

Introduction à la mesure du rapport signal/bruit sur les microphones directionnels

Cette note d'application a pour but de fournir des conseils aux ingénieurs pour mesurer **le rapport signal sur bruit (SNR)** sur les microphones directionnels Soundskrit. À titre de référence, une structure de configuration de test et des techniques de traitement des données sont incluses.

Le rapport signal/bruit est une mesure essentielle pour quantifier les performances d'un microphone. Cela fournit à l'utilisateur final une indication du son le plus faible qu'un microphone peut discerner au-dessus du bruit de fond. Cette mesure quantifie également la qualité du son, car elle représente le niveau d'audible du bruit de fond électrique dans un enregistrement. Un rapport signal/bruit plus élevé indique qu'un microphone peut capter des sons plus faibles ou qu'il a un bruit de fond audible plus faible.

Le rapport signal/bruit est généralement simplifié en une seule valeur. Le rapport signal/bruit d'un microphone est généralement calculé en divisant la sensibilité de 1 kHz du microphone par le bruit intégré pondéré A sur l'ensemble du spectre audio. Cette valeur pondérée A utilise la sensibilité à 1 kHz pour approximer les performances du microphone sur toute la gamme de fréquences. Ceci est utile pour comparer rapidement les performances de différents microphones. Cependant, le rapport signal/bruit varie en fonction de la fréquence, ce qui peut fausser les performances réelles de certains microphones.

Si un microphone a une réponse en fréquence « plate », la sensibilité ne change pas de manière significative avec la fréquence. Dans ce cas, l'utilisation de la sensibilité de 1 kHz est représentative des performances du microphone sur toute sa plage de fonctionnement. Bien qu'il soit prudent de supposer que les microphones omnidirectionnels auront une réponse en fréquence plate, les microphones directionnels ont intrinsèquement une réponse en fréquence inclinée. Pour cette raison, s'appuyer sur le SNR à 1 kHz faussera les performances du microphone. Selon les caractéristiques du microphone, cela peut améliorer ou aggraver artificiellement le rapport signal/bruit de 1 kHz. Dans Figure 1 ci-dessous, vous verrez la réponse en fréquence d'un microphone omnidirectionnel à côté de la réponse inclinée d'un microphone directionnel de Soundskrit.

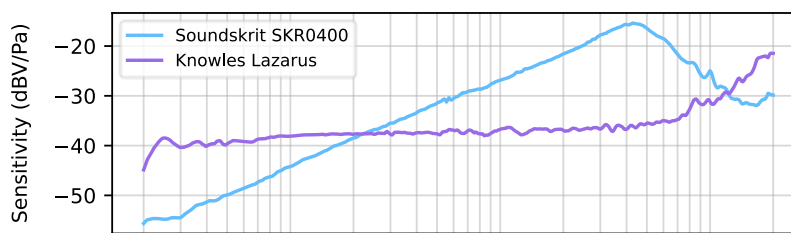


Figure 1: Réponse en fréquence plate omnidirectionnelle vs. réponse en fréquence directionnelle du microphone Soundskrit

Pour les microphones directionnels, nous vous recommandons d'utiliser un processus que nous appelons **Full Band SNR**. Cela prend en compte les performances de bruit sur toute la bande en évaluant la sensibilité par rapport au bruit référé à l'entrée. Essentiellement, le rapport signal/bruit est évalué à toutes les fréquences et intégré dans la valeur unique du rapport signal/bruit pondéré A.

Cela donnerait un résultat similaire à celui de l'égalisation du microphone à une réponse en fréquence plate, puis de la mesure du rapport signal/bruit à l'aide de la valeur de 1 kHz. De même, pour un microphone omnidirectionnel, cette méthode produirait la même valeur que la méthode typique à fréquence unique. Cette valeur unique permet d'obtenir une représentation fidèle du rapport signal/bruit des microphones directionnels et peut être utilisée pour comparer avec les microphones omnidirectionnels traditionnels.

Réponse en fréquence du microphone directionnel

Les microphones directionnels Soundskrit créent un diagramme polaire dipolaire à l'aide de deux ports audio et d'un transducteur spécialisé. Ces microphones détectent le delta de pression entre les deux ports, ce qui augmente la sensibilité aux sons provenant de certaines directions. Les microphones omnidirectionnels, cependant, détectent le changement de pression à un seul port, de sorte qu'ils sont agnostiques à la direction du son.

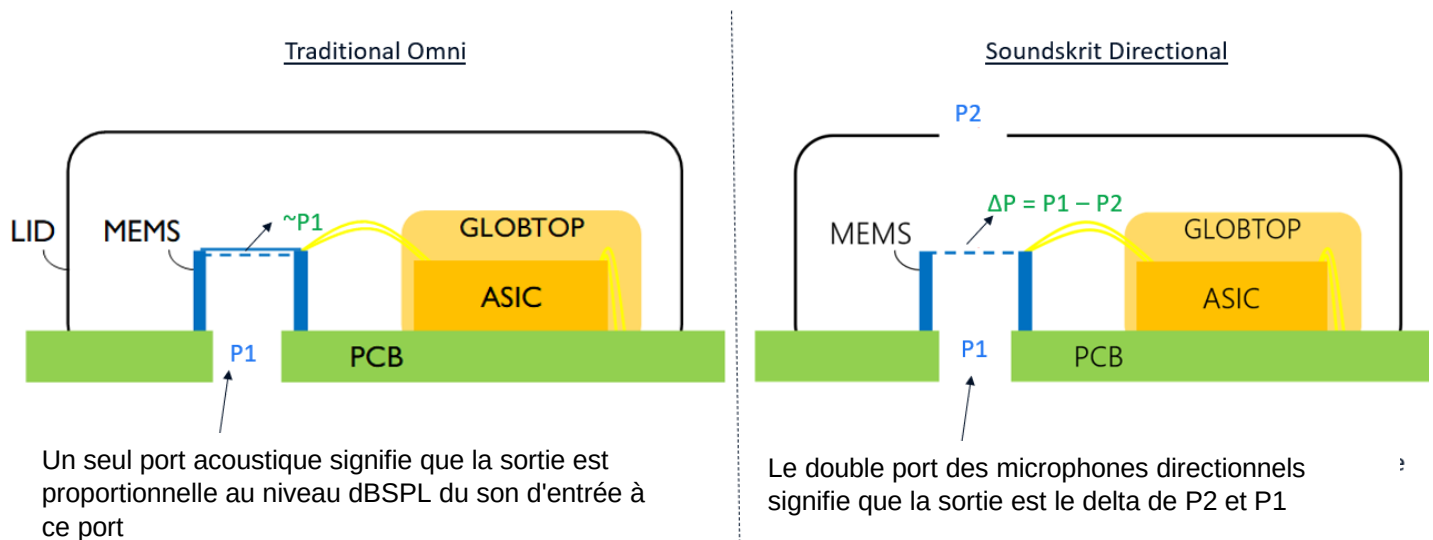


Figure 2: Comparaison entre les microphones omnidirectionnels et les microphones directionnels Soundskrit

Les microphones directionnels mesurent la différence de pression entre les ports P1 et P2. Si le son provient de l'avant du capteur, P1 sera plus proche de la source sonore et l'onde sonore devra se déplacer plus loin autour du microphone pour entrer dans P2. Ainsi, l'onde sonore à P2 est légèrement déphasée par rapport à P1, ce qui entraîne une différence de pression aux bornes du transducteur. Si la source sonore se trouve sur le côté du microphone, l'onde sonore atteindra P1 et P2 simultanément, ce qui entraînera une pression égale aux deux ports, de sorte qu'il n'y aura pas de delta à travers le transducteur. Pour en savoir plus sur cet effet et sur la façon dont les microphones Soundskrit créent un diagramme polaire directionnel, reportez-vous à cette vidéo qui montre comment notre transducteur réagit au son provenant de différentes directions : [Comment la technologie de Soundskrit révolutionne-t-elle les microphones MEMS ?](#)

Le delta de pression entre P1 et P2 dépend également de la longueur d'onde de l'onde sonore. Plus la longueur d'onde est petite, plus le changement d'amplitude sera important entre les deux points, car l'amplitude change plus rapidement à des fréquences plus élevées. Au fur et à mesure que la fréquence du son diminue, la longueur d'onde augmente, ce qui entraîne un delta de pression plus petit, ce qui rend le microphone moins sensible aux basses fréquences. C'est pourquoi il est important de calculer le « SNR pleine bande » pour tenir compte des performances sur toutes les fréquences. Vous trouverez ci-dessous une illustration de deux ondes sonores d'amplitude égale à 1 kHz et une autre de 250 Hz montrant où chaque port sonore est échantillonné dans l'onde pour montrer comment le delta de pression est affecté.

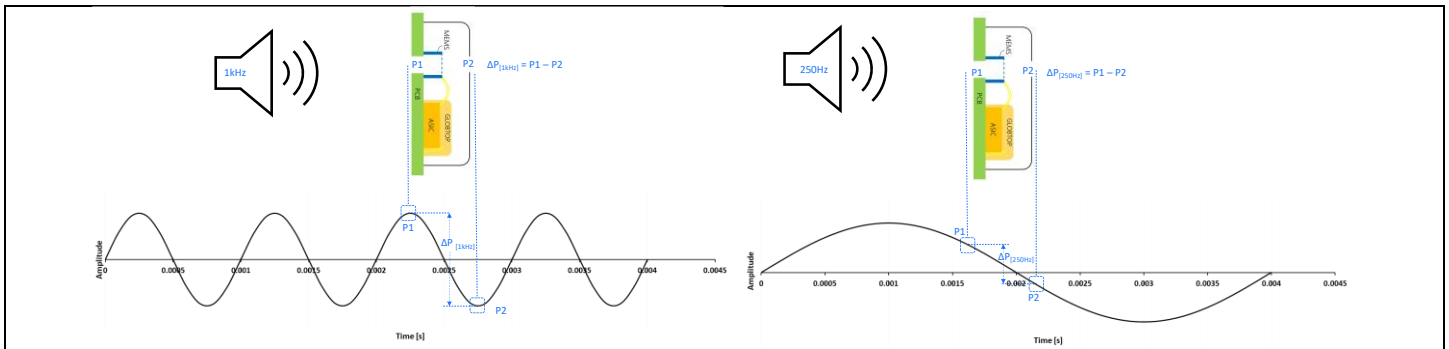


Figure 3: Exemple d'échantillonnage d'ondes sonores par microphone directionnel de deux fréquences

Ces deux graphiques montrent pourquoi une fréquence plus basse a moins de sortie pour le même niveau dB SPL d'entrée.

$\Delta P_{[250 \text{ Hz}]} \ll \Delta P_{[1000 \text{ Hz}]}$ car la longueur d'onde plus longue de 250 Hz entraîne une pression delta beaucoup plus faible entre les deux ports.

Vous avez peut-être remarqué, cependant, que la réponse en fréquence de l'SKR0400 dans Figure 1 n'est pas linéaire et culmine autour de 4 kHz. La résonance acoustique du microphone a également un impact sur la sensibilité. Notre micro transducteur est conçu pour avoir une résonance à 4,3 kHz afin de maximiser le rapport signal/bruit de la voix humaine. Après cette résonance, la sensibilité commence à diminuer.

Calcul du rapport signal/bruit pleine bande

Pour calculer le rapport signal/bruit pleine bande, au lieu d'utiliser uniquement la sensibilité de 1 kHz, le bruit électrique du microphone à chaque fréquence (unités de V²/Hz) doit être divisé par la sensibilité correspondante au carré à chaque fréquence (unités de V²/Pa²) pour obtenir le bruit acoustique d'entrée référé à chaque fréquence (unités de Pa²/Hz). Ensuite, le bruit acoustique pondéré A est intégré sur la bande passante audio souhaitée, $f_1 - f_2$, et converti en un niveau de pression acoustique équivalent (dBA SPL). Enfin, le rapport signal/bruit est calculé en soustrayant le bruit référent d'entrée équivalent de 94 dB SPL.

Dans le cas de l'SKR0400, le bruit référent d'entrée équivalent est de 30,5 dBA, de sorte que le rapport signal/bruit final est de 63,5 dBA. L'équation de calcul est illustrée ci-dessous :

$$SNR = 94 - 20 \log_{10} \left(\frac{1}{P_{ref}^2 [Pa^2]} \int_{f_1 [Hz]}^{f_2 [Hz]} \frac{noise \left[\frac{V^2}{Hz} \right]}{sensitivity \left[\frac{V^2}{Pa^2} \right]} A_w df [Hz] \right)$$

Équation 1 : Calcul du rapport signal/bruit

Pour calculer le rapport signal/bruit du microphone sur toute la gamme de fréquences audibles, $f_1 = 20$ Hz et $f_2 = 20$ kHz. Dans certaines applications, la bande passante complète de 20 kHz peut ne pas être nécessaire. Dans ce cas, il suffit d'intégrer le bruit acoustique référé à l'entrée sur la bande audio souhaitée. Cela a le même effet que si vous égalisez le microphone à une réponse en fréquence plate, puis que vous mesurez le rapport signal/bruit à 1 kHz. Cette méthode basée sur l'égaliseur est le moyen le plus simple de calculer un rapport signal/bruit précis pour les microphones MEMS directionnels et la méthode suivra dans ce guide.

Procédure de mesure

Vous trouverez ci-dessous la méthode recommandée pour mesurer le rapport signal/bruit. Cette méthode aborde le rapport signal/bruit pleine bande en égalisant le DUT, puis en mesurant le rapport signal/bruit de 1 kHz plutôt que de mesurer et de calculer entièrement le rapport signal/bruit pleine bande comme détaillé ci-dessus, car il s'agit de la procédure la plus familière aux ingénieurs acousticiens. Vous trouverez ci-dessous les étapes nécessaires pour égaliser le DUT et mesurer le SNR. Il existe plusieurs images de référence, mais celles-ci n'ont pas été prises dans un environnement anéchoïque, elles doivent donc être utilisées comme un guide plutôt que comme un point de référence spécifique. Les mesures prises dans un environnement anéchoïque seront beaucoup plus précises et cohérentes.

Matériel nécessaire :

- Microphone de référence – Nous utilisons l'EMX-7150 d'iSEMcon)
- Haut-parleur de référence - Ce haut-parleur doit agir comme une source ponctuelle, de sorte que le haut-parleur doit être soit un haut-parleur unique, soit avoir un tweeter monté de manière coaxiale. Nous utilisons l'Avantone Active MixCube
- Analyseur audio
 - Nous utilisons l'APx500 d'Audio Precision (AP), toutes les instructions de configuration de l'analyseur audio en [bleu](#) ne sont spécifiées que pour ce modèle et des modèles similaires. Veuillez vous référer au manuel de votre équipement si vous utilisez un autre analyseur

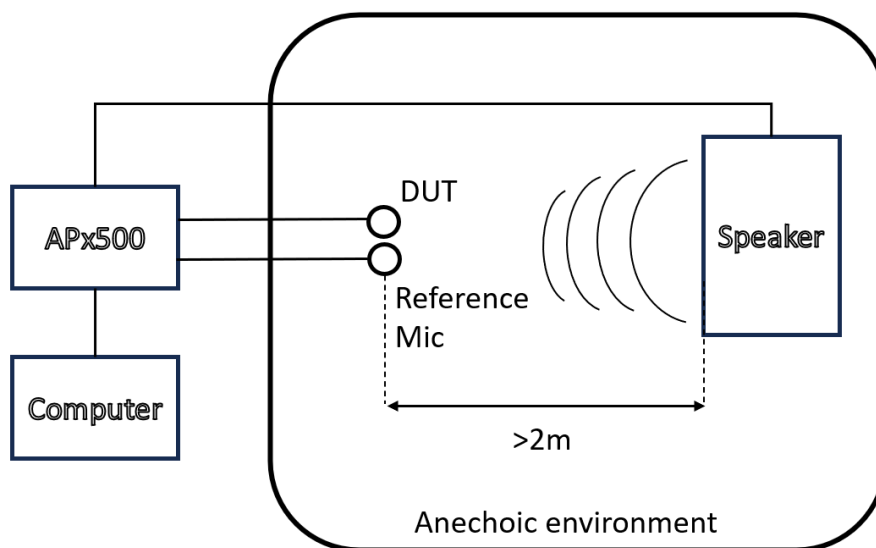


Figure 4: Schéma fonctionnel de la configuration de la mesure

1. **Configuration** : Dans un environnement anéchoïque, placez un microphone de référence et l'appareil sous test (DUT) à au moins 2 mètres du haut-parleur. Connectez les microphones et le haut-parleur à l'analyseur audio. Comme les microphones MEMS analogiques nécessitent une tension d'alimentation dédiée, il existe deux méthodes pour connecter le microphone à l'analyseur. Tout d'abord, vous pouvez utiliser notre carte SPIDAR pour fournir de l'énergie et vous connecter directement à l'entrée XLR ou si vous avez un module PDM pour votre analyseur, cela peut être utilisé pour fournir de l'énergie.
 - a. Notre carte SPIDAR comprend une sortie étiquetée « AP Out » qui se connecte directement à la sortie de l'entrée du canal trois. Pour utiliser cette méthode :
 - i. Connectez le DUT au canal 3 de la carte SPIDAR
 - ii. Alimentez la carte SPIDAR en la connectant via USB à un ordinateur
 - iii. Utilisez un câble 3,5 mm vers XLR (comme celui-ci) pour connecter la sortie étiquetée « AP Out » à une entrée analogique de votre analyseur audio.

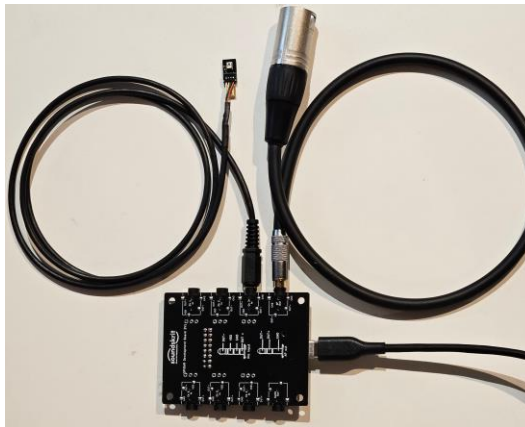


Figure 5: Connexion de sortie AP de la carte SPIDAR

- b. Si vous disposez du module PDM pour votre analyseur audio, il peut également être utilisé pour alimenter le microphone. Pour utiliser cette méthode :
 - i. Connecter le VDD à l'alimentation VDD sur le module PDM
 - ii. Connectez OUT+ et OUT- aux entrées analogiques + et -, et de la terre à la terre
 - iii. Dans AP, sous *Moniteurs/Compteurs*, réglez Vdd sur 1,9 V et activez-le



Figure 6: Connexion d'alimentation Vdd du module PDM

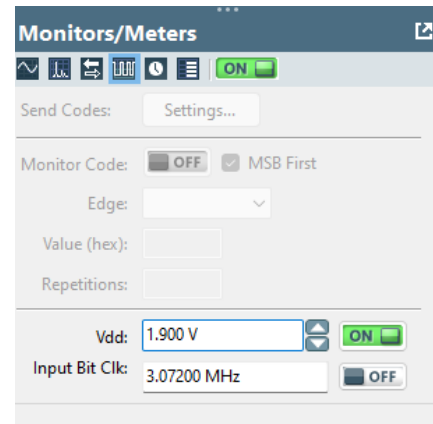


Figure 7: Réglage de Vdd

2. **Égaliser le haut-parleur : égalisez** le haut-parleur pour qu'il produise 94 dB SPL sur toutes les fréquences à l'emplacement du microphone de référence.
 - a. Obtenez la réponse en fréquence de la sortie microphone de référence en dBV à partir du fichier d'étalonnage. Définissez l'entrée microphone de référence dans la configuration du chemin du signal.
 - b. Jouez un balayage de fréquence de 20 Hz à 20 kHz à un niveau de sortie de référence et mesurez la réponse en fréquence du microphone de référence en dBV. Nous utilisons une sortie de 33 dBV, ce qui nous donne environ 94 dB SPL à 1 kHz, mais cela dépendra du haut-parleur et du système. **Dans AP, sélectionnez Ajouter une → réponse en fréquence de mesure pour jouer un balayage de 20 Hz à 20 kHz à un niveau tel qu'à l'emplacement DUT, vous obtenez environ 94 dB SPL.**

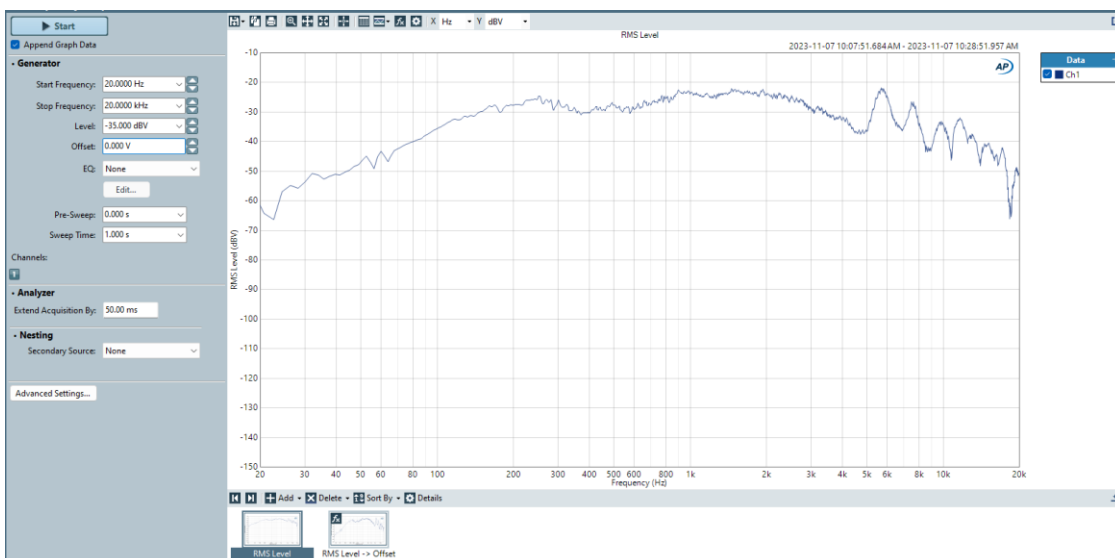
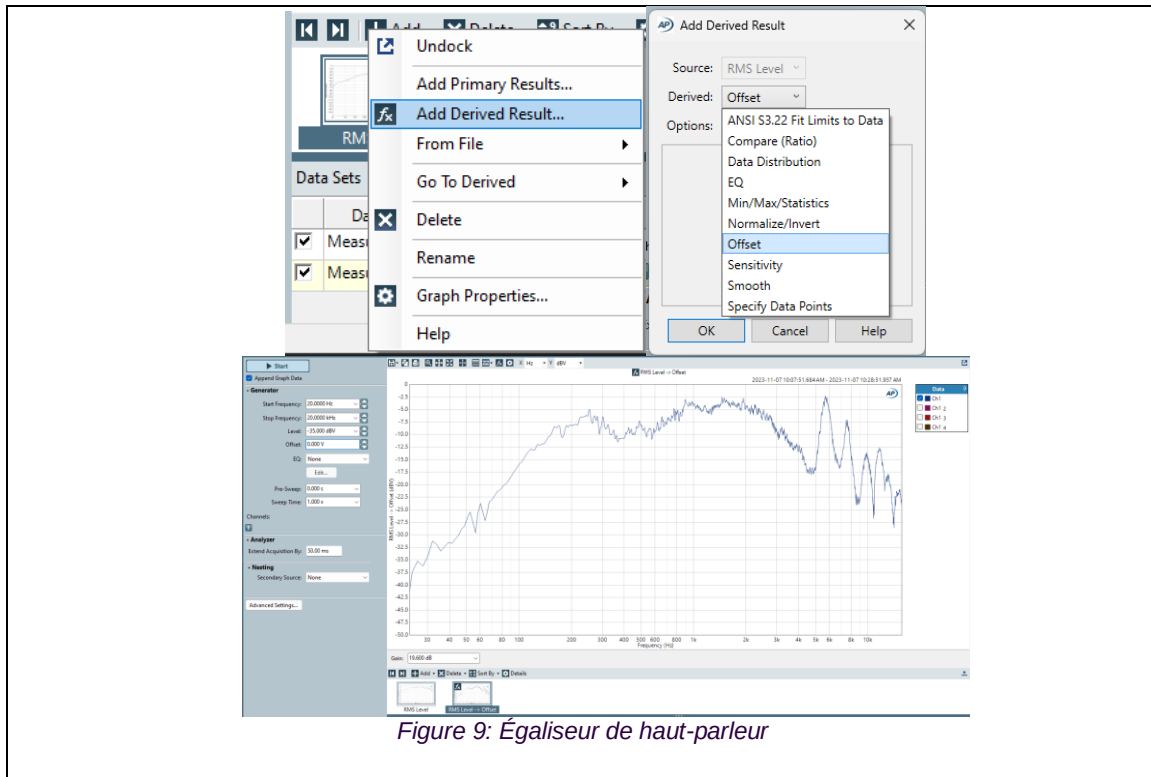


Figure 8: Génération de balayage de fréquence dans AP

- c. L'égaliseur du haut-parleur est la sensibilité du microphone de référence @94 dB SPL divisée par la réponse en fréquence du microphone de référence mesurée :
 (Haut-parleur de l'égaliseur = $\text{dBV}_{\text{ref-sen@94dB SPL}} - \text{dBV}_{\text{ref}}$). La sensibilité du microphone de référence peut également être une fonction dépendante de la fréquence, mais pour simplifier, nous supposons une réponse plate du microphone de référence.
- i. Dans AP, cette opération peut être effectuée dans la fenêtre de tracé de mesure en cliquant sur *Ajouter* → *un résultat dérivé* → *dérivé : décalage* où *Source* est la mesure du microphone de référence. *Le gain de décalage* est la sensibilité SPL de 94 dB du microphone de référence : *Gain* = $-\text{S}_{\text{ref measured@94dB}}$.



- ii. Ensuite, exportez cette mesure. Pour l'importer en tant qu'égaliseur, les unités doivent être d'accord, alors assurez-vous que l'étiquette de l'axe Y doit être « dB » et non « dBV » avant d'exporter. Ensuite, importez dans *Signal Path Setup* → *Output Configuration EQ* → *Create New...*

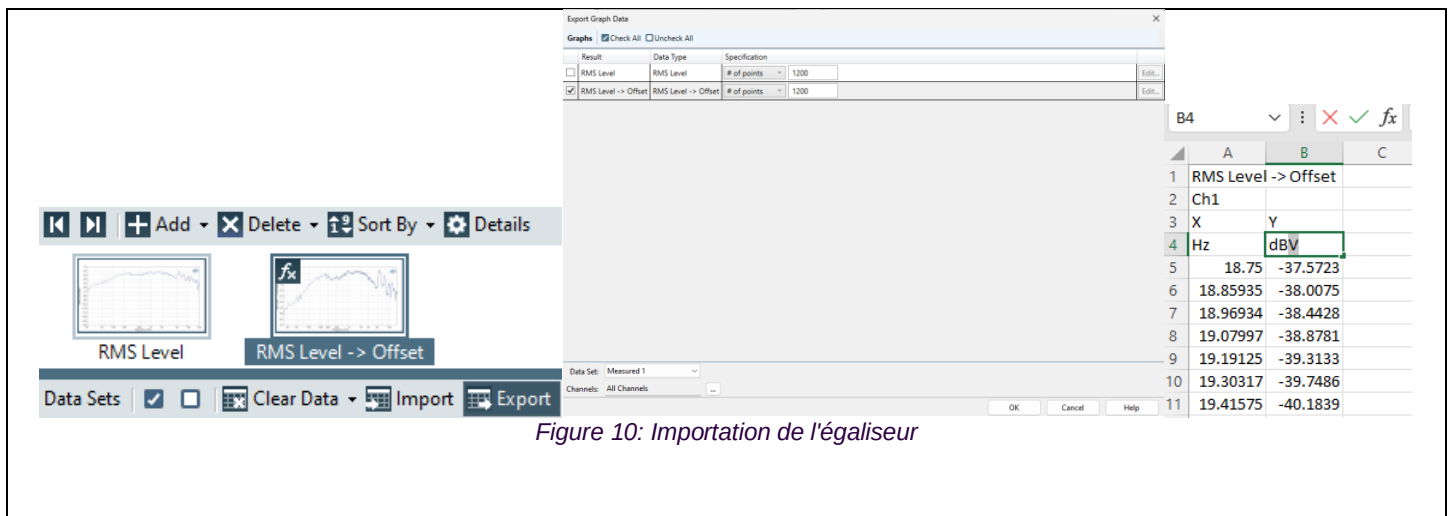


Figure 10: Importation de l'égaliseur

- d. Après avoir appliqué l'égaliseur au haut-parleur, vérifiez que lorsque vous exécutez la même mesure de réponse en fréquence, vous obtenez maintenant une ligne plate pour la réponse du microphone de référence. (remarque : on peut également utiliser la référence dBSPL1 dans AP, où vous entrez un niveau de sensibilité SPL de 94 dB en utilisant une sensibilité connue et / ou un calibrateur, puis $EQ_{\text{haut-parleur}} = 94\text{dBSPL} - \text{dBSPL}_{\text{ref}}$).

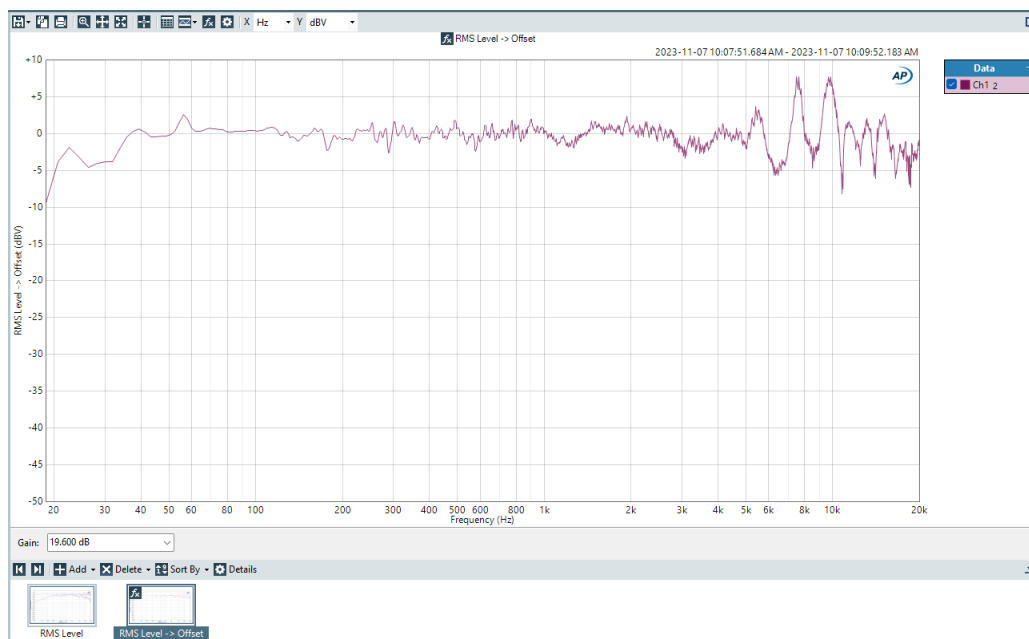


Figure 11: Haut-parleur avec égaliseur appliqué

3. **Égaliser le DUT** : égalisez la sortie du DUT pour qu'elle soit plate à toutes les fréquences avec une sensibilité de 1 kHz.
 - a. Dans *Configuration du chemin du signal*, modifiez l'entrée du connecteur DUT en fonction de votre configuration.
 - b. Dans la mesure de la réponse en fréquence, jouez le même balayage de fréquence de haut-parleur égalisé par le haut et obtenez une réponse en fréquence DUT non égalisée, si les étapes ci-dessus ont été effectuées correctement, cette réponse en fréquence devrait correspondre étroitement à la réponse en fréquence de la fiche technique du DUT. Notez ici que la mesure de la fiche technique est représentée par rapport à 1 kHz. Pour faire correspondre cela à votre mesure, réglez le curseur sur 1 kHz et ajustez le décalage de manière à ce que la sensibilité à 1 kHz soit de 0 dBV.

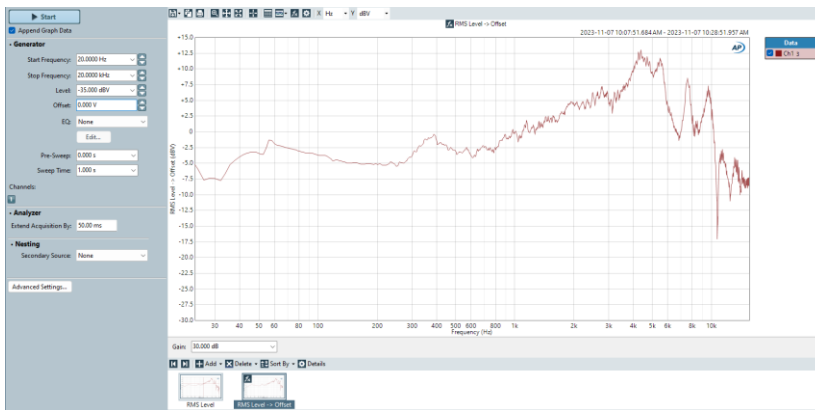


Figure 12: Réponse en fréquence du DUT mesuré (SKR0400)

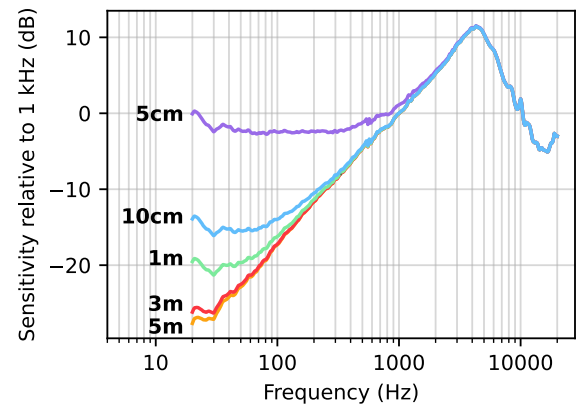


Figure 13: DUT (SKR0400) Fiche technique Réponse

- c. Pour l'égaliseur, divisez la sensibilité DUT 1kHz par la réponse de sortie à chaque fréquence ($EQ_{DUT} = dBV_{sen1kHz} - dBV_{sen}$).
 - i. Pour ce faire, dans AP, accédez à *Ajouter* → *un résultat dérivé* → *dérivé* : *Décalage* où la source est la réponse micro du DUT. Le gain de décalage est l'inverse de la sensibilité DUT de 1 kHz, qui peut être trouvée à l'aide des curseurs sur le graphique de mesure ($gain\ de\ décalage = -dBV_{sen1kHz}$). Exporter en tant que .csv.

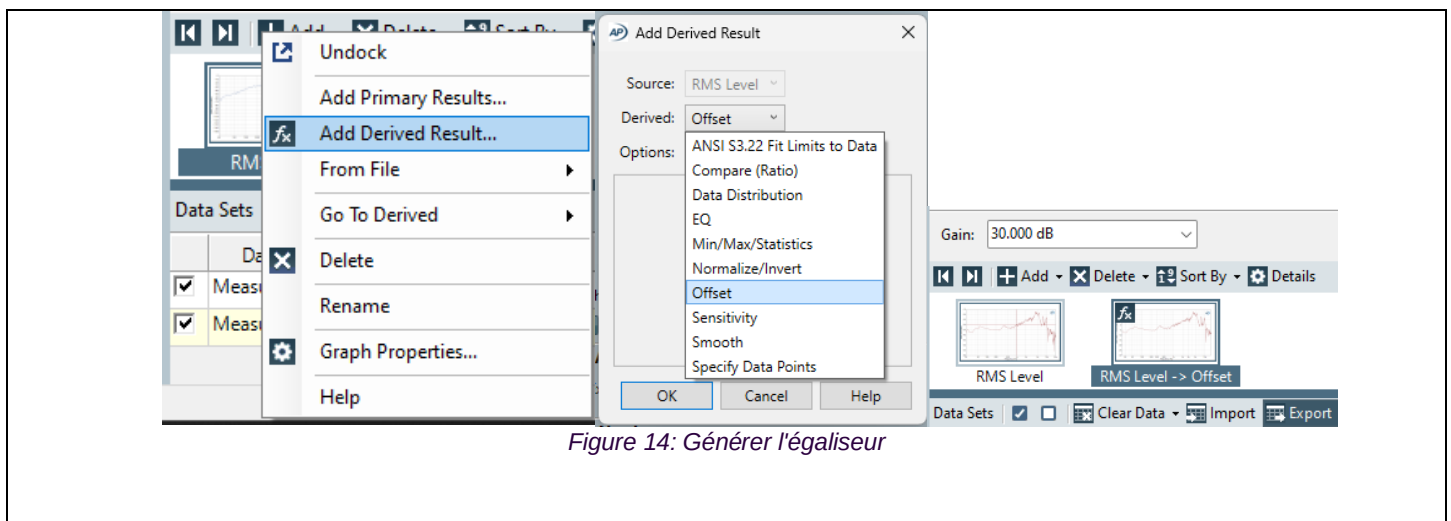


Figure 14: Générer l'égaliseur



Figure 15: Réponse DUT

- ii. Importez le fichier de réponse en fréquence DUT décalé en tant qu'égaliseur dans *Signal Path Setup* → *Input Configuration EQ* → → *Create New...* → *Importez* et choisissez d'*inverser* dans la table d'édition de l'égaliseur. Le niveau d'égalisation à 1 kHz doit être égal à zéro et la courbe d'égalisation doit avoir la forme d'une courbe de sensibilité DUT à l'envers.

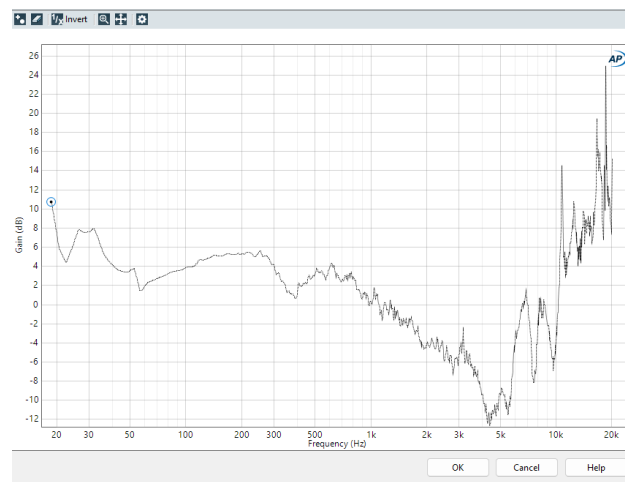


Figure 16: Courbe d'égalisation pour le DUT après avoir été importé et inversé

- d. Après avoir appliqué l'égaliseur au DUT, lancez le balayage de fréquence dans la mesure de la réponse en fréquence avec le haut-parleur et l'égaliseur DUT activés. Vérifiez que la réponse en fréquence de sortie est plate. La sensibilité à toutes les fréquences doit être égale à la sensibilité nominale DUT de 1 kHz.

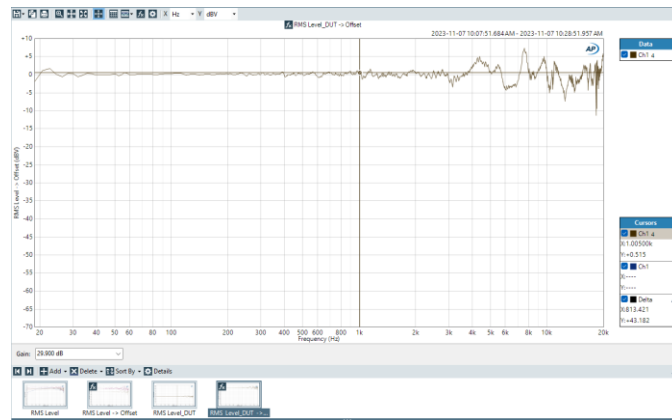


Figure 17: Réponse DUT avec le haut-parleur et le microphone égalisés

4. **Calculer** : Calculez un rapport signal/bruit de 1 kHz en utilisant une sensibilité de 1 kHz à 94 dB SPL / 1 Pa (trouvé à l'étape précédente) et un niveau de bruit pondéré A intégré égalisé :
- $$SNR = dBV_{sen1kHz} - dBV_{A_{EQ-noise}}$$
- a. Dans AP Signal Path Setup (Configuration du chemin du signal AP), appliquez une pondération A à l'entrée dans le menu déroulant *Input Configuration Filters* → *Weighting* (Pondération → des filtres de configuration d'entrée). Affichez le niveau RMS en dBV pour obtenir le niveau de bruit dBA.

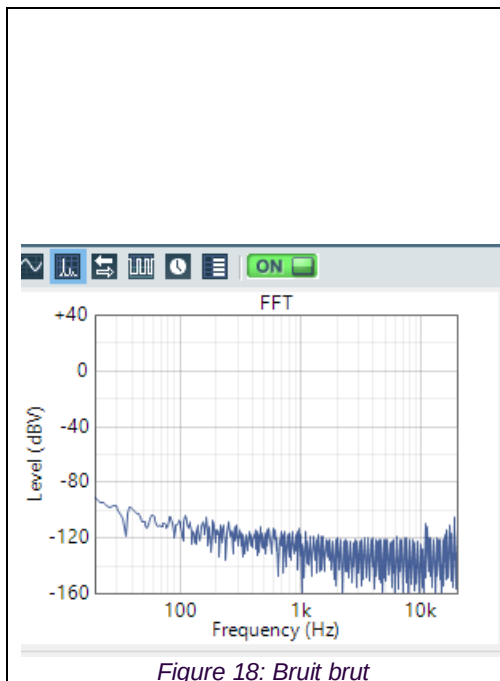


Figure 18: Bruit brut

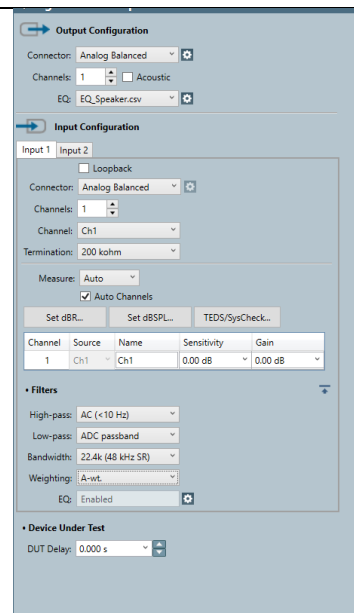


Figure 19: pondération A du bruit

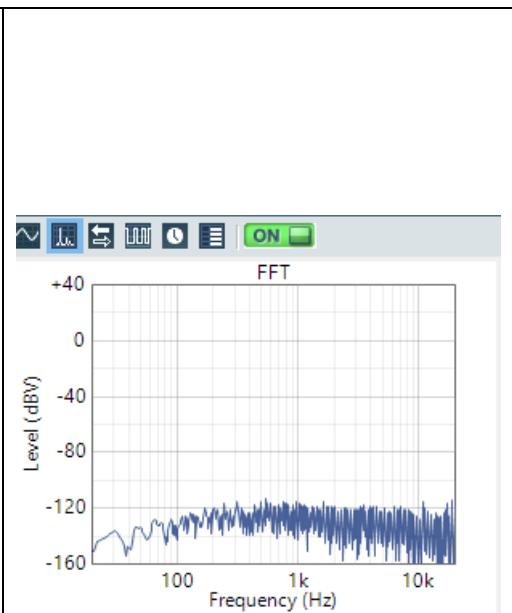


Figure 20: Bruit pondéré A



Conclusion

Cette méthode de calcul du rapport signal/bruit pleine bande d'un microphone directionnel en égalisant la réponse en fréquence vous permet de comparer plus efficacement les performances des microphones directionnels et non directionnels. Pour plus d'assistance et de soutien, veuillez nous contacter à applications@soundskrit.ca

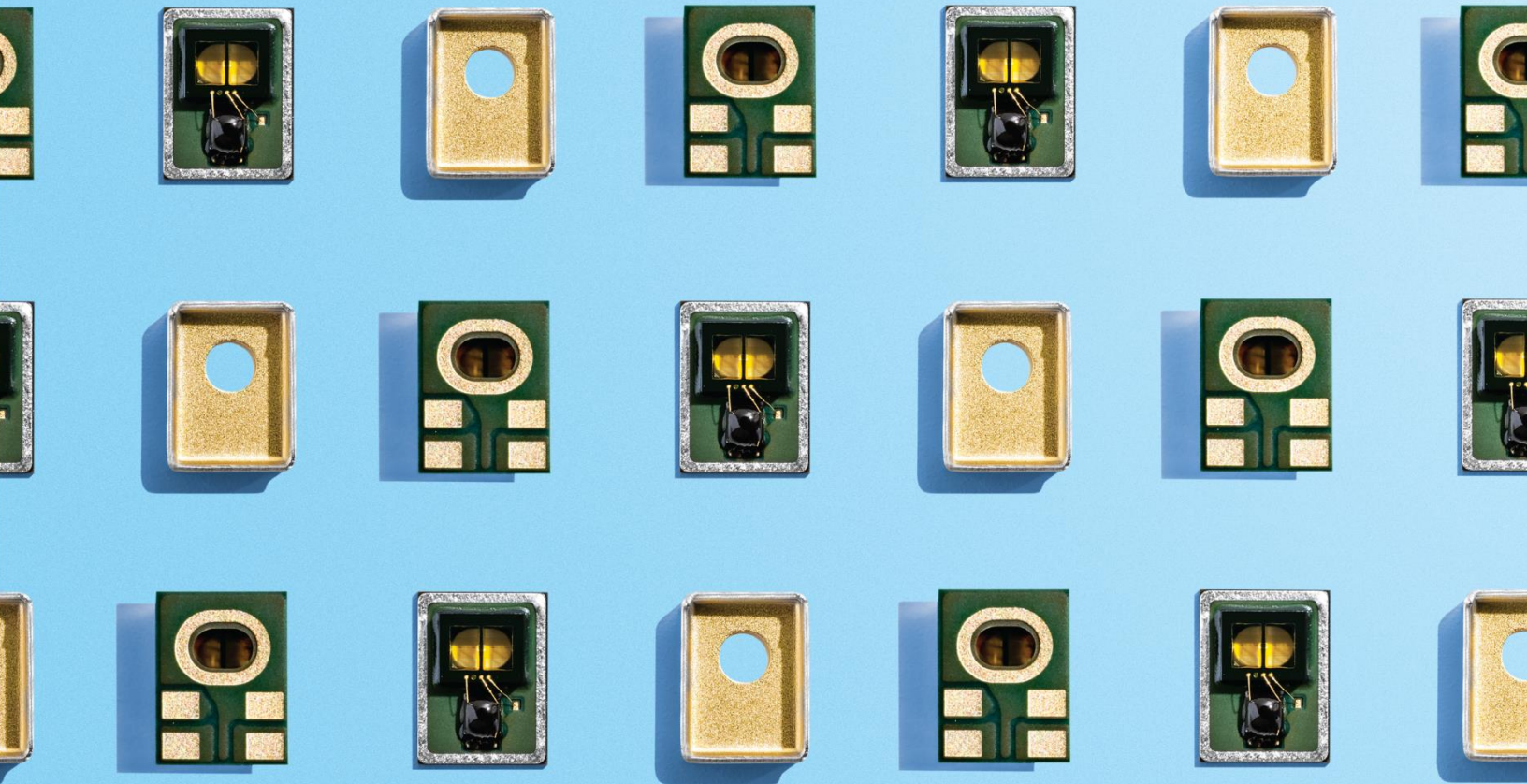
Historique des révisions

Étiquette de révision	Date de révision	Sections révisées
-	Décembre 2023	Libérer



Soundskrit a développé le premier microphone MEMS directionnel haute performance sur le marché, en s'appuyant sur des années de recherche sur les MEMS bio-inspirés basés sur la façon dont les araignées et autres insectes de la nature entendent. En combinaison avec les algorithmes de traitement audio internes de Soundskrit, les microphones directionnels peuvent être utilisés pour capturer et isoler n'importe quel son dans un environnement avec une fraction de la taille, de la puissance et du calcul des réseaux de microphones omnidirectionnels traditionnels.

Soundskrit a été fondée en 2019 et son siège social est situé à Montréal, au Québec, avec un centre de recherche et développement à Ann Arbor, au Michigan.



soundskrit
Hear the impossible.