

Travaux pratiques

Etude de la directivité d'une antenne formée de plusieurs capteurs

Table des matières

Introduction	2
1. Etude du signal par rotation de l'antenne	2
1.1 Détermination du sinus de l'angle α	2
1.2 Détermination de l'angle α	3
1.3 Conclusion	4
2. Etude du signal par déphasage	5
3. Influence des différents paramètres.....	6
3.1 Influence de la distance entre 2 capteurs (l) sur le signal perçu après rotation de l'antenne ...	6
3.2 Influence de la distance entre 2 capteurs (l) sur le signal perçu après déphasage des capteurs	7
3.3 Modification du nombre de capteurs (N).....	8
4. Amélioration du signal à l'aide d'une fenêtre de pondération	9
4.1 Atténuation des lobes latéraux	9
4.2 Signal perçu après pondération par une fenêtre de Hanning	9
Conclusion.....	10

Christopher BELINGUIER
Mathieu DELALANDE

Introduction

Nous avons étudié en td la directivité d'une antenne formée de plusieurs capteurs, nous allons dans ce tp effectuer plusieurs simulations afin de comprendre les différentes techniques permettant de trouver l'origine d'une onde plane, ce qui permettra par la suite d'étudier le signal avec une intensité maximale.

Nous allons dans un premier temps nous pencher sur le cas où l'on tourne l'antenne, puis nous nous intéresserons ensuite à la technique du déphasage. Enfin nous mettrons en évidence l'importance des différents paramètres qui entrent en jeu et nous montrerons comment atténuer les lobes latéraux.

1. Etude du signal par rotation de l'antenne

Pour la suite, nous appellerons α l'angle que forme le vecteur d'onde avec la droite perpendiculaire à l'antenne appartenant au plan de propagation de l'onde.

Nous avons commencé par déterminer les différents paramètres entrant en jeu.

```
%paramètres généraux
Te = 0.1; %periode d'échantillonnage
Fe = 1/Te; %fréquence d'échantillonnage
N = 500; %nombre de capteurs
t=(0:N-1)*Te;
f = linspace(0,Fe, N);
t0=1;

%paramètres de l'antenne
l = 0.4; %distance entre les capteurs
alpha = linspace(-pi/2,pi/2,N);
SinAlpha = linspace(-1,1,N);
alpha0 = pi/4;

%paramètres de l'onde
c = 340; %vitesse de l'onde
f0 = 400; %fréquence de l'onde
```

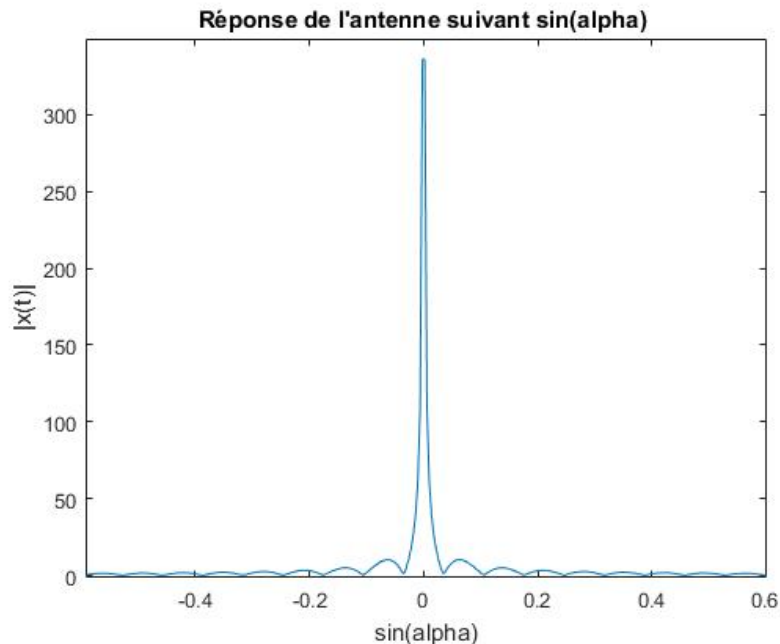
1.1 Détermination du sinus de l'angle α

Dans un premier temps nous nous sommes intéressés au sinus de l'angle α , et plus particulièrement à la puissance de l'onde en fonction du sinus. Nous avons donc tracé la représentation graphique du module du signal $x(t)$ composé de la somme des pressions acoustiques des différents capteurs de l'antenne en fonction de $\sin(\alpha)$.

```

% Fonction de sin(alpha)
y = zeros(1,length(alpha));
for j=1:N
    y(j) = exp(2*i*pi*f0*j)*exp(i*f0*pi*l*(N-1)*SinAlpha(j)/c)
    *( sin( pi*f0*N*l*SinAlpha(j)/c )/sin( pi*f0*l*SinAlpha(j)/c ) );
end

```



Nous constatons sur ce diagramme un lobe principal lorsque $\sin(\alpha) = 0$. Nous pouvons donc en conclure que la valeur de $\sin(\alpha)$ correspondant à la réception maximale est de 0, ce qui correspond à une réception perpendiculaire de l'onde par l'antenne, soit un angle α égal à 0.

1.2 Détermination de l'angle α

Nous nous sommes ensuite intéressés plus particulièrement à l'angle α correspondant à la réception maximale de l'onde par l'antenne, nous avons donc tracé le diagramme de directivité de l'antenne.

```

function y = ondeacoustique(t, n, l, c, alpha, f0)

    array = zeros(1, length(t));

    a = (n*l/c);
    b = sqrt(-1)*2*pi*f0;

    for k=1:length(alpha)
        array(k) = exp( b * ( t+ a*sin( alpha(k) ) ) );
    end

    y = array;
end

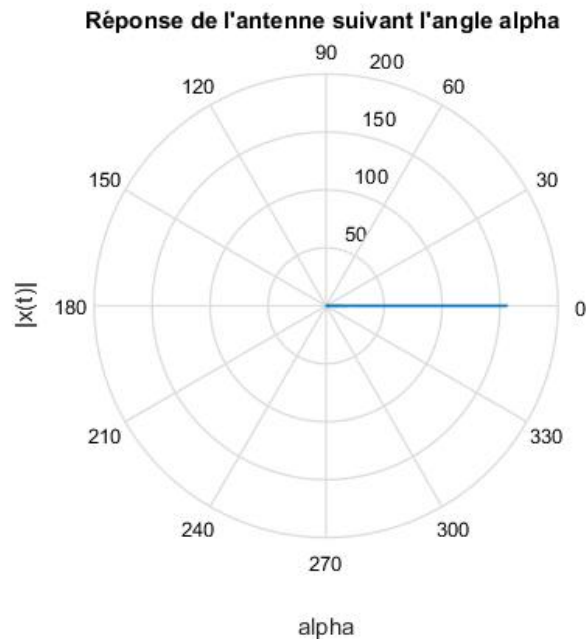
```

```

%Fonction de alpha
u = zeros(1,length(t));
for j=1:N
    u = u + ondeacoustique(t0,j,l,c,alpha,f0);
end

```

La fonction « ondeacoustique » renvoie une matrice comportant les valeurs de la puissance du signal pour tous les angles α compris entre $-\pi/2$ et $\pi/2$. On applique cette fonction à tous les capteurs afin d'établir la réponse de l'antenne à l'onde.



Nous observons sur ce diagramme de directivité un lobe principal lorsque l'angle est de 0° , ce qui vérifie ce que nous avons vu précédemment.

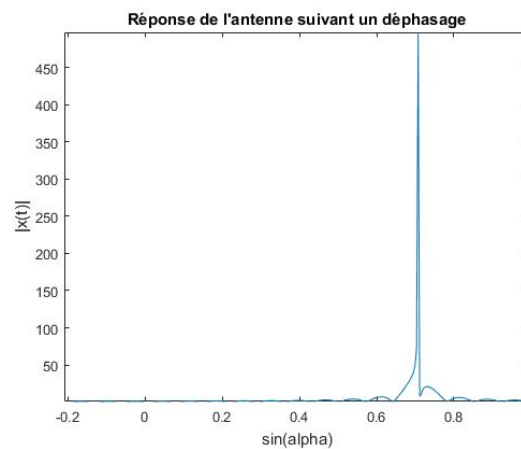
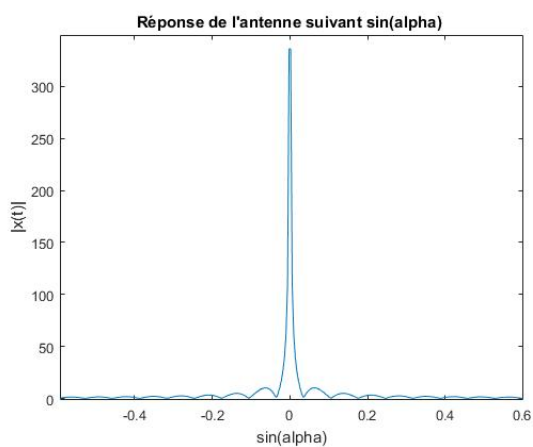
1.3 Conclusion

D'après ces deux expériences nous pouvons conclure que la réponse d'une antenne à une onde plane est maximale lorsque celle-ci arrive perpendiculairement à l'antenne. Il est donc important de pouvoir tourner une antenne si l'on souhaite capter un signal avec cette technique.

2. Etude du signal par déphasage

Nous allons maintenant étudier un signal dans le cas où l'on ne modifie pas l'orientation de l'antenne. Nous allons pour cela déphaser le signal pour chaque capteur de $-i \left(2 * \pi * f_0 * \frac{l}{c} \right) * \sin(\alpha_0)$. Nous avons pris $\frac{\pi}{4}$ comme valeur pour α_0 .

```
% Déphasage
yd = zeros(1,length(alpha));
for j=1:length(SinAlpha)
    yd(j) = abs(sin(pi*f0*N*l*( SinAlpha(j) - sin(alpha0) )/c )
    /sin(pi*f0*l*( SinAlpha(j) - sin(alpha0) )/c));
end
```



Nous constatons que la réponse de l'antenne est décalée de $\sin(\alpha_0)$, ce qui revient à remplacer $\sin(\alpha)$ par $\sin(\alpha) - \sin(\alpha_0)$ dans le calcul de la réponse de l'antenne.

Dans le cas d'une onde plane dont on ne connaît pas la direction d'arrivée, il suffit de faire varier α_0 jusqu'à l'obtention de la réponse maximale de l'antenne pour déterminer son origine.

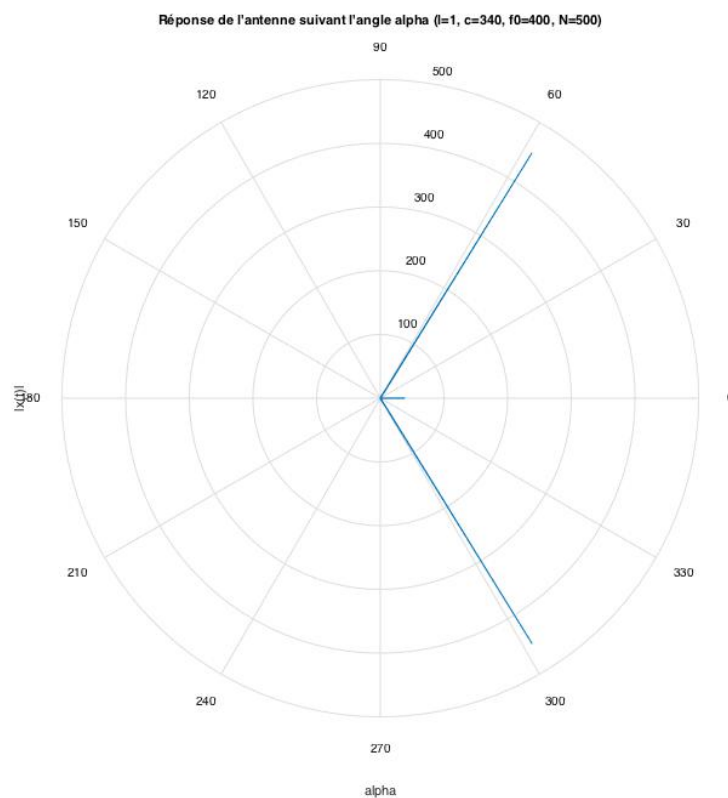
Cette technique permet donc d'étudier un signal dont on ne connaît pas la direction d'arrivée sans avoir besoin de modifier la position de l'antenne.

3. Influence des différents paramètres

3.1 Influence de la distance entre 2 capteurs (l) sur le signal perçu après rotation de l'antenne

La distance entre deux capteurs doit respecter certaines conditions pour ne pas troubler les résultats. En effet, cette distance a une influence sur la réponse de l'antenne. Si la condition $l < \lambda_0$ n'est pas respectée (avec $\lambda_0 = c/f_0$), il est possible que l'on observe une réponse maximale de l'antenne alors que le vecteur d'onde n'est pas orthogonal à celle-ci. On peut également voir ce problème comme du repliement fréquentiel où deux fréquences différentes sont vues identiquement par l'antenne.

Voici le diagramme de directivité de l'antenne suivant l'angle α avec une distance entre capteurs ne respectant pas la condition $l < \lambda_0$.



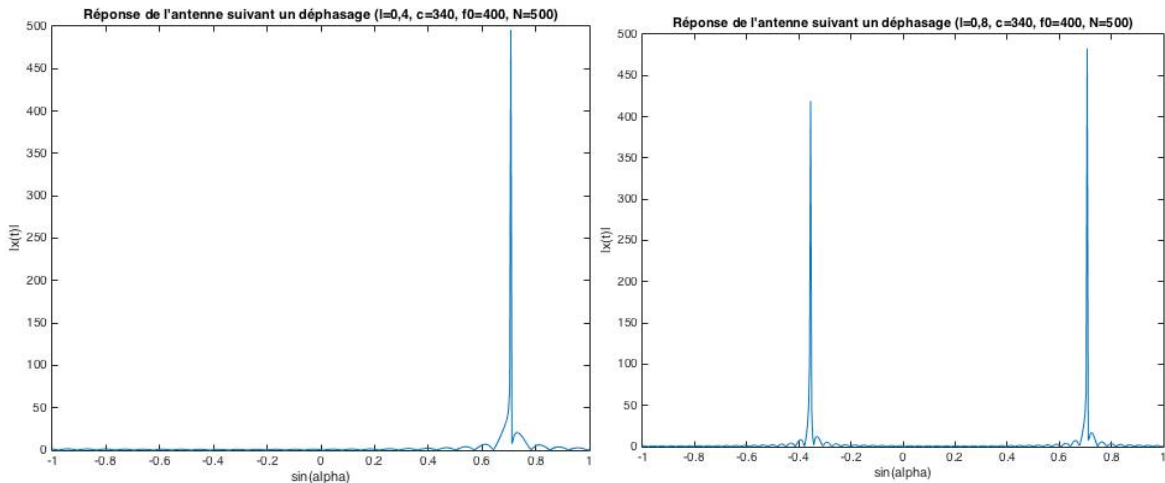
On observe ici, deux lobes principaux pour des valeurs de α se situant aux alentours de 60° et de 300°. Si la condition avait été respectée, nous aurions dû obtenir qu'un seul lobe principal pour α égale à 0, comme dans le diagramme de la partie 1.2.

De plus, l'augmentation du paramètre l permet de diminuer la largeur du lobe principal et donc d'augmenter la résolution angulaire de l'antenne. Néanmoins, l doit toujours vérifier la condition $l < \lambda_0$. Nous verrons dans la prochaine partie une méthode plus simple pour augmenter la résolution angulaire de l'antenne.

3.2 Influence de la distance entre 2 capteurs (l) sur le signal perçu après déphasage des capteurs

Le paramètre l a la même influence que dans le cas où l'antenne tournait réellement. Il permet dans les deux cas de réduire la largeur du lobe principal. Néanmoins, il est important de remarquer que la condition sur l a changé. En effet, il faut maintenant avoir $l < c/2f_0$ pour qu'il n'y ait qu'un seul lobe d'amplitude maximum.

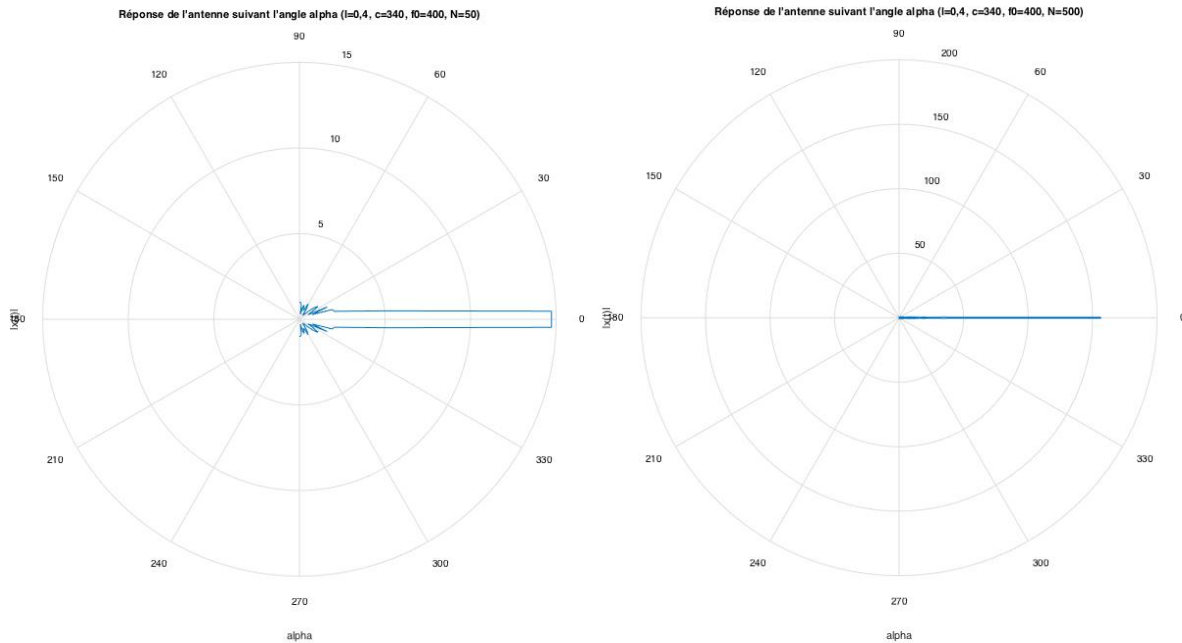
Voici deux exemples, le premier avec $l < c/2f_0$ et le deuxième avec $l < \lambda_0 (=c/f_0)$:



On constate donc que si l ne respecte pas la condition $l < c/2f_0$ alors on voit apparaître plusieurs lobes principaux.

3.3 Modification du nombre de capteurs (N)

On vient de voir que le paramètre l permettait de réduire la largeur du lobe principal. En revanche si l est trop grand, plusieurs lobes de même amplitudes peuvent apparaître et cela devient problématique. Il a donc fallu trouver une autre solution afin d'améliorer la résolution angulaire de l'antenne. Heureusement, le paramètre N permet lui aussi de réduire la largeur du lobe principal. En effet, plus N est grand et plus le lobe principal est étroit.



On constate donc que pour une même valeur de l , plus N est grand et plus la largeur du lobe latéral est petite. La résolution angulaire de l'antenne est donc meilleure quand il y a 500 capteurs plutôt que 50.

Il est donc préférable d'augmenter le nombre de capteur (N) car l'augmentation de la distance entre les capteurs (l) ne permettra plus de vérifier la condition $l < \lambda/2$.

4. Amélioration du signal à l'aide d'une fenêtre de pondération

4.1 Atténuation des lobes latéraux

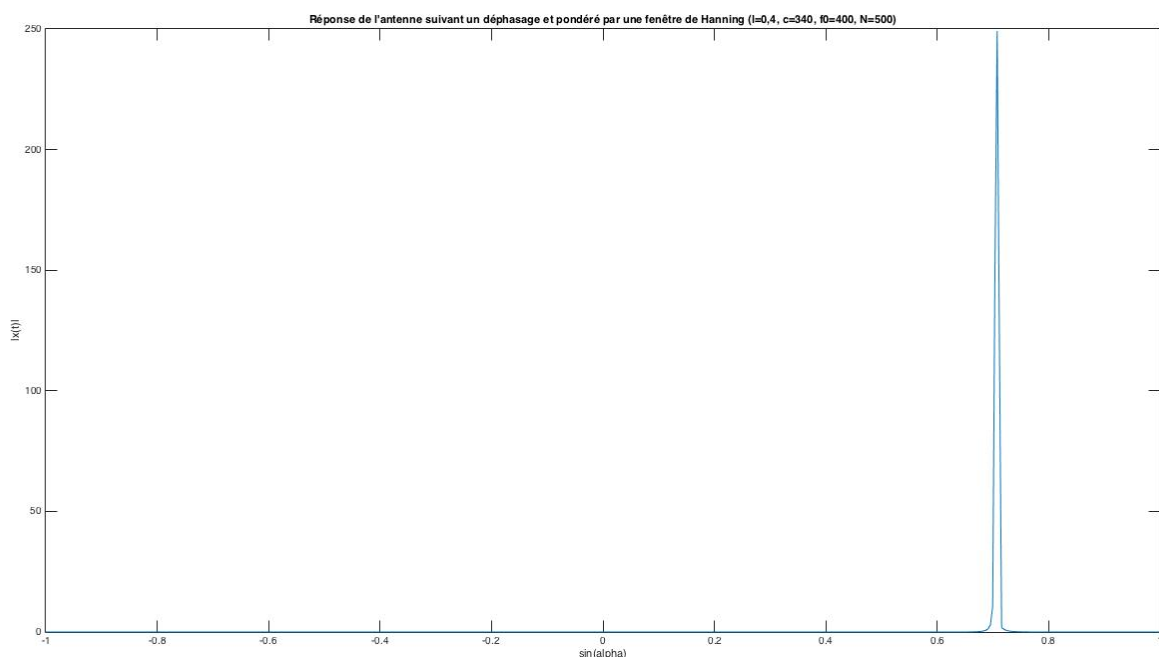
Les signaux précédents présentaient des petits lobes latéraux qui proviennent de la transformée de Fourier de la fenêtre rectangulaire discrète.

Afin d'atténuer ces lobes latéraux, nous avons décidé d'appliquer une fenêtre de pondération de type Hanning aux signaux issus des capteurs. Le signal de chaque capteur i sera multiplié par le gain $h(i)$, où $h(i)$ avec i compris entre 1 et N est la fenêtre de Hanning.

```
hanning= zeros(1,N);  
% Pondération  
for j=1:N  
    hanning(j) = (1/2)*(1-cos(2*j*pi/N));  
end  
  
w = zeros(1,length(alpha));  
for j =1:N  
    w = w + exp( 2*1i*pi*f0*( t0 + j*l*( SinAlpha - sin(alpha0) )/c ) ) * hanning(j) ;  
end
```

4.2 Signal perçu après pondération par une fenêtre de Hanning

Après pondérations des signaux perçus par chaque capteur, on obtient le signal global suivant :



On constate que les lobes latéraux sont atténués, en revanche, si on zoom bien, on se rend compte que le lobe principal est élargi. L'utilisation d'une fenêtre de pondération permet de réduire les lobes latéraux mais entraîne une légère perte de résolution angulaire.

Conclusion

Ce TP, nous a permis d'étudier différentes méthodes permettant de déterminer l'origine d'une onde plane à partir d'une antenne formée de plusieurs capteurs.

La première consiste à faire tourner l'antenne suffisamment lentement pour détecter le moment où la réception est maximale. La réception est maximale lorsque l'antenne est orthogonale à la source. Nous avons également vu qu'il était possible d'améliorer la précision de l'estimation de la direction (résolution angulaire) en faisant diminuer la largeur du lobe principal correspondant à la réponse maximale. Pour diminuer cette largeur, il est possible de faire varier le paramètre l (distance entre deux capteurs) ou N (nombre de capteurs). Le paramètre l doit respecter certaines conditions, c'est pourquoi, il est préférable de faire varier le paramètre N . Cependant, l'inconvénient de cette méthode est qu'elle nécessite de faire tourner l'antenne entière ce qui peut être compliqué, notamment dans un sous marin, par exemple.

Il existe donc une autre méthode consistant à déphaser les signaux perçus par chaque capteur. De cette façon, la rotation de l'antenne est simulée par le déphasage mais les contraintes sur l sont plus importantes.

Enfin, afin d'améliorer le signal perçu par l'antenne. Nous avons appliqué une pondération de type Hanning en sortie de chaque capteur qui nous a permis de réduire les lobes latéraux mais qui a également entraîné une légère perte de résolution angulaire.