



HAL
open science

Application de la méthode **CLEANT** à l'antennerie de survol

Quentin Leclere, Raphaël Leiba, Emmanuel Julliard

► **To cite this version:**

Quentin Leclere, Raphaël Leiba, Emmanuel Julliard. Application de la méthode **CLEANT** à l'antennerie de survol. 16ème Congrès Français d'Acoustique, CFA2022, Société Française d'Acoustique; Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique, Apr 2022, Marseille, France. hal-03848471

HAL Id: hal-03848471

<https://hal.science/hal-03848471v1>

Submitted on 10 Nov 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



16^{ème} Congrès Français d'Acoustique
11-15 Avril 2022, Marseille

Application de la méthode CleanT à l'antennerie de survol

Q. Leclère ^a, R. Leiba ^a, E. Julliard ^b.

^a Univ Lyon, INSA Lyon, LVA, EA677, 69621 Villeurbanne, France

^b Airbus Operations S.A.S, Acoustics Department, Toulouse, France.



L'étude des sources de bruit générées par le passage d'un avion au voisinage des aéroports nécessite le déploiement au sol d'antennes microphoniques de grandes dimensions, aussi bien en termes de nombre de voies (classiquement plusieurs centaines de microphones) qu'en termes d'envergure (plusieurs dizaines de mètres). Ce type d'essais est en de nombreux points similaire aux essais d'antennerie de bruit de passage dans les domaines automobiles, ferroviaire ou encore maritime : les difficultés principales consistent à prendre en compte la trajectoire de la source dans un algorithme de focalisation suivie, à tenir compte des dispersions fréquentielles induites par effet Doppler, et à évaluer la directivité de la source qui est vue par l'antenne sous plusieurs angles d'incidence. Les résultats d'imagerie par formation de voies restent de surcroît entachés des inconvénients inhérents à cette technique : sa mauvaise résolution en basses fréquence et sa sensibilité à la réponse d'antenne qui induit des lobes secondaires pouvant compliquer l'interprétation des images produites. Les techniques de déconvolution ou d'identification permettent de s'affranchir en partie de ces inconvénients, mais ont été développés dans les cas de sources statiques, en s'appuyant généralement sur l'estimation d'interspectres moyennés de signaux stationnaires. L'application au bruit de passage, transitoire par nature, est forcément délicate et nécessite de nombreux compromis ; les techniques les plus avancées à ce jour reposent néanmoins sur ce principe. Une alternative a émergé ces dernières années, basée sur un traitement déconvolutif itératif dans le domaine temporel baptisé CleanT. Cette méthode, inspirée de la méthode Clean en fréquentiel, a l'avantage d'opérer directement sur les signaux rééchantillonnés dans la base temporelle de la source, corrigeant par construction l'effet doppler et permettant d'accéder aux informations de directivité – au détriment d'un coût de calcul important. Cette méthode, éprouvée récemment sur des applications automobiles et ferroviaires, est appliquée dans cette communication pour la première fois au cas aéronautique d'antennerie de survol.

1 Introduction

L'application des techniques de formation de voies (beamforming) aux sources mobiles est relativement simple dans sa formulation, lorsqu'on connaît la cinématique de la cible. Elle nécessite d'appliquer des retards variables aux signaux microphoniques, au travers d'une interpolation de ces signaux dans une base de temps de réception. L'énergie des signaux focalisés sur un ensemble de sources candidates permet de cartographier les sources de bruit dans un repère mobile lié à la cible [1]. Les images obtenues souffrent cependant des défauts bien connus de la formation de voies, à savoir sa résolution limitée et sa difficulté à quantifier les sources. Dans le domaine aéronautique, pour les essais de survol d'antenne, de nombreux travaux ont été consacré au déploiement de méthodes de déconvolution dans le but d'améliorer la résolution et obtenir des résultats quantitatifs [2, 3, 4]. Ces méthodes reposent généralement sur une hypothèse de décorrélation des sources, et ont pour objectif de décomposer la cartographie énergétique issue du beamforming en une combinaison linéaire avec contrainte de positivité de fonction appelées PSF (point spread functions) dépendant de la fréquence. Ces méthodes se heurtent cependant à deux difficultés principales pour le cas des sources en mouvement :

- les PSF varient avec la position relative sources - antenne,
- les PSF subissent un étalement fréquentiel relatif à l'effet Doppler.

Ces deux difficultés conduisent généralement à un découpage du survol en plusieurs courtes fenêtre temporelles, limitant la résolution fréquentielle et posant certaines difficultés pour le cas des sources tonales.

Une alternative aux approches de déconvolution fréquentielles pour sources mobiles a été proposée récemment [5], basée

sur une approche purement temporelle. Il s'agit d'une méthode type matching poursuit, dans le principe proche de la déconvolution Clean [6], mais traitée dans le domaine temporel (d'où son nom CleanT). Cette approche, initialement développée pour des applications de bruit de passage automobile, a été testée également sur des applications ferroviaires [7]. L'objectif du présent travail est de proposer des premiers résultats dans le domaine aéronautique pour le traitement de survol d'antennes.

Cette communication est organisée comme suit : les grandes lignes de la méthode CleanT sont rappelées dans une première partie, suivi d'une description de son adaptation à la problématique de survol. Quelques premiers résultats expérimentaux sont finalement proposés dans une dernière section.

2 Principe de la méthode CleanT

La méthode CleanT est une approche heuristique parcimonieuse du type Matching Pursuit (MP). Le principe est de focaliser de manière itérative les signaux d'une antenne de microphones sur un nuage de points représentant les sources candidates (positionnées dans un repère mobile lié à la cible), puis de retrancher à chaque itération la contribution de la source maximisant un critère donné.

La pression acoustique générée en un point donné par une source ponctuelle en mouvement est donnée par

$$p_i \left(t + \frac{r_{ij}(t)}{c} \right) = A_{ij}(t) \cdot q_j(t) \quad (1)$$

où $A_{ij} = [r_{ij}(t) \cdot (1 - M \cdot \cos(\theta_{ij}(t)))^2]^{-1}$ correspond à l'atténuation géométrique pour une source mobile évoluant à Mach M , r_{ij} est la distance source-microphone, θ_{ij} l'angle entre la direction de déplacement de la source et la direction

source-microphone, et c la célérité des ondes acoustiques. Pour une antenne de m microphones, l'estimation au sens des moindres carrés du signal source $q_j(t)$ est donnée par

$$q_j(t) = \frac{1}{\sum_{i=1}^m (A_{ij}(t))^2} \sum_{i=1}^m A_{ij}(t) \cdot p_i \left(t + \frac{r_{ij}(t)}{c} \right)$$

A chaque itération de la méthode CleanT, un indicateur est maximisé sur l'ensemble des n sources candidates, qui permet de sélectionner une source. La position et le signal de cette source sont stockés, et la contribution de cette source sur l'antenne est retranchée des données. Les signaux résiduels sont utilisés à l'itération suivante.

L'indicateur maximisé à chaque itération peut être simplement un niveau global de signal source. Cependant, cet indicateur est biaisé par l'hétérogénéité des distances moyennes sources candidates - microphones de l'antenne : une source plus éloignée de l'antenne aura tendance à être plus énergétique pour compenser l'éloignement. Un indicateur alternatif est donné par :

$$\Lambda_j = \int_T w_j(t) \cdot (q_j(t))^2 dt \quad (2)$$

où $w_j(t) = \sum_{i=1}^n (A_{ij}(t))^2$ corrige le biais de distance.

3 Application de la méthode CleanT à l'antennerie de survol

Le principe de la méthode CleanT, simpliste, voire naïf, nécessite quelques ajustements liés aux difficultés suivantes

- la position de source dominante dépend de la fréquence
- la position de source dépend de l'angle d'incidence (les sources sont directives)
- la propagation se faisant sur une longue distance le vent et la température deviennent des paramètres sensibles
- les sources peuvent avoir un caractère large bande ou tonal

La réponse aux première et seconde difficultés consiste en l'application de la méthode en partitionnant les données par bandes de fréquences et par fenêtres temporelles.

Le partitionnement par bandes de fréquence se conformera au partitionnement utilisé pour le traitement d'antenne : la configuration d'antenne en croix utilisée nécessite la définition de différents ensembles de microphones pour optimiser la réponse d'antenne par bande de fréquence. Le filtrage passe-bande doit cependant être réalisé sur des signaux "dédopplérisés", pour qu'une bande donnée soit représentative de l'énergie portée par la source et non les microphones. Cette dédopplérisation est faite indépendamment pour chaque micro, en considérant une position de source au centre de gravité de la cible. Les

signaux sont ensuite filtrés passe-bande, puis "redopplérisés" avant application de l'algorithme CleanT. Cette étape constitue la partie pré-traitement décrite dans le schéma 1.

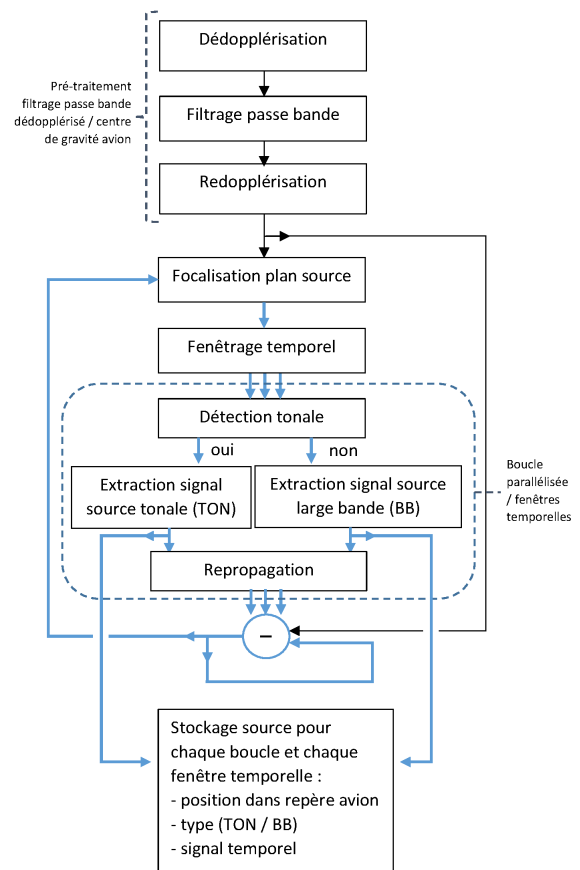


FIGURE 1 – Algorithme CleanT appliqué à l'antennerie de survol. Les flèches noires sont exécutées au démarrage seulement, les flèches bleues sont empruntées à chaque itération.

En antennerie classique, l'hypothèse de distribution parcimonieuse de sources omnidirectionnelles est généralement fautive mais l'effet est limité par le fait que la source est vue sous un angle solide limité (ouverture de l'antenne). Dans le cas où la source est en mouvement, elle est vue sur un angle solide beaucoup plus large, ce qui peut créer des problèmes. Par exemple, la source principale en phase d'approche (la cible se rapproche de l'antenne) n'est pas forcément la même que lorsque la cible s'éloigne. L'algorithme CleanT doit donc être appliqué par morceaux, chaque morceau correspondant à un certain intervalle angulaire de l'incidence de la source. La partie de l'algorithme réalisée en parallèle pour chaque intervalle d'incidence est entourée en traits pointillés sur la figure 1. Concernant la difficulté liée aux incertitudes sur les données environnementales (vent, température), des valeurs moyennes sont ici inférées par essais-erreur avec pour objectif de recaler l'image acoustique dans le repère mobile lié à la source.

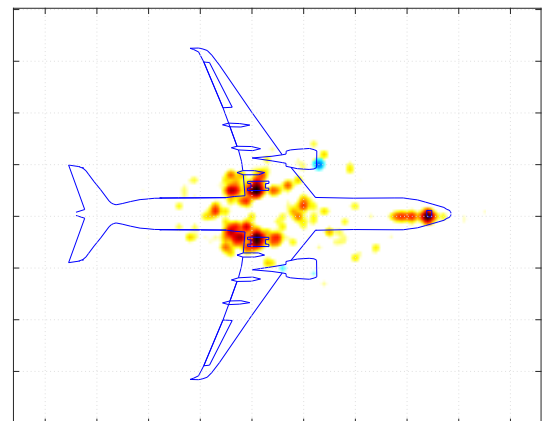
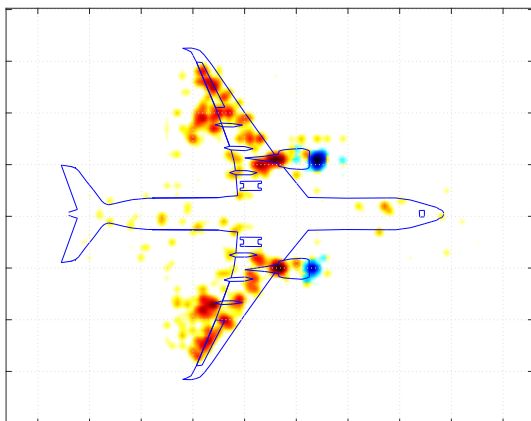
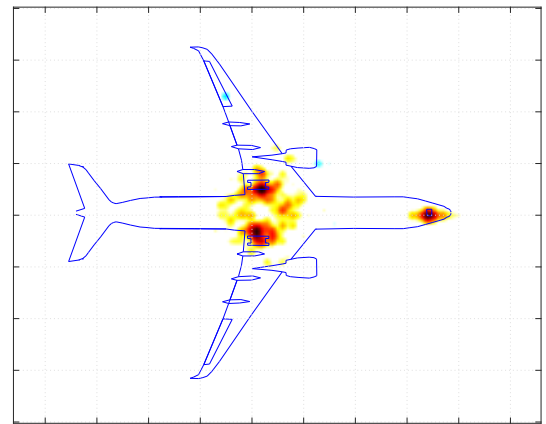
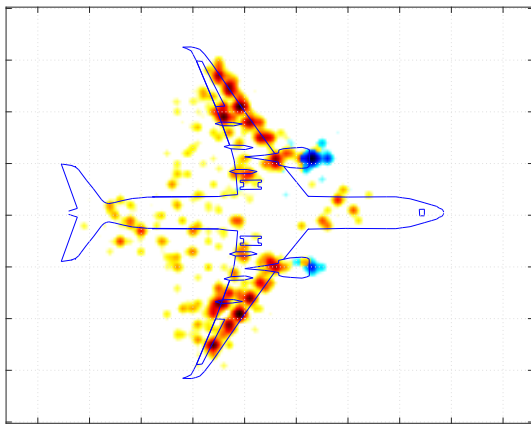
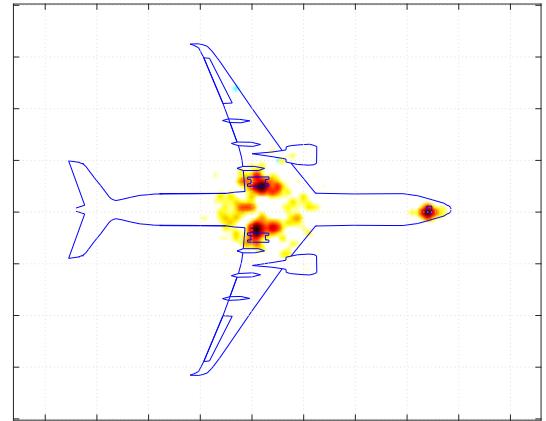
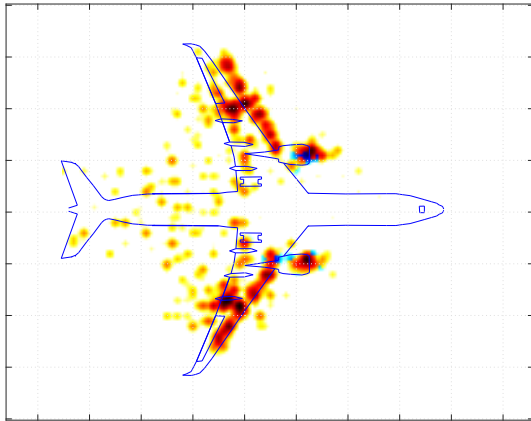


FIGURE 2 – Résultats d'imagerie (large bande) configuration 1 pour différents angles d'incidence : 60° (haut) 90° (milieu) 120° (bas). Couleurs rouges / bleues : sources large bandes / tonales.

FIGURE 3 – Résultats d'imagerie (large bande) configuration 2 pour différents angles d'incidence : 60° (haut) 90° (milieu) 120° (bas). Couleurs rouges / bleues : sources large bandes / tonales.

La présence de composante tonales en plus de bruit large bande représente également une certaine difficulté. Elles peuvent être en effet significatives tout en ayant un niveau inférieur au composantes large bandes, donc pas forcément prioritaires selon l'indicateur de maximisation du niveau quadratique tel que défini en Eq. (2). Il peut cependant être avantageux de les extraire en priorité. Un traitement spécifique est pris en compte, basé le calcul d'un indicateur de tonalité (non détaillé dans ce travail). Si un caractère tonal est détecté dans les signaux sources, le signal source maximisant l'indicateur de tonalité est filtré en bande étroite et traité par la suite comme signal source de type tonal (cf. fig. 1).

4 Résultats expérimentaux

De premiers résultats expérimentaux de cas d'application de survol sont proposés dans ce travail. L'antenne de microphones utilisée est une antenne en croix de 249 microphones. Deux configuration avion sont présentées avec ou sans trains d'atterrissages sortis, les résultats d'imagerie large bande sont tracés en figure 2 (trains rentrés) et 3 (trains sortis), pour différents angles d'incidence. Les sources à caractère tonal ont été représentées selon une échelle de couleur différente, pour illustrer l'un des intérêts de la méthode CleanT. Sur la figure 2 notamment les sources tonales liées aux soufflantes sont clairement identifiées et correctement positionnées. Elle ne sont plus significative sur la seconde configuration 3 à cause de la prédominance des trains d'atterrissage.

On peut également voir l'effet des conditions environnementales avec un décalage des sources lorsque l'avions est à 60 et 120°. Cela montre que la prise en compte de ces facteurs peut encore être amélioré.

Un intérêt de l'approche CleanT est de fournir des signaux sources en temporel, il est donc possible de tracer des spectres sources en bandes fines (cf. figure 4). Le spectre de puissance des sources est tracé et comparé au spectre moyen des microphones d'antenne. Les tonales, absentes des spectres microphoniques à cause de l'effet Doppler, émergent significativement dans les spectres de puissance de sources.

5 Conclusion

L'objectif de ce travail était de démontrer la possibilité d'implémenter la méthodologie CleanT aux essais de survol. Les résultats obtenus sont encourageants, et laissent envisager la possibilité de nombreux post-traitements qui valoriseraient l'approche par rapport aux outils existants. Ceci dit, la comparaison en termes de performances avec ces outils existants reste à faire. La méthode CleanT souffre en effet d'un inconvénient non négligeable : son coût de calcul. Il faudra démontrer que les bénéfices de l'approche méritent ces surcoûts de temps de traitement.

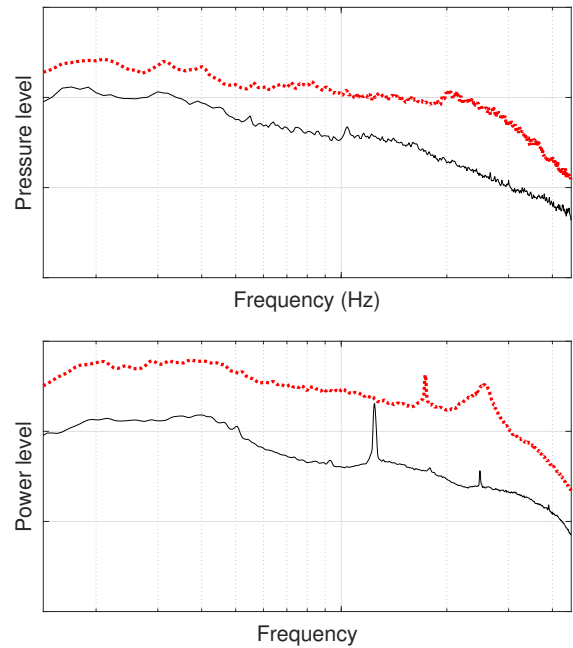


FIGURE 4 – Comparaison des spectres de pression mesurés (haut) et de puissance de source reconstruite (bas) pour les configurations 1 (trait continu noir) et 2 (pointillés rouge)

Références

- [1] U. Michel, J. Helbig, B. Barsikow, M. Hellmig, and M. Schuettpeitz. *Flyover noise measurements on landing aircraft with a microphone array*.
- [2] Guérin and Weckmüller. Frequency-domain reconstruction of the point-spread function for moving sources. In *Proceedings on CD of the 2nd Berlin Beamforming Conference, 19-20 February, 2008*. GFaI, Gesellschaft zu Förderung angewandter Informatik e.V., Berlin, 2008.
- [3] Vincent Fleury and Jean Bulté. Extension of deconvolution algorithms for the mapping of moving acoustic sources. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 129(3) :1417–1428, 2011.
- [4] Siller. Localisation of sound sources on aircraft in flight. In *Proceedings on CD of the 4th Berlin Beamforming Conference, 22-23 February 2012*. GFaI, Gesellschaft zu Förderung angewandter Informatik e.V., Berlin, February 2012.
- [5] R. Cousson, Q. Leclère, M.-A. Pallas, and M. Bérengier. A time domain clean approach for the identification of acoustic moving sources. *Journal of Sound and Vibration*, 443 :47–62, 2019.
- [6] P. Sijtsma. CLEAN based on spatial source coherence. *International Journal of Aeroacoustics*, 6 :357–374, 2007.
- [7] Kujawski and Sarradj. Application of the clean method for high speed railway train measurements. In *Proceedings of the 9th Berlin Beamforming Conference, 2020, February 2020*.