

Diagonalisation conjointe de tenseurs d'ordre 3

Application à la séparation de signaux non-circulaires

Christophe DE LUIGI et Eric MOREAU

LSEET, UMR CNRS 6017, Université du Sud Toulon Var
 avenue G. Pompidou, BP56, 83162 La Valette du Var Cedex
 deluigi@univ-tln.fr, moreau@univ-tln.fr

Résumé – On considère la diagonalisation conjointe de tenseurs complexes d'ordre trois symétriques. Nous proposons un algorithme de type Jacobi pour la réaliser et la solution optimale dans le cas 2×2 est donnée. Nous illustrons le lien entre cette décomposition conjointe et la séparation de sources non circulaires par l'intermédiaire d'une fonction de contraste. Des simulations illustrent l'approche proposée.

Abstract – We consider the joint diagonalization problem of complex symmetric third order tensors. A Jacobi like algorithm is presented where the optimal solution in the 2×2 case is derived. In case of the source separation problem of non circular signals, a link between the decomposition and a given contrast function is enlightened. Computer simulations illustrate the proposed approach.

1 Introduction

Dans le domaine de la séparation de sources, l'utilisation de statistiques d'ordre supérieur à deux par l'intermédiaire de cumulants est devenue relativement classique. La propriété de multi-linéarité des cumulants fait qu'on les qualifie souvent de tenseurs. L'ordre du tenseur peut alors être directement l'ordre des cumulants considérés. Lorsque que les signaux sources sont supposés statistiquement indépendants, le tenseur cumulant associé à ces signaux est diagonal. Cette propriété étant perdue par l'action du mélange, la restauration de celle ci permettra d'estimer le mélange. On parle alors de diagonalisation de tenseur. L'approche peut-être la plus connue de ce type a été proposée dans [2] où, pour un mélange instantané et après blanchiment des observations, la matrice de mélange alors unitaire est estimée par un algorithme de type Jacobi.

Dans le même cadre, il a aussi été montré que l'utilisation de tranches de tenseur cumulant pouvait être particulièrement intéressante. Ces tranches d'ordre inférieur au tenseur initial peuvent être utilisées conjointement pour estimer la matrice de mélange. On parle alors de diagonalisation conjointe de tenseurs dont l'ordre correspond à celui des tranches. Lorsque qu'il s'agit de matrice, cela a été proposée dans [1] pour un tenseur cumulant initial d'ordre 4 et lorsqu'il s'agit de tenseur d'ordre 3, cela a été proposée dans [3] pour un tenseur cumulant initial d'ordre 3 ou 4. La généralisation de ces approches pour des tenseurs cumulant initiaux d'ordre quelconque (supérieur ou égal à 3) a été proposé dans [4] où il a aussi été montré que l'on pouvait très simplement considérer des tranches tensorielles d'ordre fixe de cumulants d'ordre différent.

Dans le cas de signaux complexes, les cumulants ne sont pas définis de manière unique. Pour un ordre donné, ils dépendent du nombre relatif de conjugaison complexe consi-

déré. Le choix du nombre précédent implique le type de décomposition des tenseurs. Pour les matrices, il y a en fait deux types de décomposition. La décomposition matricielle classique a été considérée dans [1], tandis que la seconde a été considérée dans [5]. Pour les tenseurs d'ordre 3, il y a encore deux types de décomposition. Une première décomposition a été considérée dans [3] tandis que la seconde ne semble pas avoir été considérée jusqu'à maintenant.

L'objectif de cette communication est double. Le premier concerne l'étude de la deuxième décomposition pour des tenseurs d'ordre 3 dans le cadre des algorithmes de type Jacobi. Le second objectif concerne l'étude de la prise en compte de l'ensemble des statistiques disponibles pour la séparation de sources non-circulaires de type télécommunications numériques, [6] [7] [8].

2 Formulation du problème

Dans la suite on ne va considérer que des tenseurs d'ordre 3 carrés de dimension (N, N, N) avec $N \in \mathbb{N}^* \setminus \{1\}$. On considère un ensemble \mathcal{T} de $N_t \in \mathbb{N}^*$ tenseurs complexes d'ordre 3 $\mathbf{T}(\ell)$, $\ell \in \{1, \dots, N_t\} \equiv \mathcal{I}_{N_t}$, admettant tous la décomposition suivante : il existe une matrice (N, N) unitaire \mathbf{V} et N_t tenseurs (N, N, N) d'ordre 3 diagonaux $\mathbf{\Lambda}(\ell)$, $\ell \in \mathcal{I}_{N_t}$, tels que

$$T_{i,j,k}(\ell) = \sum_{a,b,c=1}^N V_{a,i}^* V_{b,j}^* V_{c,k}^* \Lambda_{a,b,c}(\ell), \quad \forall \ell \in \mathcal{I}_{N_t} \quad (1)$$

où $(\cdot)^*$ est l'opérateur de conjugaison complexe. Pour des raisons de simplicité, on réécrit la relation (1) sous la forme compacte

$$\mathbf{T}(\ell) = \mathbf{\Lambda}(\ell) \times_3 \mathbf{V}^H, \quad \forall \ell \in \mathcal{I}_{N_t} \quad (2)$$

où $(\cdot)^H$ est l'opérateur de transposition conjugaison complexe des matrices.

Étant donné les tenseurs $\mathbf{T}(\ell)$, $\ell \in \mathcal{I}_{N_t}$, (typiquement à partir de l'estimation de grands statistiques comme les cumulants) le problème principal consiste en l'estimation de la matrice unitaire \mathbf{U} . Pour cela il est classique d'introduire le critère quadratique d'ajustement de modèle suivant

$$\mathcal{C}_{\mathcal{T}}(\mathbf{U}, \{\mathbf{D}\}) = \sum_{\ell=1}^{N_t} \|\mathbf{T}(\ell) - \mathbf{D}(\ell) \times_3 \mathbf{U}^H\|^2 \quad (3)$$

où $\|\cdot\|^2$ correspond à la norme Euclidienne du tenseur considéré, *i.e.* $\|\mathbf{T}\|^2 = \sum_{l_1, l_2, l_3=1}^N |T_{l_1, l_2, l_3}|^2$. Pour des raisons de simplicité, dans la définition précédente (3), $\{\mathbf{D}\}$ correspond à l'ensemble des tenseurs diagonaux de la décomposition. Il s'agit donc maintenant de résoudre le problème de minimisation suivant

$$\min_{\mathbf{U}, \{\mathbf{D}\}} \mathcal{C}_{\mathcal{T}}(\mathbf{U}, \{\mathbf{D}\}) . \quad (4)$$

A cette fin, $\mathcal{C}_{\mathcal{T}}(\mathbf{U}, \{\mathbf{D}\})$ peut être d'abord minimisé par rapport aux tenseurs diagonaux $\mathbf{D}(\ell)$, $\ell \in \mathcal{I}_{N_t}$, tout en fixant la matrice unitaire \mathbf{U} . Pour cela, on prendra en compte les deux résultats suivants dont la preuve, relativement simple, est omise. Étant donné un tenseur \mathbf{T} , si \mathbf{U} est une matrice unitaire alors on a

$$\|\mathbf{T} \times_3 \mathbf{U}\|^2 = \|\mathbf{T}\|^2 \quad (5)$$

$$(\mathbf{T} \times_3 \mathbf{U}^H) \times_3 \mathbf{U} = \mathbf{T} . \quad (6)$$

En utilisant la propriété (5), $\mathcal{C}_{\mathcal{T}}(\mathbf{U}, \{\mathbf{D}\})$ peut être réécrit comme

$$\mathcal{C}_{\mathcal{T}}(\mathbf{U}, \{\mathbf{D}\}) = \sum_{\ell=1}^{N_t} \|\mathbf{T}(\ell) \times_3 \mathbf{U} - (\mathbf{D}(\ell) \times_3 \mathbf{U}^H) \times_3 \mathbf{U}\|^2 \quad (7)$$

et en utilisant maintenant la propriété (6), on obtient

$$\mathcal{C}_{\mathcal{T}}(\mathbf{U}, \{\mathbf{D}\}) = \sum_{\ell=1}^{N_t} \|\mathbf{T}(\ell) \times_3 \mathbf{U} - \mathbf{D}(\ell)\|^2 . \quad (8)$$

Ainsi la minimisation de $\mathcal{C}_{\mathcal{T}}(\mathbf{U}, \{\mathbf{D}\})$ par rapport aux tenseurs diagonaux $\mathbf{D}(\ell)$, $\ell \in \mathcal{I}_{N_t}$, est équivalente à la minimisation de chacun des termes de la somme. Donc, pour une valeur donnée de ℓ et pour une matrice unitaire fixée \mathbf{U} , la valeur optimale de $\mathbf{D}(\ell)$ notée $\widehat{\mathbf{D}}(\ell)$ minimisant $\mathcal{C}_{\mathcal{T}}(\mathbf{U}, \{\mathbf{D}\})$ vaut directement

$$\widehat{\mathbf{D}}(\ell) = \text{Tdiag}(\mathbf{T}(\ell) \times_3 \mathbf{U}) \quad (9)$$

où $\text{Tdiag}(\mathbf{T})$ est le tenseur diagonal de diagonal égale à celle de \mathbf{T} , *i.e.* on a

$$(\text{Tdiag}(\mathbf{T}))_{l_1, l_2, l_3} = T_{l_1, l_2, l_3} \delta_{l_1, l_2, l_3} .$$

Maintenant en remplaçant $\mathbf{D}(\ell)$ par $\widehat{\mathbf{D}}(\ell)$ dans (8), on a

$$\mathcal{C}_{\mathcal{T}}(\mathbf{U}, \{\widehat{\mathbf{D}}\}) = \sum_{\ell=1}^{N_t} \|\mathbf{T}(\ell) \times_3 \mathbf{U} - \text{Tdiag}(\mathbf{T}(\ell) \times_3 \mathbf{U})\|^2 \quad (10)$$

et ainsi

$$\begin{aligned} \mathcal{C}_{\mathcal{T}}(\mathbf{U}, \{\widehat{\mathbf{D}}\}) &= \sum_{\ell=1}^{N_t} \|\mathbf{T}(\ell) \times_3 \mathbf{U}\|^2 - \sum_{\ell=1}^{N_t} \|\text{Tdiag}(\mathbf{T}(\ell) \times_3 \mathbf{U})\|^2 \\ &= \sum_{\ell=1}^{N_t} \|\mathbf{T}(\ell)\|^2 - \sum_{\ell=1}^{N_t} \|\text{Tdiag}(\mathbf{T}(\ell) \times_3 \mathbf{U})\|^2 . \end{aligned} \quad (11)$$

Donc, comme $\sum_{\ell=1}^{N_t} \|\mathbf{T}(\ell)\|^2$ est un terme constant, la minimisation de $\mathcal{C}_{\mathcal{T}}(\mathbf{U}, \{\widehat{\mathbf{D}}\})$ par rapport à \mathbf{U} est équivalente à la maximisation de

$$\mathcal{C}_{\mathcal{T}}(\mathbf{U}) = \sum_{\ell=1}^{N_t} \|\text{Tdiag}(\mathbf{T}(\ell) \times_3 \mathbf{U})\|^2 . \quad (12)$$

Finalement, le problème initial consiste maintenant en la recherche d'une matrice $\widehat{\mathbf{U}}$ satisfaisant

$$\widehat{\mathbf{U}} = \arg \max_{\mathbf{U}} \mathcal{C}_{\mathcal{T}}(\mathbf{U}) . \quad (13)$$

3 Algorithmes de type Jacobi

Nous considérons maintenant l'optimisation du critère précédent par un algorithme de type Jacobi. On décompose ainsi la matrice unitaire recherchée en un produit de rotations planes. Le but revient alors à la détermination de chacune de ces rotations. Dans ce cadre, on montre alors que l'on peut simplement considérer le cas $N = 2$ [2]. Dans ce cas, la matrice unitaire \mathbf{U} peut être paramétrée par

$$\mathbf{U} = \begin{pmatrix} \cos(\alpha) & -\sin(\alpha) \exp(j\phi) \\ \sin(\alpha) \exp(-j\phi) & \cos(\alpha) \end{pmatrix} \quad (14)$$

où α et ϕ sont deux angles. Nous avons alors le résultat suivant :

Proposition 1 *Le critère dans (12) peut s'écrire sous la forme*

$$\mathcal{C}_{\mathcal{T}}(\mathbf{U}) = \mathbf{u}^T \mathbf{B}_1 \mathbf{u} \quad (15)$$

avec

$$\mathbf{u} = (\cos(2\alpha) \quad \sin(2\alpha) \sin(\phi) \quad \sin(2\alpha) \cos(\phi))^T \quad (16)$$

et \mathbf{B}_1 est un matrice dont l'expression est donnée en fin de démonstration.

Démonstration. Nous pouvons écrire, avec la propriété de symétrie du tenseur $\mathbf{T}(\ell)$ soit $\mathbf{T}_{ppk}(\ell) = \mathbf{T}_{pkp}(\ell) = \mathbf{T}_{kpp}(\ell)$, les 2 éléments de la diagonale d'un tenseur $(2 \times 2 \times 2)$ $\mathbf{D}(\ell)$

$$\mathbf{D}_{111}(\ell) = \mathbf{T}_{111}(\ell) \cos^3(\alpha) - 3\mathbf{T}_{112}(\ell) \sin(\alpha) \cos^2(\alpha) e^{j\phi} \dots + 3\mathbf{T}_{122}(\ell) \sin^2(\alpha) \cos(\alpha) e^{j2\phi} - \mathbf{T}_{222}(\ell) \sin^3(\alpha) e^{j3\phi}$$

$$\mathbf{D}_{222}(\ell) = \mathbf{T}_{111}(\ell) \sin^3(\alpha) e^{-j3\phi} + 3\mathbf{T}_{112}(\ell) \cos(\alpha) \sin^2(\alpha) \dots e^{-2j\phi} + 3\mathbf{T}_{122}(\ell) \cos^2(\alpha) \sin(\alpha) e^{-j\phi} + \mathbf{T}_{222}(\ell) \cos^3(\alpha) . \quad (17)$$

Nous obtenons alors la norme des éléments diagonaux de ce tenseur

$$\begin{aligned}
& |\mathbf{D}_{111}(\ell)|^2 + |\mathbf{D}_{222}(\ell)|^2 \\
&= (|\mathbf{T}_{111}(\ell)|^2 + |\mathbf{T}_{222}(\ell)|^2) (\cos^6(\alpha) + \sin^6(\alpha)) \\
&+ 2.25 (|\mathbf{T}_{112}(\ell)|^2 + |\mathbf{T}_{222}(\ell)|^2) \sin^2(\alpha) \\
&+ 3 \operatorname{Re} \{ \mathbf{T}_{222}(\ell) (\mathbf{T}_{122}(\ell)^* \mathbf{e}^{j\phi} - \mathbf{T}_{111}(\ell) \mathbf{T}_{112}(\ell)^* \mathbf{e}^{-j\phi}) \} \\
&\quad \sin(2\alpha) \cos(2\alpha) \\
&+ 1.5 \operatorname{Re} \{ \mathbf{T}_{111}(\ell) \mathbf{T}_{122}(\ell)^* \mathbf{e}^{-j2\phi} + \mathbf{T}_{222}(\ell) \mathbf{T}_{112}(\ell)^* \mathbf{e}^{j\phi} \} \\
&\quad \sin^2(2\alpha)
\end{aligned} \tag{18}$$

qui peut s'écrire

$$|\mathbf{D}_{111}(\ell)|^2 + |\mathbf{D}_{222}(\ell)|^2 = \mathbf{u}^T \mathbf{B}(\ell) \mathbf{u} \tag{19}$$

où \mathbf{u} est un vecteur réel (3×1) tel que $\mathbf{u}^T \mathbf{u} = 1$ et défini par (16), et $\mathbf{B}(\ell)$ est une matrice réelle symétrique (3×3) donnée par

$$\begin{aligned}
\mathbf{B}_{11}(\ell) &= |\mathbf{T}_{111}(\ell)|^2 + |\mathbf{T}_{222}(\ell)|^2 \\
\mathbf{B}_{12}(\ell) &= -1.5 \operatorname{Im} \{ \mathbf{T}_{222}(\ell) \mathbf{T}_{122}(\ell)^* + \mathbf{T}_{111}(\ell) \mathbf{T}_{112}(\ell)^* \} \\
\mathbf{B}_{13}(\ell) &= 1.5 \operatorname{Re} \{ \mathbf{T}_{222}(\ell) \mathbf{T}_{122}(\ell)^* - \mathbf{T}_{111}(\ell) \mathbf{T}_{112}(\ell)^* \} \\
\mathbf{B}_{22}(\ell) &= 0.25 (|\mathbf{T}_{111}(\ell)|^2 + |\mathbf{T}_{222}(\ell)|^2) \\
&\quad + 2.25 (|\mathbf{T}_{112}(\ell)|^2 + |\mathbf{T}_{122}(\ell)|^2) \\
&\quad - 1.5 \operatorname{Re} \{ \mathbf{T}_{111}(\ell) \mathbf{T}_{122}(\ell)^* + \mathbf{T}_{222}(\ell) \mathbf{T}_{112}(\ell)^* \} \\
\mathbf{B}_{23}(\ell) &= 1.5 \operatorname{Im} \{ \mathbf{T}_{111}(\ell) \mathbf{T}_{122}(\ell)^* - \mathbf{T}_{222}(\ell) \mathbf{T}_{112}(\ell)^* \} \\
\mathbf{B}_{33}(\ell) &= 0.25 (|\mathbf{T}_{111}(\ell)|^2 + |\mathbf{T}_{222}(\ell)|^2) \\
&\quad + 2.25 (|\mathbf{T}_{112}(\ell)|^2 + |\mathbf{T}_{122}(\ell)|^2) \\
&\quad + 1.5 \operatorname{Re} \{ \mathbf{T}_{111}(\ell) \mathbf{T}_{122}(\ell)^* + \mathbf{T}_{222}(\ell) \mathbf{T}_{112}(\ell)^* \}
\end{aligned} \tag{20}$$

La maximization de la somme des normes des éléments diagonaux de l'ensemble des tenseurs $\{\mathbf{D}(\ell)\}$ est obtenue par

$$\sum_{l=1}^{N_t} |(\mathbf{D}(\ell))_{111}|^2 + |(\mathbf{D}(\ell))_{222}|^2 = \mathbf{u}^T \mathbf{B}_1 \mathbf{u} \tag{21}$$

où \mathbf{B}_1 est une matrice réelle symétrique définie par

$$\mathbf{B}_1 = \sum_{l=1}^{N_t} \mathbf{B}(\ell) \tag{22}$$

ce qui complète la démonstration. \diamond

La maximisation du critère (15) peut facilement être obtenu via une décomposition en éléments propres de la matrice \mathbf{B}_1 . A partir du vecteur propre associé à la plus grande valeur propre, les angles sont alors obtenus en utilisant

$$\begin{aligned}
\cos(\alpha) &= \sqrt{1 + \frac{1}{2}u(1)} \\
\sin(\alpha) \exp(j\phi) &= \frac{1}{2\cos(\alpha)} (u(3) + j u(2))
\end{aligned} \tag{23}$$

avec $\alpha \in [-\pi/4, \pi/4]$.

Finalement, la matrice unitaire inconnue \mathbf{U} est obtenue par multiplication successive des rotations planes la décomposant.

En général, il peut être *a priori* intéressant d'utiliser l'ensemble des informations disponibles pour résoudre un problème. Dans le cadre de l'algorithme STOTD [3], la décomposition suivante de tenseurs d'ordre 3 est considérée

$$T'_{i,j,k}(\ell) = \sum_{a,b,c=1}^N V_{a,i} V_{b,j}^* V_{c,k}^* \Lambda'_{a,b,c}(\ell), \quad \forall \ell \in \mathcal{I}_{N_t} \tag{24}$$

où les $\Lambda'(\ell)$ sont des tenseurs diagonaux complexes d'ordre 3. Il a été montré dans [3], que dans le cas de $N = 2$, le critère (12) adapté à cette décomposition peut s'écrire sous la forme

$$\mathcal{C}_{\mathcal{T}}(\mathbf{U}) = \mathbf{u}^T \mathbf{B}_2 \mathbf{u} \tag{25}$$

où \mathbf{B}_2 est une matrice réelle symétrique.

Ainsi une façon de combiner ces deux types de décomposition de tenseurs revient simplement à considérer la matrice $\mathbf{B}_1 + \mathbf{B}_2$ dans le problème d'optimisation.

L'algorithme de type Jacobi prenant en compte la seule matrice \mathbf{B}_1 est appelé NC-STOTD tandis que l'algorithme prenant en compte $\mathbf{B}_1 + \mathbf{B}_2$ est appelé G-STOTD.

4 Lien avec la Séparation de Sources

La séparation de sources repose sur le modèle de signaux suivant

$$\mathbf{x}[n] = \mathbf{A} \mathbf{s}[n] \tag{26}$$

où $n \in \mathbb{Z}$ est le temps discret, $\mathbf{s}[n]$ le $(N, 1)$ vecteur des $N \neq 2$ signaux sources complexes *inobservables* $s_i[n]$, $i \in \{1, \dots, N\}$, $\mathbf{x}[n]$ le $(N, 1)$ vecteur des observations $x_i[n]$, $i \in \{1, \dots, N\}$ et \mathbf{A} la matrice de mélange carrée (N, N) supposée *invertible*.

De plus les signaux sources sont supposés être des signaux aléatoires de moyenne nulle, de puissance unité, de cumulants d'ordre 4 non nul et statistiquement mutuellement indépendant. Par ailleurs on supposera qu'un blanchiment des observations a été réalisé de telle sorte que la matrice \mathbf{A} est maintenant considérée unitaire.

La séparation aveugle de sources consiste en l'estimation d'une matrice unitaire \mathbf{H} de telle sorte que le vecteur

$$\mathbf{y}[n] = \mathbf{H} \mathbf{x}[n] \tag{27}$$

restore un signal source différent sur chacune de ses composantes.

Peut être l'une des façons la plus pratique de résoudre le problème de la séparation de sources passe par l'utilisation de fonctions de contraste [2]. Elles correspondent à des fonctions de coût dépendant de statistiques des sorties du système de séparation dont la maximisation globale suffit pour obtenir une solution. Nous proposons le résultat suivant :

Proposition 2 La fonction

$$\mathcal{J}(\mathbf{y}) = \sum_{i,j=1}^N |\operatorname{Cum}\{y_i, y_i, y_i, y_j\}|^2 \tag{28}$$

est une fonction de contraste.

Par manque de place, la preuve est reportée dans une communication future.

Plus important est le lien existant entre ce contraste et un critère de diagonalisation conjointe. Il est donnée par le résultat suivant :

Proposition 3 *Considérons l'ensemble \mathcal{T}^c des N tenseurs d'ordre 3*

$$\mathbf{T}^c(\ell) = (T_{i,j,k}^c(\ell)), \quad \forall \ell \in \mathcal{I}_N$$

définis par

$$T_{i,j,k}^c(\ell) = \text{Cum}\{x_i, x_j, x_k, x_\ell\}. \quad (29)$$

Si \mathbf{H} est une matrice unitaire, on a alors

$$\mathcal{J}(\mathbf{H}\mathbf{x}) = \mathcal{C}_{\mathcal{T}^c}(\mathbf{H}). \quad (30)$$

5 Simulations

Dans le cadre de la séparation de sources nous illustrons les performances obtenues à partir des algorithmes JADE [1], STOTD [3] et les deux approches présentées NC-STOTD et G-STOTD. Les signaux sources utilisés prennent leurs valeurs dans $\{-1; -j; 0; \beta; j\beta\}$ avec les probabilités respectives $\left\{ \frac{1}{2(1+\beta)}; \frac{1}{2(1+\beta)}; \frac{\beta-1}{\beta}; \frac{1}{2\beta(1+\beta)}; \frac{1}{2\beta(1+\beta)} \right\}$. On considère $\beta = 1, 4$. Le nombre d'échantillons sera 10000.

Nous allons considérer successivement deux cas de mélange. Dans le premier cas, il s'agit d'un mélange 2×2 unitaire fixé. Le blanchiment n'est pas réalisé. Dans le deuxième cas, il s'agit d'un mélange 4×2 dont les composantes sont tirées de manière aléatoire suivant une loi Gaussiennes, centrées et de puissance 1. Le blanchiment est réalisé avec une projection sur l'espace signal de dimension 2. Les mélanges sont bruités avec un rapport signal sur bruit (RSB) allant de -5 dB à 30 dB.

L'indice de performance utilisé est celui donné dans [4]. La moyenne sur 1000 tirages (pour les sources, le bruit et, dans le deuxième cas, le mélange) est considérée.

Pour les deux cas de mélange, les résultats sont donnés par les figures 1 et 2 respectivement. Nous constatons que l'on obtient les meilleures performances avec l'algorithme G-STOTD, quelque soit le RSB. De plus les performances obtenues par l'algorithme NC-STOTD sont meilleures que celle obtenues par STOTD et JADE (qui ont les mêmes performances, ce qui va dans le sens de [3]).

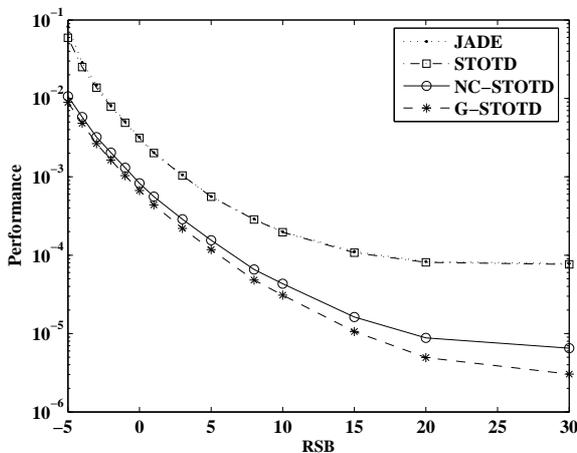


FIG. 1 – Performance des différents algorithmes en fonction du RSB dans le cas d'un mélange unitaire.

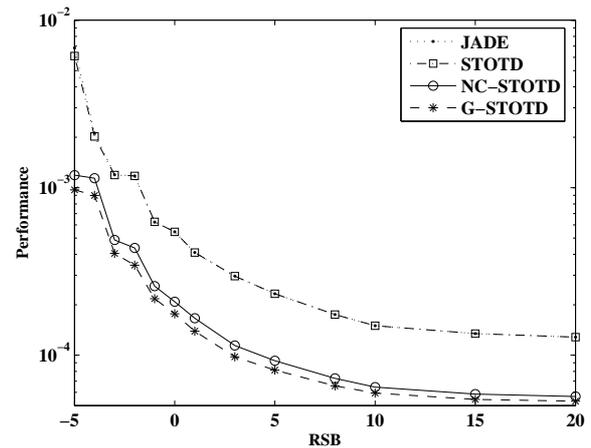


FIG. 2 – Performance des différents algorithmes en fonction du RSB dans le deuxième cas de mélange.

Ainsi l'association de plusieurs grandeurs statistiques associées ici à des signaux sources non circulaires permet d'obtenir, dans le cadre présenté, de meilleures performances que l'approche "classique".

Références

- [1] J.-F. Cardoso and A. Souloumiac, "Blind Beamforming for Non Gaussian Signals", *IEE Proceedings-F*, Vol. 140, pp. 362-370, 1993.
- [2] P. Comon, "Independent Component Analysis, a New Concept?", *Signal Processing*, Vol. 36, pp. 287-314, 1994.
- [3] L. De Lathauwer, B. De Moor and J. Vanderwalle, "Independent Component Analysis and (Simultaneous) Third-Order Tensor Diagonalization", *IEEE Transactions on Signal Processing*, Vol. 49, pp. 2262-2271, 2001.
- [4] E. Moreau, "A Generalization of Joint-Diagonalization Criteria for Source Separation", *IEEE Transactions on Signal Processing*, Vol. 49, pp. 530-541, 2001.
- [5] L. De Lathauwer, B. De Moor and J. Vanderwalle, "ICA Techniques for More Sources than Sensors", *Proceeding of the IEEE Signal Processing Workshop on Higher-Order Statistics (HOS'99)*, pp. 121-124, June 1999, Caesarea, Israel.
- [6] L. De Lathauwer and B. De Moor, "On the Blind Separation of Non-Circular Sources", *Proceeding of EUSIPCO-02*, Vol. II, pp. 99-102, Sept. 2002, Toulouse, France.
- [7] P. Chevalier, "Optimal Array Processing for Non Stationary Signals", in *Proc. ICASSP'96*, pp. 2868-2871, Atlanta, USA, May 1996.
- [8] P. Chevalier, "New Insights into Optimal Widely Linear Array Receivers for the Demodulation of BPSK, MSK, and GMSK Signals Corrupted by Noncircular Interferences - Application to SAIC", *IEEE Transactions on Signal Processing*, Vol. 54, pp. 870-883, 2006.