



ANTENNE ACOUSTIQUE A BASE DE MICROPHONES MEMS

SPECIFICATION TECHNIQUE DE BESOIN

	Rédacteur	Vérificateurs		Approbateur
Fonction	Ingénieur de recherche	Chef d'unité AKOU		Responsable de l'étude
Nom	H. Demontis	E. Manoha		C. Verbeke
Visa				

GEN-F24-2 (GEN-SCI-003)

HISTORIQUE

Version Révision	Date de mise en application	Cause et/ou nature de l'évolution
9.0	22/11/2024	Version pour publication

SOMMAIRE

1 OBJET..... 4

2 REFERENCE 4

3 CONTEXTE..... 4

4 EXIGENCE..... 5

 4.1 CONTRAINTE DE MISE EN ŒUVRE, D’UTILISATION ET DE MAINTENANCE..... 6

 4.2 CONTRAINTE D’INSTALLATION..... 8

 4.3 EXIGENCE FONCTIONNELLE 8

 4.4 EXIGENCE D’INTERFACE..... 9

 4.5 EXIGENCE OPERATIONNELLE..... 9

 4.6 PRESTATION SUPPLEMENTAIRE EVENTUELLE 9

5 VERIFICATIONS ET EPREUVES DE RECEPTION..... 10

6 RAPPEL DES LIMITES DE FOURNITURE 11

1 OBJET

Le département DAAA de l'ONERA participe au développement de méthodes expérimentales pour la localisation et la caractérisation des sources aéroacoustiques. Ces méthodes sont régulièrement employées lors des campagnes d'essai en soufflerie, et nécessitent le déploiement d'antennes acoustiques emportant quelques dizaines de microphones [1]. Récemment, les technologies de capteurs acoustiques à base de MEMS (*Micro Electro Mechanical System*) ont permis la conception d'antennes acoustiques plus performantes [2]. De par leur faible coût unitaire, les microphones MEMS apportent un avantage concurrentiel important en autorisant la multiplication du nombre de capteurs sur l'antenne. Ils limitent également l'encombrement matériel lié à l'électronique. On construit ainsi des antennes acoustiques pouvant offrir une meilleure résolution spatiale et une dynamique de mesure accrue. Les post-traitements associés permettent alors de mieux localiser les origines du bruit aéroacoustique sur la maquette, et de mieux isoler la signature de ces sources du bruit de soufflerie.

2 REFERENCE

[1] V. Fleury – Benchmark of Microphone Array Techniques: Analysis of Loudspeakers Noise Data in Ceptra19 – RA 1/23985 – Avril 2015

[2] Y. Zhou, V. Valeau, J. Marchal, F. Ollivier et R. Marchiano, Three-dimensional identification of flow-induced noise sources with a tunnel-shaped array of MEMS microphones, *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 482 p. 115459, Septembre 2020

3 CONTEXTE

L'antenne acoustique sera déployée dans la future installation LAVOLI (**L**aboratoire de **VOI** Libre) sur le site ONERA de Lille. Elle sera dédiée à la caractérisation des sources de bruit liées au survol de drones avec prise en compte des effets de vent. La mesure se fera pour des vitesses de vent n'excédant pas 15 m/s (soit $M=0,04$ en conditions atmosphériques standard). La Figure 1 présente un schéma de coupe verticale de l'ensemble.

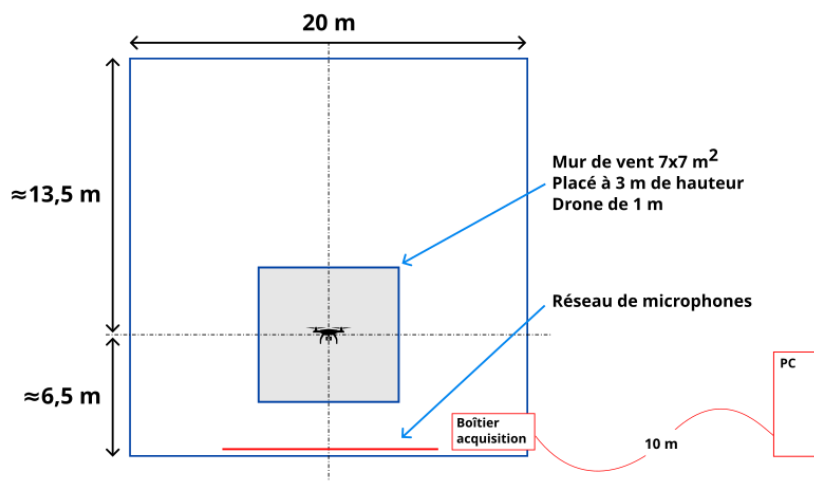


Figure 1: Schéma de l'antenne dans l'installation LAVOLI

La largeur de la salle accueillant l'installation est de 20 mètres. La largeur de la veine d'écoulement sera de 7 mètres. L'antenne sera placée au sol, sous l'écoulement du mur de vent et à l'aplomb du drone. La profondeur de champ face au centre de l'antenne sera de 6,5 mètres. L'antenne se composera d'une centaine de microphones basés sur la technologie de capteur MEMS. Les microphones seront disposés sur un support dédié, conçu pour faciliter le câblage électronique des capteurs jusqu'à une interface de conditionnement et de numérisation du signal sonore.

Le déclenchement de l'acquisition acoustique sera effectué manuellement par un opérateur de la soufflerie. L'acquisition sera contrôlée via une interface logicielle installée sur une station de travail pour la numérisation, le stockage et le traitement temps réel de la donnée. Cette station sera déportée à une distance minimale de 10 mètres de l'écoulement, au mieux dans un local ad hoc.

L'objet de cette STB est la conception et le déploiement sur site de l'antenne acoustique dans la future installation LAVOLI.

4 EXIGENCE

Cette section et les suivantes contiennent les exigences et contraintes de l'antenne acoustique. Chaque spécification se compose de deux éléments :

- Un terme d'exigence ou de contrainte [EF, EI, EO, CM, CI, PSE]
- Un niveau d'exigence [P ou M]

Les termes d'exigence sont listés dans le tableau ci-dessous :

CM	Contrainte de Mise en œuvre, d'utilisation et de maintenance
CI	Contrainte d'Installation
EF	Exigence Fonctionnelle
EI	Exigence d'Interface
EO	Exigence Opérationnelle
(M)	Niveau d'exigence Modulable, flexible, associé à une fonction non-indispensable
(P)	Niveau d'exigence Primordial, associé à une fonction indispensable pour répondre au besoin et non négociable
PSE	Prestation Supplémentaire Eventuelle : ajout d'une fonctionnalité supplémentaire non nécessaire au bon fonctionnement du moyen et ne modifiant pas l'offre de base. Cela peut être vu comme une option pouvant être retenue ou non par l'ONERA. Dans le cas où la fonctionnalité n'est pas retenue, cela ne doit nullement remettre en cause l'offre de base.
(F)	PSE Facultative : l'offre n'a pas l'obligation de proposer une réponse à la PSE comportant la mention (F).
(O)	PSE Obligatoire : l'offre doit contenir une proposition à la PSE comportant la mention (O)

Le premier terme définit la nature de la spécification, soit :

- Une contrainte,
 - C'est-à-dire une limitation ou une restriction imposée sur un système, un processus ou un projet ;
 - Elle contribue à définir les limites dans lesquelles le système doit fonctionner ou le projet doit être réalisé ;

- Elle peut être de nature technique, temporelle, légale ou liée à l'environnement du projet.
- Une exigence,
 - C'est-à-dire une condition ou une capacité spécifique que le système ou le projet doit satisfaire ou remplir pour être considéré comme réussi ;
 - Elle décrit ce que le système doit faire ou posséder pour répondre aux besoins des utilisateurs ou aux objectifs du projet
 - Elle peut être fonctionnelle (EF), décrire des interfaces (EI) ou être opérationnelle (EO).

4.1 CONTRAINTE DE MISE EN ŒUVRE, D'UTILISATION ET DE MAINTENANCE

[CM_01] Choix de technologie de capteur MEMS (P)

L'antenne sera composée de microphones basés sur une technologie de capteur MEMS. Le type de MEMS n'est pas imposé, et peut être à sortie analogique ou bien numérique.

[CM_02] Synchronisation des voies d'acquisition (P)

Le dispositif d'acquisition asservissant les microphones de l'antenne assurera la synchronisation des signaux acquis à l'échantillon près.

[CM_03] Borne inférieure de la bande passante des microphones (P)

La réponse en fréquence des microphones MEMS couvrira une bande passante à partir de 100 Hertz.

[CM_04] Borne supérieure de la bande passante des microphones (M)

La réponse en fréquence des microphones MEMS couvrira une bande passante jusqu'à 10.000 Hertz. Cette limite supérieure pourra être abaissée en fonction des spécificités techniques du MEMS retenu.

[CM_05] Bande passante plate des microphones (M)

La réponse en fréquence des microphones MEMS doit être plate à +/- 1 dB entre les bornes fréquentielles définies précédemment.

[CM_06] Respect de la géométrie de l'antenne (M)

Une étude préalable menée par l'ONERA a défini une géométrie d'antenne adaptée à la configuration en Figure 1. La Figure 2 présente la disposition choisie des microphones. L'antenne comporte actuellement 120 microphones, pour une envergure maximale de 12 mètres. Cette disposition de microphones est définie pour respecter les critères de performances suivants, au sens du beamforming :

- Résolution spatiale à 1000Hz de 0,8 mètres à hauteur du drone ;
- Dynamique de reconstruction à 1000 Hz de 20 dB.

Le titulaire du contrat doit proposer une conception de l'antenne basée sur cette configuration minimale, et respectant les critères de performances cités. Il peut également proposer à l'ONERA une géométrie alternative (**variante**) en termes de nombre de microphones et d'envergure maximale. Cette proposition se fera sur la base de simulations numériques qui justifieront ce choix, et qui seront discutées et validées par l'ONERA.

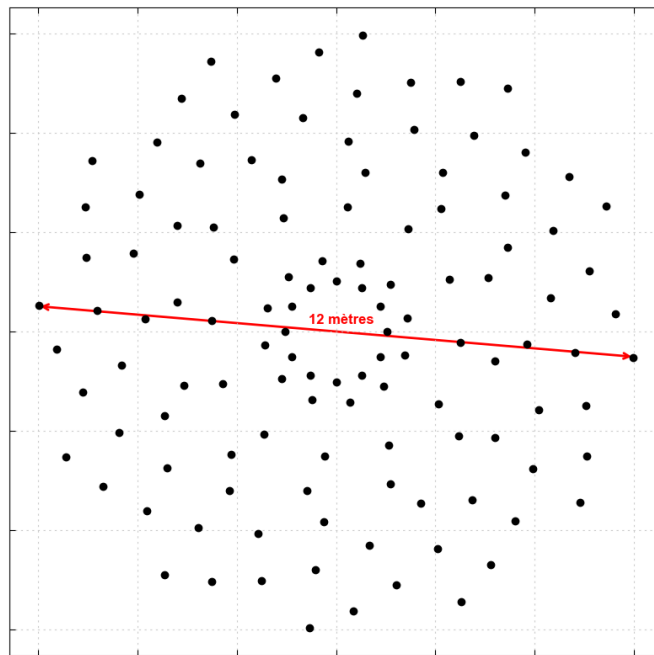


Figure 2: Géométrie de l'antenne adaptée

[CM_07] Définition du support de l'antenne (P)

L'antenne sera déployée sur un support dédié. Chaque microphone doit pouvoir se démonter de ce support, pour des questions de maintenance électronique. Les microphones seront affleurants à la surface, et à même altitude. Le support sera adapté au passage des câbles et raccords électroniques nécessaires au fonctionnement du dispositif d'acquisition. Ces câbles ne seront pas exposés au drone, et passeront donc sous le support. Enfin, ce support doit être transportable par morceaux dont les dimensions n'excéderont pas 1,50 mètres d'envergure.

[CM_08] Raccordement au système d'acquisition (P)

Le câble de transfert reliant le dispositif d'acquisition jusqu'au PC sera d'une longueur minimale de 10 mètres, et d'une longueur maximale de 20 mètres.

[CM_09] Maintenance et support de l'électronique de l'antenne (P)

Le titulaire doit être à même de maintenir l'électronique du dispositif d'acquisition et des microphones MEMS, que ce soit pour une maintenance régulière ou pour son dépannage, durant une durée d'un an après la fin de période de garantie.

[CM_10] Manuel d'utilisation (P)

Ce manuel sera fourni en version électronique et papier. Il sera rédigé en français, et couvrira à la fois les aspects matériels et logiciels du dispositif d'acquisition.

[CM_11] Fichiers d'installations des logiciels du système de commande (P)

Il est demandé que les fichiers d'installations des logiciels du dispositif d'acquisition soient fournis pour être archivés par l'ONERA et installables en cas de besoin.

[CM_12] Fourniture des conditions d'utilisation du logiciel et maintenance initiale (P)

Le titulaire fournira les conditions d'utilisation des logiciels ainsi que les détails concernant sa maintenance initiale. Il s'engage notamment à assurer le support et la mise à jour des logiciels, pour une durée d'un an.

[CM_13] Formation du personnel ONERA (P)

Le titulaire du contrat proposera une formation du personnel ONERA (2 ingénieurs et 1 technicien) à l'utilisation de l'antenne. Cette formation permettra au personnel de maîtriser les fonctionnalités du dispositif d'acquisition et l'installation du support de l'antenne sur site, afin de garantir une utilisation optimale et sécurisée de l'antenne.

4.2 CONTRAINTE D'INSTALLATION

[CI_01] Installation du support (M)

Lors de la préparation des essais, l'installation de l'antenne doit être possible par 2 personnes au maximum, à l'aide d'outils comme des tournevis et des clefs Allen. La durée d'installation de l'antenne sera la plus courte possible, et ne dépassera pas une journée complète de travail (soit 8 heures en continu).

[CI_02] Rigidité du support (P)

Le support maintiendra figée la disposition des microphones de l'antenne durant les essais en présence d'écoulement.

[CI_03] Installation de l'antenne et du PC d'acquisition dans le bâtiment B20 (P)

Une première installation de l'ensemble des équipements livrés sera faite dans le bâtiment B20 situé sur le site ONERA de Lille.

4.3 EXIGENCE FONCTIONNELLE

[EF_01] Accès aux données en temps réel (P)

Il est impératif que les données de mesure soient consultables via l'explorateur de fichiers du PC après chaque acquisition. Cette exigence est de première importance pour analyser les données entre deux points d'essai d'une même campagne de mesure.

[EF_02] Pilotage conditionnel à partir d'évènements externes (P)

Le dispositif permettra le déclenchement conditionnel ou l'arrêt conditionnel de l'acquisition. La condition sera exprimée à partir d'un signal analogique externe (par exemple un front montant, un front descendant).

[EF_03] Choix de la fréquence d'échantillonnage (P)

Le dispositif permettra d'acquérir les signaux acoustiques avec une fréquence d'échantillonnage choisie par l'opérateur avant le lancement de la mesure. Cette fréquence d'échantillonnage ne sera pas modifiable durant la mesure. La valeur de cette fréquence d'échantillonnage dépendra des spécificités techniques du capteur MEMS retenu.

[EF_04] Valeur minimale de fréquence d'échantillonnage (P)

La valeur minimale de fréquence d'échantillonnage respectera le critère de Shannon-Nyquist, en fonction de la contrainte [CM_04] sur la borne supérieure de la bande passante des microphones MEMS.

[EF_05] Choix de la durée d'acquisition (M)

La durée maximale d'acquisition en continu souhaitée sera de 1 heure.

[EF_06] Acquisition continue des signaux (P)

Le dispositif permettra d'acquérir sans discontinuité les signaux acoustiques sur la durée imposée par l'opérateur.

4.4 EXIGENCE D'INTERFACE

[EI_01] Interface homme/machine (P)

L'interface graphique du logiciel affichera une visualisation temps réel des niveaux de pression acoustique efficace, pour chaque microphone. Cette visualisation se superposera à la géométrie de l'antenne, suivant une échelle de couleur indiquant le niveau mesuré, de sorte à identifier un dysfonctionnement au moment de la mesure.

[EI_02] Format de sortie des données acoustiques (P)

Le format du fichier de sortie sera un format binaire sous licence ouverte et documentée. Il comportera un en-tête listant les paramètres d'acquisition suivants : heure de déclenchement de l'acquisition, fréquence d'échantillonnage, nombre de microphones actifs durant l'acquisition, nombre d'échantillons acquis... Les données mesurées par les microphones seront stockées suivant une succession d'échantillons de pression instantanée pour chaque microphone de l'antenne.

[EI_03] Sélection des microphones actifs (P)

L'interface graphique permettra de choisir les microphones actifs avant le démarrage de l'acquisition.

[EI_04] Déclenchement de l'arrêt de la mesure (P)

Le logiciel permettra de forcer l'arrêt immédiat d'une acquisition, grâce à un bouton cliquable par l'opérateur.

4.5 EXIGENCE OPERATIONNELLE

[EO_01] Fourniture du placement des microphones sur le support (P)

Le titulaire du contrat fournira le positionnement exact des microphones sur le support, dans un format ouvert et tabulé type CSV.

[EO_02] Précision du placement des microphones sur le support (M)

L'écart individuel de positionnement de chaque microphone, par rapport à la position théorique sur le support (voir Figure 2), n'excèdera pas 1 centimètres.

[EO_03] Numérotation des microphones et des supports (P)

Le titulaire du contrat fournira une numérotation de tous les éléments du dispositif d'acquisition : morceaux du support mécanique, microphones, câbles, canaux d'acquisition...

4.6 PRESTATION SUPPLEMENTAIRE EVENTUELLE

[PSE_01] Fourniture d'un lot de bonnettes anti-vent (O)

Le dispositif d'acquisition inclura des bonnettes anti-vent adaptées aux microphones, pour atténuer le bruit provoqué par les recirculations de l'air (mur de vent, survol du drone...).

[PSE_02] Etalonnage en fréquence des microphones MEMS (O)

Le titulaire du contrat fournira une fiche d'étalonnage en fréquence pour la référence du microphone MEMS sélectionné. Cet étalonnage sera fait pour un seul microphone. Le titulaire détaillera la procédure mise en œuvre pour réaliser cet étalonnage initial.

[PSE_03] Fourniture d'un PC (O)

Le dispositif d'acquisition inclura un PC, un écran, un clavier, une souris, les connectiques associées. Une capacité d'au moins 1 To pour le disque dur est souhaitée. La taille de l'écran fourni avec le PC sera de 24" au minimum. Le logiciel de pilotage du dispositif d'acquisition sera préinstallé. Le PC comportera, en plus des cartes et périphériques nécessaires à son fonctionnement, une carte Ethernet permettant sa connexion au réseau interne de l'ONERA. Le titulaire du contrat fournira les spécifications techniques du matériel sélectionné.

[PSE_04] Maintenance du logiciel (O)

Le titulaire du contrat propose 2 ans de support et de maintenance après la fin de période de garantie.

5 VERIFICATIONS ET EPREUVES DE RECEPTION

Le Tableau 2 présente les méthodes de vérification retenues pour chacune des exigences. Plusieurs vérifications sont possibles, numérotées de la façon suivante :

1. Essais (définis en concertation entre le titulaire et l'ONERA) avec PV d'essais.
2. Examen de documents.
3. Contrôles avec PV attestant de la bonne fourniture des documents ou du matériel ou de la bonne réalisation des prestations.

REFERENCES	QUALIFICATION	ADMISSION
[CM_01] Choix de technologie de capteur MEMS	2	3
[CM_02] Synchronisation des voies d'acquisition	2	1
[CM_03] Borne inférieure de la bande passante des microphones	2	2+3
[CM_04] Borne supérieure de la bande passante des microphones	2	2+3
[CM_05] Bande passante plate des microphones	2	2+3
[CM_06] Respect de la géométrie de l'antenne	2	2+3
[CM_07] Définition du support de l'antenne	2	3
[CM_08] Raccordement au système d'acquisition	2	3
[CM_09] Maintenance et support de l'électronique de l'antenne	2	2+3
[CM_10] Manuel d'utilisation	2	2+3
[CM_11] Fichiers d'installations des logiciels du système de commande	2	2+3
[CM_12] Fourniture des conditions d'utilisation du logiciel et maintenance initiale	2	2+3
[CM_13] Formation du personnel ONERA	2	3
[CI_01] Installation du support	2	1
[CI_03] Installation de l'antenne et du PC d'acquisition dans le bâtiment B20	2	3
[CI_02] Rigidité du support	2	1
[EF_01] Accès aux données en temps réel	2	1
[EF_02] Pilotage conditionnel à partir d'évènements externes	2	1
[EF_03] Choix de la fréquence d'échantillonnage	2	1
[EF_04] Valeur minimale de fréquence d'échantillonnage	2	1
[EF_05] Choix de la durée d'acquisition	2	1

[EF_06] Acquisition continue des signaux	2	1
[EI_01] Interface homme/machine	2	2+3
[EI_02] Format de sortie des données acoustiques	2	1
[EI_03] Sélection des microphones actifs	2	1
[EI_04] Déclenchement de l'arrêt de la mesure	2	1
[EO_01] Fourniture du placement des microphones sur le support	2	2+3
[EO_02] Précision du placement des microphones sur le support	2	2+3
[EO_03] Numérotation des microphones et des supports	2	2+3
[PSE_01] Lot de bonnettes anti-vent	2	3
[PSE_02] Etalonnage en fréquence des microphones MEMS	2	2+3
[PSE_03] Fourniture d'un PC	2	3
[PSE_04] Maintenance du logiciel	2	2

Dans cette section sont spécifiées les vérifications et épreuves qui serviront à démontrer formellement au client que le produit répond aux exigences.

Les essais de recette seront réalisés conjointement par le prestataire et l'ONERA, sur le centre de Lille.

A minima, les essais de recette envisagés contiendront la séquence expérimentale suivante, réalisable pour plusieurs enregistrements successifs à l'aide du dispositif d'acquisition.

- Prise en main du logiciel pour valider les exigences [EF_01], [EF_03], [EF_04], [EI_01], [EI_02] et [EI_03] ;
- Acquisition durant 1 heure pour valider l'exigence [EF_04] ;
- Lancement d'une acquisition par pilotage conditionnel pour valider l'exigence [EF_02] ;
- Lancement puis interruption d'une acquisition pour valider l'exigence [EI_04] ;
- Réalisation d'une acquisition arbitraire pour valider l'exigence [CM_02] par interprétation des signaux.

Une fois le dispositif livré, des contrôles supplémentaires seront réalisés :

- Contrôle de la maniabilité du support de l'antenne ;
- Contrôle de la rigidité du support de l'antenne ;
- Essai d'installation de l'antenne par 2 personnes.

6 RAPPEL DES LIMITES DE FOURNITURE

• A charge du prestataire :

Livraison, décharge, moyens de manutention, installation (réalisation des connexions au PC, assemblage du support de l'antenne), logiciels, fichiers d'installation des logiciels, sauvegardes, documentations techniques en français, description des interfaces du système, étalonnage, validation du système et de ses fonctionnalités.

• A charge de l'ONERA :

Réseau électrique, réseau informatique et dispositifs expérimentaux pour la réalisation des essais de recette.