

Durée de réverbération



L'analyseur audio et acoustique XL2 mesure la durée de réverbération en résolution de bande d'octave et de 1/3 d'octave. Cette note d'application décrit les détails techniques des mesures de durée de réverbération.

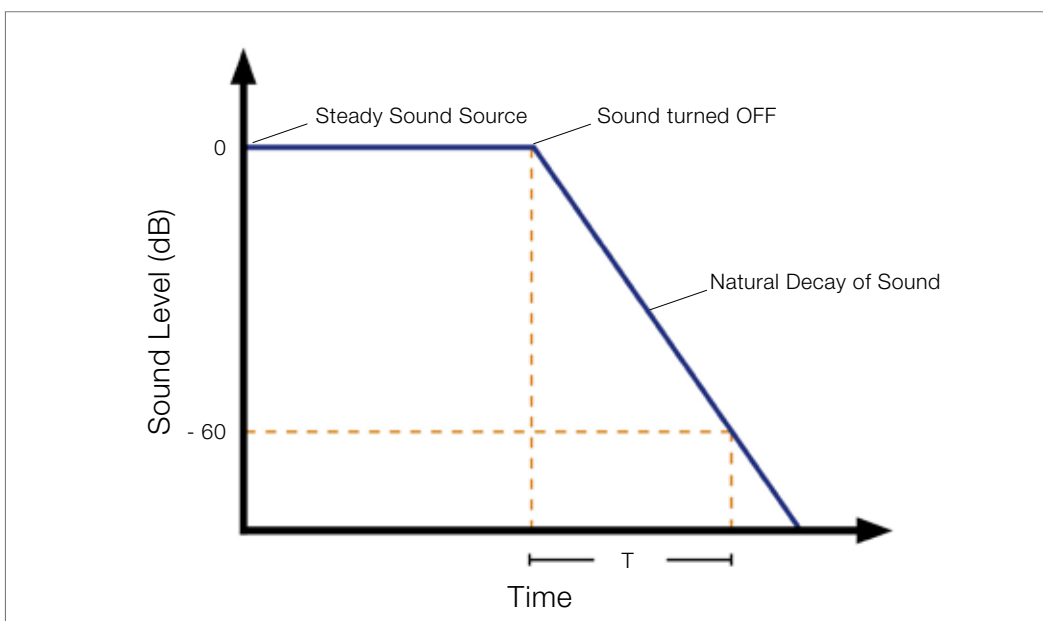
Table des matières

| | | | |
|---|----|--|----|
| Qu'est-ce que la durée de réverbération ? | 2 | Distance minimale entre le microphone et le haut-parleur | 11 |
| Pourquoi mesurer la réverbération ? | 3 | Position du microphone | 11 |
| Méthodes T20 et T30 | 3 | Distance entre les microphones | 11 |
| Précision de la mesure de la durée de réverbération | 4 | Nombre de positions de haut-parleur/microphone | 12 |
| Source sonore | 6 | Rapports | 12 |
| Position de la source sonore | 9 | Résultats caractéristiques escomptés | 14 |
| Mesurer avec l'analyseur acoustique XL2 | 10 | Autres conseils de mesure | 14 |

Qu'est-ce que la durée de réverbération ?

La durée de réverbération est le temps nécessaire au son pour “disparaître” dans une pièce. Les ondes acoustiques rebondissent de manière répétée sur les surfaces réfléchissantes telles que le sol, les murs, le plafond, les fenêtres ou les tables et reviennent à la position de l'auditeur. Cela est particulièrement audible dans une église, par exemple, où le son peut être entendu pendant plusieurs secondes pendant qu'il disparaît.

En principe, la durée de réverbération est le temps nécessaire pour que le niveau de pression acoustique diminue de 60 dB après l'interruption brutale du signal sonore. Le croquis ci-dessous permet de visualiser ce principe de base d'une mesure.



Décroissance du niveau de 60 dB

La mesure de la durée de réverbération est définie dans les normes suivantes

- ISO 3382-1 pour les salles de spectacle
- ISO 3382-2 pour les salles ordinaires
- ASTM E2235

Les mesures réelles s'étendent de 63 Hz à 8 kHz en résolution de bande d'octave et de 50 Hz à 10 kHz en résolution de bande d'1/3 d'octave. Les salles ont des capacités d'absorption individuelles pour chaque fréquence, de sorte que les valeurs varient dans chaque bande de fréquence.

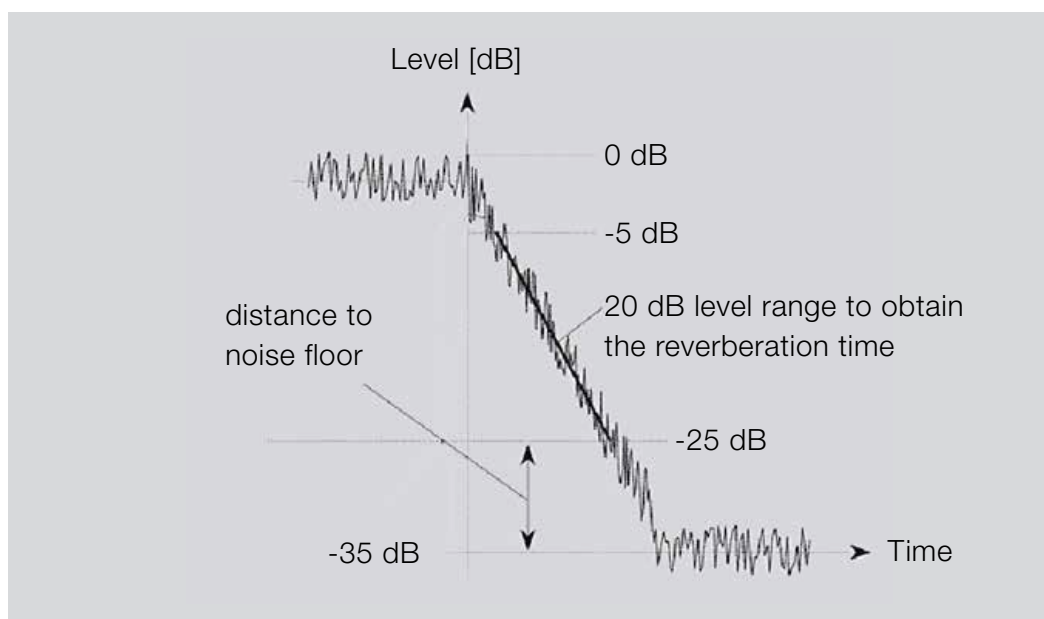
Pourquoi mesurer la réverbération ?

La réverbération est un paramètre clé pour qualifier l'état acoustique d'une pièce. En particulier, une réverbération trop importante peut avoir un impact négatif sur l'intelligibilité de la parole. De même, le niveau de pression acoustique des sources de bruit peut être augmenté alors que l'intimité d'une pièce peut être diminuée par la réverbération. D'autre part, la durée de réverbération est mesurée pour déterminer la valeur de correction de l'absorption de la pièce requise dans de nombreuses mesures acoustiques, telles que l'isolation acoustique et la puissance acoustique.

Méthodes T20 et T30

À titre d'exemple, disons que le niveau plancher de bruit ambiant dans une pièce est de 45 dB. Pour mesurer une décroissance linéaire de 60 dB, nous devons nous assurer que la mesure de la décroissance se termine 10 dB au-dessus de ce plancher de bruit (afin que la linéarité de la décroissance sonore ne soit pas influencée de manière significative par le bruit ambiant). Une marge supplémentaire de 5 dB est nécessaire pour détecter le début de la décroissance. En additionnant ces niveaux, nous avons besoin d'un niveau de signal de test de $45 + 60 + 10 + 5 = 120$ dB sur l'ensemble du spectre des fréquences. Cela est souvent techniquement impossible, en particulier à des basses fréquences.

Dans la pratique, nous mesurons donc le temps de décroissance des réflexions sur 20 dB ou 30 dB selon la norme ISO 3382. Si la décroissance est linéairement acceptable, ces lectures peuvent alors être extrapolées linéairement à une décroissance de 60 dB. La méthode de mesure de la durée de réverbération utilisée est identifiée comme étant respectivement T20 ou T30.



Mesure avec la méthode T20

T20

- La mesure nécessite une gamme de mesure dynamique relativement petite de ~35 dB au-dessus du niveau.
- $RT60 (T20) = 3 \times$ le temps mesuré pour une décroissance de 20 dB

T30

- La mesure nécessite une plage de mesure dynamique de ~45 dB au-dessus du niveau plancher de bruit pour chaque bande de fréquences.
- $RT60 (T30) = 2 \times$ le temps mesuré pour une décroissance de 30 dB

En général, il est préférable de choisir T30 plutôt que T20, car l'incertitude de mesure sera plus faible. Cependant, si le bruit de fond est trop élevé et/ou si la source sonore n'est pas assez forte pour créer 45 dB au-dessus du niveau plancher de bruit, alors T20 peut être votre meilleure option.

Mathématiquement, durée de réverbération est calculé à partir d'une régression linéaire des moindres carrés de la courbe de décroissance mesurée.

- Si la durée de réverbération global est court (par exemple $< 0,3$ seconde), l'acoustique de la pièce est dite "sourde". Par exemple, une pièce avec des tapis épais, des rideaux et des meubles rembourrés peut avoir un tel caractère acoustique.
- Si la durée de réverbération global est long (disons plus de 2 secondes), l'acoustique de la pièce est dite "résonante". Par exemple, une grande pièce vide avec des murs en plâtre peint et un sol carrelé peut avoir un tel caractère acoustique.

Précision de la mesure de la durée de réverbération

La norme ISO 3382 spécifie trois niveaux de précision de mesure (3 méthodes). La principale différence concerne le choix de la source du signal et le nombre de positions de mesure.

MÉTHODE D'ÉCHANTILLONNAGE

- Il n'y a pas d'exigences de directivité sur la source du signal.
- Les mesures sont généralement effectuées en résolution de bande d'octave.
- La gamme de fréquences doit couvrir au moins 250 Hz à 2000 Hz.
- La précision de mesure nominale est supposée être meilleure que 10 % pour les bandes d'octave.
- Une courte excitation ou un signal impulsionnel peut être utilisé comme alternative au signal de bruit interrompu. Le bruit rose offre une meilleure précision de mesure qu'un signal d'impulsion.

MÉTHODE D'INGÉNIERIE

- Pour les mesures dans les salles de spectacle: un haut-parleur omnidirectionnel avec des caractéristiques de rayonnement identiques dans toutes les directions est nécessaire.
- Pour les mesures dans des salles ordinaires: aucune exigence de directivité n'est requise pour la source du signal.
- Les mesures peuvent être effectuées avec une résolution en bande d'octave ou avec la résolution en bande d'1/3 d'octave (optionnelle) (fait partie du Pack acoustique étendu XL2).
- La gamme de fréquences doit couvrir au moins 125 Hz à 4000 Hz en bandes d'octave, ou 100 Hz à 5000 Hz en bandes d'1/3 d'octave.
- La durée d'excitation recommandée de la pièce est égale au temps de réverbération mesuré dans chaque bande de fréquence.
- La précision nominale de la mesure est supposée être meilleure que
 - 5 % en bandes d'octave
 - 10 % par bandes de 1/3 d'octave

MÉTHODE DE PRÉCISION

- Pour les mesures dans les salles de spectacle: un haut-parleur omnidirectionnel avec des caractéristiques de rayonnement identiques dans toutes les directions est nécessaire.
- Pour les mesures dans des salles ordinaires: un haut-parleur omnidirectionnel est nécessaire.
- Les mesures peuvent être effectuées en résolution par bande d'octave ou en résolution optionnelle par bande d'1/3 d'octave (partie du Pack acoustique étendu XL2).
- La gamme de fréquences doit couvrir au moins 125 Hz à 4000 Hz en bandes d'octave, ou 100 Hz à 5000 Hz en bandes d'1/3 d'octave.
- La durée d'excitation de la pièce doit être suffisante pour que le champ sonore ait atteint un état stable avant que la source ne soit interrompue.
- La précision de mesure est supposée être meilleure que
 - 2,5 % en bandes d'octave
 - 5 % par bandes de 1/3 d'octave

Source sonore

Les mesures nécessitent un champ sonore diffus dans la pièce. Cela signifie que l'énergie sonore du signal de test doit être distribuée uniformément. Un haut-parleur avec une caractéristique de rayonnement omnidirectionnel doit être utilisé pour des mesures précises en utilisant un signal de test de bruit rose cadencé. L'ensemble de sources de signaux recommandé se compose de l'enceinte dodécaèdre DS3 et de l'amplificateur de puissance PA3. Les mesures de la méthode d'échantillonnage peuvent être effectuées avec un système de haut-parleurs déjà installé en utilisant le Minirator MR-PRO comme source de signal. Une source sonore impulsive peut également être utilisée conformément à la norme ISO 3382-1. La norme ASTM E2235 n'autorise pas les sources sonores impulsives.

KIT ENCEINTE DODÉCAHÈDRE DS3

L'amplificateur de puissance PA3 comprend un générateur de signal de bruit rose. Ce signal de test est diffusé dans la pièce testée par l'enceinte dodécaèdre DS3. Le signal de test peut être activé et désactivé par une télécommande. Il doit être diffusé pendant une période suffisamment longue pour s'assurer qu'un équilibre entre l'énergie acoustique injectée et absorbée a été atteint, c'est-à-dire que les ondes acoustiques doivent avoir suffisamment de temps pour atteindre toutes les surfaces réfléchissantes de la pièce. La durée d'émission du bruit rose doit donc être au moins égale ou supérieure à la moitié de la durée de réverbération mesurée pour chaque bande de fréquences. Comme la pièce ne peut jamais être "sursaturée" acoustiquement pour une mesure, par sécurité, il faut diffuser le bruit pendant au moins la durée du résultat estimé du test. Chaque fois que le signal de test est interrompu, le XL2 reconnaît cette interruption, mesure le temps de décroissance et calcule automatiquement la durée de réverbération.

L'enceinte dodécaèdre DS3 est une source sonore puissante avec des caractéristiques de rayonnement omnidirectionnel. Elle se compose de 12 haut-parleurs du même type, montés sur un châssis en forme de dodécaèdre. Le spectre de fréquences optimisé fournit un niveau élevé d'énergie sonore égalisée pour des mesures précises de la durée de réverbération. La puissance sonore émise est constante pendant toute la durée de la mesure et pendant plusieurs heures consécutives.



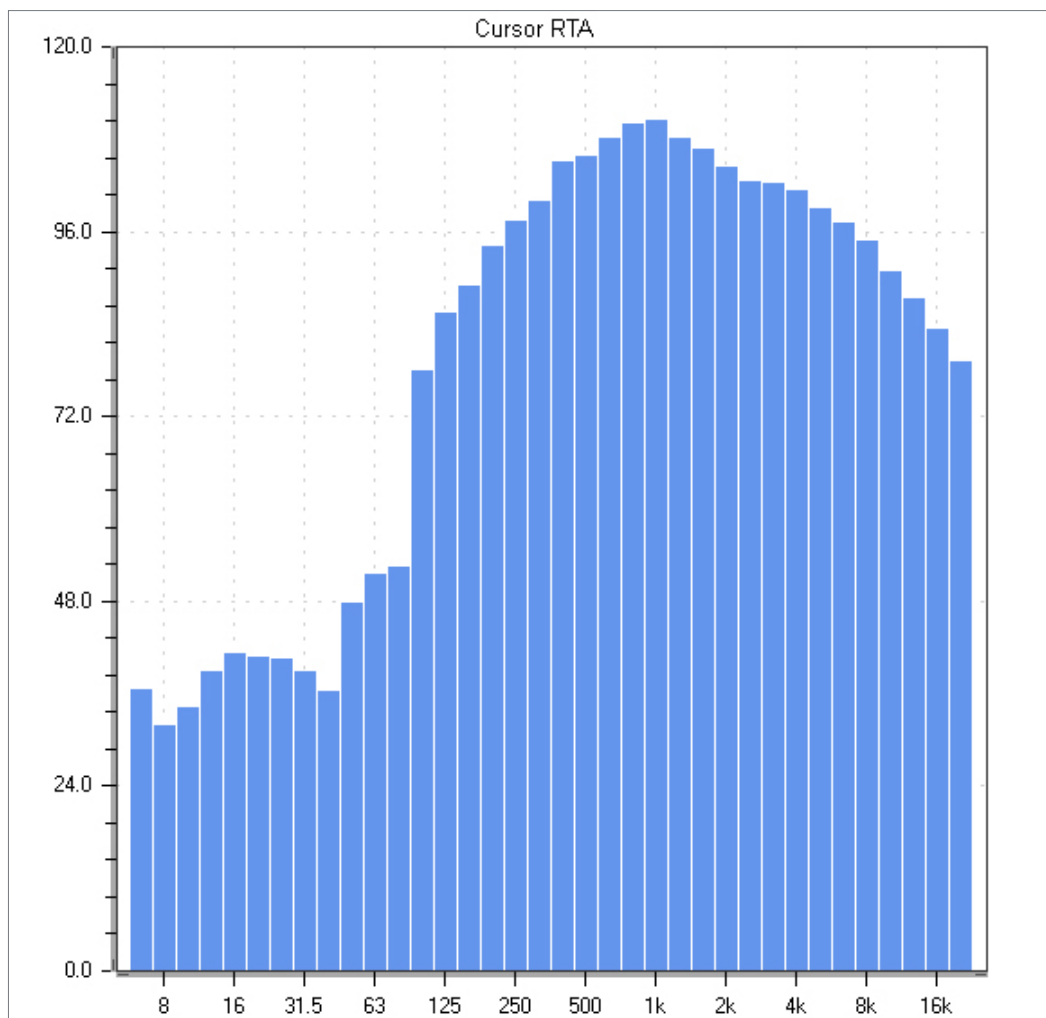
Enceinte dodécaèdre DS3

SOURCES SONORES IMPULSIVES

Les sources sonores impulsives typiques sont, par exemple, un pistolet de départ, un clapet de départ ou un ballon de baudruche qui éclate. Ces sources sonores peuvent être utilisées pour des mesures de méthodes d'échantillonnage dans des salles de spectacle. Le XL2 mesure le temps de décroissance et calcule automatiquement la durée de réverbération.

Différents pistolets de départ peuvent être utilisés pour générer une impulsion dans la pièce et déclencher la mesure de la durée de réverbération. Les clients peuvent, par exemple, utiliser les modèles suivants, qui tirent à blanc ou au gaz avec un calibre de 9 mm :

- HW37, fabricant Weihrauch
- Chiefs Special, fabricant Smith & Wesson



Exemple de spectre de tir

AVERTISSEMENT : L'utilisation d'un tel pistolet dans une pièce fermée d'environ 800 m³ peut générer un niveau de pression acoustique impulsionnelle LZ_Imax allant jusqu'à 125 dB.

Avantage

- léger et portable

Inconvénients

- peut être inapproprié en présence d'enfants ou dans une église
- peut ne pas être autorisé à bord des avions
- peut laisser une odeur de résidus de poudre dans la pièce
- peut perturber la poussière dans la pièce, et par exemple, impliquer un nettoyage après les mesures

Les autres sources sonores impulsionnelles sont, par exemple, des ballons de baudruche qui éclatent, l'action d'une planche à clapet ou un claquement de mains. Le problème est que, généralement, ces sources sonores génèrent une énergie sonore insuffisante dans les bandes de basses fréquences. La durée de réverbération ne peut donc pas être mesurée dans ces bandes de fréquences.

Plus le ballon de baudruche est grand, plus il couvre de fréquences profondes et plus il peut produire d'énergie sonore. Assurez-vous d'utiliser des ballons de qualité supérieure et adaptés à l'usage auquel ils sont destinés. Les ballons de fête pour enfants bon marché peuvent être difficiles à gonfler et peuvent éclater prématurément (au pire, devant votre client !). Prévoyez également suffisamment de temps, car un ballon d'un mètre de diamètre peut prendre jusqu'à 5 minutes pour être gonflé avec un gonfleur électrique.

Les claquements de mains sont souvent utilisés pour une première indication rapide de la durée de réverbération dans la pièce. Regardez les vidéos suivantes de claquements de mains dans différentes pièces :

<https://www.nti-audio.com/en/support/know-how/how-to-get-a-feeling-for-rt60-value>

Minirator MR-PRO

Le Minirator MR-PRO est un générateur de signaux de tests qui peut être utilisé pour les mesures de méthodes d'échantillonnage. Le signal audio généré peut être diffusé par un système de haut-parleurs existant. Le MR-PRO génère un bruit rose cadencé avec un faible facteur de crête. Le temps de cycle marche/arrêt est réglable de 1 à 10 secondes. Le MR-PRO se connecte à l'amplificateur de puissance installé et le signal de test est diffusé par les haut-parleurs installés. De plus, le MR-PRO peut aussi diffusé un signal Glide Sweep avec un temps de cycle modifiable (< 1,5 seconde pour les mesures utilisant l'analyseur acoustique XL2).



Minirator MR-PRO

Position de la source sonore

L'enceinte dodécaèdre omnidirectionnelle DS3 doit être placée aux endroits spécifiques où la source sonore doit être positionnée dans la salle, par exemple pour les salles de classe, à l'avant, là où l'enseignant parle normalement. Dans les salles de spectacle, un minimum de deux positions de haut-parleurs doit être utilisé à une hauteur de 1,5 m au-dessus du sol.

Pour les petites salles ou en l'absence d'emplacement caractéristique de la source sonore, une enceinte dodécaèdre doit être située dans un coin de la salle.

Mesurer avec l'analyseur acoustique XL2

Le XL2 mesure la décroissance de l'énergie sur une plage de 63 Hz à 8 kHz en utilisant la méthode de Schroeder en résolution d'octave. Le pack acoustique étendu, disponible en option, permet une résolution en bande de 1/3 d'octave de 50 Hz à 10 kHz.

SOURCE DE BRUIT ROSE

En utilisant un bruit rose comme source de signal, nous recommandons une excitation de la pièce égale à la durée de réverbération mesurée dans chaque bande de fréquence. Il s'agit d'un guide simplifié. La norme ISO 3382- 1 stipule dans les détails que le son doit rayonner pendant au moins la moitié de la durée de réverbération mesurée pour les méthodes d'ingénierie et de précision. En raison du caractère aléatoire du bruit rose, il est recommandé de faire la moyenne sur au moins trois décroissances à chaque position afin d'obtenir une incertitude de mesure suffisamment faible. Le XL2 fait automatiquement la moyenne des lectures de tous les cycles.

SOURCE SONORE IMPULSIVE

Lors de l'utilisation d'une source sonore impulsive, le XL2 dispose d'une fonction qui rejette les résultats en cas de surcharge de niveau. Ceci est conforme à la norme ISO 3382. Parfois, il est impossible de réduire le niveau d'une source sonore impulsive, par exemple dans une petite pièce où l'on utilise un pistolet de départ. Afin d'obtenir un résultat dans une telle situation, cette fonction de surcharge peut être désactivée en chargeant un fichier vide portant le nom "RT60allowOVLd.txt" dans le répertoire principal du XL2. Notez qu'une telle condition de surcharge peut affecter le résultat.



Analyseur acoustique XL2
avec microphone de mesure M4261

Distance minimale entre le microphone et le haut-parleur

La mesure ne doit pas être fortement influencée par le son direct du haut-parleur. C'est pourquoi la formule ci-dessous définit la distance minimale entre la source sonore omnidirectionnelle et le microphone de mesure.

$$\text{Distance minimale } D = 2 \cdot \sqrt{V / (c \cdot T)}$$

avec V = Volume de la salle [m³]

c = Vitesse du son [m/s] (à la température de la pièce)

T = Durée de réverbération de la pièce

Par exemple, dans une petite salle de 10 mètres sur 10 avec une hauteur de 5 mètres, et une durée de réverbération prévu de 3 secondes, le microphone doit se trouver à au moins 1,4 mètre de la source sonore.

$$D = 2 \cdot \sqrt{((10 \cdot 10 \cdot 5) / (342 \cdot 3))} = 1,4 \text{ m}$$

Position du microphone

Dans les salles de spectacle, les microphones de mesure doivent être placés aux endroits de la salle où se trouvent habituellement les auditeurs, par exemple 1,2 m au-dessus du sol est la hauteur d'oreille typique des personnes assises. Les positions choisies doivent couvrir la totalité de l'espace de la salle. Les microphones ne doivent pas être positionnés symétriquement.

La distance minimale par rapport à la surface réfléchissante la plus proche, telle que le sol, un mur ou un plafond, doit être d'au moins un quart de la longueur d'onde de la fréquence la plus basse mesurée, par exemple 1 m pour mesurer jusqu'à 100 Hz. Pour les mesures jusqu'à 50 Hz, utiliser une distance minimale de 2 m par rapport à la surface réfléchissante la plus proche.

Distance entre les microphones

Les positions des microphones doivent être distantes d'au moins 2 m pour les mesures jusqu'à 100 Hz. Utilisez une distance d'au moins 4 m entre les positions des microphones pour les mesures jusqu'à 50 Hz. Cette recommandation est basée sur au moins la moitié de la longueur d'onde de la fréquence la plus basse mesurée.

Nombre de positions de haut-parleur/microphone

Le nombre minimum de positions de haut-parleur, de positions de microphone et de mesures dans une salle en forme de boîte, en utilisant la méthode de mesure du bruit interrompu, dépend de la précision requise.

| | Echantillonnage | Ingénierie | Précision |
|-----------------------------|-----------------|------------|-----------|
| Positions des haut-parleurs | 1 | 2 | 2 |
| Positions des microphones | 2 | 2 | 3 |
| Mesures | 2 | 6 | 12 |
| Décroissances par mesure | 1 | 2 | 3 |

En cas de géométrie de pièce plus compliquée, il faut considérer plus de positions. La mesure démarre en appuyant sur le bouton marche/arrêt de l'analyseur acoustique XL2 et se termine en appuyant sur le bouton marche/arrêt. Il est recommandé de mesurer au moins trois décroissances à chaque position; cela réduit l'incertitude statistique de mesure dans le rapport XL2.

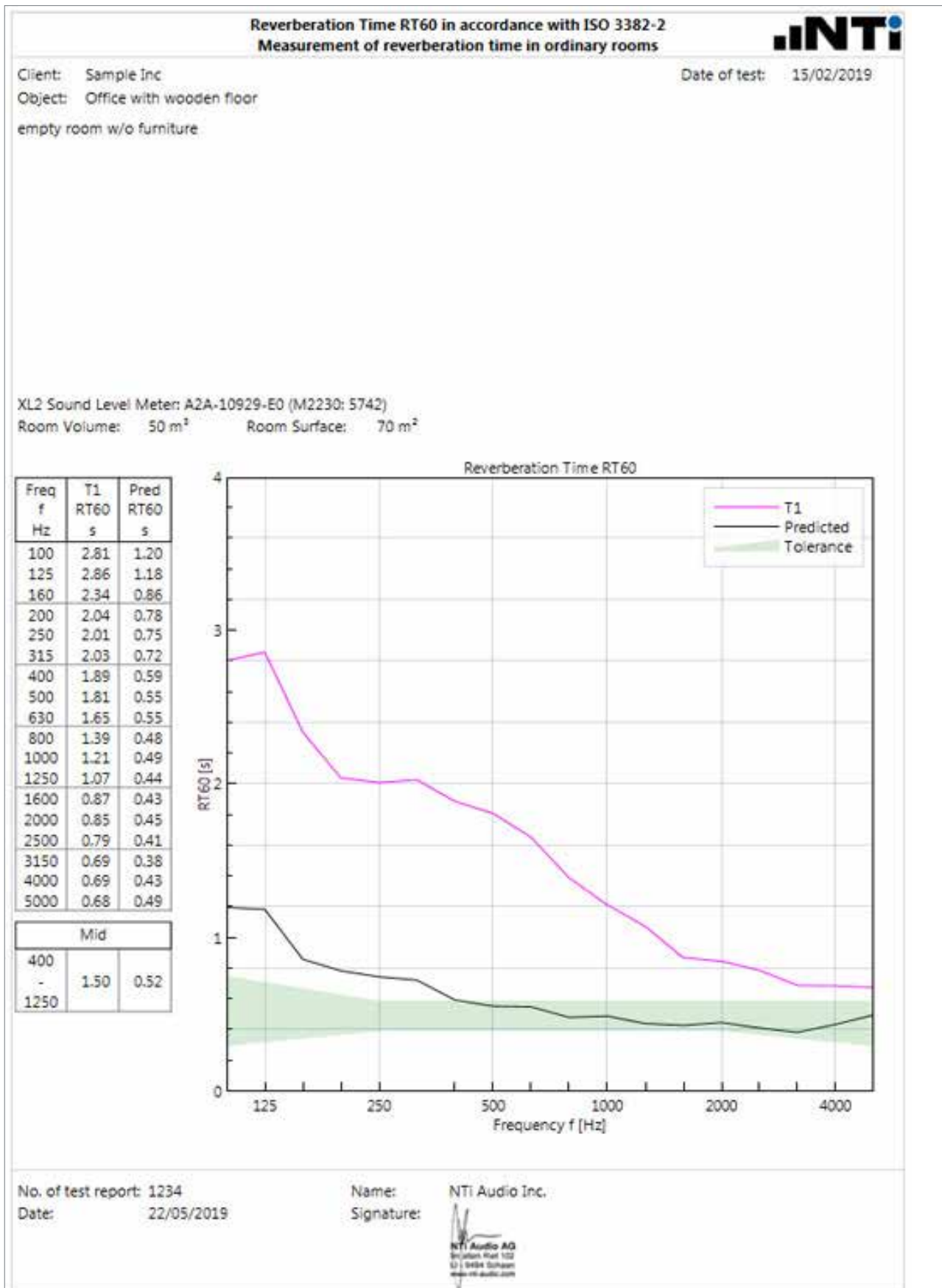
Rapports

Le XL2 stocke toutes les données sur une carte SD pour les transférer directement dans un ordinateur. Les rapports de données et les historiques sont stockés en format texte simple, qui peuvent être ouverts avec n'importe quel éditeur de texte (Notepad, Wordpad, etc). Les données sont délimitées par des tabulations, de sorte que le fait de déposer le fichier .txt dans un tableur permet d'afficher facilement les résultats en colonnes.

NTi Audio fournit également un excellent outil de reporting. Le Room Acoustics Reporter est un logiciel pour PC permettant de générer des rapports de mesure de la durée de réverbération professionnels. Le logiciel aide les acousticiens et les experts à visualiser et à évaluer en détail les données de mesure enregistrées avec l'analyseur acoustique XL2.

La durée de réverbération est indiquée pour chaque bande de fréquences en résolution d'octave ou de 1/3 d'octave. Par souci de simplification, une durée de réverbération à un chiffre peut être calculée en faisant la moyenne des bandes suivantes :

- Bande d'octave : 500 Hz, 1000 Hz
- Bande d'1/3 d'octave : 400 Hz - 1250 Hz



Résultats caractéristiques escomptés

Voici des résultats de mesure durée de réverbération caractéristiques :

| Lieu | Volume | RT60 recommandée |
|-----------------------------|-------------------------|------------------|
| Studio d'enregistrement | < 50 m ³ | 0.3 s |
| Salle de classe | < 200 m ³ | 0.4 - 0.6 s |
| Bureau | < 1`000 m ³ | 0.5 - 1.1 s |
| Salle de conférence | < 5`000 m ³ | 1.0 - 1.5 s |
| Salle de concert et d'opéra | < 20`000 m ³ | 1.4 - 2.0 s |
| Église | | 2 - 10 s |

En général, les durées de réverbération peuvent être réduites grâce à l'introduction de matériaux absorbants tels que des tapis épais, des rideaux, des meubles rembourrés ou des panneaux absorbant le son. En outre, la présence de personnes dans une pièce réduit la réverbération, et produit donc une valeur inférieure à celle de la pièce inoccupée.

Autres conseils de mesure

- Il ne doit pas y avoir plus de deux personnes dans la salle pendant les mesures, aucune d'elles ne devant se trouver à moins d'un mètre du microphone.
- Dans les très grandes salles (par exemple les salles de concert), vous pouvez faire fonctionner plusieurs enceintes dodécaèdres en parallèle.