

Laboratoire des Signaux & Systèmes
CNRS / ESE
Plateau de Moulon
91192 Gif sur Yvette

Université Paris SUD XI
-ORSAY-

Encadrement
S. MARCOS

**PERFORMANCES ET
COMPARAISON DE
METHODES
HAUTE RESOLUTION POUR
LE TRAITEMENT
D'ANTENNE**

MOHAMED NABIL LOKBANI

D.E.A Automatique et Traitement du Signal
Rapport de Stage 1990

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer ici toute ma gratitude à Sylvie MARCOS pour m'avoir proposé un sujet de stage, pour son encadrement sympathique et efficace.

Je veux aussi remercier l'ensemble des membres du L.S.S, les stagiaires et les thésards, qui, de près ou de loin, m'ont apporté aide et conseils.

SOMMAIRE

RESUME	- 1-
1/ Introduction	- 2-
2/ Les Méthodes haute résolution	- 5-
-1- Introduction	- 6-
-2- Calcul de la matrice interspectrale Γ	- 6-
-3- La méthode MUSIC	- 9-
-4- Le PROPAGATEUR	-11-
-5- La méthode de TUFTS-KUMARESAN	-14-
-6- L'effet d'une surestimation ou d'une sousestimation du nombre de sources	-15-
3/ Algorithmes, Organigrammes et Programmes	-17-
-1- Introduction	-18-
-2- Structure du programme principal	-18-
-3- Structure des sous programmes	-19-
4/ Simulation, Résultats et Commentaires	-24-
-1- Introduction	-25-
-2- Simulation	-25-
-3- Résultats et Commentaires	-26-
5/ Conclusion Et Perspectives	-35-
Bibliographies	-37-
Annexe	-40-

RESUME

Ce stage consiste à développer et analyser une méthode haute-résolution de traitement d'antenne, la méthode du propagateur récemment introduite au LSS.

Il s'agit de comparer les performances de cette méthode, en matière de localisation de sources, par rapport à des méthodes déjà existantes (MUSIC) et cela, en comparant les biais et les variances obtenus à partir des histogrammes, pour chacune des méthodes étudiées en tenant compte de certains paramètres (le rapport signal à bruit, position des sources, ...etc).

1

INTRODUCTION

Depuis longtemps, déjà, dans beaucoup d'applications scientifiques et techniques des antennes, ingénieurs ou chercheurs sont conduit à rapprocher et à conjuguer les antennes proprement dites avec le traitement des signaux qu'elles reçoivent, ce traitement est appelé traitement d'antenne. Il permet de détecter une source, c'est à dire estimer les paramètres qui la caractérisent puis donner une image du milieu en détectant et en caractérisant l'ensemble des sources par leur nombre, leur position spatiale.

Actuellement, le traitement d'antenne est renforcé par suite de l'augmentation des moyens de calculs en rapidité et en volume [1] . Il couvre des domaines aussi différent que la radio-astronomie, le sonar, le radar [2] , la tomographie (l'imagerie médicale) [3] , la sismique, la physiologie [4] .

Plusieurs méthodes d'analyse spectrale paramétrique ont été appliquées au traitement d'antenne, leur introduction a conduit à une certaine amélioration par rapport aux méthodes traditionnelles, ce qui a permis de les qualifier de méthodes à haute résolution [5] .

Le traitement d'antenne est le traitement de signal que l'on doit réaliser en aval des antennes. Ces antennes peuvent être utilisées de deux manières :

- l'écoute passive, c'est la réception des sources étrangères ou des signaux émis par des émetteurs indépendants, exemples, les radios et le radar en électromagnétisme, l'écoute des bruits émis par des navires ou des sous marins en sonar, des bruits émis par des véhicules ou des aéronefs en acoustique aérienne.
- l'écoute active, c'est la détection des réflexions des signaux émis par l'antenne elle même ou par un dispositif lui étant associé, sur des corps étrangers.

Le traitement d'antenne peut être modélisé par un modèle, ayant M capteurs qui représentent les antennes localisant N sources émettant des signaux [8], ce modèle sera introduit au chapitre 2 ; et par des algorithmes, qui sont déterminés par des méthodes haute résolution de traitement spatial. Les méthodes introduites au chapitre 2, la méthode MUSIC [9] , LE PROPAGATEUR [8, 10 - 12] et LE PROPAGATEUR AVEC ELIMINATION DE BRUIT [7 - 10] , supposent que la

répartition géométrique des capteurs sur l'antenne est quelconque. Leur calcul nécessite la détermination de la matrice interspectrale Γ , qui contient des informations sur le modèle de propagation. Ce chapitre se terminera par l'introduction d'une méthode de norme minimale pour le propagateur (Propagateur Minimum Norm) suivant l'idée développée par TUFTS-KUMARESAN [13] dans le cadre de MUSIC, ceci afin d'améliorer les performances des méthodes déjà citées.

Dans le chapitre 3, on présente les algorithmes du chapitre 2, et on met en évidence les grandes lignes du programme principal. Le chapitre 4 quant à lui nous délivrera les résultats de ces méthodes lors des différentes simulations. Ces simulations ont été faites pour la localisation d'une source puis de deux sources avec et sans sur-estimation du nombre de sources. A cause du nombre élevé de simulations effectuées, on a choisi de représenter l'ensemble des résultats sous forme de tableaux en incluant les graphes les plus importants ; ces résultats seront suivis par des commentaires appropriés.

Finalement, ce rapport sera clos par un ensemble de conclusions notées au cours des simulations suivies de quelques perspectives d'avenir.

2

LES METHODES HAUTE
RESOLUTION

1/ INTRODUCTION :

Les méthodes haute résolution sont des méthodes à horizon infini, ou plus exactement, la précision obtenue après un temps d'observation infini est infini. Ces méthodes sont efficaces que dans un domaine d'application bien défini à elles.

Dans ce chapitre, on présente quatre de ces méthodes :

MUSIC, PROPAGATEUR, PROPAGATEUR SANS BRUIT, TUFTS-KUMARESAN.

On va accompagner chaque méthode de ses hypothèses respectives. Ces méthodes utilisent les propriétés de la matrice de densité spectrale des signaux reçus sur l'antenne, c'est pour cette raison que ce chapitre va commencer par le calcul de cette matrice qu'on appellera Γ . Par ailleurs, ce chapitre sera clos par l'étude de l'effet d'une sur-estimation ou d'une sous-estimation du nombre de sources N sur la détection et la localisation de sources.

2/ CALCUL DE LA MATRICE INTERSPECTRALE Γ :

L'objectif du traitement d'antenne est de déterminer à partir des signaux reçus pendant un intervalle de temps de durée finie, sur un ensemble de capteurs constituant une antenne, des paramètres caractérisant les sources rayonnantes situées dans un milieu de propagation donné [8]. Ces paramètres sont :

- le nombre de sources N ,
- la direction d'arrivée de l'onde issue de chaque source, DDA ou Θ , par rapport à un repère fixe de l'antenne,
- l'intensité des signaux émis par ces sources.

Pour cela, on dispose de M capteurs caractérisés par leur position géométrique \mathbf{r}_m ; $m = 1, \dots, M$, par rapport à un repère fixe de l'antenne et par leur fonction de transfert a_m appelés gains complexes et N ondes caractérisées par leurs vecteurs d'onde \mathbf{k}_n ; $n = 1, \dots, N$.

On suppose que les capteurs et les sources se trouvent dans un même plan.

Chaque signal $s_n(t)$ émis par l'onde n est reçu par le capteur m avec

$$\text{un retard } \tau_{m,n} = \mathbf{r}_m^T \cdot \mathbf{k}_n \quad (\text{T indique la transposition}) \quad -2.2.1-$$

et ceci par rapport au premier capteur pris comme référence, $\mathbf{r}_1 = 0$.

Ainsi, on obtient la représentation de l'ensemble des signaux reçus par :

$$\mathbf{r}(t) = \sum_{n=1}^N \mathbf{z}_n(t) + \mathbf{b}(t) \quad -2.2.2-$$

$$\text{où } \dim \mathbf{r}(t) = M, \quad -2.2.3-$$

$$\mathbf{z}_n(t) = \begin{bmatrix} a_1 s_n(t) \\ a_2 s_n(t - \tau_{1,n}) \\ \dots \\ a_M s_n(t - \tau_{M,n}) \end{bmatrix} \quad -2.2.4-$$

et $\mathbf{b}(t)$ est un vecteur de dimension M , représentant les échantillons du bruit de mesure sur les capteurs.

En pratiquant une transformée de Fourier discrète (TFD) de -2.2.2- et -2.2.4-, on obtient une représentation pour une réalisation k du signal sous la forme :

$$\mathbf{r}_k = \mathbf{U} \alpha_k + \mathbf{b}_k \quad -2.2.5-$$

$$\text{où } \mathbf{U} = [\mathbf{u}_1 ; \dots ; \mathbf{u}_N] \quad -2.2.6-$$

est la matrice de dimension (M, N) des vecteurs sources définis par:

$$\mathbf{u}_n = [a_1, a_2 (e^{j\phi_2(\Theta_n)}), \dots, a_M (e^{j\phi_M(\Theta_n)})]^T \quad -2.2.7-$$

où

$$\phi_m(\Theta_n) = 2\pi f \tau_{m,n} \quad -2.2.8-$$

sachant que Θ désigne la direction d'arrivée de l'onde sur l'antenne

$$\text{et } \alpha_k = [\alpha_{1k} ; \dots ; \alpha_{Nk}]^T \quad -2.2.9-$$

est un vecteur de dimension N comprenant les amplitudes complexes des sources et le vecteur de dimension M , b_k , représente le bruit de mesure sur chaque capteur.

En supposant que :

les α_n sont des variables aléatoires centrées,

et que les b_k sont des variables aléatoires complexes, stationnaires, indépendantes entre elles ainsi qu'avec les α_n , Gaussiennes et de même variance σ^2 .

La matrice interspectrale de dimension (M, M) des signaux reçus sur l'antenne, s'écrit :

$$\Gamma = E [r_k r_k^+] = \Gamma_s + \Gamma_b \quad -2.2.10-$$

où

$$\Gamma_s = U \Gamma_\alpha U^+ \quad -2.2.11-$$

et

$$\Gamma_b = \sigma^2 \text{Id}_M \quad -2.2.12-$$

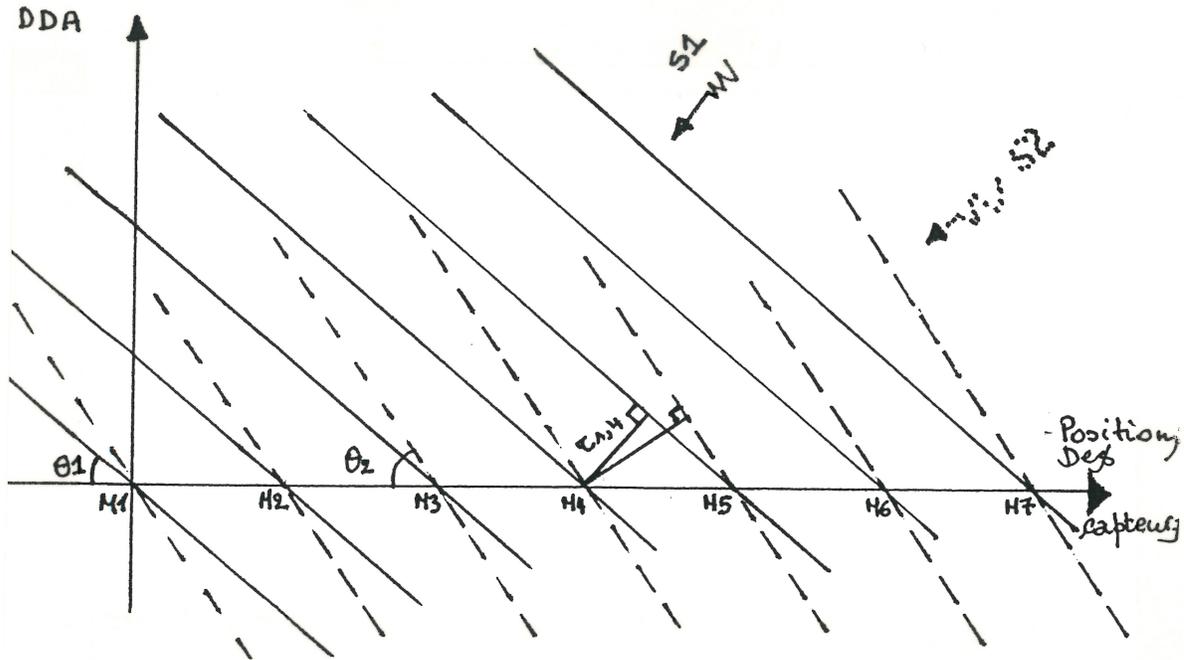
où Γ_s est la matrice interspectrale de dimension (N, N) des signaux issus des sources et Id_M la matrice identité de dimension (M, M) .

Dans le cas où les gains des capteurs sont tels que $a_m = 1$, où les fronts d'ondes sont plans et l'antenne est rectiligne à capteurs équidistants alors

$$\mathbf{u}_n = [1, e^{j\varphi_n}, e^{j2\varphi_n}, \dots, e^{j(M-1)\varphi_n}]^T \quad -2.2.13-$$

$$\text{où } \varphi_n = 2\pi f \frac{d}{c} \sin \Theta_n,$$

f étant la fréquence considérée, d la distance intercepteur et c la célérité de l'onde dans le milieu considéré. C'est ce modèle qui va être utilisé lors de la simulation, graphiquement cela se traduit par -2.2.1- :



Graphique -2.2.1- Direction d'arrivée des ondes (DDA) émises par deux sources S_1, S_2 en fonction de la position des différents capteurs.

3/ LA METHODE MUSIC (Multiple Signal Classification) :

Dans cette approche, on détermine les directions et les puissances des sources à partir des propriétés des valeurs propres et des vecteurs propres de la matrice interspectrale Γ [9], pour cela l'hypothèse de départ est que :

H_1 : Γ_α définie en -2.2.11- est non singulière.

Cette hypothèse signifie physiquement que les sources sont non totalement corrélées entre elles. On montre alors que la matrice Γ_s définie en -2.2.11- a M valeurs propres réelles, parmi ces dernières, $M-N$ sont nulles et les N autres sont strictement positives car Γ_s est une matrice hermitienne définie positive et de rang N .

On obtient :

$$\forall j \geq N+1 ; \Gamma_s v_j = U \Gamma_\alpha U^+ v_j = \mathbf{0} \quad -2.3.1-$$

où $\mathbf{0}$ est un vecteur nul de dimension M .

Et sous l'hypothèse H2 :

H2 : Les N vecteurs sources \mathbf{u}_n sont linéairement indépendants dans \mathbb{C}^M ,

on obtient les trois formules suivantes:

$$\forall j \geq N+1, \dots, M \quad \mathbf{U}^+ \mathbf{v}_j = 0 \quad -2.3.2-$$

$$\forall i = 1, \dots, N ; \forall j = N+1, \dots, M ; \mathbf{u}_j^+ \mathbf{v}_i = 0 \quad -2.3.3-$$

$$\mathbf{V}_B^+ \mathbf{U} = 0 \quad -2.3.4-$$

avec

$$\mathbf{V}_B = [\mathbf{v}_{N+1}, \mathbf{v}_{N+2}, \dots, \mathbf{v}_M] \quad -2.3.5-$$

Les valeurs propres de Γ sont sous la forme $\lambda_i + \sigma^2$, λ_i étant valeur propre de Γ_s , sachant que les valeurs propres $\{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_M\}$ vérifient la relation:

$$\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_N > \lambda_{N+1} = \dots = \lambda_M = \sigma^2. \quad -2.3.6-$$

De plus, les vecteurs du sous-espace bruit sont orthogonaux aux vecteurs directions des sources car Γ est une matrice hermitienne.

Finalement, cette méthode se réduit à déterminer :

- la plus petite valeur propre qui sera σ^2 ,
- le nombre M-N qui correspondra au nombre de fois où on a σ^2 afin d'obtenir N,
- résoudre -2.3.4- ,

afin de calculer, la puissance et la corrélation des sources par :

$$\Gamma_\alpha = (\mathbf{U}^+ \mathbf{U})^{-1} \mathbf{U}^+ (\Gamma - \sigma^2 \mathbf{I}_d) \mathbf{U} (\mathbf{U}^+ \mathbf{U})^{-1} \quad -2.3.7-$$

Pratiquement, il est délicat d'obtenir les M-N valeurs de σ^2 car elles peuvent être différentes à cause des calculs numériques. De plus, il est difficile de résoudre directement -2.3.4- .

Pour remédier à ce problème, on calcule plus exactement la norme de la projection de $u(\Theta)$ qui ne dépend que de la DDA Θ sur $\text{esp}\{V_B\}$ et ceci par la relation :

$$\Theta \in]-\pi, \pi[, F(\Theta) = \|V_B^+ u(\Theta)\|^2 = \sum_{j=N+1}^M |v_j^+ u(\Theta)|^2. \quad -2.3.8-$$

Plus $F(\Theta)$ a ses minima proches de zéro meilleur est le modèle de propagation $u(\Theta)$.

4/ LA METHODE DU PROPAGATEUR :

4-1 Définition du propagateur :

Le propagateur est un opérateur linéaire dont la définition est due à des considérations d'algèbre linéaire [8, 10 - 12,14]. Cette méthode repose sur le partitionnement de la matrice des vecteurs sources définie en -2.2.6- en deux blocs, suivant le schéma suivant :

$$U = \begin{bmatrix} X \\ - \\ Y \end{bmatrix} \begin{matrix} \}N \\ \}M-N \end{matrix} \quad -2.4.1-$$

et sous l'hypothèse

H3 : Les vecteurs colonnes de dimension N de la matrice X sont linéairement indépendants, c'est à dire que X est non singulière,

le propagateur est l'unique opérateur linéaire P de \mathbb{C}^{M-N} dans \mathbb{C}^N , défini par:

$$P^+ X = Y \quad -2.4.2-$$

ou

$$[P^+ \ , \ -\text{Id}_{M-N}] U = Q^+ \ U = 0 \quad -2.4.3-$$

où Id_{M-N} est la matrice identité de dimension $M-N$ et 0 la matrice nulle de dimension $(M-N, N)$.

Pour déterminer les DDA des sources, il suffit de calculer de la même façon que dans la méthode music, l'équation :

$$\mathbf{Q}^+ \mathbf{u}(\Theta) = 0 \quad -2.4.4-$$

4-2 Détermination du propagateur :

Dans cette section, on va montrer comment extraire le propagateur de la matrice interspectrale des signaux reçus, pour cela , on va traiter deux cas, le cas sans bruit et le cas en présence de bruit. On donnera également une méthode qui permet d'éliminer le bruit ; elle sera appelée par abus de langage " LE PROPAGATEUR SANS BRUIT " .

4-2-A Cas sans bruit :

En absence du bruit, la matrice interspectrale des signaux reçus sur l'antenne définie en -2.2.10- s'écrit :

$$\Gamma = \Gamma_s = \mathbf{U} \Gamma_\alpha \mathbf{U}^+ \quad -2.4.5-$$

En introduisant le partitionnement -2.4.1- de \mathbf{U} , on retrouve une nouvelle forme de Γ_s qui est :

$$\Gamma_s = \begin{bmatrix} \mathbf{X} \Gamma_\alpha \mathbf{X}^+ & | & \mathbf{X} \Gamma_\alpha \mathbf{Y}^+ \\ \text{---} & \text{---} & \text{---} \\ \mathbf{Y} \Gamma_\alpha \mathbf{X}^+ & | & \mathbf{Y} \Gamma_\alpha \mathbf{Y}^+ \end{bmatrix} \quad -2.4.6-$$

où les quatre blocs $\mathbf{X}\Gamma_\alpha\mathbf{X}^+$, $\mathbf{X}\Gamma_\alpha\mathbf{Y}^+$, $\mathbf{Y}\Gamma_\alpha\mathbf{X}^+$ et $\mathbf{Y}\Gamma_\alpha\mathbf{Y}^+$ sont de dimension (N, N), (N, M-N), (M-N, N) et (M-N, M-N) respectivement,

ou

$$\Gamma_s = [\mathbf{G}_s , \mathbf{H}_s] \quad -2.4.7-$$

où \mathbf{G}_s et \mathbf{H}_s sont des matrices de dimension respectives (M, N) et (M, M-N) alors, on a la relation :

$$\mathbf{H}_s = \mathbf{G}_s \mathbf{P} \quad -2.4.8-$$

Sous les hypothèses précédentes (H1, H2), on a:

$$\mathbf{P} = (\mathbf{G}_s^+ \mathbf{G}_s)^{-1} \mathbf{G}_s^+ \mathbf{H}_s \quad -2.4.9-$$

4-2-B En présence de bruit :

La matrice de densité spectrale du bruit est de la forme -2.2.12- .

Le partitionnement effectué auparavant ne peut être réalisé ici à cause du bruit . La seule solution évidente, est d'extraire ce bruit afin de chercher l'opérateur de propagation. Soit un scalaire positif δ et soit la matrice

$$\Gamma(\delta) = \Gamma - \delta \text{Id}_M \quad -2.4.10-$$

Le partitionnement, nous amène à :

$$\Gamma(\delta) = [\mathbf{G}(\delta) , \mathbf{H}(\delta)] \quad -2.4.11-$$

Le problème est de savoir s'il existe un couple (P, δ) solution de

$$\mathbf{H}(\delta) = \mathbf{G}(\delta) \mathbf{P} \quad -2.4.12-$$

En [8] , on montre que la seule solution au système -2.4.12- est

$$\delta = \sigma^2 \quad -2.4.13-$$

Pour obtenir δ , on partitionne $\Gamma(\delta)$ en quatre blocs sous la forme:

$$\Gamma(\delta) = \begin{bmatrix} \Gamma_1 - \delta \text{Id}_n & \Gamma_{12} \\ \Gamma_{21} & \Gamma_2 - \delta \text{Id}_{M-n} \end{bmatrix} \quad -2.4.14-$$

où $\Gamma_1, \Gamma_{12}, \Gamma_{21}$ et Γ_2 sont des matrices de dimensions respectives (n, n) , $(n, M-n)$, $(M-n, n)$ et $(M-n, M-n)$ où n est un entier variant de 1 à M .

Des relations -2.4.11- et -2.4.14-, on obtient l'équation de δ , qui est :

$$\delta = (c_1^+ [\text{Id}_{M-N} - \Gamma_{21} (\Gamma_{21}^+ \Gamma_{21})^{-1} \Gamma_{21}^+] e_1) / (e_1^+ [\text{Id}_{M-N} - \Gamma_{21} (\Gamma_{21}^+ \Gamma_{21})^{-1} \Gamma_{21}^+] e_1) \quad -2.4.15-$$

où c_1 et e_1 sont les 1-ièmes colonnes des matrices Γ_2 et Id_{M-N} .

Ainsi, la détermination de (P, σ^2) exige essentiellement l'inversion de deux matrices d'ordre N , obtenues dans les équations -2.4.9- et -2.4.15-, ce qui est moins coûteux que la recherche des éléments propres d'une matrice d'ordre M .

5/ LA METHODE DE TUFTS-KUMARESAN (T-K) ET SON EXTENSION AU PROPAGATEUR :

Elle a été introduite afin d'améliorer les performances de localisation de sources [13]. Pour cela, elle construit un vecteur \mathbf{d} de dimension M caractérisant le sous-espace bruit de Γ , qui est donné sous la forme :

$$\mathbf{d} = \begin{bmatrix} 1 \\ \mathbf{a} \end{bmatrix} \quad -2.5.1-$$

où \mathbf{a} un vecteur de dimension $(M-1)$

\mathbf{a} est déterminé de la façon suivante :

La matrice du sous-espace bruit, qu'on notera \mathbf{B} (-2.3.5- et -2.4.3- pour MUSIC et le PROPAGATEUR respectivement), peut se mettre sous la forme :

$$\mathbf{B} (M, M-N) = \begin{bmatrix} \mathbf{b}_1^T \\ \mathbf{B}_1 \end{bmatrix} \quad -2.5.2-$$

tel que \mathbf{b}_1 est le vecteur de dimension $(M-N)$ et \mathbf{B}_1 est la matrice de dimension $(M-1, M-N)$.

On montre dans [13] que :

$$\mathbf{a} = \mathbf{B}_1 \mathbf{b}_1 / \mathbf{b}_1^T \mathbf{b}_1 \quad -2.5.3-$$

Ainsi

$$\mathbf{d}_B = \begin{bmatrix} \mathbf{1} \\ \mathbf{B}_1 \mathbf{b}_1 / \mathbf{b}_1^T \mathbf{b}_1 \end{bmatrix} \quad -2.5.4-$$

La relation -2.3.8- donnant la norme de la projection de $u(\Theta)$ devient :

$$F_d(\Theta) = \| d_B^+ u(\Theta) \|^2 \quad -2.5.5-$$

6/ EFFET D'UNE SUR-ESTIMATION OU D'UNE SOUS-ESTIMATION DU NOMBRE DE SOURCES :

Ce paragraphe aura pour but de présenter les deux cas de sur-estimation et de sous-estimation du nombre de sources N et son influence sur la solution finale obtenue après localisation. Cet approche va être réalisée pour l'ensemble des méthodes utilisées auparavant.

1/ SUR-ESTIMATION :

Supposons que l'on veuille sur-estimer le nombre de sources N par $N + 1$, ceci se ramène à déterminer les $M - N - 1$ valeurs propres égales à la plus petite valeur propre de Γ , alors qu'il n'en existe que $M - N$. Dans ce cas, le sous-espace bruit est engendré par $\{v_{N+2}, \dots, v_M\}$, il est de dimension $M - N - 1$, par ailleurs, la relation d'orthogonalité entre les vecteurs sources u_n et le sous-espace bruit reste valable et

$$v_j^+ u_n = 0 ; \forall j = N + 2, \dots, M ; \forall n = 1, \dots, N \quad -2.6.1-$$

Par contre, en plus des solutions $u(\Theta) = u_n$, il existe d'autres solutions que l'on appellera fantômes.

2/ SOUS-ESTIMATION :

Cette fois le nombre de sources N sera estimé par $N - 1$, dans ce cas là, le sous espace bruit aura une dimension $M - N + 1$ et sera engendré par $\{v_N, v_{N+1}, \dots, v_M\}$. On remarque qu'il existe un vecteur commun a_i au sous-espace bruit et au vecteur source u_i , donc le sous-espace bruit estimé ne peut être orthogonal aux vecteurs sources, d'où les vecteurs sources u_i risquent de ne pas être tous solution de l'équation :

$$v_j^+ u_n = 0 ; \forall j = N, \dots, M ; \forall n = 1, \dots, N . \quad -2.6.2-$$

En conclusion, il vaut mieux sur-estimer le nombre de sources afin d'avoir au moins les solutions correctes, pour ne pas prendre le risque de supprimer des solutions, ce qu'on fera lors des simulations et ceci pour toutes les méthodes déjà étudiées.

REMARQUE : Pour appliquer les méthodes de localisation (recherche du propagateur ou des vecteurs propres de Γ caractérisant le sous espace bruit sur lequel on projette $\mathbf{u}(\Theta)$), on a besoin de connaître le nombre de sources, dans ce qui suit, on ne cherche pas à estimer ce nombre là car on le suppose connu ou on le surestime volontairement.

3

ALGORITHMES,
ORGANIGRAMMES
ET
PROGRAMMES

1/ INTRODUCTION :

Ce chapitre aura pour but de présenter l'algorithme, l'organigramme et quelques éléments utilisés lors de la programmation pour chacune des méthodes étudiées dans le chapitre 2. On commencera par présenter la structure du programme principal puis, on développera ses éléments constituants.

2/ STRUCTURE DU PROGRAMME PRINCIPAL :

Le procédé de calcul des différentes méthodes déjà étudiées, se résume à détecter pour chaque méthode les minima des normes, ces minima vont correspondre à la valeur désirée de la DDA ou Θ et ceci après avoir calculé la matrice interspectrale Γ et la norme des méthodes MUSIC, PROPAGATEUR et PROPAGATEUR SANS BRUIT.

Plusieurs cas peuvent se présenter lors de la détection, parmi-eux celui-ci :

l'estimation de deux sources aboutit à un minimum au lieu de deux, dans ce cas là, on a choisi d'attribuer ce minimum à la plus petite DDA ou Θ , on pourra remarquer dans le chapitre qui va suivre que ce choix là n'est pas nécessairement toujours exact.

Le procédé décrit auparavant va se répéter pour un nombre d'échantillons donné et pour chacune des méthodes et ceci afin de calculer par la suite, le biais, la variance et le pourcentage de détection donnés respectivement par :

$$\text{- le biais} \quad b = E [\Theta_e - \Theta_v] \quad \text{-3.2.1-}$$

$$\text{- la variance} \quad v = E [(\Theta_e - \Theta_m)^2] \quad \text{-3.2.2-}$$

$$\text{- le pourcentage} \quad P = (\text{comp.100}/\text{nombre échantillon}) \% \quad \text{-3.2.3-}$$

où Θ_e est l'angle estimé d'arrivée, Θ_v est la vraie valeur de cet angle, Θ_m est donné par :

$$\Theta_m = E [\Theta_e] \quad \text{-3.2.4-}$$

comp est un compteur qui calcule le nombre de fois où on a détecté plus d'une source et ceci lorsque la dimension du vecteur source est supérieure à 2 et P représente le pourcentage de cette détection.

L'algorithme se résume aux étapes suivantes :

a- calculer la matrice interspectrale Γ ,

b- pour les trois méthodes déjà citées :

on calcule la fonction norme correspondante,

on recherche les minima de cette fonction.

Après avoir répéter les opérations a et b pour une durée correspondant au nombre d'échantillons donnés au départ, on calcule pour chaque méthode le biais, la variance et le pourcentage de détection donnés respectivement par -3.2.1- , -3.2.2- et -3.2.3-. L'organigramme correspondant est donné par le graphe -O.3.2.1-.

3/ STRUCTURE DES SOUS PROGRAMMES :

L'algorithme du programme principal, nous permet de définir principalement quatre sous programmes, ces derniers ont été étudiés aux paragraphes 2, 3, 4 et 5 du chapitre 2. Ce paragraphe aura pour tâche de présenter ces sous programmes de point de vue algorithmique en incluant quelques remarques utilisées lors de leur programmation.

3-1/MATRICE INTERSPECTRALE Γ :

La matrice interspectrale Γ est construite à partir de l'algorithme suivant :

- on détermine premièrement le vecteur signal $\mathbf{r}(t)$ en calculant dans l'ordre :

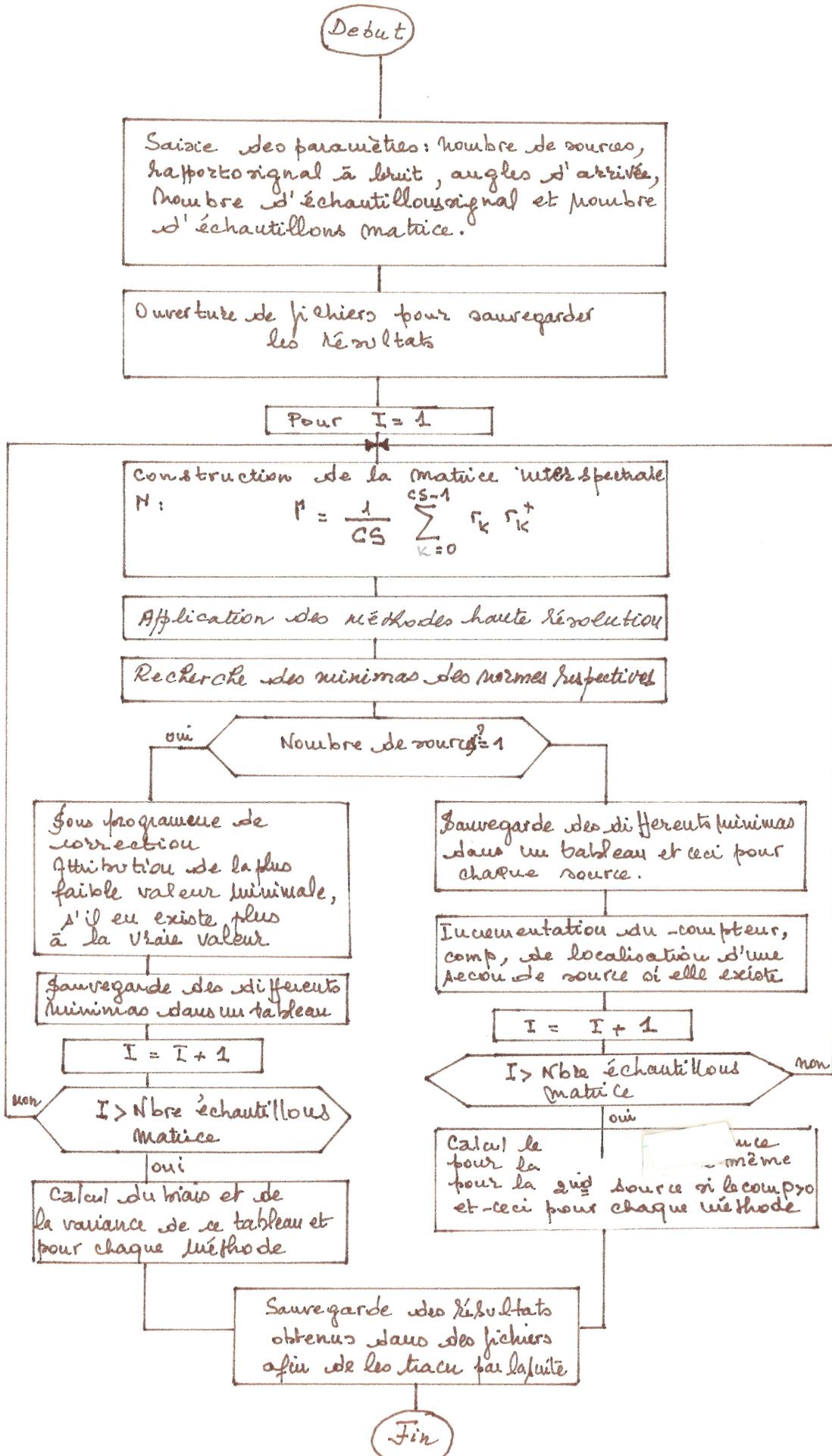
le déphasage $\varphi_m(\Theta_n)$ (-2.2.8-),

les vecteurs sources \mathbf{u}_i (-2.2.7-),

la matrice \mathbf{U} (-2.2.6-),

le vecteur bruit \mathbf{b} ,

Graphe - 0.3.2.1 -



le vecteur signal \mathbf{r}_k (-2.2.5-),

- par la suite, on calcule \mathbf{r}_k^+ , pour obtenir finalement la matrice Γ donnée par la relation -2.2.10- et ceci en calculant l'expression suivante :

$$\Gamma = \frac{1}{CS} \sum_{k=0}^{CS-1} \mathbf{r}_k \mathbf{r}_k^+, \quad -3.2.1-$$

où CS représente le nombre de mesures sur l'antenne.

Cet algorithme, nous oblige à résoudre deux problèmes lors de la programmation :

le calcul des vecteurs des amplitudes complexes des sources donnés par -2.2.9- et le calcul du vecteur bruit.

Pour le premier, l'amplitude et l'argument de ces vecteurs sont donnés par :

$$\text{Amplitude (i)} = 10 (\text{Snr (i)} / 20) \quad -3.2.2-$$

$$\text{Argument (i)} = 2 \pi (f + \zeta) \quad -3.2.3-$$

où Snr est le rapport signal sur bruit (Signal to noise ratio), f est la fréquence considérée et ζ est une valeur aléatoire comprise entre 0 et 1 créée par un générateur interne au système suivant la loi uniforme.

Pour le second, on a :

$$\mathbf{b} (i) = A e^{j \varepsilon_i} \quad -3.2.4-$$

$$\text{avec } A = 1/\sqrt{2} \quad -3.2.5-$$

et ε_i est une variable aléatoire générée par le même système suivant la loi normale.

Ces deux générateurs sont utilisés afin d'avoir des réalisations différentes de la matrice interspectrale Γ .

3-2/ MUSIC :

L'algorithme est le suivant :

- détermination des valeurs propres et des vecteurs propres de Γ ,

- construction de la matrice des vecteurs propres (M, M),
- extraction d'une sous-matrice des vecteurs propres (M, M-N) qui a été notée dans le chapitre 2 comme étant la matrice du sous espace bruit,
- calcul de la norme donnée par -2.3.8- ou application de la méthode **T-K** pour déterminer le vecteur \mathbf{d}_B associé, afin de calculer la norme donnée par -2.5.5- .

D'un point de vue programmation, la détermination et la construction de la matrice des vecteurs propres se résumera à une seule opération.

3-3/ LE PROPAGATEUR :

A partir de Γ et comme précédemment, c'est à dire au chapitre 2, on distingue deux cas :

a- cas sans élimination de bruit (ou le propagateur) :

- extraction de la sous matrice G,
- extraction de la sous matrice H,
- calcul du propagateur P et ceci à partir de la relation (-2.4.9-) ,
- calcul de la matrice Q (-2.4.3-) ,
- calcul de la norme donnée par -2.3.8- ou application de la méthode **P.M.N** (Propagateur Minimum Norm) afin de déterminer le vecteur \mathbf{d}_B associé pour calculer la norme donnée par l'expresion -2.5.5- .

b- cas avec élimination de bruit (appelé par abus de langage le propagateur sans bruit) :

- partitionner Γ en quatre blocs et ceci suivant la relation -2.4.14-,
- extraction de la sous matrice Γ_{21} ,
- extraction de la sous matrice Γ_2 ,
- calcul de δ ,
- construction de la matrice $\Gamma (\delta)$,

la suite de l'algorithme n'est autre que le cas a.

Pour les notations, Γ_{12} et Γ_2 ont été notées respectivement Gam12 et Gam22.

3-4/ TUFTS-KUMARESAN :

On remarque que cette méthode a été utilisée comme une procédure interne pour les autres algorithmes, elle se résume à :

à partir de la matrice du sous espace bruit $B(M, M-N)$ et ceci par la relation -2.4.2- ,

on a :

- détermination de b_1 (-2.4.2-) ,
- détermination de B_1 (-2.4.3-) ,
- calcul de A ,
- construction de d_B (-2.4.4-) .

4
SIMULATION,
RESULTATS
ET
COMMENTAIRES

1/ INTRODUCTION :

Dans ce chapitre, on va présenter les conditions de simulation, ceci se traduit par la présentation de l'environnement informatique (hard ou soft) . Par la suite, on va initialiser les paramètres d'entrée qui modéliseront un milieu de propagation bien précis puis on présentera les résultats sous la forme de tableaux et de graphes et ceci pour une source puis deux sources. L'ensemble de ses résultats sera suivi par des commentaires appropriés.

2/ SIMULATION :

Les programmes de simulations sont écrits en langage Pascal et exécutés sur un ordinateur Microvax.

L'aspect mathématique sera suivi par la bibliothèque IMSL, alors que les sorties graphiques, effectuées sur une console VT125, utiliseront les possibilités de la bibliothèque graphique RGL.

Les programmes de ces deux bibliothèques ont été écrits en Fortran, le passage de ces programmes du Fortran vers le Pascal est délicat et ceci si l'on tient compte de la représentation matricielle. En effet, les matrices seront traitées comme des tableaux à deux dimensions, le premier indice de ce tableau permet d'accéder aux lignes et le second aux colonnes en Pascal, en Fortran, c'est l'inverse qui arrive. Il ne faudra pas oublier de permuter les matrices avant et après tout traitement effectué à partir des deux bibliothèques déjà citées auparavant.

Ces simulations ont été introduites afin de comparer les performances des méthodes MUSIC, PROPAGATEUR, PROPAGATEUR SANS BRUIT et ceci dans un milieu donné.

Pour nos simulations, L'antenne utilisée est une antenne linéaire munie de dix capteurs équirépartis, omnidirectionnels et de gain unité ; le milieu de propagation est un milieu sous-marin, la célérité des ondes acoustiques a été prise égale à 1500m/s. Les sources ont été supposés émettre des ondes planes monochromatiques de fréquence 500 Hz. La distance intercapteur est égale à une demi longueur d'onde soit 1.5 m. Le bruit a été supposé blanc dans la bande passante de l'antenne et a été

mesuré à la sortie de celle-ci, sa puissance est normalisée à 1. Le rapport signal à bruit est variable de 0 à 20 db.

Les points de comparaison seront la précision dans l'estimation de l'angle d'arrivée d'une source, et la capacité de détection de deux sources proches.

Ces comparaisons se feront à travers des statistiques sur un nombre de réalisations égal à 200 pour lesquelles, on mesurera le biais et la variance de l'estimateur dans le cas d'une seule source puis de deux sources en calculant pour ce dernier cas la possibilité de détecter plus de deux sources lorsqu'elles existent (ce qu'on a appelé précédemment le pourcentage de détection).

Ces simulations seront effectuées pour deux cas:

- les normes considérées seront données par les relations -2.3.8- , sachant que la matrice du vecteur bruit peut être normalisée, c'est à dire, qu'on divise chaque vecteur colonne de cette matrice par sa norme ; ou pas,
- en se plaçant dans le cas de la méthode **T-K**, c'est à dire que les normes sont données par la relation -2.5.5- .

A noter enfin que la variable CS qui représente le nombre de mesure sur l'antenne prend les valeurs suivantes :

$$CS \in [10, 50, 100, 200, 1000]$$

3/ RESULTATS ET COMMENTAIRES :

Les résultats sont présentés sous forme de tableaux et de graphes. Vu le nombre de simulations, on a pris la décision de présenter tout l'ensemble des tableaux par contre, on a choisi de représenter seulement les graphes les plus significatifs. Ces graphes vont être notés en plus de leur notation normale, par une seconde notation " Exemple N° " , où N° est le chiffre présent dans les différents tableaux qui vont suivre.

Ces simulations ont été effectuées pour deux types de localisation :

3-1 LOCALISATION D'UNE SOURCE :

On va présenter deux tableaux car on va effectuer des simulations dans le cas normalisé, c'est à dire, qu'on normalise la matrice du sous espace bruit ; et dans le cas contraire. On a choisi un rapport signal à bruit égal à 5 db, un angle d'arrivée Θ égal à 4 degré, le nombre CS prend les valeurs 10, 50, 100 et 1000 ; les résultats obtenus sont les suivants :

avec normalisation :

	N ^o	CS	Propagateur	Propagateur sans bruit	MUSIC
biais	1	10	-0.171	-0.179	-0.232
			0.155	0.155	0.085
-----	2	100	-0.022	0.023	-0.431
			0.017	0.017	5.283
Variance	3	1000	-0.004	-0.004	-0.527
			0.002	0.002	6.662

TABLEAU 4-1

sans normalisation :

	N ^o	CS	Propagateur	Propagateur sans bruit	MUSIC
biais	4	10	-0.141	-0.148	-0.388
			0.166	0.167	2.656
-----	5	50	-0.040	-0.042	-0.180
			0.033	0.033	1.792
Variance	6	1000	-0.003	-0.003	-0.135
			0.002	0.002	1.778

TABLEAU 4-2

Des deux tableaux précédents, on remarque un même comportement pour le propageur et pour le propageur sans bruit. Lorsque le nombre d'échantillon augmente, il y a une nette amélioration du biais et de la variance. Entre la normalisation ou la non normalisation, on remarque que pour de faibles valeurs du nombre d'échantillons (CS), le mieux, c'est de ne pas normaliser la matrice du sous espace bruit alors que pour de fortes valeurs de CS les résultats sont identiques pour les deux cas.

En observant les valeurs du biais et de la variance, on remarque qu'elles sont élevées. Pour expliquer la cause, prenons l'exemple numéro 6 représenté par le graphe -4- et observons l'histogramme de la méthode MUSIC, on remarque un fort pic centré au voisinage de la valeur Θ , et on se demande toujours d'où provient la cause, si on observe encore mieux cet histogramme, on remarque que lors de l'exécution de la méthode MUSIC, il y a eu détection de quelques valeurs autour de -9 degré, en sommant la valeur détectée avec le pic précédent, on obtient ces fortes valeurs du biais et de la variance. D'après les algorithmes proposés au chapitre précédent, notre tâche était de rechercher les minimas de la fonction norme, or le problème est qu'il peut exister plusieurs minimas. Pour trouver la vraie valeur, cherchons une de ces valeurs des minimas autour de Θ , mais si Θ n'est pas connue au départ, ce qui est le cas dans la réalité, cette recherche ne peut avoir lieu ; on peut proposer l'idée de rechercher la plus faible norme, mais la plus faible norme ne correspond pas toujours à la vraie valeur de Θ , ce problème de recherche explique les valeurs du biais et de la variance.

Ce problème s'est posé uniquement dans la méthode MUSIC, ceci ne veut pas dire que MUSIC détecte mal, mais cela arrive dans certains cas.

3-2 LOCALISATION DE DEUX SOURCES :

Dans ce paragraphe, deux types de comparaisons sont présentées:

3-2-A COMPARAISON ENTRE LA NORMALISATION OU PAS DE LA MATRICE DU SOUS ESPACE BRUIT :

Pour cela, on a choisi deux sources éloignées l'une de l'autre de 10 degrés, et ceci pour une meilleure localisation. Les valeurs des paramètres sont les suivants :

$$\Theta_1 = 4^\circ, \text{Snr}_1 = 4 \text{ db}, \Theta_2 = 6^\circ \text{ et } \text{Snr}_2 = 6 \text{ db.}$$

sans normalisation :

1 ^{ere} Source	N _z	CS	Propagateur	Propagateur sans bruit	Music
biais	7/a	10	0.106	0.124	0.150
			1.516	1.543	0.110
Variance	8/a	50	-0.012	0.067	0.027
			0.216	0.264	0.023
	9/a	1000	-0.054	-0.002	-0.004
			0.012	0.014	0.001

2 nd Source	N _z	CS	Propagateur	Propagateur sans bruit	Music
biais	7/b	10	0.628	0.587	0.218
			1.876	1.927	0.165
Variance	8/b	50	0.173	-0.028	0.052
			0.480	0.522	0.034
	9/b	1000	0.199	0.019	0.004
			0.019	0.021	0.002

TABLEAU 4-3

avec normalisation :

1 ^{ère} source	N ^o	CS	Propagateur	Propagateur sans bruit	MUSIC
biais	10/a	10	0.436	0.468	0.146
			2.780	2.858	0.122
-----	11/a	100	0.042	0.020	0.023
			0.107	0.129	0.012
Variance	12/a	1000	-0.063	-0.011	-0.001
			0.010	0.011	0.002

2 ^{ème} source	N ^o	CS	Propagateur	Propagateur sans bruit	MUSIC
biais	10/b	10	0.234	0.225	0.260
			2.219	2.302	0.136
-----	11/b	100	0.248	0.057	0.021
			0.188	0.214	0.018
Variance	12/b	1000	0.177	-0.011	0.003
			0.017	0.020	0.002

TABLEAU 4-4

Vu les valeurs obtenues (tableau 4-3 et 4-4), les performances de la méthode MUSIC deviennent meilleures, pour la localisation de sources, au fur et à mesure que le nombre d'échantillons signal (CS) augmente. La première source est mieux détectée que la seconde car on attribue toujours la première localisation à la première source même s'il en existe qu'une seule. Comme précédemment, la nonnormalisation de la matrice du sous-espace bruit entraîne de meilleurs résultats. Pour les différents cas précédents, le propagateur donne des résultats identiques que le propagateur sans bruit.

3-2-B COMPARAISON DES RESULTATS OBTENUS A PARTIR DE LA
NORME CLASSIQUE ET CELLE OBTENUE PAR LA METHODE T-K :

Les simulations ont été réalisées pour deux sources très proches l'une de l'autre, c'est à dire pour :

$\Theta_1 = -2^\circ$ et $\Theta_2 = 2^\circ$; et pour un nombre CS égal à 10, c'est à dire là où on peut trouver des difficultés lors de la localisation, pour cela, on va étudier le cas où l'on sur-estime le nombre de source pour un nombre de source égale à 6 ; et le cas inverse :

sans sur-estimation :

<i>1^{ere} Source</i>	N ^o	Snr	Propagateur	Propagateur sans bruit	MUSIC
<i>biais</i>	13/a	20	0.432	0.431	0.078
			1.352	1.359	0.022
<i>Variance</i>	14/a	10	1.600	1.449	1.418
			3.262	3.571	1.631
	15/a	0	2.017	2.038	2.046
			0.826	0.696	0.559

<i>2nd Source</i>	N ^o	Snr	Prop	Prop sans bruit	MUSIC	%P	%PS	%M
<i>biais</i>	13/b	20	-0.095	-0.095	-0.055	75.5	75.5	100
			0.376	0.375	0.025			
<i>Variance</i>	14/b	10	0.439	0.721	-0.337	15.5	21	31
			2.155	2.319	0.259			
	15/b	0	3.933	7.400	-	1.5	0.5	-
			14.736	0	-			

TABLEAU 4-5

° méthode T-K :

1 ^{ere} source	N°	Snr	Propagateur	Propagateur sans bruit	Music
biais	16a	20	0.651	0.664	-0.047
			1.960	1.979	2.114
-----	17a	10	0.994	0.917	0.609
			5.277	6.785	3.986
Variance	18a	0	1.744	1.876	0.734
			3.170	1.825	10.723

2 nd source	N°	Snr	Prop	Prop sans bruit	Music	%P	%PS	%M
biais	16b	20	0.159	0.175	0.024	69	68.5	93
			0.810	0.792	0.761			
-----	17b	10	1.339	1.305	0.527	28.5	31	57
			6.721	5.812	2.860			
Variance	18b	0	0.940	0.575	2.065	5	4	35.5
			18.014	15.957	9.796			

TABLEAU 4-6

En comparant les résultats obtenus, on remarque que la méthode T-K améliore le pouvoir de détection d'une seconde source, dans ce cas là, la méthode MUSIC localise bien les deux sources quand le rapport signal à bruit est élevé. On remarque pour l'exemple N° 15/b, il n'y a pas eu de localisation de seconde source ce qui explique l'absence de résultats. Les valeurs des variances sont élevées cela est dû à l'étalement des différents histogrammes correspondants. Entre le propagateur et le propagateur sans bruit (PSB), on remarque que le PSB localise mieux la seconde source alors que pour la première les résultats sont identiques sauf dans les faibles valeurs du rapport Snr.

avec une sur-estimation :

° méthode T-K :

1 ^{ère} source		N°	Snr	Propagateur	Propagateur sans bruit	Music
Biais	19%	20		<u>0.300</u>	<u>0.483</u>	<u>0.136</u>
				1.794	2.091	1.103
Variance	20%	10		<u>0.227</u>	<u>0.669</u>	<u>0.294</u>
				2.576	5.804	5.003
	21%	0		<u>0.446</u>	<u>1.914</u>	<u>0.774</u>
				9.969	1.737	9.168

2 nd source		N°	Snr	Prop	Prop sans bruit	Music	%P	%PS	%M
Biais	19%	20		<u>0.120</u>	<u>0.122</u>	<u>-0.040</u>	80.5	72	90
				0.546	0.621	0.442			
Variance	20%	10		<u>0.222</u>	<u>1.384</u>	<u>0.420</u>	74.5	37	66
				0.893	6.635	3.221			
	21%	0		<u>1.507</u>	<u>2.200</u>	<u>1.953</u>	37	5	30
				7.518	13.594	8.311			

TABLEAU 4-7

° méthode de normale :

1 ^{ère} source	N°	SNR	Propagateur	Propagateur sans bruit	MUSIC
biais	22/a	20	0.323	0.621	0.093
			1.175	1.935	0.061
Variance	23/a	10	0.766	1.665	1.286
			1.889	3.040	1.880
	24/a	0	1.660	2.005	1.857
			3.438	0.634	2.228

2 nd source	N°	SNR	Prop	Prop sans bruit	MUSIC	%P	%PS	%M
biais	22/b	20	0.106	0.112	-0.049	80	64.5	100
			0.377	0.425	0.055			
Variance	23/b	10	0.222	1.384	0.420	74.5	37	66
			0.893	6.635	3.221			
	24/b	0	1.764	-	1.461	16.5	-	9
			6.133	-	4.559			

TABLEAU 4-8

Dans ce cas aussi, la méthode T-K améliore le pourcentage de localisation d'une seconde source. Le PROPAGATEUR SANS BRUIT ne localise pas correctement, cela est dû à des contraintes numériques car les sous matrices de la matrice interspectrale Γ sont mal conditionnées ; concernant le rapport signal à bruit, quand ce dernier est faible, c'est à dire inférieur à 10 db, on obtient de meilleurs résultats avec le PROPAGATEUR qu'avec la méthode MUSIC, l'inverse est vraie, les histogrammes sont étalés dans les deux cas.

5

CONCLUSION

ET

PERSPECTIVES

Une présentation de deux méthodes hautes résolution a été faite dans ce rapport, on s'est intéressé à leur performance en matière de biais, de variance et de pourcentage de localisation, ceci dans plusieurs cas de simulations.

On a présenté l'ensemble des résultats obtenus en faisant varier le rapport signal à bruit, le nombre d'échantillons du signal, le nombre de sources estimées et la direction d'arrivée de ces sources.

On a pu montrer dans quelques exemples, qu'il est inutile de normaliser la matrice du sous espace bruit car cette dernière n'améliore en rien les résultats obtenus, que la méthode **T-K** aide à augmenter le pourcentage de détection.

Concernant les méthodes haute résolution, une brève comparaison montre que si on ne surestime pas le nombre de sources, on obtient les mêmes résultats pour **LE PROPAGATEUR**, et **LE PROPAGATEUR SANS BRUIT** et dans ce cas **MUSIC** donne les meilleurs résultats. Cependant, quand on augmente le nombre d'échantillons pour estimer Γ , le propagateur sans bruit est meilleur. Par contre si on surestime le nombre de sources, la méthode **MUSIC** est toujours la meilleure **sauf** pour un rapport signal à bruit faible, là **LE PROPAGATEUR** l'emporte.

Cependant encore trop peu de simulations ont été réalisées pour pouvoir définitivement conclure sur la comparaison des méthodes **MUSIC** et **PROPAGATEUR**. En particulier on s'est toujours placé dans des conditions particulièrement favorables pour **MUSIC** (bruit blanc, antenne rectiligne et connue, sources non corrélées etc ...) . C'est pourquoi il faudrait pouvoir cerner le domaine d'application qui est le plus favorable à la méthode du propagateur. Par exemple, cette étude permet déjà de dire, qu'en présence de rapport signal à bruit faible et d'une surestimation du nombre de sources, le **PROPAGATEUR** devient sensiblement meilleur que **MUSIC**.

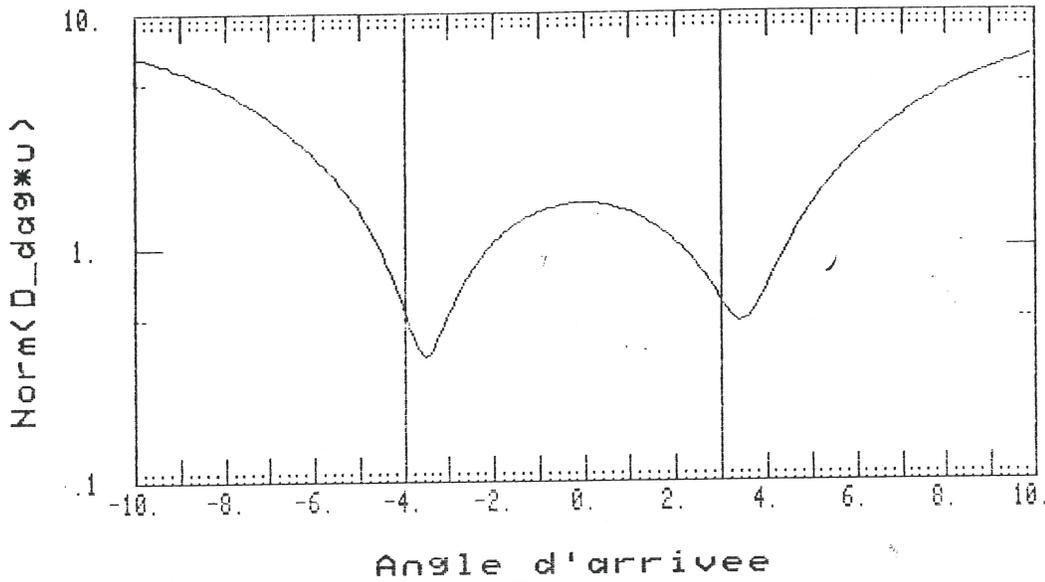
BIBLIOGRAPHIE

- [1] J.L LACOUME, Modèles et traitements de signaux multidimensionnels, onzième colloque GRETSI., 1987.
- [2] F.CHEVALIER, Principes de traitement des signaux Radar et Sonar, MASSON, 1989.
- [3] H.MERMOZ, Imagerie, corrélation et modèle, Ann Télécommunication 31 n° 1-2, 1976.
- [4] B.LUMEAU, Traitement spatial et analyse spectrale, Thèse de doctorat es-sciences physiques, Université Paris 11- ORSAY, 1987.
- [5] B.LUMEAU, Processus discret et analyse spectrale, Cours de D.E.A Automatismes et traitement du signal, ESE, 1990.
- [6] S.DBABOVITCH & C.ANCONA, ANTENNES, tome 2- applications, Ed. MASSON, 1986.
- [7] J.MUNIER & G.M.DELISLE, Spatial analysis in passive listening using adaptive techniques, Proceedings of the IEEE vol 75 n° 11, p 1458 à 1471, 1987.
- [8] S.MARCOS, Multiple usages de l'opérateur de propagation en traitement d'antenne, Rapport interne LSS, 1989.
- [9] R.O.SCHMIDT, Multiple emitter location and signal parameter estimation, IEEE Antennas & Propagation, vol AP-34 n° 3, p 276 à 280,1986.
- [10] S.MARCOS, Le propagateur et son estimation adaptative, 12 ème colloque GRETSI, 1989.
- [11] S.MARCOS & J.MUNIER, Source localization using a distorted antenna, ICASSP, 1989.
- [12] S.MARCOS & M.BENIDIR, On a high resolution array processing method non-based on the eigen analysis approach, ICASSP, 1990.

- [13] R.KUMARESAN & D.W.TUFTS, Estimating the angle of arrival of multiple plane waves, IEEE Transactions on Aerospace & Electronic Systems, vol AES-19, n°1 p134 à 139,1983.
- [14] A.MARSAL, Performance et comparaison des méthodes MUSIC, ESPRIT et PROPAGATEUR, Rapport de stage de D.E.A en Automatismes et Traitement du signal, ESE-Université PARIS 11- ORSAY, 1989.

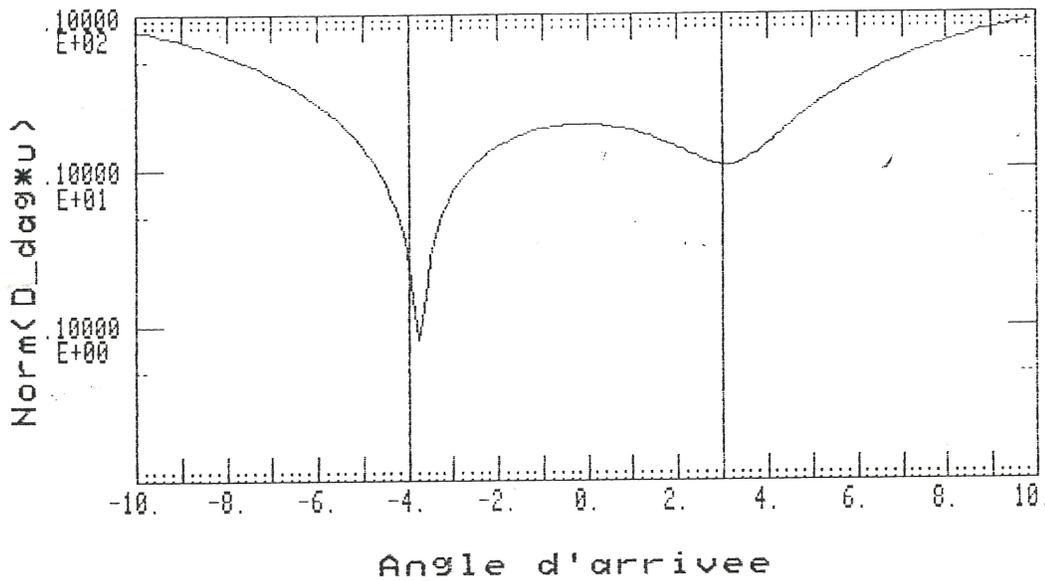
ANNEXE

SNR1 = 0.00 , SNR2 = 0.00

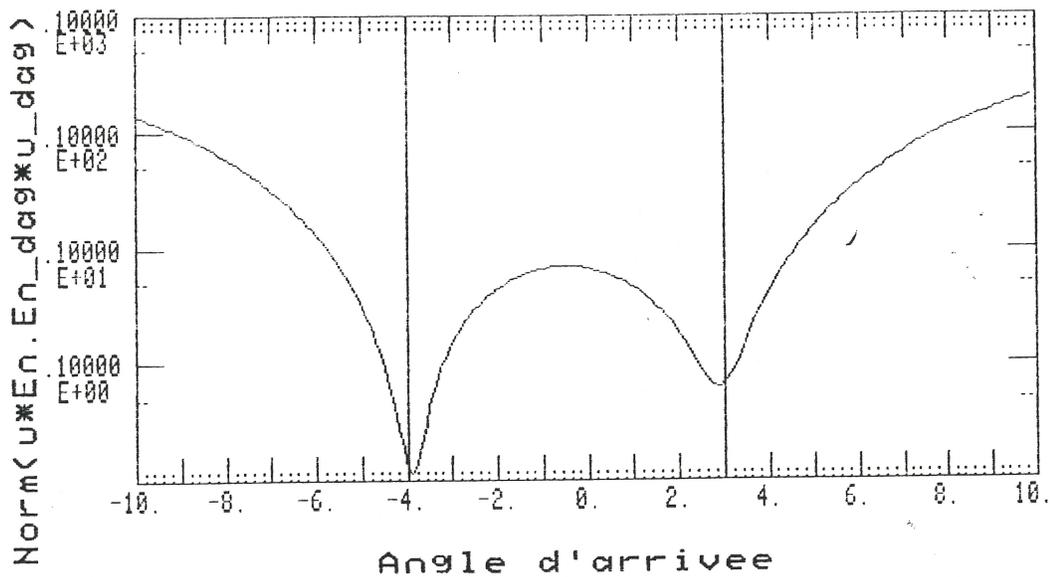


Propagateur

- Graphe 1 -
Localisation de deux sources

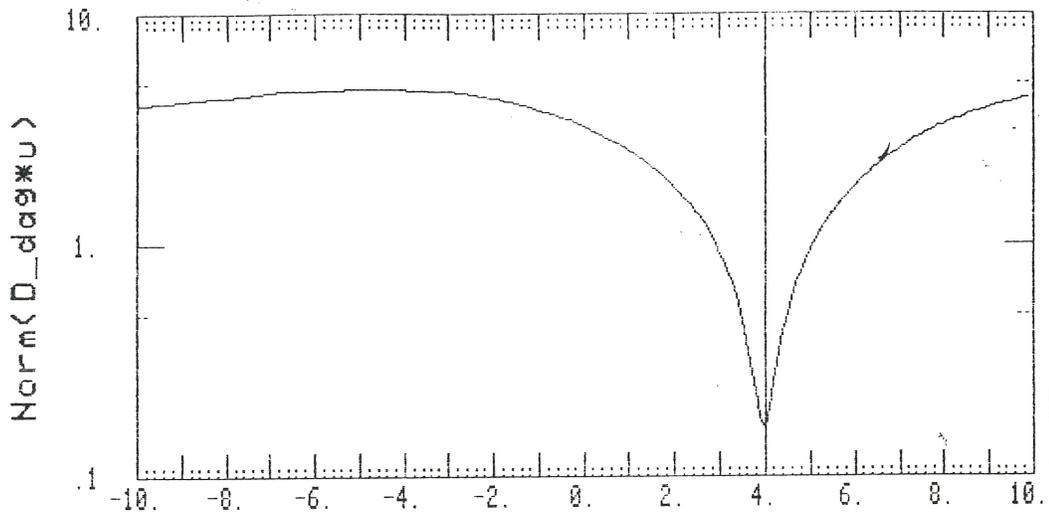


Propagateur sans bruit



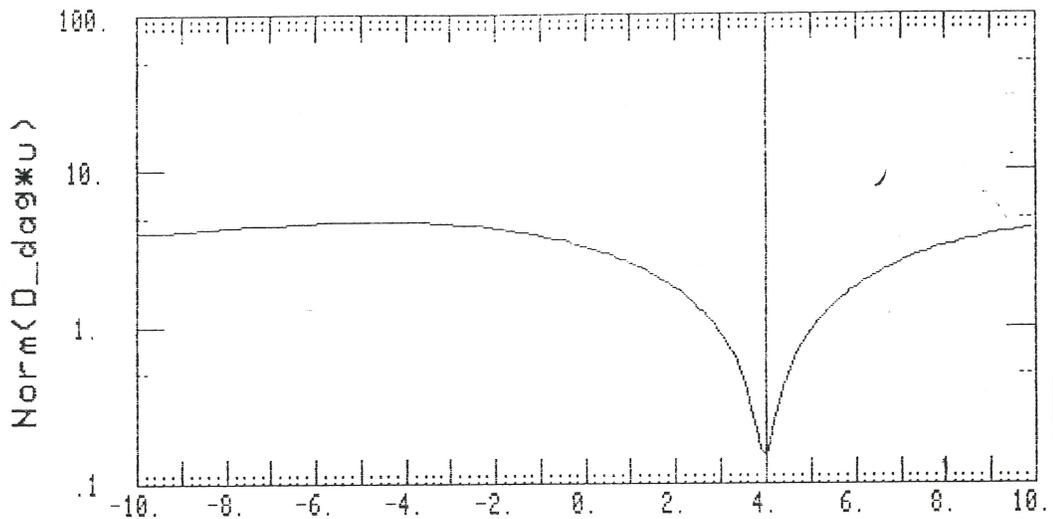
▲▲

- Graphe 2 -
localisation d'une source



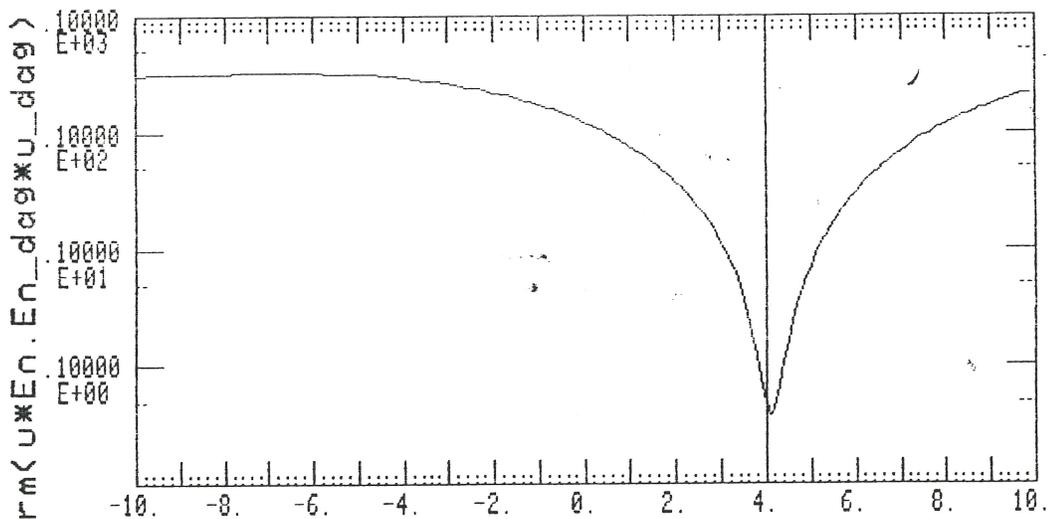
Angle d'arrivee

Propagateur



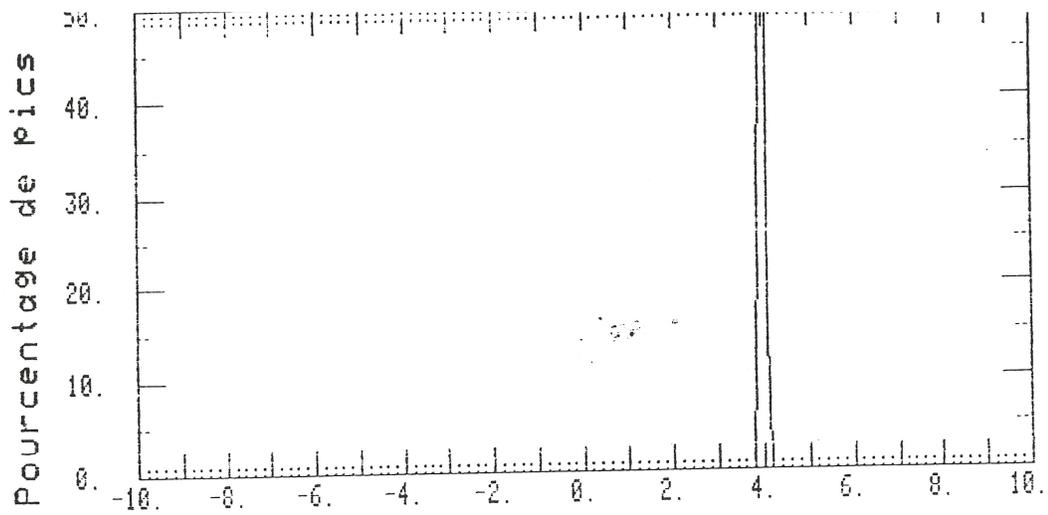
Angle d'arrivee

Propagateur sans bruit



Angle d'arrivee

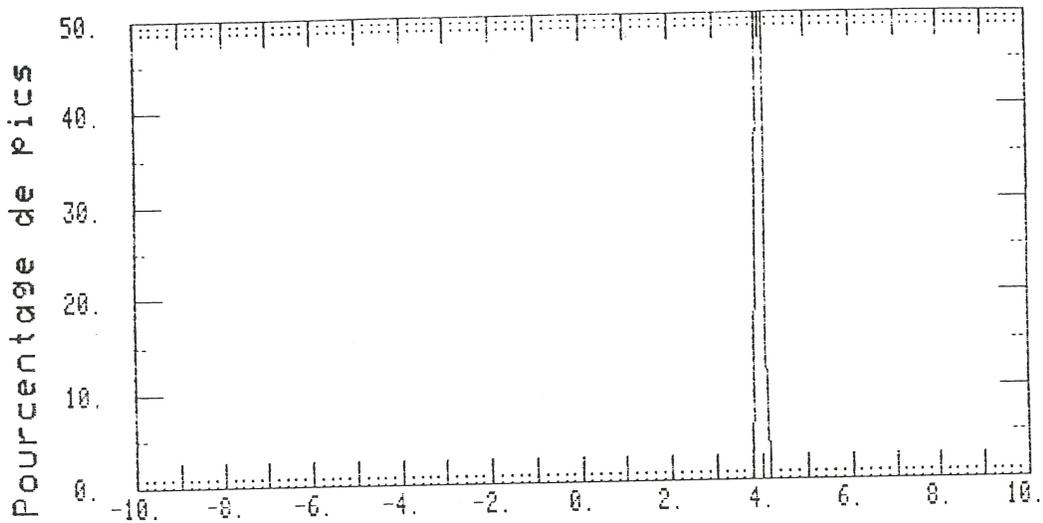
M...



Angle d'arrivee

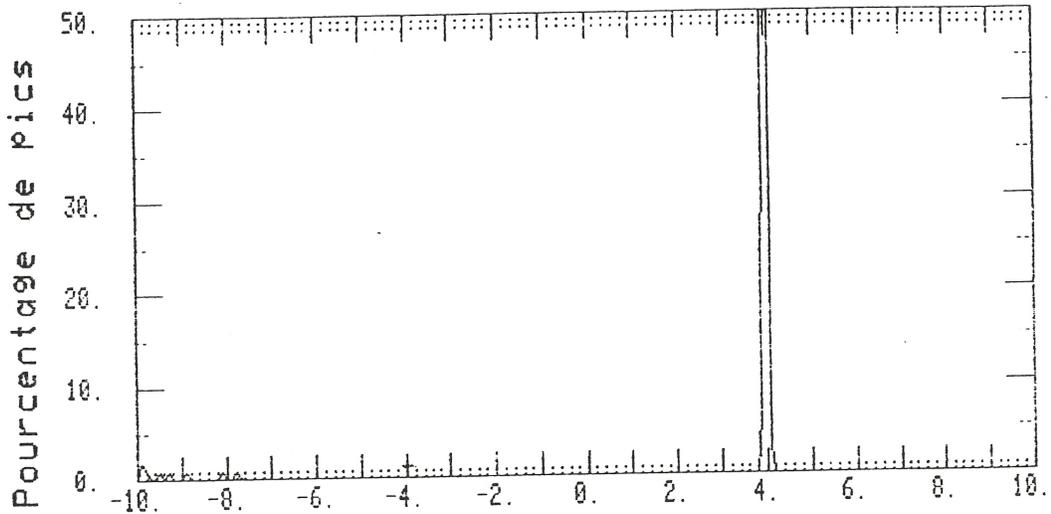
Propagateur

Graphe 3 -
Exemple N°3



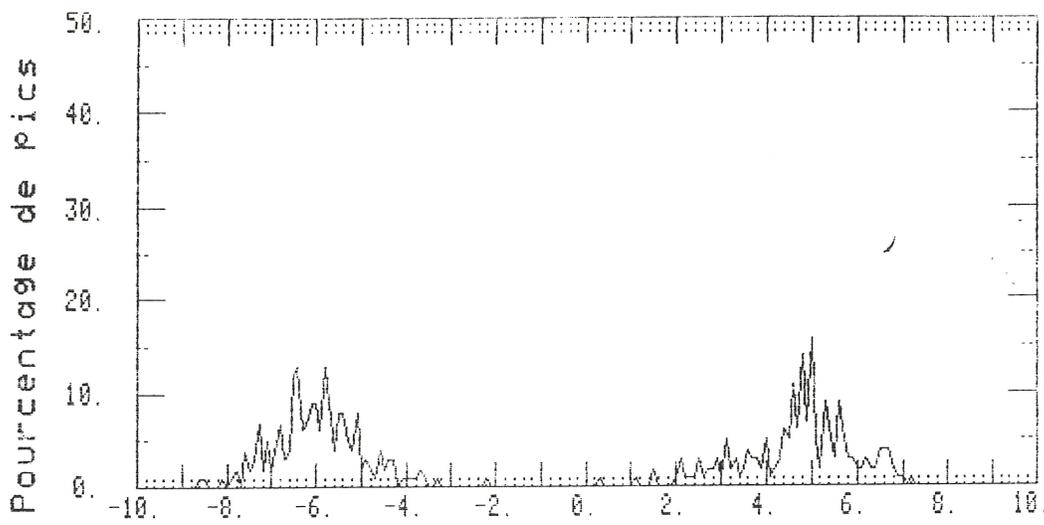
Angle d'arrivee

Propagateur sans bruit



Angle d'arrivee

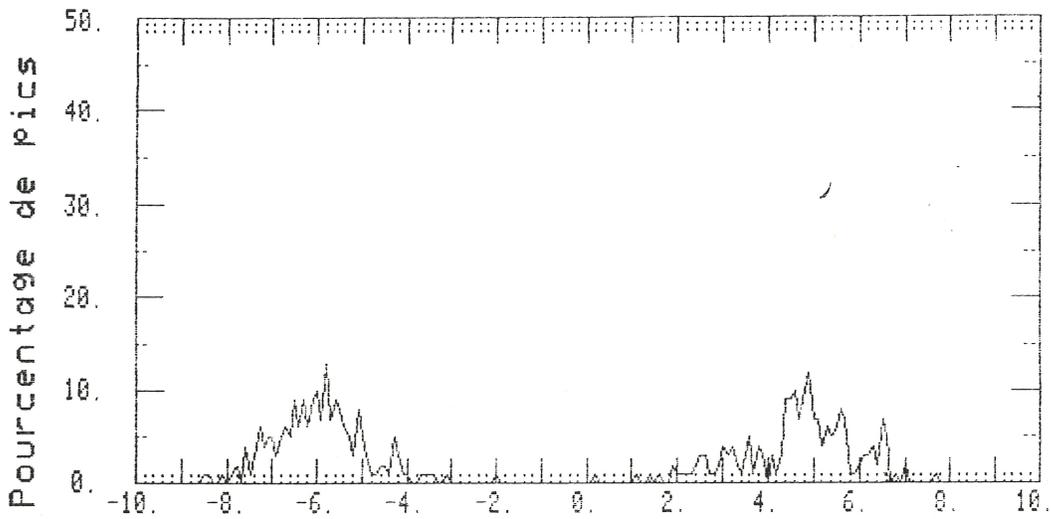
Musique



Angle d'arrivee

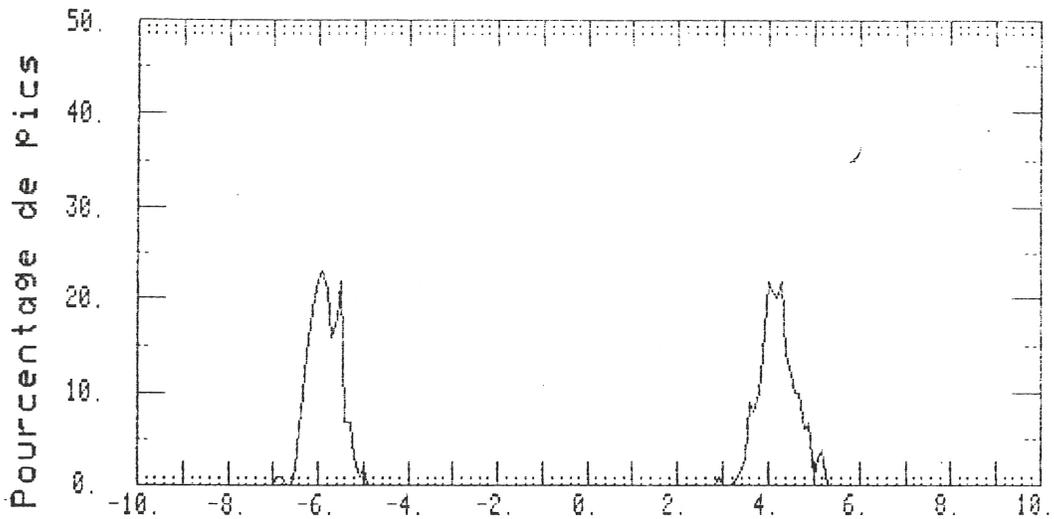
Propagateur

- Graphe H-
Exemple N°7



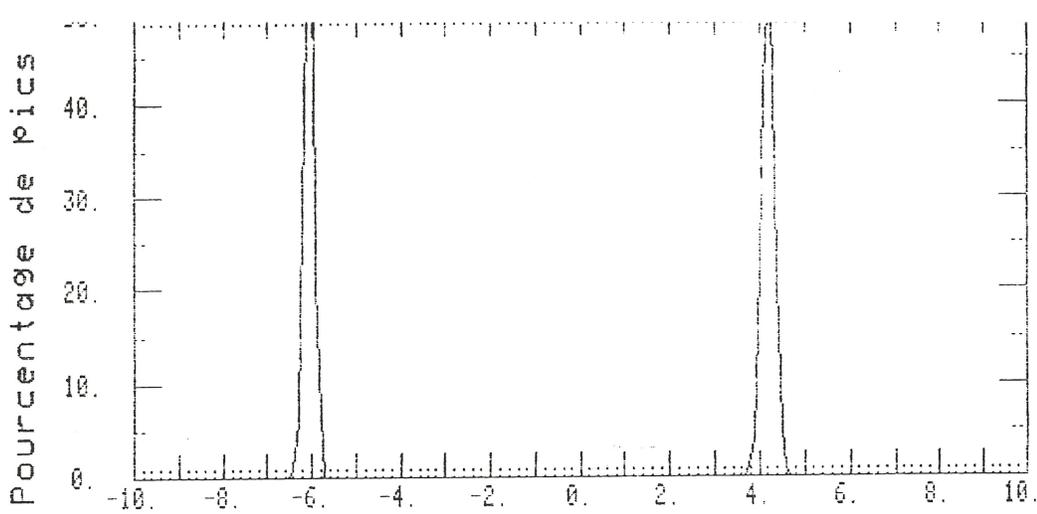
Angle d'arrivee

Propagateur sans bruit



Angle d'arrivee

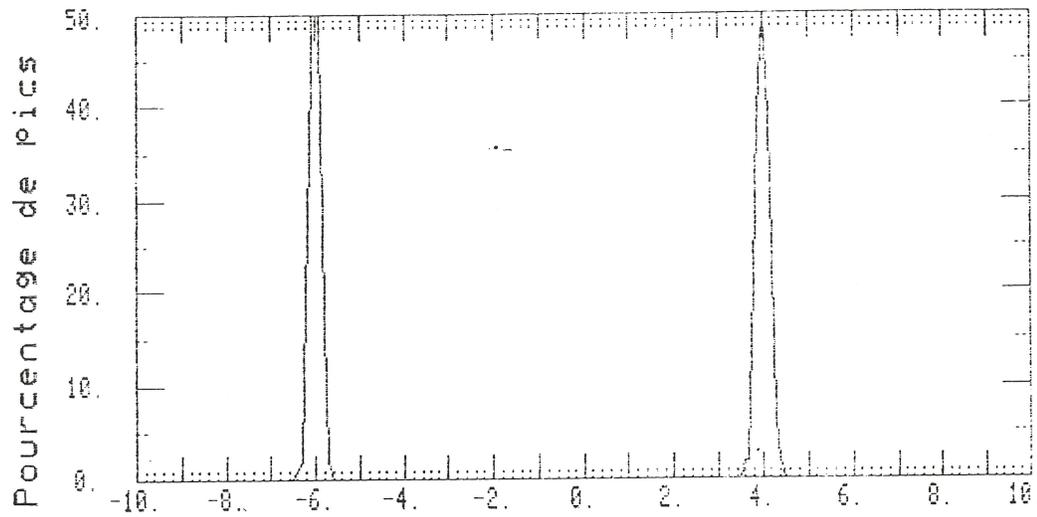
Musique



Angle d'arrivee

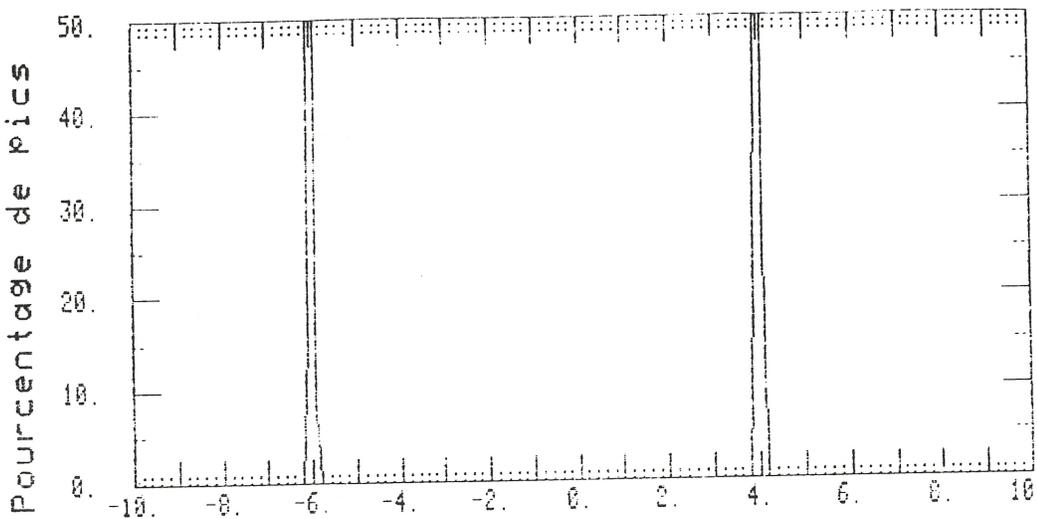
Propagateur

- Graphe 5 -
Exemple N°9



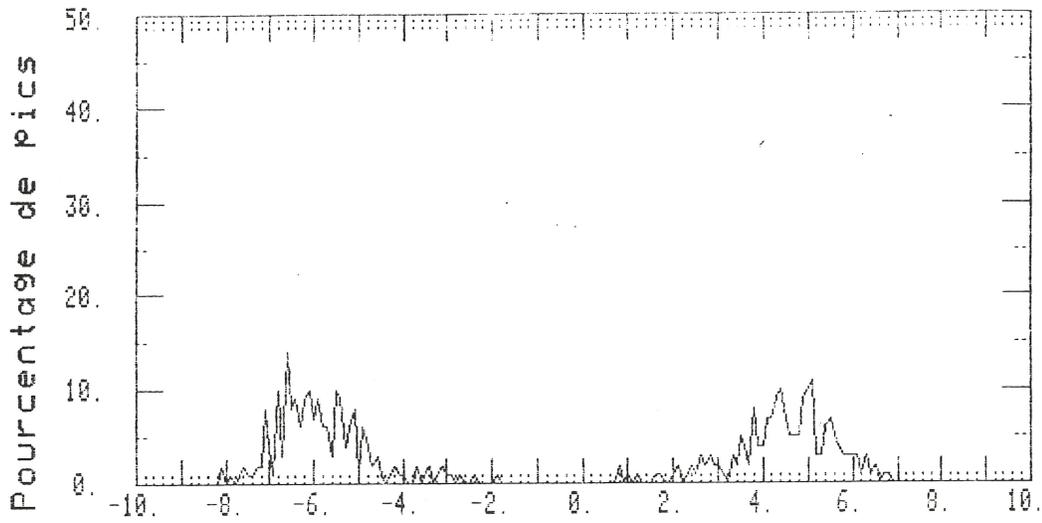
Angle d'arrivee

Propagateur sans pulse



Angle d'arrivee

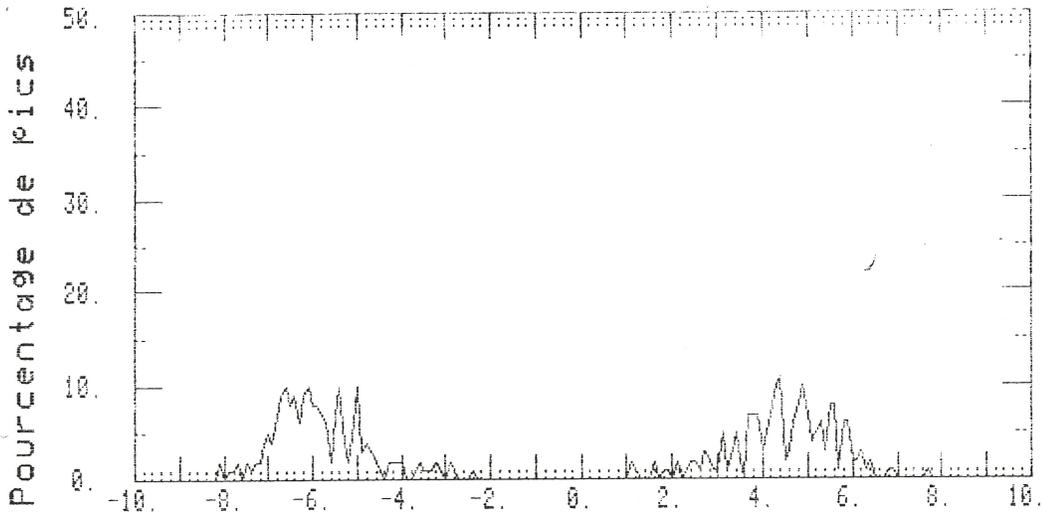
Musique



Angle d'arrivee

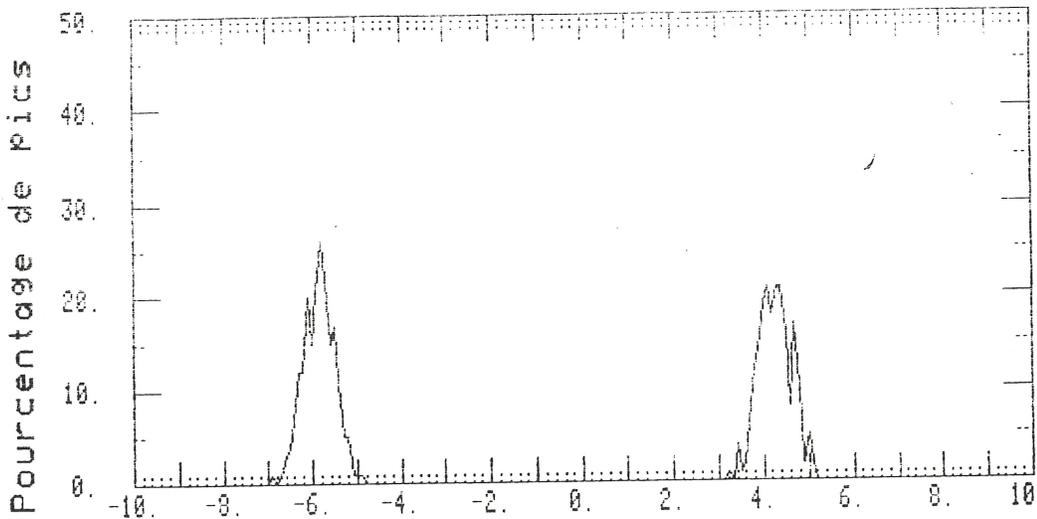
Propagateur

- Graphe 6 -
- Exemple N° 10 -



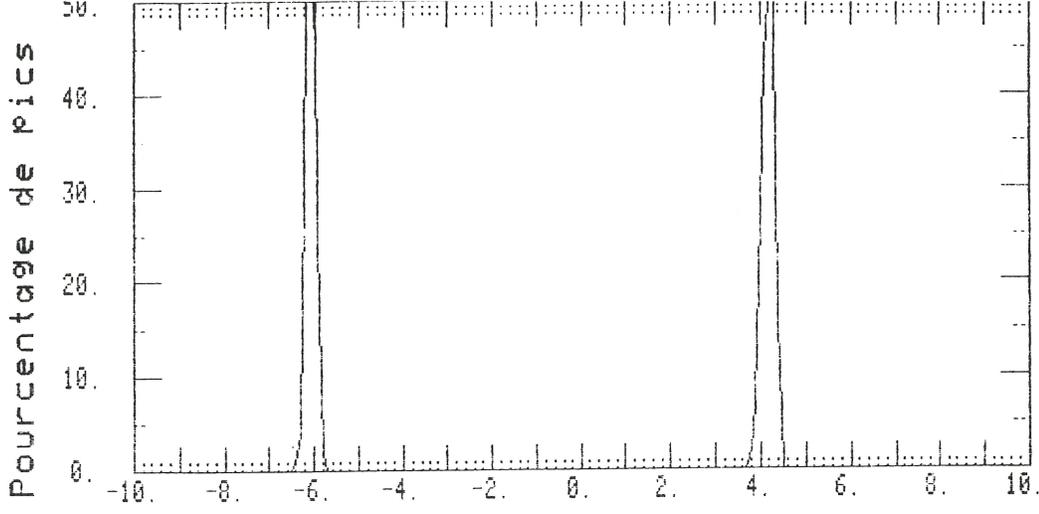
Angle d'arrivee

Propagateur sans bruit



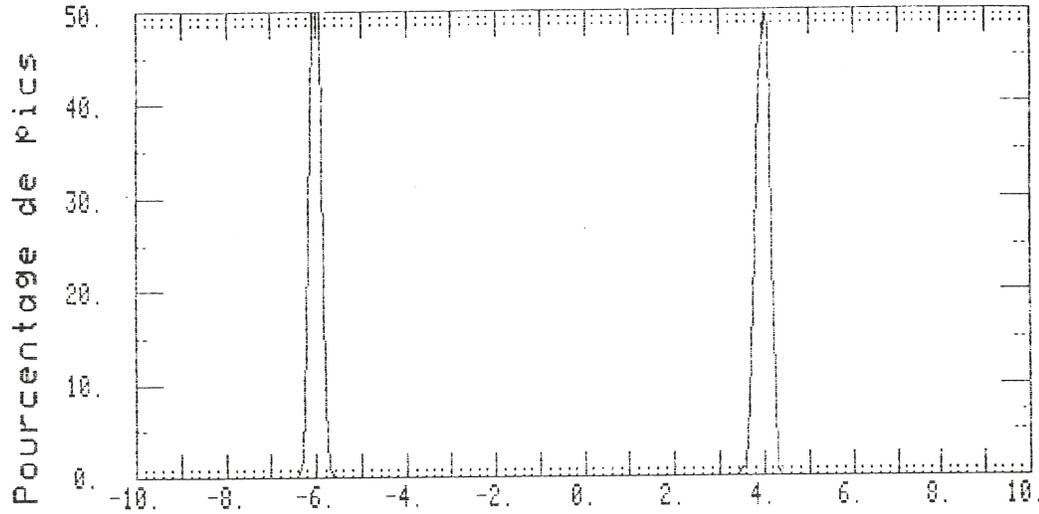
Angle d'arrivee

Lune

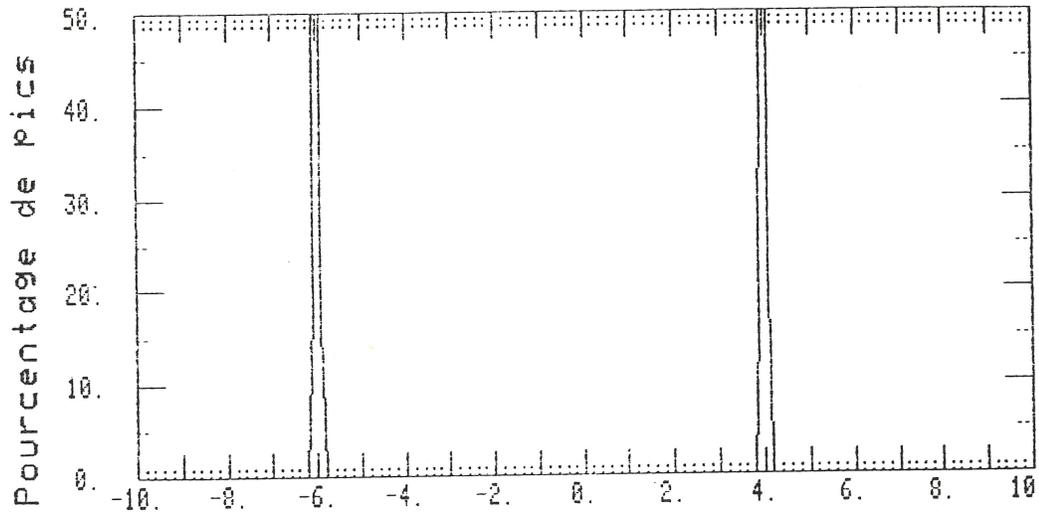


Angle d'arrivee
Propagateur

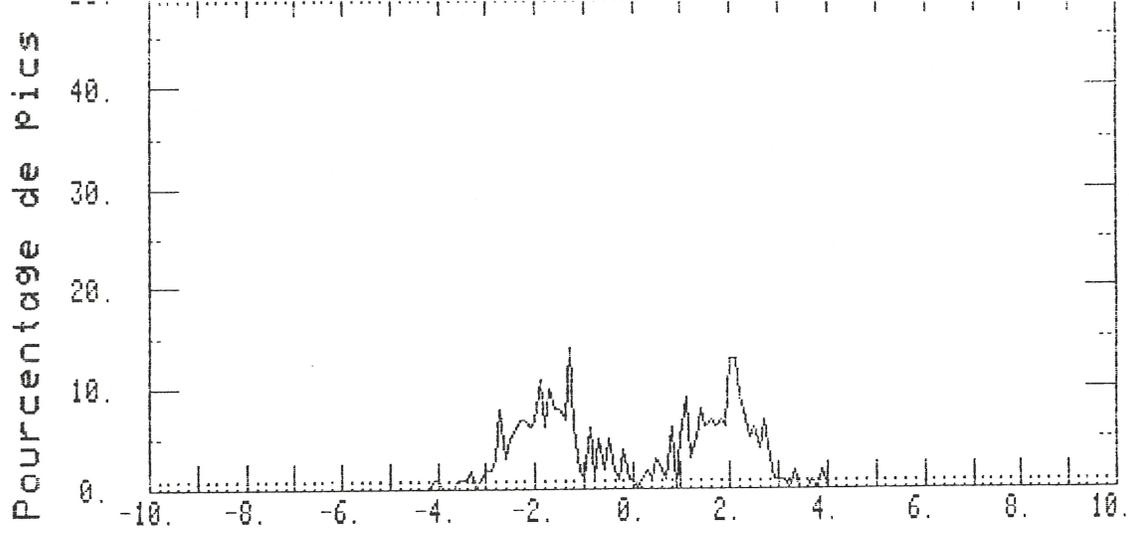
*- Graphe f -
 Exemple N° 12*



Angle d'arrivee
Propagateur sans bruit

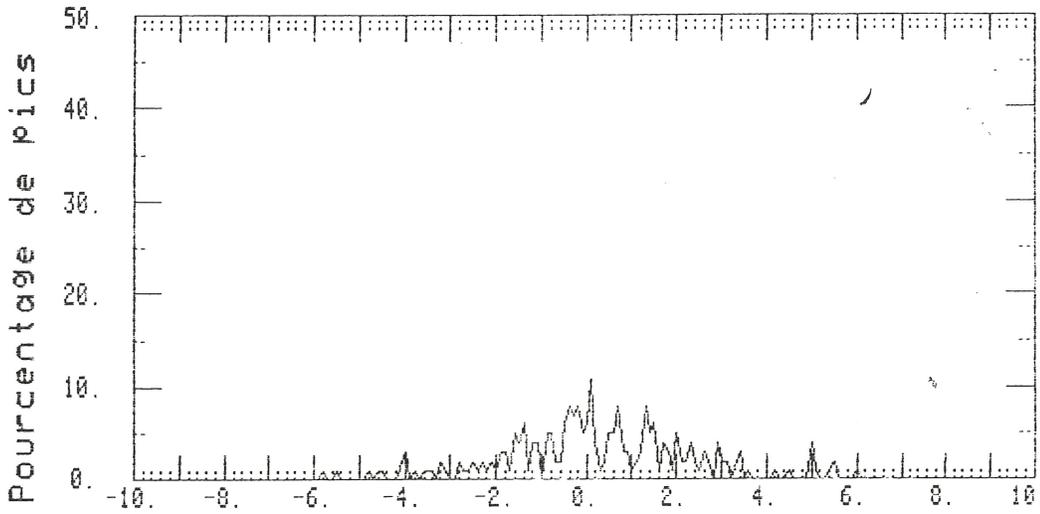


Angle d'arrivee
Musie

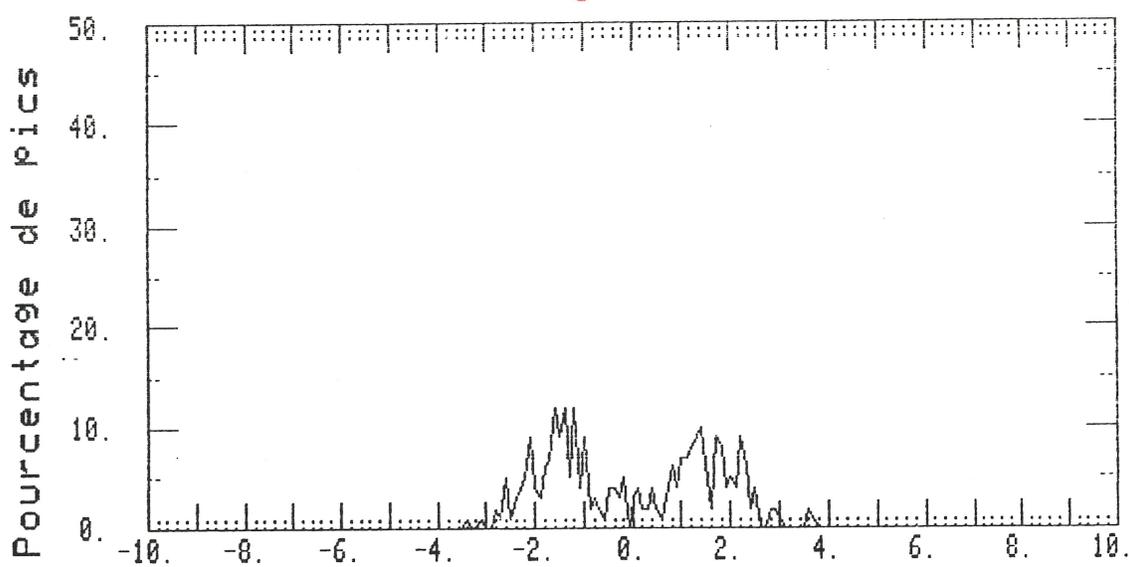


Angle d'arrivee
Propagateur

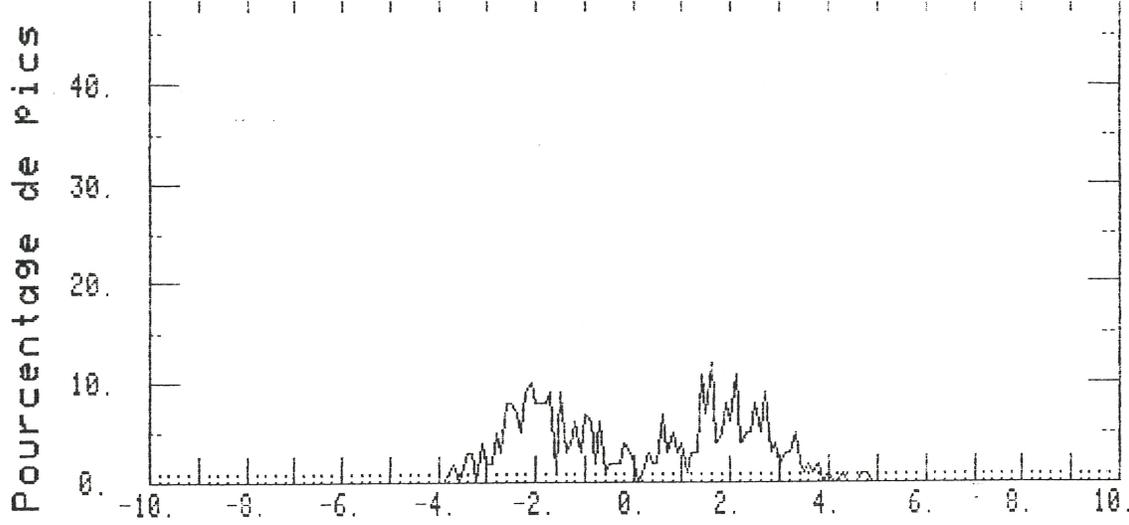
- Graph 8 -
Exemple N=15



Angle d'arrivee
Propagateur sans bruit

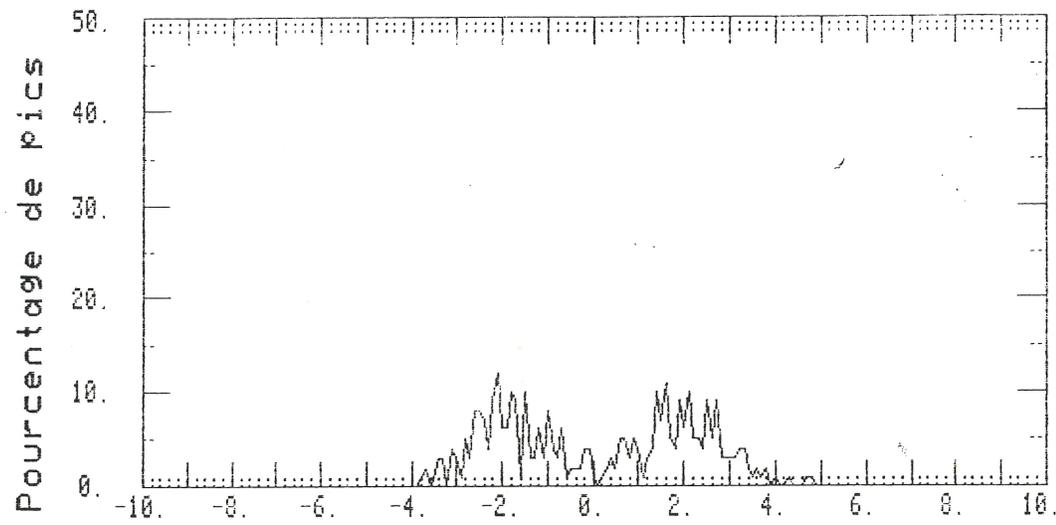


Angle d'arrivee
Musique

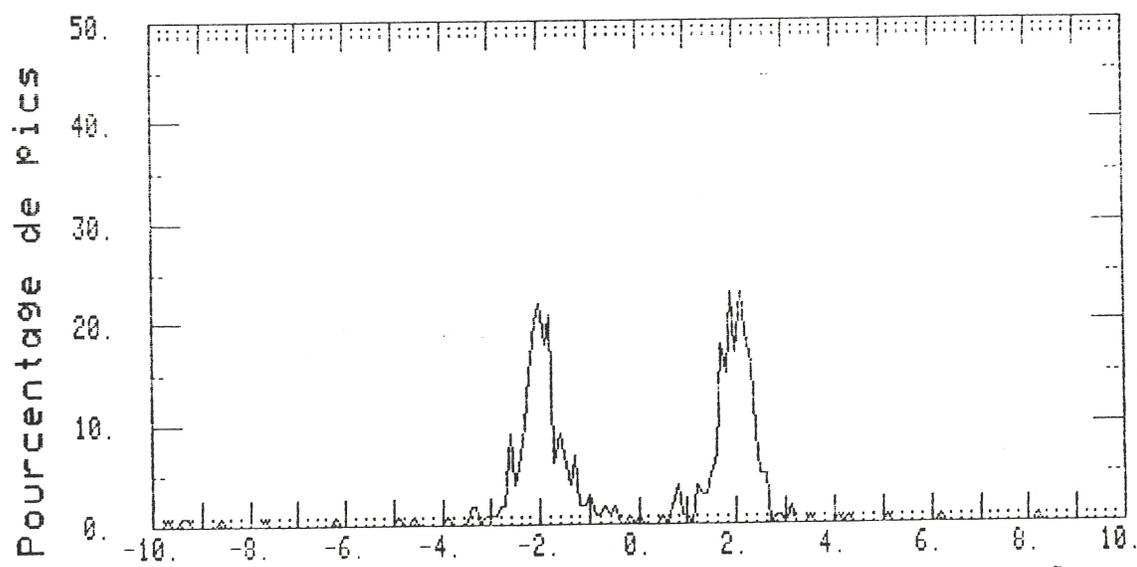


Angle d'arrivee
Propagateur

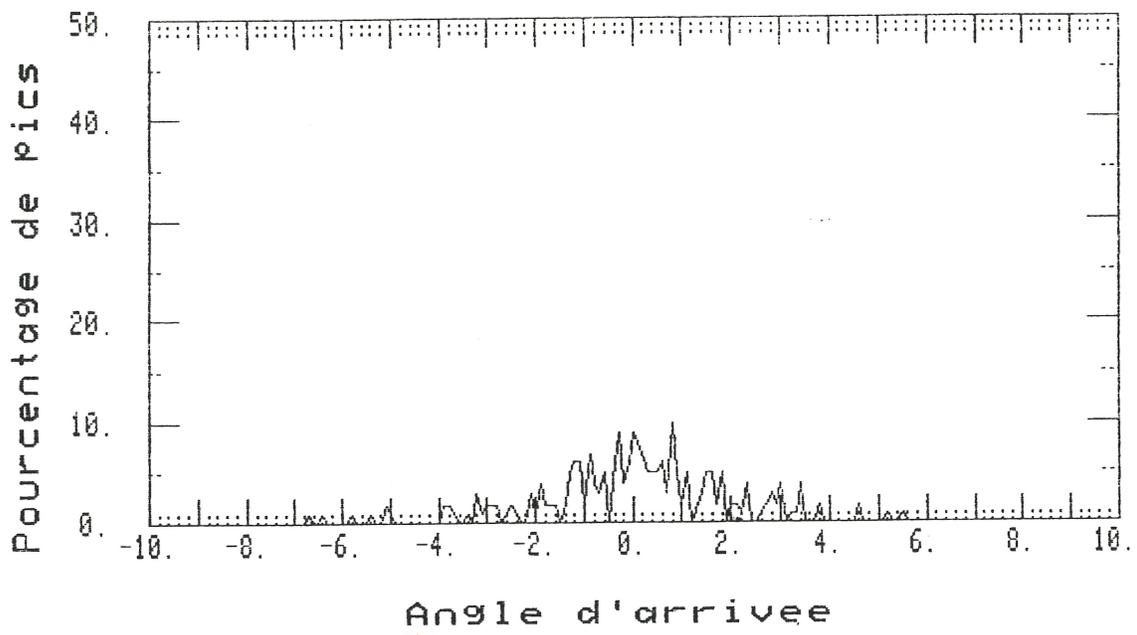
9 -
Graphique
Exemple N°16



Angle d'arrivee
Propagateur sans bruit

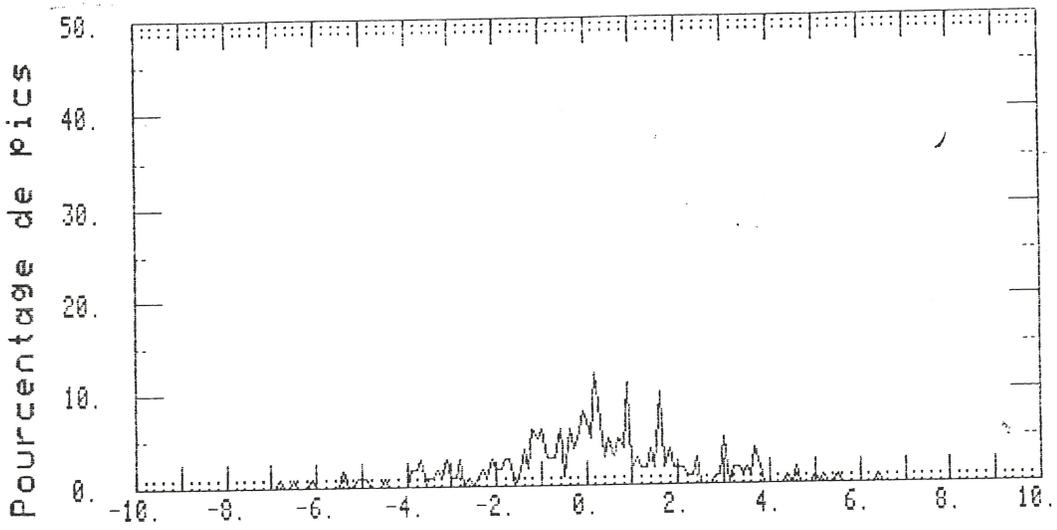


Angle d'arrivee
5

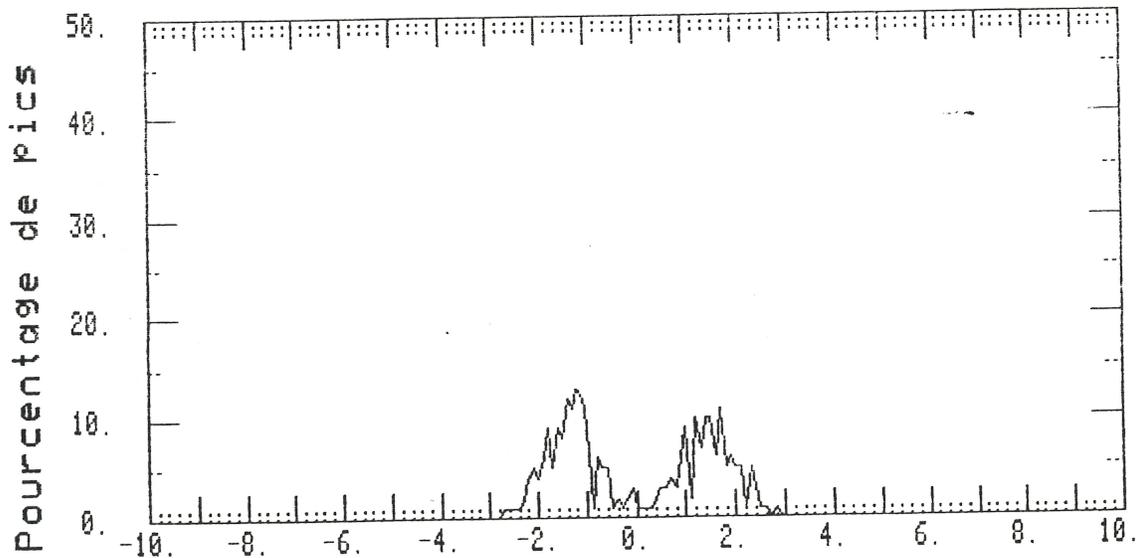


Propagateurs

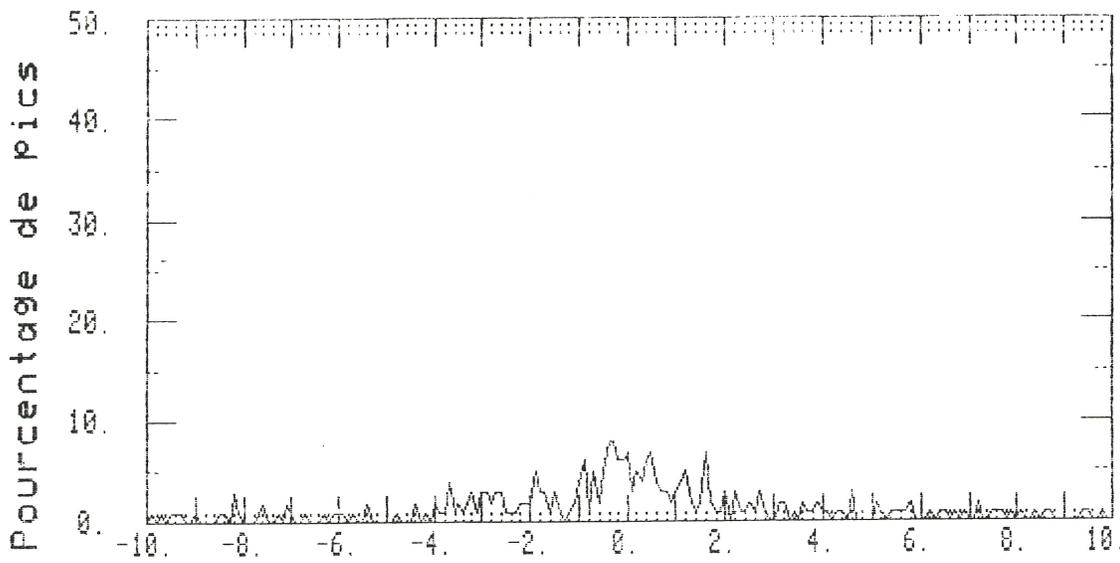
- Graphe 10-
Exemple N°18



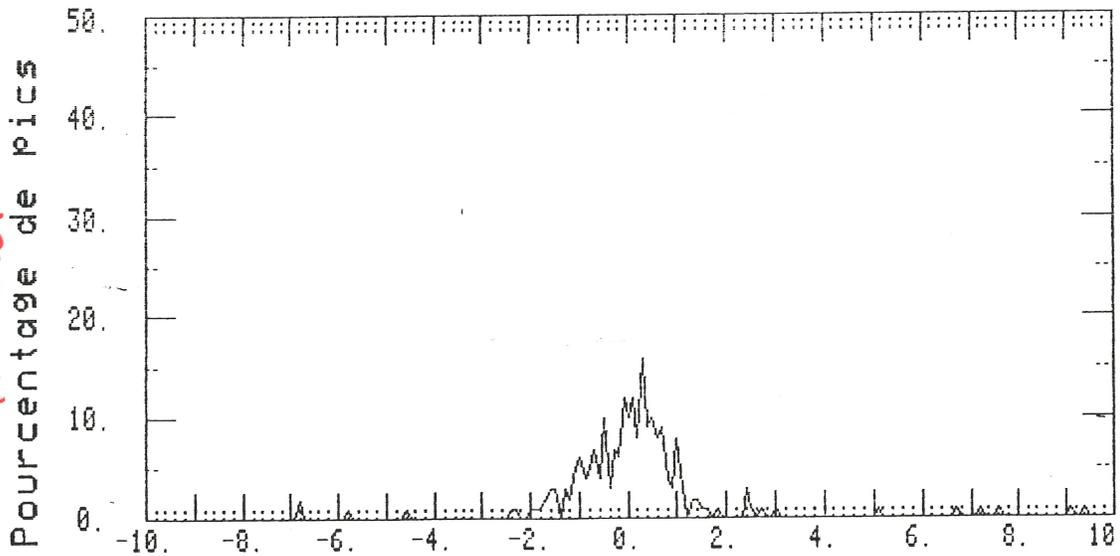
Propagateurs sans bruit



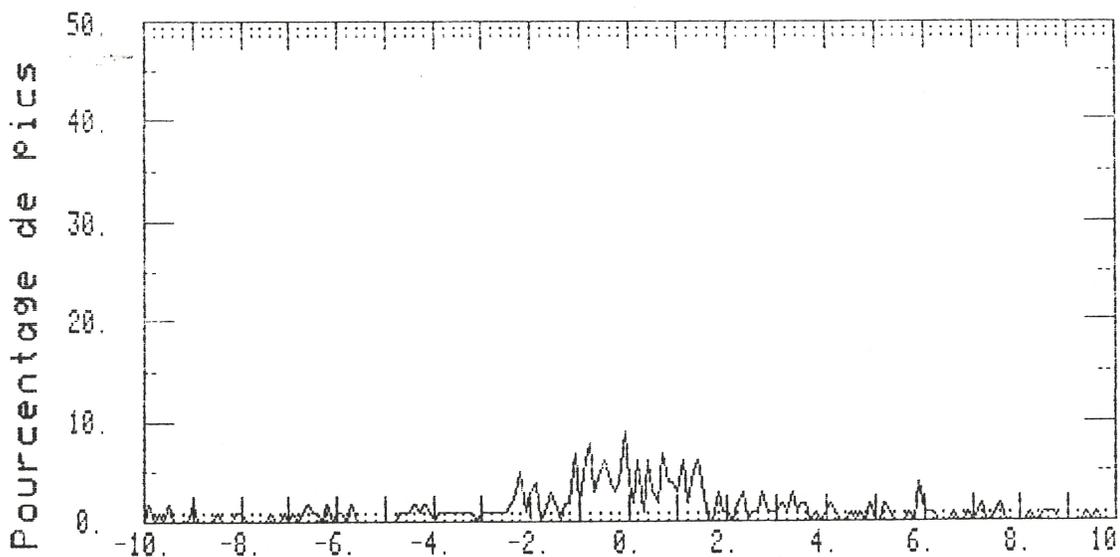
Musique



Angle d'arrivee
Propagateur



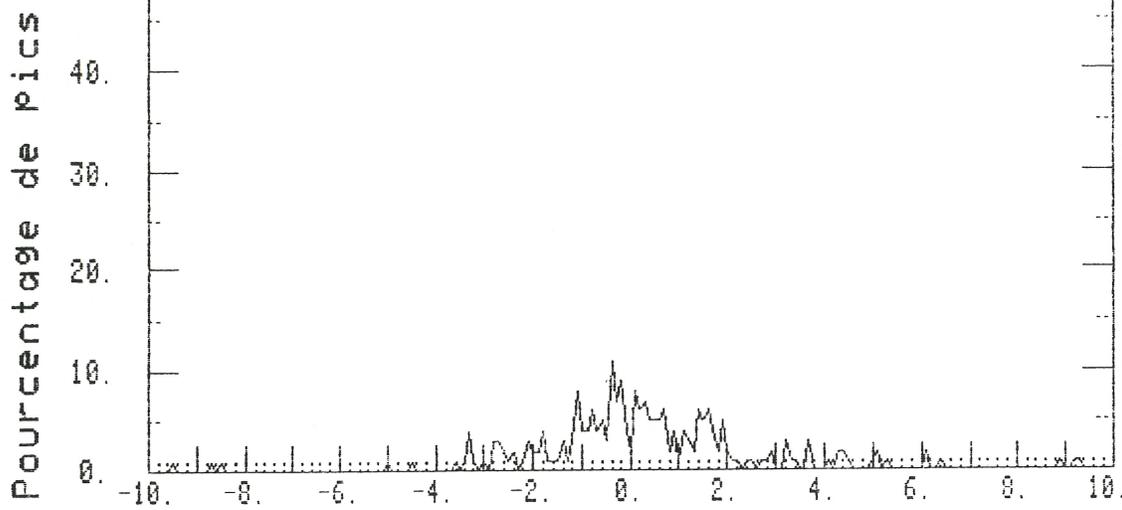
Angle d'arrivee
Propagateur sans bruit



Angle d'arrivee

- Graphe M -

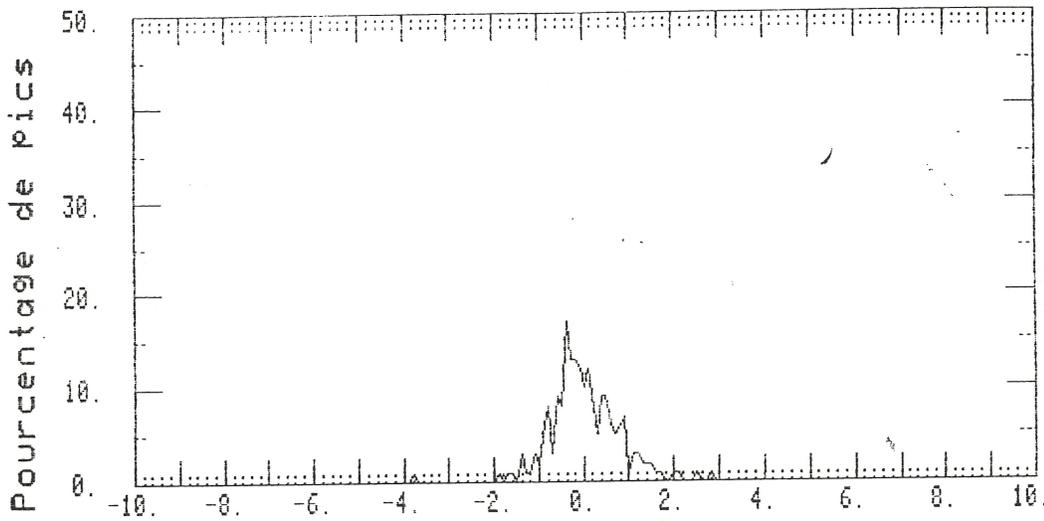
Exemple N° 21



Angle d'arrivee

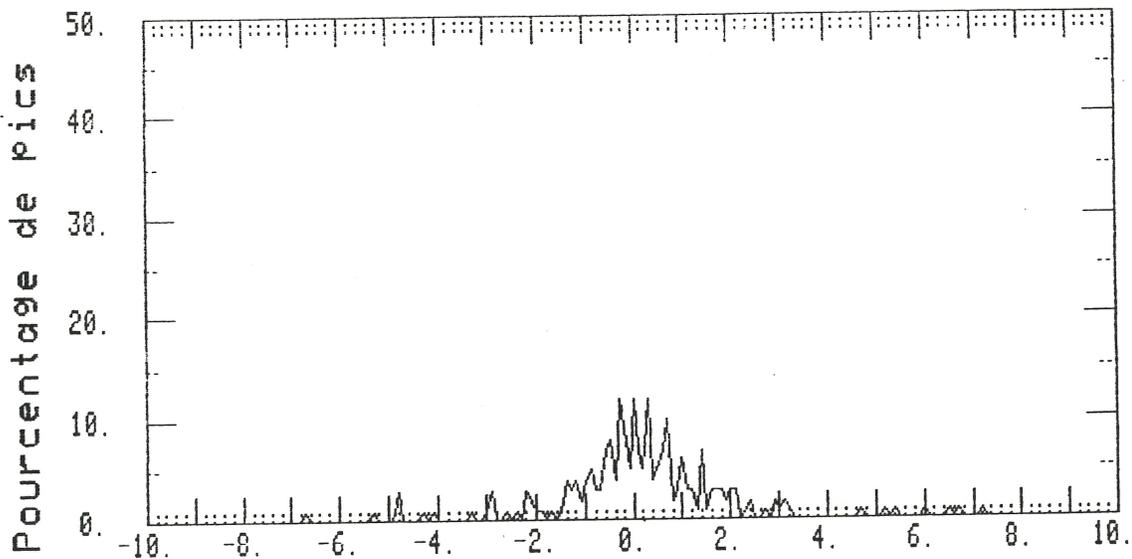
Propagateur

- Graphe 12-
Exemple $N=24$



Angle d'arrivee

Propagateur sans bruit



Angle d'arrivee

Il usin