre le lobe principale et le maximum des lobes secondaires comme nous le montrons dans la figure suivante

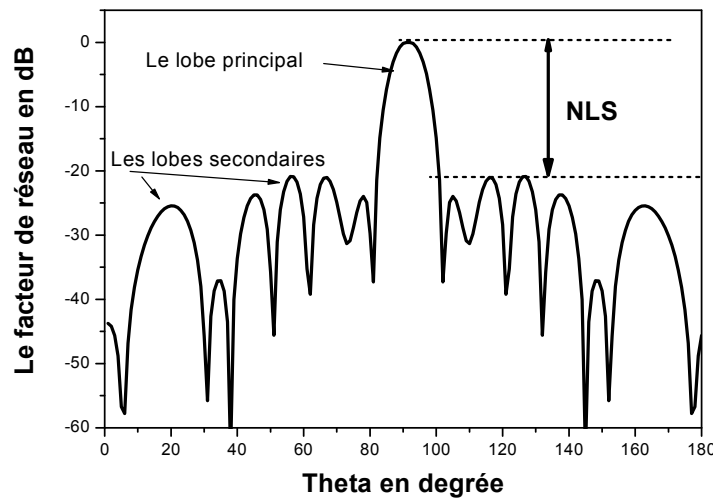


Figure VI.1 : Définition des spécifications sur le diagramme de rayonnement, ici le niveau des lobes secondaires NLS.

Dans la fonction de coût, α_1 & α_2 présentent la pondération entre les deux caractéristiques (SLL et SINR) à optimiser et on les fixe par $\alpha_1 = \alpha_2 = 0.5$ comme celle été faite dans un travail similaire dans la littérature, ce qui donne une bonne comparaison avec des autres résultats [32].

IV.3 Synthèse par BCO

Pour voir la performance de BCO comme une technique de beamforming, quatre exemples ont été traités et sont les suivantes : SNR=30 dB et $d = 0.5\lambda$; SNR=30 dB et $d = 0.6\lambda$; SNR=15 dB et $d = 0.5\lambda$ et SNR=50 dB et $d = 0.5\lambda$

➤ Les paramètres de BCO

Avant de lancer le programme de BCO, quelques paramètres seront initialisés :

NP : la taille de colonie

Food Number : présente le nombre des sources $SN=NP/2$: le nombre des sources de nourriture

Foods : est une matrice de dimension $SN \times D$: dimension de problème d'optimisation, dans notre étude est l'amplitude et la phase de chaque élément dans le réseau d'antennes c-à-d $D=2 \times N$

Limit : nombre d'essai avant d'abandonner une solution

Max Cycle : le nombre d'itération (le maximum nombre d'itération (critère) pour sauter à un autre cycle)

runtime : le nombre des cycles qui existe dans une exécution.

➤ Les paramètres de réseau d'antennes

De même, pour le réseau d'antennes, certains paramètres seront donnés

N : le nombre d'éléments dans le réseau

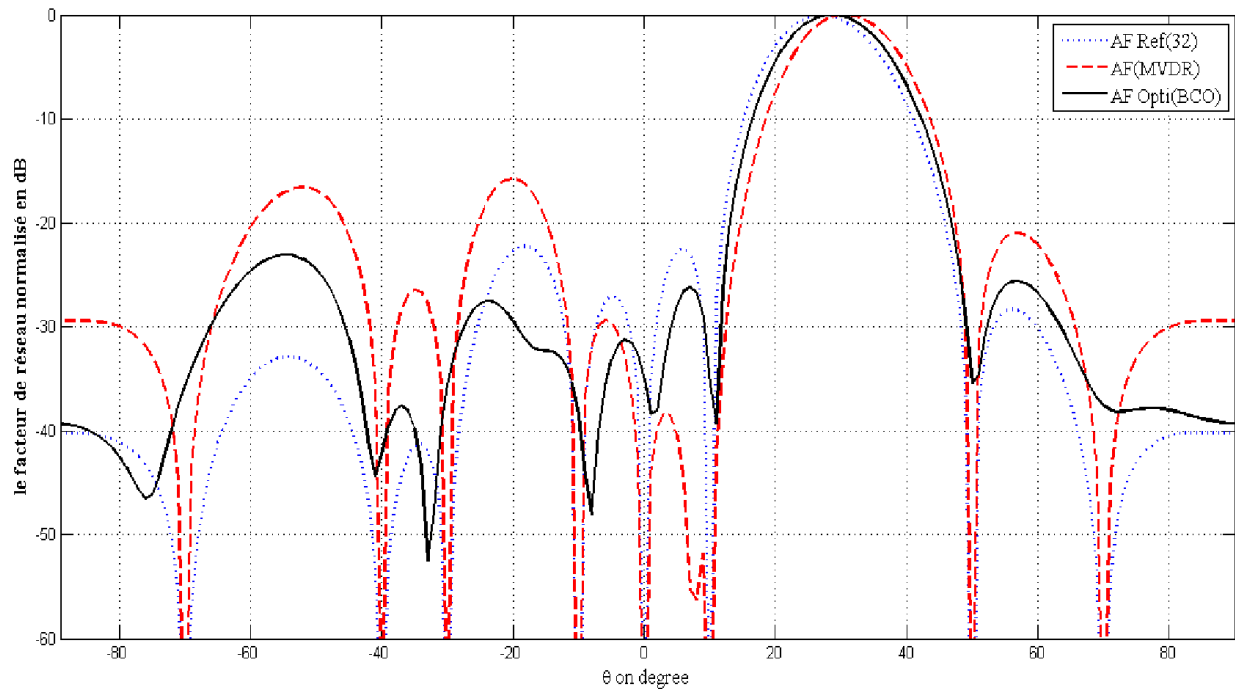
d : la distance inter-éléments (on suppose que le réseau est uniforme), le choix de ce paramètre est primordiale afin d'éviter l'apparitions des lobes de périodicité et de même la réduction d'effet de couplage mutuel.

Le diagramme d'élément A_e est considéré égal de 1 (antenne isotrope)

La géométrie du réseau d'antennes est supposée rectiligne (réseau linéaire).

IV.4 Présentation des résultats

Dans l'optimisation des diagrammes des réseaux d'antennes, basée sur les BCO, notre but est de minimiser, avec différentes manières, la fonction de coût présentée au début de ce chapitre. Cette fonction de coût est une représentation du vecteur de paramètre (espace R^N), qui peut être le courant d'alimentation de réseau (amplitude et phase) afin d'atteindre un diagramme de rayonnement orienté vers la direction utile et des zéros intercalés vers les interférences mentionnés ci-dessus.

Exemple 1 : SNR=30 et $d=0.5$ (en fonction de λ)**Figure IV.2** : le diagramme de rayonnement optimal pour $d = 0.5\lambda$ et SNR=30dB

Le lobe principale est orienté vers $\theta = 29^\circ$

Interférence 1 : orienté vers -76° avec une profondeur de -46.575dB

Interférence 2 : orienté vers -41° avec une profondeur de -44.40dB

Interférence 3 : orienté vers -33° avec une profondeur de -52.55dB

Interférence 4 : orienté vers -8° avec une profondeur de -48.118dB

Interférence 5 : orienté vers 1° avec une profondeur de -38.38dB

Interférence 6 : orienté vers 11° avec une profondeur de -39.30dB

Interférence 7 : orienté vers 50° avec une profondeur de -35.46dB

Interférence 8 : orienté vers 72° avec une profondeur de -38.15dB

La figure IV.2 montre un diagramme de rayonnement d'un réseau d'antennes linéaire avec des poids d'alimentation (amplitude et phase) optimales comme illustrée dans le tableau IV.1. Ces résultats sont comparés avec ceux trouvés par *ZAHARIS* en utilisant la méthode PSO et de même avec ceux trouvés en utilisant MVDR [32]. On note, pour cet exemple, que les résultats trouvés avec une fonction de coût minimale, ce qui donne une idée sur une bonne exploration de l'espace de recherche.

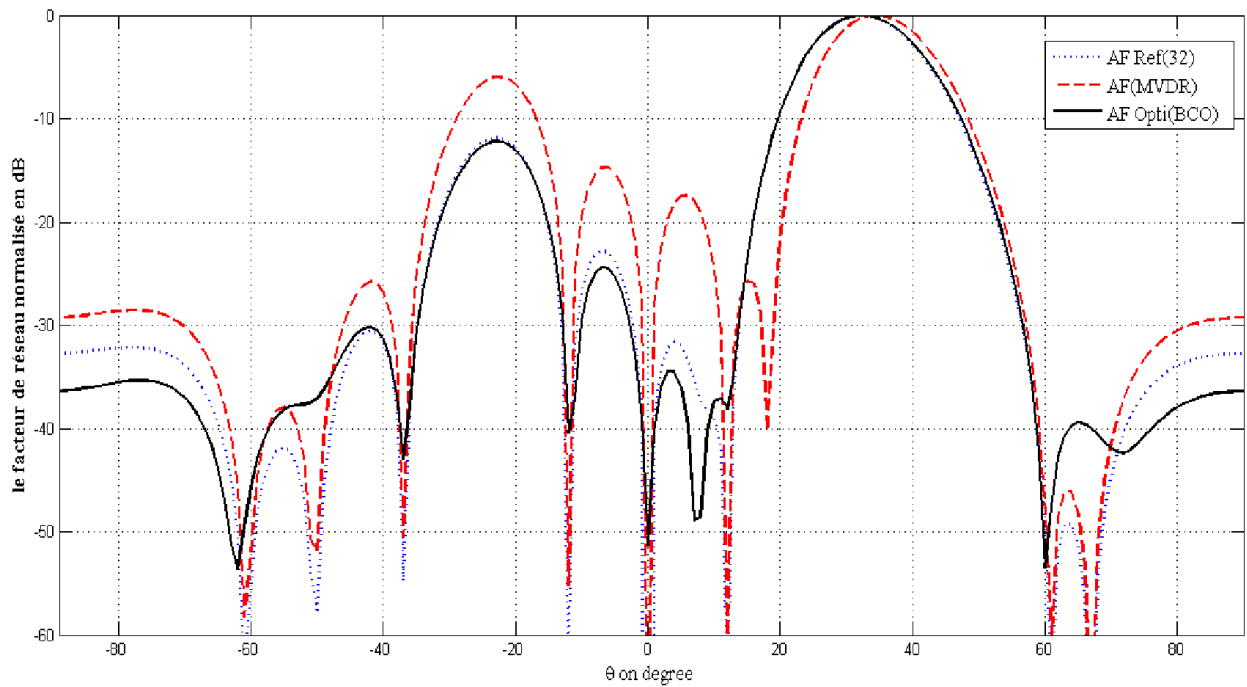
Tableau IV.1 Les poids estimé pour $d = 0.5\lambda$ et $\text{SNR}=30\text{dB}$

m	W(AMBPSO)	W(MVDR)	W(BCO)
1	$0.191 + j0.197$	$0.352 - j0.227$	$0.3030 + j0.0300$
2	$-0.195 + j0.490$	$0.017 + j0.405$	$-0.0714 + j0.4760$
3	$-0.692 - j0.202$	$-0.750 + j0.152$	$-0.7520 - j0.0530$
4	$0.165 - j0.983$	$-0.220 - j0.900$	$-0.0110 - j0.9860$
5	$1.000 + j0.0$	$1.00 + j0.0$	$1.00 + j0.0$
6	$0.070 + j1.033$	$0.342 + j0.940$	$0.1950 + j1.0000$
7	$-0.905 + j0.228$	$-0.921 + j0.101$	$-0.9010 + j0.1710$
8	$-0.214 - j0.622$	$-0.114 - j0.757$	$-0.1530 - j0.6710$
9	$0.435 - j0.239$	$0.386 - j0.122$	$0.4050 - j0.1920$
10	$0.144 + j0.096$	$-0.092 + j0.409$	$0.1051 + j0.2100$

Le rapport SINR atteint une valeur de **27.09 dB**

Le niveau de lobes secondaire SLL obtenus pour cet exemple est moins de **-23.0756**

Exemple 02 : $\text{SNR}=30\text{dB}$, $d=0.6$ (en fonction de λ)

**Figure IV.3** : le diagramme de rayonnement optimal pour $d = 0.6\lambda$ et $\text{SNR}=30\text{dB}$

Dans cet exemple, on a varié la distance inter-éléments de 0.5λ à 0.6λ . Les autres paramètres restent fixes et les objectifs restent les même (directions des signaux et des interférences). La figure ci-dessus montre le diagramme de rayonnement trouvé où ces poids optimaux sont tabulés dans le tableau IV.2.

Le diagramme obtenu a les orientations suivant

Le lobe principale est orienté vers $\theta = 32^\circ$

Interférence 1 : orienté vers -62° avec une profondeur de -53.62dB

Interférence 2 : orienté vers -37° avec une profondeur de -42.9dB

Interférence 3 : orienté vers -12° avec une profondeur de -40.38dB

Interférence 4 : orienté vers 0° avec une profondeur de -41.35dB

Interférence 5 : orienté vers 7° avec une profondeur de -48.85dB

Interférence 6 : orienté vers 12° avec une profondeur de -43.11dB

Interférence 7 : orienté vers 60° avec une profondeur de -53.52dB

Interférence 8 : orienté vers 71° avec une profondeur de -42.36dB

Tableau IV.2 Les poids estimé pour $d = 0.6\lambda$ et SNR=30dB

m	W(AMBPSO)	W(MVDR)	W(BCO)
1	0.316 - j0.104	0.387 - j0.377	0.2770 - j0.1040
2	0.252 + j0.256	0.483 - j0.070	0.2520 + j0.2560
3	-0.722 + j0.095	-0.711 + j0.223	-0.7220 + j0.0950
4	-0.369 - j0.782	-0.668 - j0.518	-0.3690 - j0.7820
5	1.000 + j0.0	1.00 + j0	1.0000 + j0.00
6	0.181 + j1.010	0.392 + j0.920	0.1810 + j1.0
7	-0.767 - j0.202	-0.738 - j0.412	-0.7670 - j0.2020
8	-0.025 - j0.717	-0.073 - j0.741	0.0276 - j0.7170
9	0.223 + j0.159	0.124 + j0.472	0.2230 + j0.1590
10	-0.089 + j0.285	-0.195 + j0.503	-0.0890 + j0.2850

Le rapport SINR trouvé est acceptable et égale à 11.9946dB où le niveau de lobes secondaire est atteint une valeur moins que -12.2285 dB.

Exemple 03 : SNR=15dB, $d=0.5$ (en fonction de λ)

Pour voir la performance de la méthode d'optimisation sur les valeurs minimales des bruits, on diminue la valeur du rapport SNR à 15dB.

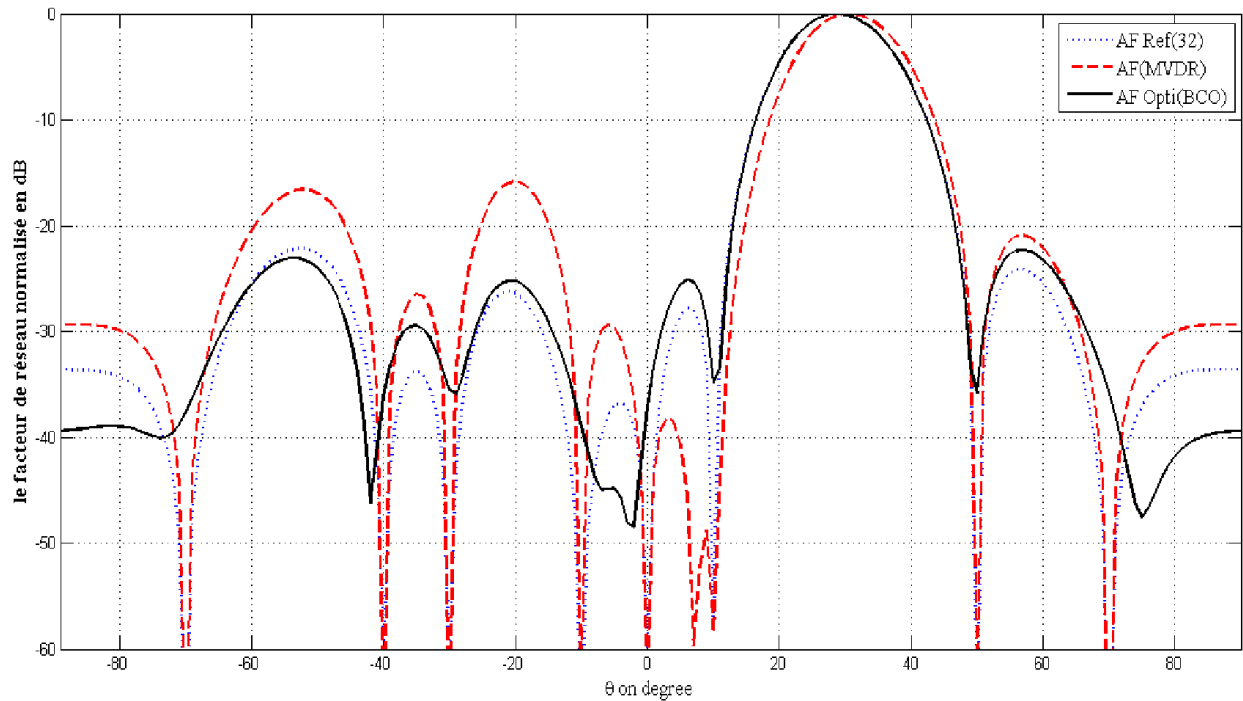


Figure IV.4 : le diagramme de rayonnement optimal pour $d = 0.5\lambda$ et SNR=15dB

Le diagramme de rayonnement obtenu dans ce cas a des directions vers les interférences avec une grande précision que celle montrées dans les deux exemples précédents et de même pour l'orientation du lobe principale vers la direction utile avec une erreur de 1° .

Le lobe principale est orienté vers $\theta = 29^\circ$

Interférence 1 : orienté vers -73° avec une profondeur de -40.04dB

Interférence 2 : orienté vers -42° avec une profondeur de -46.22dB

Interférence 3 : orienté vers -29° avec une profondeur de -35.95dB

Interférence 4 : orienté vers -7° avec une profondeur de -44.94dB

Interférence 5 : orienté vers -2° avec une profondeur de -48.47dB

Interférence 6 : orienté vers 10° avec une profondeur de -34.82dB

Interférence 7 : orienté vers 50° avec une profondeur de -35.818dB

Interférence 8 : orienté vers 75° avec une profondeur de -47.55dB

Table IV.3 Les poids estimé pour $d = 0.5\lambda$ et $\text{SNR}=15\text{dB}$

m	W(AMBPSO)	W(MVDR)	W(BCO)
1	$0.303 + j0.030$	$0.354 - j0.226$	$0.3030 + j0.0300$
2	$-0.093 + j0.476$	$0.018 + j0.407$	$-0.093 + j0.4760$
3	$-0.752 - j0.053$	$-0.751 + j0.152$	$-0.8490 - j0.053$
4	$-0.011 - j0.986$	$-0.219 - j0.901$	$-0.011 - j0.986$
5	$1.000 + j0.0$	$1.00 + j0$	$1.0 + j0.0$
6	$0.195 + j1.020$	$0.340 + j0.940$	$0.1950 + j1.0$
7	$-0.901 + j0.171$	$-0.922 + j0.100$	$-0.9010 + j0.171$
8	$-0.153 - j0.671$	$-0.113 - j0.758$	$-0.1530 - j0.671$
9	$0.405 - j0.192$	$0.389 - j0.122$	$0.4050 - j0.192$
10	$0.010 + j0.210$	$-0.092 + j0.410$	$0.0100 + j0.21$

Lorsque le rapport SNR est diminué, le rapport SINR trouvé est haut et égale à **26.9791dB** où le niveau de lobes secondaire est atteint une valeur moins que **-23.0823dB**.

Exemple 04 : SNR=50dB, $d=0.5$ (en fonction de λ)

Pour voir la performance de la méthode d'optimisation sur les grandes valeurs des bruits, on augmente la valeur du rapport SNR à 50dB.

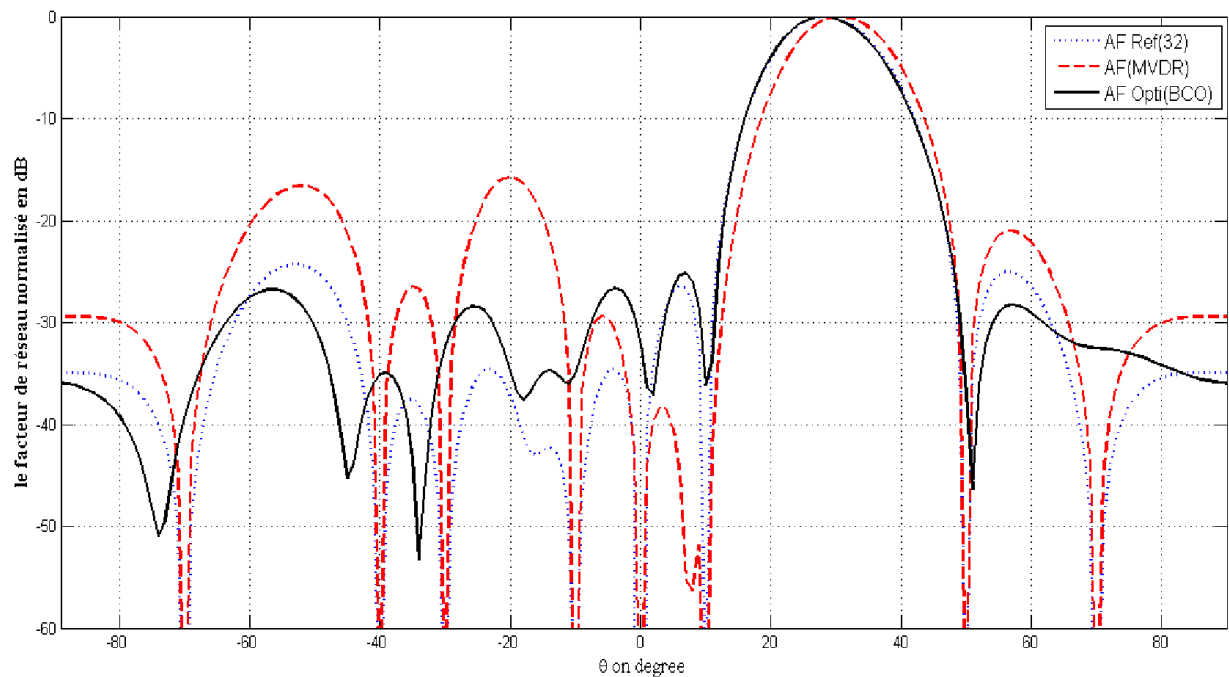


Figure IV.5 : le diagramme de rayonnement optimal pour $d = 0.5\lambda$ et $\text{SNR}=50\text{dB}$

Le diagramme de rayonnement obtenu dans ce cas a des directions vers les interférences avec une précision faible que celle montrées dans les trois exemples précédents et de même pour l'orientation du lobe principale vers la direction utile avec une erreur de 2° . Cette diminution dans la qualité de précision rend à l'augmentation de rapport SNR et n'oublie pas que nous avons 8 interférences plus que le signal utile.

Le lobe principale est orienté vers $\theta = 28^\circ$

Interférence 1 : orienté vers -74° avec une profondeur de -50.98dB

Interférence 2 : orienté vers -45° avec une profondeur de -45.25dB

Interférence 3 : orienté vers -34° avec une profondeur de -53.27dB

Interférence 4 : orienté vers -11° avec une profondeur de -36.04dB

Interférence 5 : orienté vers 2° avec une profondeur de -37.10dB

Interférence 6 : orienté vers 10° avec une profondeur de -36.15dB

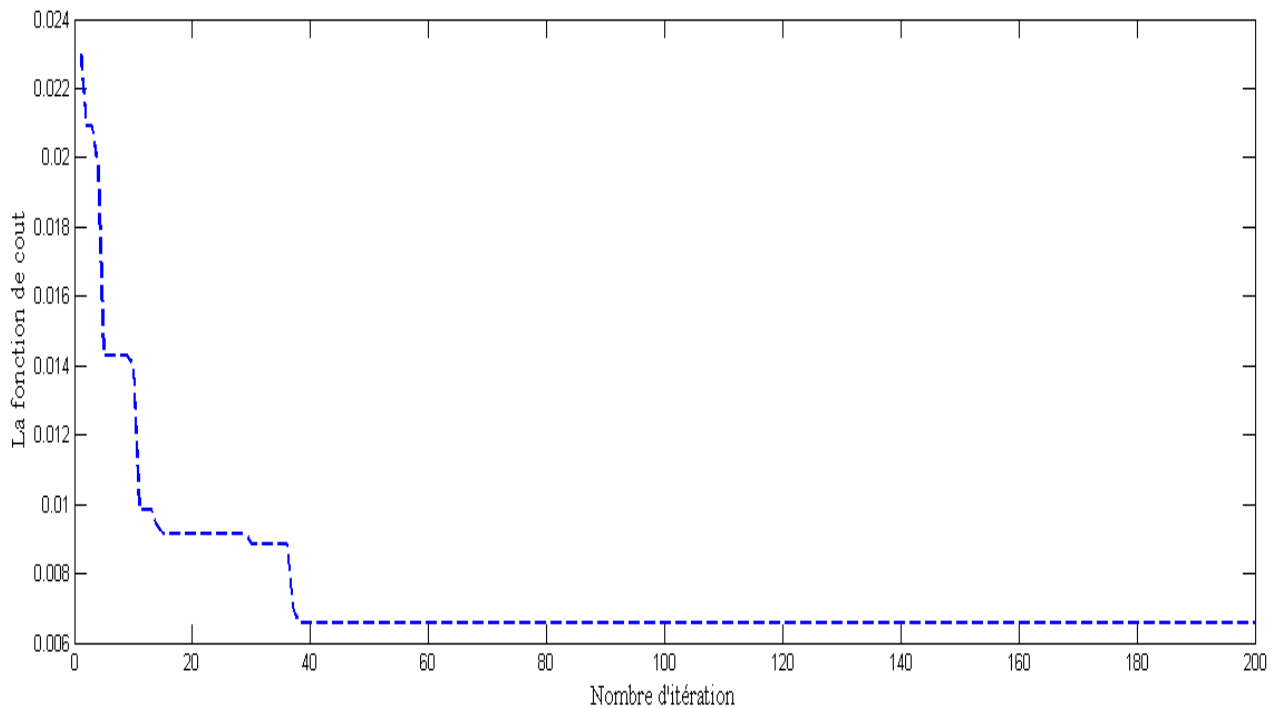
Interférence 7 : orienté vers 51° avec une profondeur de -36.33dB

Interférence 8 : orienté vers 70° avec une profondeur de -32.5dB

Table IV.4 Les poids estimé pour $d = 0.5\lambda$ et $\text{SNR}=50\text{dB}$

m	W(AMBPSO)	W(MVDR)	W(BCO)
1	$0.213 + j0.034$	$0.352 - j0.227$	$0.0860 + j*0.2260$
2	$-0.127 + j0.442$	$0.017 + j0.405$	$0.4270 - j*0.194$
3	$-0.683 - j0.072$	$-0.750 + j0.152$	$-0.1900 - j*0.6780$
4	$0.036 - j0.921$	$-0.220 - j0.900$	$-0.8702 + j*0.1858$
5	$1.000 + j0.0$	$1.00 + j0$	$0.1590 + j*1.0$
6	$0.159 + j0.978$	$0.342 + j0.940$	$1.0 + j*0.0$
7	$-0.921 + j0.185$	$-0.921 + j0.101$	$0.0361 - j*0.9210$
8	$-0.190 - j0.678$	$-0.114 - j0.757$	$-0.6830 - j*0.0720$
9	$0.427 - j0.194$	$0.386 - j0.122$	$-0.1095 + j*0.4420$
10	$0.086 + j0.226$	$-0.092 + j0.409$	$0.2130 + j*0.1596$

Malgré que le rapport SNR est augmenté, le rapport SINR trouvé est très acceptable et atteint une valeur de **25.1389dB** où le niveau de lobes secondaire est atteint sa valeur maximale pour tous les autres exemples et enregistre une valeur moins que **-28.4301dB**.

**Figure IV. 6** : variation de la fonction coût en fonction de nombre d'itérations

On remarque que la convergence vers la solution optimale est très rapide (voir les premiers 40 itérations) ce qui montre la robustesse de la méthode BCO.

D'après ces résultats et des résultats semblables trouvés dans la littérature, on dit que la méthode BCO peut être considérée comme une méthode alternative pour résoudre un problème non-linéaire.

IV.5 Conclusion

Dans ce chapitre, on a fait une synthèse d'un réseau d'antennes linéaire par une méthode stochastique récente. L'avantage primordial de cette méthode présenté dans le nombre de ses paramètres à contrôler ce qui rend sa convergence ne demande qu'un temps de calcul faible. Pour voir la robustesse de cette approche, quatre exemples avec différentes valeurs de SNR et différentes distances inter-éléments sont montrés. Les résultats sont comparés avec des travaux similaires trouvés dans la littérature. Malgré que le nombre des interférences est élevé, mais on vut que le lobe principale est orienté vers la direction utile avec précision avec un SINR acceptable.