

Critère de Localisation de Source et d'Identification pour un Modèle de Dispersion SIMO

E.Ternisien - G. Roussel - M. Benjelloun
Laboratoire d'Analyse des Systèmes du Littoral (EA 2600)
Université du Littoral Côte d'opale
195 rue du Pasteur Martin Luther King B.P 649
62228 Calais CEDEX, FRANCE
e-mail: Eric.Ternisien@lasl-gw.univ-littoral.fr

Résumé:

Nous nous proposons d'aborder ici le problème de l'estimation des matrices \hat{A} et \hat{B} d'un système d'état discret (A, B, C) caractérisant le modèle linéaire de transport-diffusion à partir des seules observations y^n sur un horizon temporel de N échantillons, la source étant totalement inconnue d'un point de vue spatial et temporel. Dans cette étude, l'utilisation de méthodes d'identification aveugle de type sous-espace nous permet d'envisager l'estimation conjointe de \hat{A} et \hat{B} selon une procédure itérative d'optimisation d'un critère hybride. Ce dernier présente un terme d'identification des réponses impulsionnelles source-capteurs et une distance mesurant la vraisemblance des sous-systèmes capteur-capteur. Afin de diminuer le nombre d'itérations, une procédure de réduction de l'espace des sources potentielles a été développée. Celle-ci est basée sur la sélection des nœuds iso-retards correspondant aux décalages des maxima des séquences d'intercorrélations des observations.

Mots-Clés:

Localisation de source, Identification aveugle, Modèle de dispersion, Modèle d'état, Coïncidence RIF.

I INTRODUCTION

Un problème fréquent dans les études environnementales ou de surveillance de processus physico-chimiques concerne la localisation de source. Soit une région à observer par l'intermédiaire d'un réseau distribué de capteurs localisés en des sites répertoriés (par exemple un bassin aquatique, une nappe souterraine ou une zone atmosphérique), ces capteurs sont ici capables de mesurer la concentration d'un composé organique responsable d'une pollution du milieu naturel hydraulique ou atmosphérique. Supposons que les mesures signalent à un instant donné une augmentation sensible du niveau de concentration du polluant causée par un incident survenant sur l'une des sources légalement enregistrées ou inconnues. Le problème est alors de localiser le plus rapidement possible la source responsable de cette évolution inhabituelle des mesures et d'estimer son flux dynamique sur la seule base des observations et de la connaissance des conditions d'advection (direction et vitesse du vent ou

du flux hydraulique). Bien entendu, les caractéristiques de dispersion évoluant significativement dans le temps en fonction des conditions météorologiques, il est donc indispensable d'identifier en ligne les conditions de diffusion pour le modèle utilisé. En absence de moyen spécifique permettant de mesurer les caractéristiques de diffusion, l'identification doit se faire de façon "aveugle", c'est à dire ici sans information *a priori* sur la source et les paramètres du modèle. La caractérisation de la source revient donc ici à déterminer le filtre linéaire équivalent au canal source-capteur, lequel dépend des paramètres de propagation et de la position relative du capteur par rapport à l'émetteur. Généralement, dans le domaine de la localisation d'émetteurs radio ou de téléphones mobiles, il est fait usage de méthodes basées sur la détection des directions d'arrivée (D.O.A.), pour lesquelles il existe de nombreux algorithmes. Dans notre cas, la recherche des directions d'arrivée ne suffit pas à la connaissance complète de notre système source-capteur. L'idée consiste plutôt ici à identifier la réponse impulsionnelle (limitée à un ordre suffisant) du canal de dispersion par l'utilisation des méthodes sous-espace dans le cadre spécifique de la propagation par un modèle parabolique.

Dans la section II de cet article, l'étape de discrétisation de l'équation de transport-diffusion conduit à une représentation d'état (A, B, C) pour laquelle on soulignera la forme particulière de la matrice d'évolution A et du vecteur de commande B . La paramétrisation utilisée conduit ici à une simplification de l'identification aveugle par une réduction du nombre de paramètres à estimer. Une méthode de localisation sera proposée en complétant le critère d'orthogonalisation du sous-espace par une mesure de la vraisemblance de chaque position de source. Celle-ci vérifie pour chacune d'elle la coïncidence des réponses impulsionnelles implicites inter-capteurs à partir des observations et des estimations des paramètres recherchés. La réduction de l'espace source est envisagée par la recherche des positions de source pour lesquelles les retards de propagation entre chaque paire de capteurs coïncident avec les décalages observables au niveau des maxima des séquences d'intercorrélations. Des simulations à base de données synthétiques viennent illustrer

et confirmer les propos de cet article.

II MODÈLE D'ÉTAT DE L'ÉQUATION DE DISPERSION

Les modèles d'écoulement fluidiques réactifs donnent lieu à des équations aux dérivées partielles où intervient un couplage entre cinétique chimique, transport et diffusion. Dans le cas qui nous préoccupe, à savoir celui de la modélisation de la pollution atmosphérique, l'équation décrivant l'évolution de la concentration est :

$$\frac{\partial v(x, y, z, t)}{\partial t} + \nabla \cdot (Uv(x, y, z, t)) = \nabla \cdot (K \cdot \nabla v(x, y, z, t)) + \chi(v(x, y, z, t)) + S(x, y, z, t) \quad (1)$$

Notre étude se limite au cas bidimensionnel, ce qui est une approximation acceptable lorsque les écarts d'altitude entre la source et les différents capteurs sont négligeables vis à vis des dimensions du plan d'observation. Dans notre cas, les hypothèses simplificatrices suivantes sont énoncées :

- Les recombinaisons chimiques $\chi(v(\cdot))$ ne sont pas considérées (hypothèse réaliste si l'on s'intéresse à une espèce chimique très peu réactive).
- Le tenseur de diffusion $K = [K_x, K_y]^T$ est pris constant spatialement et temporellement.
- Le vecteur vent U (défini par ses composantes U_x et U_y) est supposé constant et connu en direction et en intensité dans la fenêtre temporelle d'observation.

La forme du modèle devient donc :

$$\frac{\partial v(x, y, t)}{\partial t} + U_x \frac{\partial v(x, y, t)}{\partial x} + U_y \frac{\partial v(x, y, t)}{\partial y} = K_x \frac{\partial^2 v(x, y, t)}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 v(x, y, t)}{\partial y^2} + S(x, y, t) \quad (2)$$

Lorsque le maillage est suffisamment fin, la discrétisation peut s'effectuer en adoptant les différences finies comme approximation au premier ordre des dérivées. Plus spécifiquement, nous utilisons la méthode décentrée en espace dite méthode "upwind" [2], plus appropriée lorsque la présence d'un terme d'advection suggère une direction privilégiée dans le calcul des dérivées. Le modèle discrétisé est alors :

$$\Upsilon_{i,j}^{n+1} = m_1 \Upsilon_{i+1,j}^n + m_2 \Upsilon_{i,j}^n + m_3 \Upsilon_{i-1,j}^n + m_4 \Upsilon_{i,j+1}^n + m_5 \Upsilon_{i,j-1}^n + m_6 S_{i,j}^n \quad (3)$$

$\Upsilon_{i,j}^n$ étant la représentation discrète à l'instant n et à la position (i, j) de la concentration $v(x, y, t)$. Ici, la source étant ponctuelle, sa contribution dans l'équation est nulle sauf quand $(i, j) = (x_s, y_s)$, c'est à dire quand le point courant correspond à la position de la source. Les paramètres m_i ($i = 1 \dots 6$) sont des fonctions constantes des composantes d'advection U_x, U_y , de diffusion K_x, K_y , des pas du maillage spatial h et k selon les axes x et y et du pas temporel p défini par l'échantillonnage des obser-

vations. Plus précisément, on a les relations suivantes :

$$\begin{aligned} m_1 &= \frac{pK_x}{h^2} \\ m_2 &= 1 - \frac{p|U_x|}{h} - \frac{p|U_y|}{k} - \frac{2pK_x}{h^2} - \frac{2pK_y}{k^2} \\ m_3 &= \frac{p|U_x|}{h} + \frac{pK_x}{h^2} \\ m_4 &= \frac{pK_y}{k^2} \\ m_5 &= \frac{p|U_y|}{k} + \frac{pK_y}{k^2} \\ m_6 &= p \end{aligned}$$

Si l'on considère l'équation (3), on constate qu'elle peut se mettre sous la forme d'une équation d'état. En effet, nous avons la concentration Υ^n qui dépend de son état à l'instant précédent ainsi que d'un terme source qui peut être assimilé à une commande :

$$\begin{cases} \Upsilon^{n+1} &= A\Upsilon^n + m_6 BS^n \\ y^n &= C\Upsilon^n \end{cases} \quad (4)$$

y^n est le vecteur d'observation obtenu à l'aide des capteurs situés dans la zone à observer. Cette représentation d'état a la particularité de séparer le terme d'évolution du vecteur d'état $A\Upsilon^n$ du terme de commande BS^n lié à la source. L'estimation de ce système conduit donc à la caractérisation de la dispersion d'un point de vue spatial et temporel. La connaissance de la matrice de commande B renseigne ici sur la localisation de la source. La matrice d'état A modélise la réponse libre du système de dispersion selon la définition analytique de l'équation différentielle (2).

Le vecteur d'état est codé de la façon suivante : soit une zone d'observation de taille $((L \times k) \times (l \times h))$, les composantes du vecteur d'état Υ^n représentent la concentration en chaque point (i, j) à l'instant d'échantillonnage n . Il est construit en concaténant les L lignes du maillage. On a donc un vecteur de taille $(L \times l) \times 1$ et de forme :

$$\Upsilon^n = [[\Upsilon_{1,1}^n, \dots, \Upsilon_{1,j}^n, \dots, \Upsilon_{1,l}^n]^T, \dots, [\Upsilon_{i,1}^n, \dots, \Upsilon_{i,j}^n, \dots, \Upsilon_{i,l}^n]^T, \dots, [\Upsilon_{L,1}^n, \dots, \Upsilon_{L,j}^n, \dots, \Upsilon_{L,l}^n]^T]^T$$

Ce codage conduit à une forme tri-diagonale par blocs de la matrice d'état A

$$A = \begin{pmatrix} A_{1,1} & A_{1,2} & 0 & \dots & \dots & 0 \\ A_{2,1} & A_{2,2} & A_{2,3} & \ddots & & \vdots \\ 0 & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & 0 \\ \vdots & & & & & \vdots \\ 0 & \dots & \dots & A_{L-1,L-2} & A_{L-1,L-1} & A_{L-1,L} \\ & & & 0 & A_{L-1,L} & A_{L,L} \end{pmatrix}$$

Chaque bloc $A_{k,k}$, $A_{k,k+1}$ et $A_{k,k-1}$ dépend des paramètres m_i . Plus précisément, on peut établir :

$$A_{k,k} = \begin{bmatrix} m_2 & m_1 \\ m_3 & m_2 & m_1 \\ \ddots & \ddots & \ddots \\ m_3 & m_2 & m_1 \\ & m_3 & m_2 \end{bmatrix}, \quad A_{k,k+1} = \begin{bmatrix} m_4 & & \\ & \ddots & \\ & & m_4 \end{bmatrix}, \quad \text{et}$$

$A_{k,k-1} = \begin{bmatrix} m_5 & & \\ & \ddots & \\ & & m_5 \end{bmatrix}$. Les conditions de stabilité du schéma numérique de discrétisation impose que le rayon spectral de la matrice d'évolution soit inférieur à 1, de sorte que les valeurs propres de celle-ci soit à l'intérieur du cercle unité [4]. Cette condition est satisfaite si :

$$m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5 \leq 1 \quad (5)$$

Moyennant un choix judicieux de la période d'échantillonnage p , la condition (5) sera toujours assurée si $m_2 = 1 - m_1 - m_3 - m_4 - m_5$.

Les matrices B et C sont construites en fonction des positions respectives de la source et des capteurs. Dans le cas mono-source, la matrice B de taille $(L \times l) \times 1$ contient $l - 1$ zéros et un 1 au point correspondant à la position de la source. Le principe de codage de la matrice C est similaire. Sa taille $n_c \times (L \times l)$ dépend du nombre n_c de capteurs.

$$B = \begin{pmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix} \quad C = \begin{pmatrix} 0 & \dots & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & & & & & & \vdots \\ 0 & 1 & 0 & \dots & \dots & \dots & 0 \end{pmatrix}$$

La forme particulière des matrices d'état fournit une information structurelle *a priori* très importante pour l'identification du système de propagation et pour la localisation. On entend par identification l'estimation des paramètres m_i de la matrice A , en particulier les paramètres manquant à la connaissance complète de l'évolution. En effet, si les conditions d'advection sont connues, en revanche les paramètres de diffusion K_x et K_y sont à identifier. Il convient alors d'estimer m_1 et m_4 . Concernant la localisation, celle-ci revient à déterminer la position du 1 dans le vecteur B .

III IDENTIFICATION À SOURCE LOCALISÉE

Lorsque la matrice de commande B est connue, l'identification se fait à l'aide de la méthode sous-espace classique. Cette dernière a été proposée par Tong et al. en 1991 [7], puis modifiée par Moulines et al. [6]. Elle a pour but l'identification de la réponse impulsionnelle de canaux de transmission (dans notre cas, le système source-capteur peut être assimilé à un de ces canaux). Cette méthode est avantageuse si la séquence d'observations est de taille réduite, ce qui est le cas lorsque la stationnarité du modèle n'est assurée que sur une courte période et que l'échantillonnage est effectué avec une large période. Les méthodes d'identification aveugle basées sur les statistiques d'ordre supérieur [3] sont alors assez sensibles (introduction de biais) au nombre d'échantillons. De plus, la paramétrisation du modèle d'état permet l'identifiabilité complète (au retard pur près) des réponses à l'ordre deux.

Soit s_n une source émettant dans un canal h_n , les observations bruitées y_n issues du produit de convolution sont

alors :

$$y_n = \sum_{\Delta=0}^M h_n s_{n-\Delta T} + b_n \quad (6)$$

où T est la période d'échantillonnage, et b_n est un bruit blanc indépendant de s_n et de variance σ^2 . En prenant N échantillons du signal reçu, (6) peut s'écrire sous une forme matricielle :

$$Y_n = \mathcal{H}_N S_n + B_n \quad (7)$$

avec $Y_n = [y_n, \dots, y_{n-N-1}]^T$, $B_n = [b_n, \dots, b_{n-N-1}]^T$ et \mathcal{H}_N la matrice de filtrage (ou de Sylvester) de taille $N \times (M + N)$ associée avec le canal h_n .

$$\mathcal{H}_N = \begin{pmatrix} h_0 & \dots & h_M & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \ddots & & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & h_0 & \dots & h_M \end{pmatrix}$$

En généralisant à n_c capteurs, et sous réserve que les conditions d'identifiabilité soient respectées [5], on peut procéder à l'identification aveugle en calculant tout d'abord la matrice d'autocorrélation des sorties $R_y = E[Y_n Y_n^T]$. L'indépendance supposée de la source et du bruit permet également d'écrire :

$$R_y = \mathcal{H}_N R_s \mathcal{H}_N^T + R_b \quad (8)$$

où R_y est de taille $(n_c N) \times (n_c N)$. La SVD de R_y conduit à exprimer les $n_c N$ valeurs singulières $\lambda_0 \geq \lambda_1 \geq \dots \geq \lambda_{M+N} \dots \geq \lambda_{n_c N-1}$ dont la sélection des valeurs supérieures et inférieures à la variance du bruit de mesure permet d'extraire les vecteurs propres correspondants aux sous-espaces signal et bruit. La règle de sélection (9) génère alors les sous-espaces (10).

$$\begin{aligned} \lambda_i &> \sigma^2 && \text{pour } 0 < i < M + N - 1 \\ \lambda_i &\leq \sigma^2 && \text{pour } M + N < i < n_c N - 1 \end{aligned} \quad (9)$$

$$U = [U_0, \dots, U_{M+N-1}] \quad \text{sous-espace signal} \quad (10)$$

$$V = [V_0, \dots, V_{n_c N - M - N - 1}] \quad \text{sous-espace bruit}$$

L'ordre M du système peut être déduit de la taille du sous-espace signal, mais il est cependant souvent nécessaire de faire appel à des méthodes de sélection d'ordre [1].

Les deux sous-espaces étant orthogonaux, et l'espace signal étant le même que celui engendré par les colonnes de \mathcal{H}_N , Moulines et al. ont montré que la minimisation du critère (11), menait à l'identification des réponses impulsionnelles moyennant une contrainte de norme unité sur ces dernières ($|H| = 1$) pour éviter la solution triviale $H = 0$.

$$J(H) = H^T Q H \quad (11)$$

avec $Q = \sum_{i=0}^{n_c N - M - N - 1} \mathcal{V}_i \mathcal{V}_i^T$ où \mathcal{V}_i est la matrice de filtrage associée au vecteur propre V_i du sous-espace bruit. H prend ici la forme d'un vecteur contenant

toutes les réponses impulsionnelles sous la forme $H = [H^{(1)T}, \dots, H^{(n_c)T}]^T$. Dans le cas où la source est localisée (B connue) et considérant le fait que $H^{(a)} = [C^{(a)}B, \dots, C^{(a)}A^q B, \dots, C^{(a)}A^{M-1}B]^T$ ($a = 1 \dots n_c$), où $C^{(a)}$ correspond à la a^{ieme} ligne de C , il est possible de réduire la recherche des $n_c M$ paramètres des réponses impulsionnelles à deux paramètres \widehat{m}_1 et \widehat{m}_4 indispensables à l'estimation de A . Ceux-ci sont alors le résultat du programme de minimisation :

$$\begin{aligned} \widehat{m}_1, \widehat{m}_4 &= \arg \min(J(m_i)) \\ &= \arg \min(H^T(m_i)QH(m_i)) \end{aligned} \quad (12)$$

Notons dans la minimisation du critère (12) l'absence de contrainte qui est rendue possible grâce à l'intégration de l'information *a priori* apportée par la forme des matrices d'état.

IV LOCALISATION

IV.1 Coïncidence implicite des RI

Comme nous l'avons mentionné plus haut, la localisation pose le problème de la détermination de la matrice B , pour laquelle une structure est imposée. Dans le cas mono-source, celle-ci est assimilable à un vecteur d'une base orthonormée d'un espace de dimension égale à celle du vecteur d'état. La détermination de ce vecteur consiste en une extrusion de la base en vue de maximiser la vraisemblance d'un de ses vecteurs. Cependant, l'information nécessaire à la détermination des retards purs des réponses impulsionnelles n'est pas prise en compte dans la minimisation du critère (12) précédent, lequel conduit à un minimum local non satisfaisant pour la localisation. Pour palier à ce manque, nous proposons d'ajouter au critère du sous-espace un terme visant à mesurer l'erreur commise sur la réponse impulsionnelle des sous-systèmes modélisables entre les différents capteurs du système de perception (figure 1). Soient h_i et

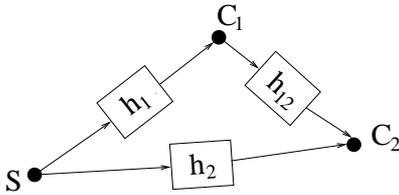


Figure 1: Représentation des canaux source-capteurs et inter-capteurs

h_j les réponses impulsionnelles entre la source et deux capteurs i et j . Il est clair que la réponse impulsionnelle équivalente de la fonction de transfert inter-capteurs h_{ij} du capteur i vers le capteur j peut prendre la forme $h_{ij} = \frac{h_j}{h_i}$. La matrice de filtrage \mathcal{H}_{ij} associée s'obtient en calculant la pseudo inverse \mathcal{H}_i^\dagger telle que :

$$\mathcal{H}_{ij} = \mathcal{H}_j \mathcal{H}_i^\dagger \quad (13)$$

Pour chaque couple de capteurs, il est alors possible de calculer une erreur de poursuite entre les estimations $\hat{Y}^{(j)} = \mathcal{H}_{ij}(m_i)Y^{(i)}$ au capteur d'arrivée j et l'observation à ce même capteur. Ainsi, le vecteur d'erreur $\varepsilon_{ij} = Y^{(j)} - \hat{Y}^{(j)}$ tend vers le vecteur nul lorsque la réponse impulsionnelle inter-capteurs coïncide (au bruit près) à celle du système à identifier. Intuitivement, on comprend ici l'intérêt pour la localisation du pouvoir discriminant de cette mesure en cherchant la coïncidence implicite des informations de phase et d'amplitude contenu dans les signaux. L'unicité de la localisation n'est pas toujours garantie pour un seul couple de capteurs, mais l'extension de la méthode à un réseau multicapteur palie à ce problème. L'intégration de ces termes d'erreur pour le problème conjoint de l'identification et de la localisation conduit au nouveau critère (14).

$$J(B, m_i) = H^T(B, m_i)QH(B, m_i) + \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^{n_c} \|Y_j - \mathcal{H}_{ij}(B, m_i)Y_i\| \quad (14)$$

Ce critère est composé de deux termes positifs. La convergence se fera donc si les deux termes tendent vers zéro. La convergence du sous-espace est garantie par les travaux antérieurs [7, 6]. Quant à l'autre partie du critère, si l'on se place dans le cas sans bruit, l'erreur d'estimation sera nulle lorsque la source sera bien localisée. En pratique, le bruit étant partie intégrante du problème, l'optimisation mènera donc à :

$$(B^*, m_1^*, m_4^*) = \arg \min_B (\min_{m_1, m_4} J(B, m_i)) \quad (15)$$

La convexité du critère (14) est assurée pour une position de source fixée comme le montre la figure 2. Toutefois,

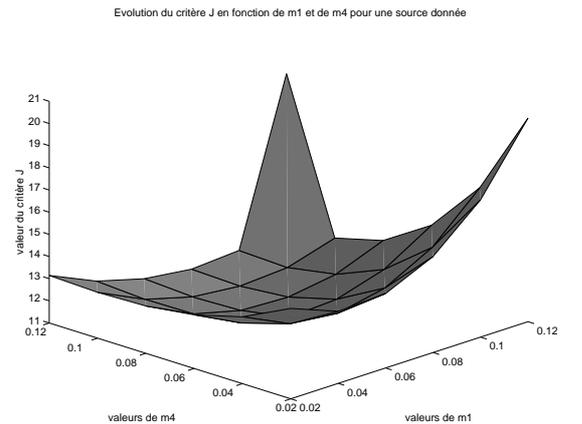


Figure 2: Convexité du critère $J(B, m_i)$ pour une position fixée de la source.

il est prudent de ne considérer la validité du critère que dans des cas où le RSB sur les capteurs de pollution n'est pas trop faible, typiquement supérieur à 25 dB. En deçà,

on peut aboutir à une erreur de localisation en raison de l'influence du bruit sur la mesure de coïncidence des réponses impulsionnelles.

La résolution du programme d'optimisation (15) s'effectue de façon itérative sur les positions admissibles du maillage. Cette méthode entraîne donc une forte complexité de calcul car tous les points de la zone d'observation (excepté les positions des capteurs) sont des positions *a priori* possibles pour la source. Nous proposons dans la partie suivante une méthode réduisant l'espace source admissible.

IV.2 Coïncidence explicite des retards

Nous avons vu dans la section II que le schéma de discrétisation choisi conduisait à une équation récurrente (3) dont le calcul de la concentration au point (i, j) dépend de l'état de ses quatre plus proches voisins. En effet, $\Upsilon_{i,j}^{n+1} = g(\Upsilon_{i+1,j}^n, \Upsilon_{i,j}^n, \Upsilon_{i-1,j}^n, \Upsilon_{i,j+1}^n, \Upsilon_{i,j-1}^n)$. Cette équation récurrente nous donne un masque de convolution dont la forme est visible sur la figure 3. Chaque

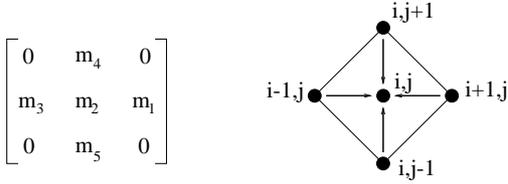


Figure 3: Masque de convolution du modèle de dispersion 2D

maille de la zone subissant le même traitement convolutif, on peut en déduire un schéma spatio-temporel de propagation vers le capteur depuis les k itérations passées (figure 4).

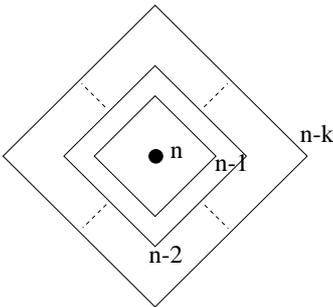


Figure 4: Propagation vers les capteurs

Pour chaque rang $k = \{0, 1, \dots, K\}$, le quadrilatère d'influence passe par un ensemble de nœuds iso-retards, c'est à dire que la contribution d'une source située sur un quadrilatère de rang k se répercute sur le signal du capteur considéré k itérations plus tard. Pour les n_c capteurs, il est alors possible d'établir les listes $\mathcal{L}_k^{C_a}$ ($k = \{0, 1, \dots, K_a\}$ et $a = 1, \dots, n_c$) contenant tous les points du maillage reliés par les cotés du quadrilatère de

rang k pour le capteur C_a . Ces listes sont stockées dans un tableau correspondant à chaque capteur (tableau 1).

capteur C_a	
rang 1	$\{x_{C_a}, y_{C_a}\}$
rang 2	$\{x_{C_a}, y_{C_a}, \dots\}$
\vdots	\vdots
rang K_a	$\{\emptyset\}$

Tableau 1: Listes pour le capteur C_a

Supposons un signal émis depuis un point source quelconque. Si le décalage temporel τ_{ab} entre les maxima d'amplitude des signaux d'observation d'une paire de (C_a, C_b) ($a \neq b$) est connu, ce décalage permet alors de définir l'ensemble des positions admissibles obtenues par intersection des listes $\mathcal{L}_k^{C_a}$ et $\mathcal{L}_{k+\tau_{ab}}^{C_b}$ ($k = \{0, 1, \dots, \max(K_a, K_b)\}$). La figure 5 montre les positions admissibles pour différentes valeurs de k avec $\tau_{ab} = 0$.

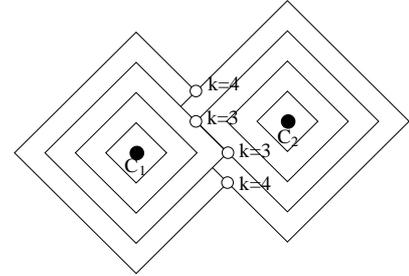


Figure 5: Ex : pré-localisation pour $\tau_{ab} = 0$.

La détermination des retards s'effectue rapidement en localisant les maxima de la séquence d'intercorrélacion de chaque paire de capteurs. S'agissant des matrices d'intercorrélacion, la valeur maximale se situe sur une sous-diagonale distante de τ_{ab} par rapport à la diagonale principale. Généralisée à l'ensemble des capteurs, cette méthode réduit considérablement l'espace des positions de source admissibles.

V RÉSULTATS

La simulation a été réalisée dans les conditions suivantes :

- Le vent U est constant et égal à $(14.14m/s, \frac{\pi}{4})$.
- La taille de la zone est de $(10, 10)$. Les capteurs sont placés respectivement à $(7, 3)$, $(3, 7)$, $(8, 8)$ et la source à $(2, 3)$. Une zone de sources potentielles a été définie conformément à la section IV.2 (cf figure 6).
- Le longueur de la plus grande réponse impulsionnelle est de $M = 40$.
- La variance du bruit est de $\sigma^2 = 4$, ce qui induit un RSB moyen de 36 dB sur les signaux.

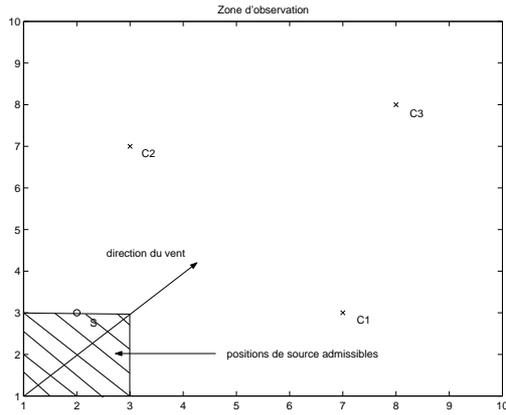


Figure 6: Zone d'observation

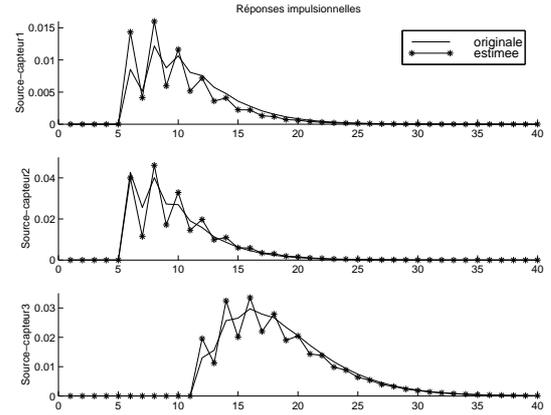


Figure 8: Réponses impulsionnelles

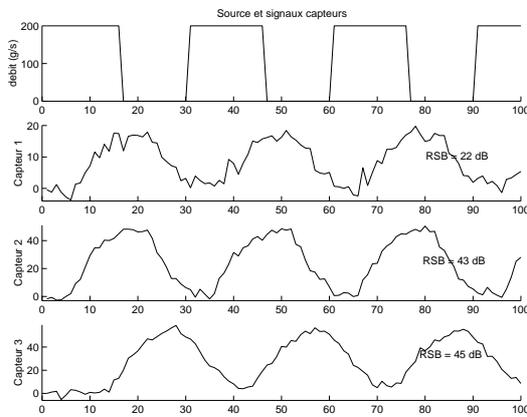


Figure 7: Source et signaux capteurs

La figure 7 montre le signal source et les signaux reçus au niveau des trois capteurs. Les paramètres m_1 et m_4 sont estimés avec une erreur d'environ 30%, mais cette erreur est compensée par le fait que les coefficients m_i s'ajustent les uns par rapport aux autres grâce à la relation qui existe entre eux et qui vient de la condition de stabilité ($1 = \sum m_i$). La figure 8 montre en effet que l'erreur globale sur la reconstruction des réponses impulsionnelles est correcte. Elle est due essentiellement au bruit sur les capteurs.

CONCLUSION

Dans cet article, nous avons proposé une méthode de localisation de source et d'identification de système de dispersion à partir d'une méthode de sous-espace modifiée. La modification apportée au critère classique du sous-espace nous permet de retrouver la réponse impulsionnelle avec les véritables coefficients, c'est à dire que ceux-ci ne sont plus estimés à un facteur d'échelle près comme c'est le cas dans la méthode sous-espace présentée dans [6]. Cela peut être très utile si l'on considère certains aspects applicatifs comme la pollution atmosphérique, où les grandeurs qui sont mesurées ou calculées sont soumises à réglementation. Cette méthode fournit des

résultats satisfaisants, mais est assez sensible au RSB qui, s'il est trop faible peut induire une mauvaise localisation et ainsi fausser l'estimation des réponses impulsionnelles. Néanmoins, une amélioration est possible en ne prenant en compte pour la localisation que les capteurs de pollution ayant un RSB supérieur à 25 dB.

Nous avons également présenté un moyen de réduire le temps de calcul dû aux itérations sur la matrice B en localisant toutes les sources potentielles dans une étape de pré-localisation. Cette méthode, basée sur le schéma de discrétisation choisi au départ, peut aisément être généralisée, ce qui permet de traiter d'autres types de problèmes n'utilisant pas la même méthode de discrétisation.

RÉFÉRENCES

- [1] "Méthodes Haute Résolution", HERMES, (1999).
- [2] D. Euvrard, "Résolution numérique des équations aux dérivées partielles", MASSON, (1994).
- [3] J.-L. Lacoume, P.-O. Amblard, P. Comon, "Statistiques d'ordre supérieur pour le traitement de signal", MASSON, (1997).
- [4] P. Lascaux, R. Theodor, "Analyse numérique matricielle appliquée à l'art de l'ingénieur, Tome I : Méthodes directes", MASSON, (1993).
- [5] Ph. Loubaton, "Egalisation Autodidacte Multi-Capteurs et Systèmes Multivariables", Télécom Paris, Dept. Signal.
- [6] E. Moulines, P. Duhamel, J-F. Cardoso, S. Mayrargue, "Subspace methods for the blind identification of multichannel FIR filters", IEEE Trans on Signal Processing, Vol. 43, p. 516-525, (1995).
- [7] L. Tong, G. Xu, T Kailath, "A new approach to blind identification and equalization of multipath channels", Proc. 25th Asilomar Conf., p. 856-860 (1991).