



**ALMACOUSTIC**

ESSAIS  
ET RECHERCHE  
APPLIQUÉE



LES RENCONTRES DE L'INGÉNIERIE ACOUSTIQUE  
\_Cinov GIAC

# *Qualification en laboratoire de pompes à chaleur : Quid des basses fréquences ?*

François Fohr

23 juin &  
24 juin 2025

Philharmonie de Paris

**cinov**  
● GIAC ACOUSTIQUE

# ALMACOUSTIC

## Création en avril 2024

- Reprise des activités Acoustique et Vibrations du CTTM
- 30 ans d'expérience
- Association loi 1901

## Budget

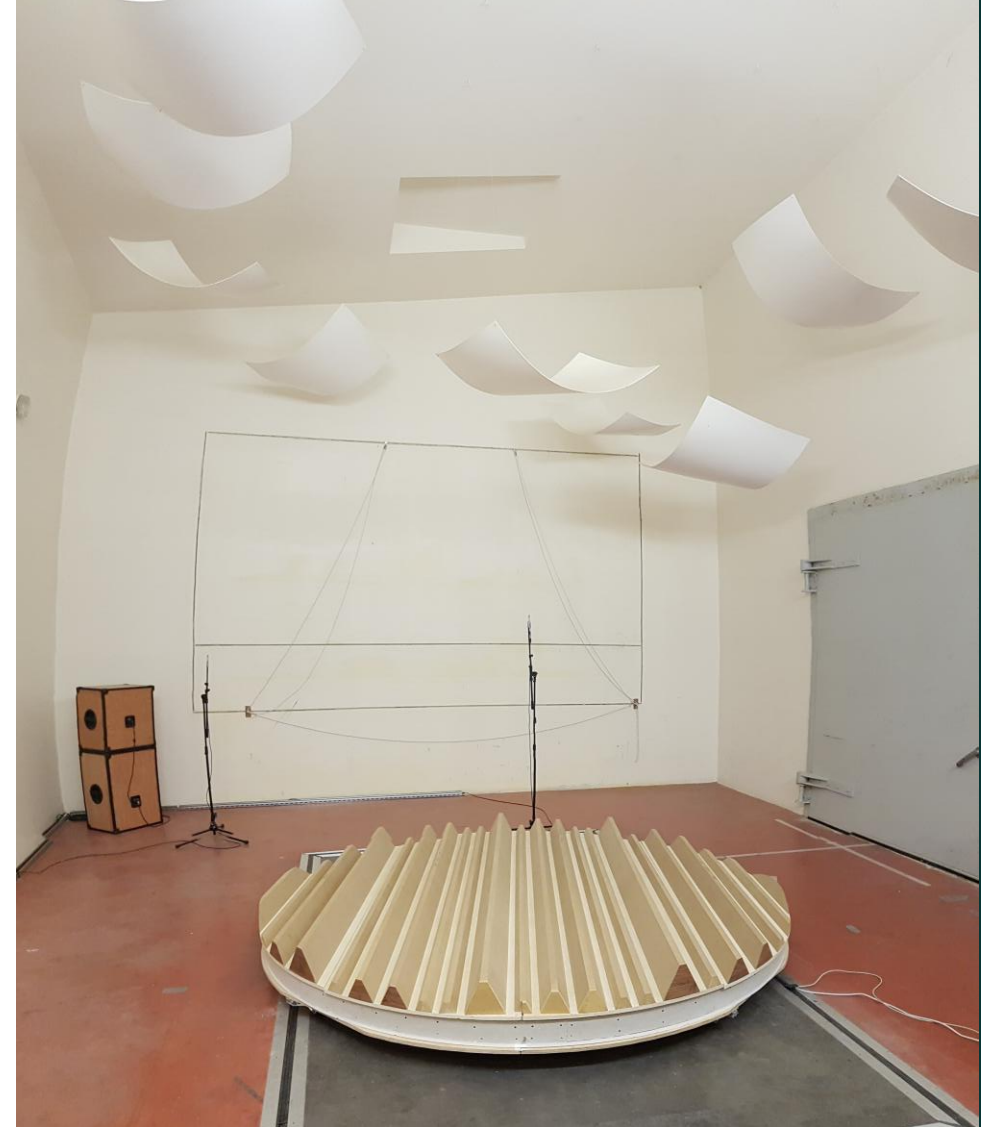
- Annuel: 1 050 000 €

## Gouvernance

- Collectivités: Le Mans Metropole, Région PdL, Etat (DRARI)
- Entreprises
- Académiques (LAUM)

## Equipe

- 10 acousticiens (techniciens d'essais, ingénieur et docteurs)



# ALMACOUSTIC

## Service d'ingenierie en vibro-acoustique

- Mesures normalisées, mesures expertes
- Etudes R&D
- Fourniture de bancs d'essais
- Logiciels de mesures
- Formation aux entreprises (à la carte)

## Domaines industriels

- Aéronautique
- Naval
- Défense
- Automobile
- Ferroviaire
- Electroménager
- Laboratoires de recherche
- Bâtiment
- Médical



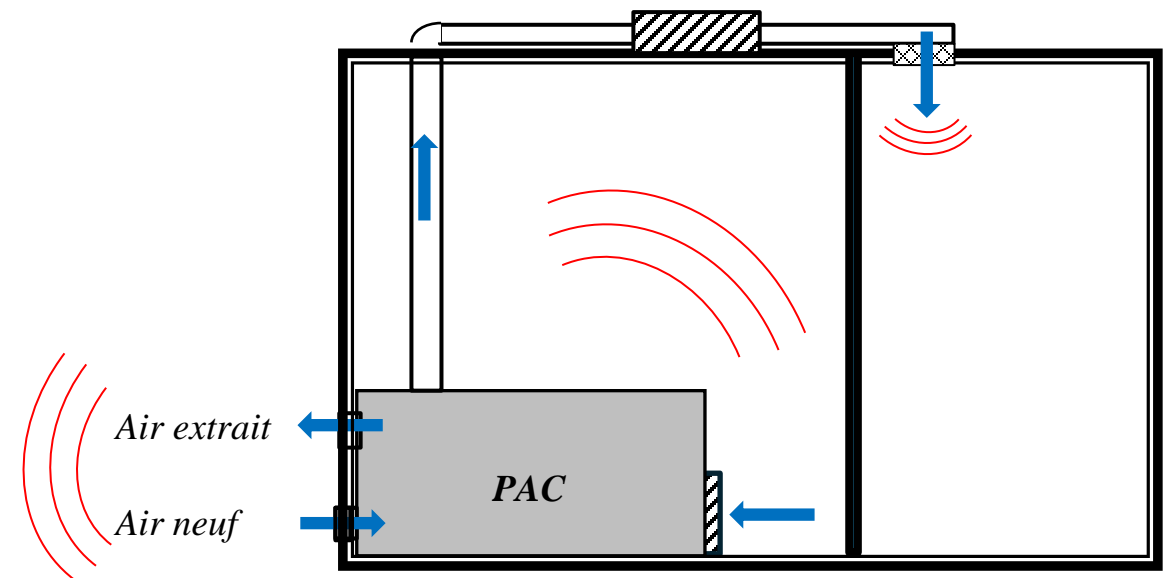
# Les pompes à chaleur font du bruit

## L'essor des pompes à chaleur

- Développement en cohérence avec l'isolation thermique des bâtiments et la démarche bas carbone
- Larges domaines d'applications (individuel, collectif, industrie, refroidissement, ...)
- Problématiques associées : bruit dans l'environnement, bruit dans les locaux, isolation acoustique,...

## Prévoir l'impact sur site → Mesures en laboratoire

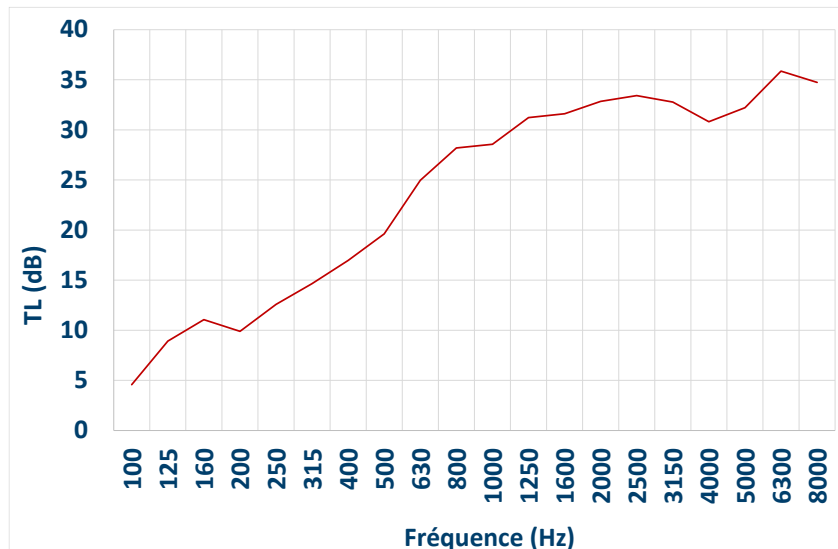
- Bruit injecté dans le réseau
- Bruit rayonné par les machines (bruit d'enveloppe)
- Isolation acoustique intérieur / extérieur



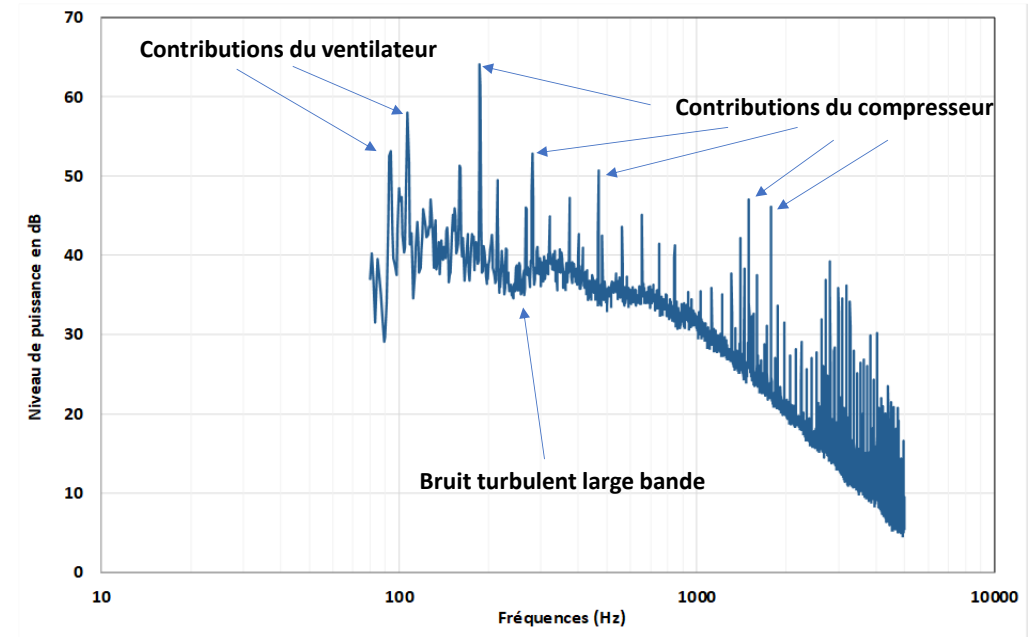
# Le bruit des pompes à chaleur

## Des sujets acoustiques variés et complexes

- Un spectre de bruit très riche
- Des voies de transfert multiples
- Le domaine particulier des basses fréquences



*Isolation acoustique d'une PAC vis-à-vis de l'extérieur  
(mesures pour INTUIS 2024)*



*Spectre de bruit caractéristique*

# Les mesures en basses fréquences

## Domaine de fréquence des normes de mesures :

- 100 Hz – 10 kHz
- Entre 50 Hz et 100 Hz, dérogations avec prise en compte d'incertitudes plus élevées

## Les basses fréquences et les incertitudes de mesures :

- Limites des salles d'essais
- Ecart inter-labo
- Adaptation des méthodologies d'essais

# Méthodes de mesure en laboratoire

## Puissance acoustique :

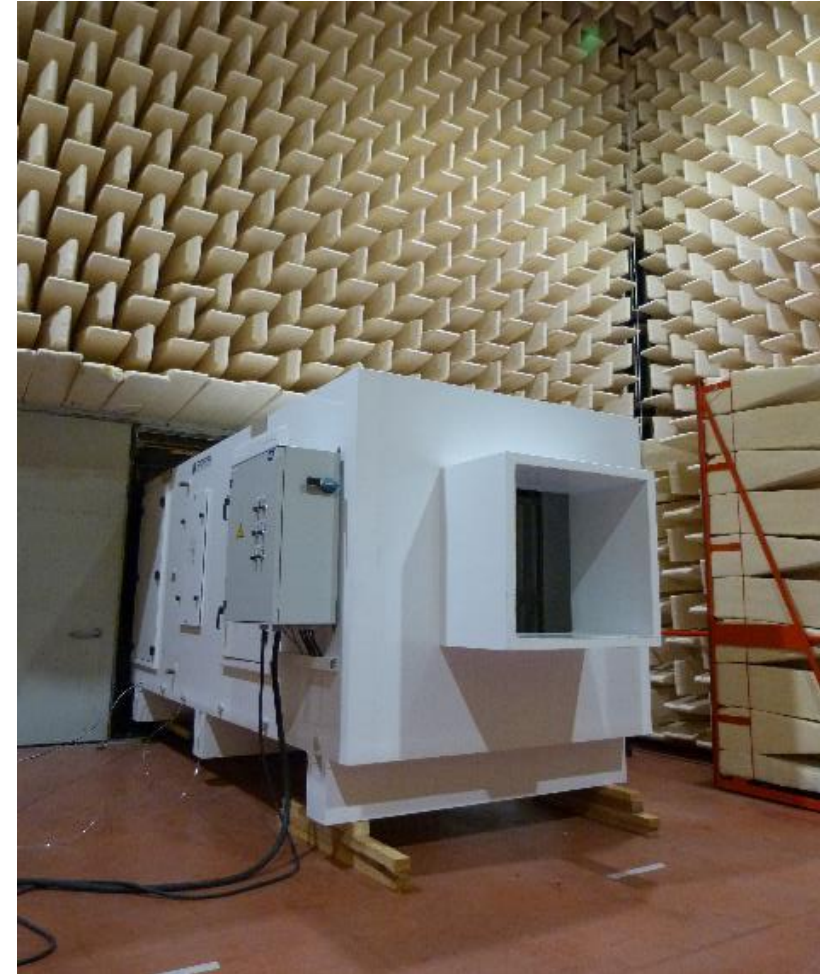
- bruits de bouche,
- bruit injecté dans les réseaux,
- bruit rayonné par les machines

## Méthodes classiques par mesures de pression

- En salle réverbérante : ISO 3741
- En salle anéchoïque : ISO 3745 et 3744

## Méthodes intensimétriques (Site quelconque)

- Mesure par points : ISO 9614-1
- Mesure par balayage : ISO 9614-2

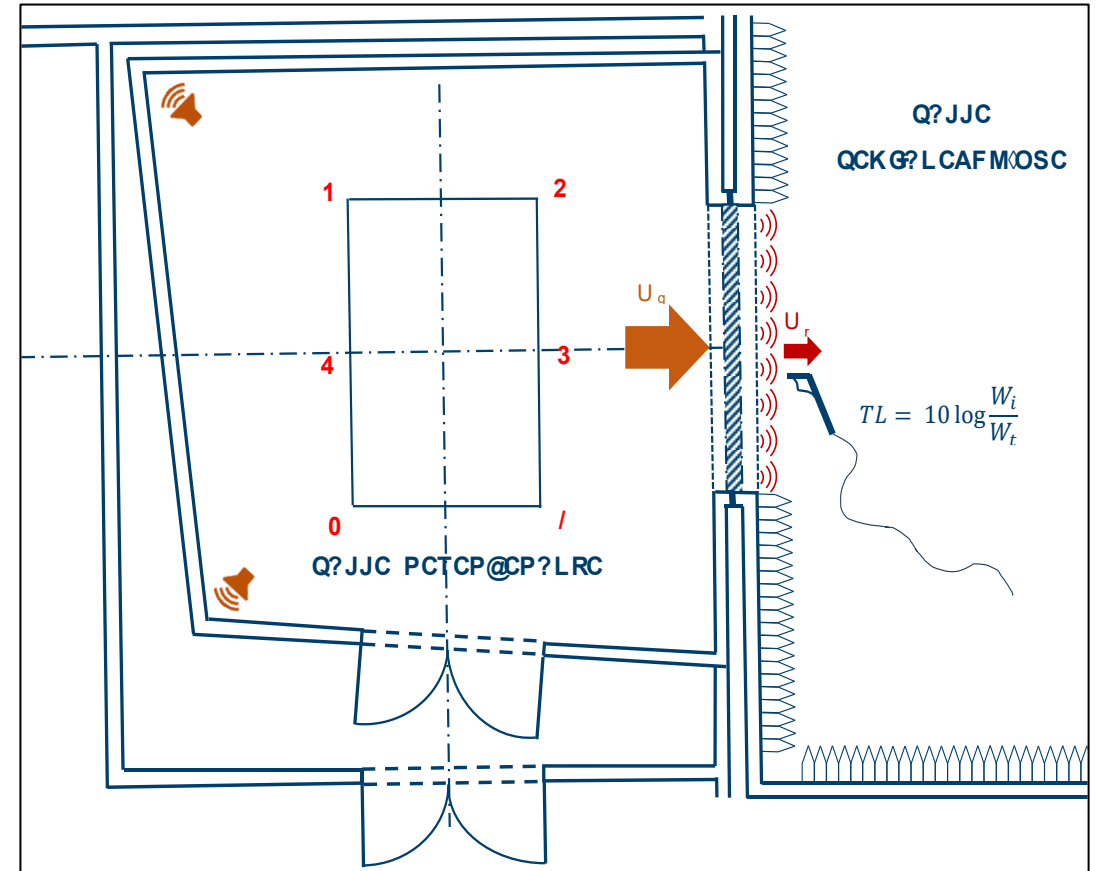


# Méthodes de mesure en laboratoire

## Mesures d'isolation acoustique intérieure / extérieure

### Méthode intensimétrique :

- Entre salle réverbérante et salle semi-anéchoïque
- ISO 15186-1, 2 et 3



# Exigences normatives aux basses fréquences

## Mesure de puissance acoustique en salle réverbérante (ISO 3741)

### domaine de fréquences représentatif

pour des applications courantes, domaine de fréquence des bandes d'un tiers d'octave de fréquences médianes comprises entre 100 Hz et 10 000 Hz

NOTE Pour des applications spéciales, le domaine de fréquences peut être étendu ou réduit, sous réserve que l'environnement d'essai et l'instrumentation répondent par ailleurs à toutes les exigences de la présente Norme

## Mesures de puissance acoustique en salle semi-anéchoïque (ISO 3744 et 3745 )

*En général, le domaine de fréquences représentatif inclut des bandes de tiers d'octave avec des fréquences centrales de 100 Hz à 10 000 Hz. En pratique, le domaine est étendu ou restreint à des fréquences au-delà ou dans ces limites, pour correspondre à celles entre lesquelles la salle d'essai est qualifiée aux fins des mesures.*

## Mesure d'isolation acoustique entre salles réverbérante et semi-anéchoïque

*La présente partie de l'ISO 15186 spécifie une méthode d'intensité acoustique pour déterminer l'indice d'affaiblissement acoustique et l'isolement acoustique normalisé des éléments de construction aux basses fréquences.[...] La présente partie de l'ISO 15186 est applicable à la gamme de fréquences comprise entre 50 Hz et 160 Hz, mais elle est principalement destinée à la gamme de fréquences comprise entre 50 Hz et 80 Hz.*

# Mesures basses fréquences en salle réverbérante

## La salle réverbérante d'Almacoustic :

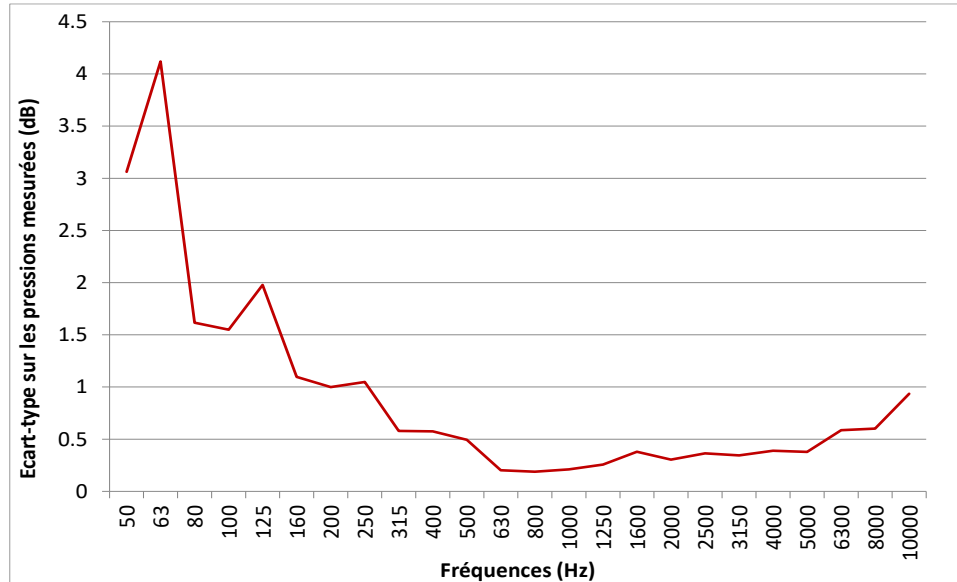
- 350 m<sup>3</sup>, aucun mur parallèle, diffuseurs optimisés
- Qualifiée selon ISO 3741 à partir de 100 Hz
- Conditions de champ diffus

## Entre 50 Hz et 100 Hz :

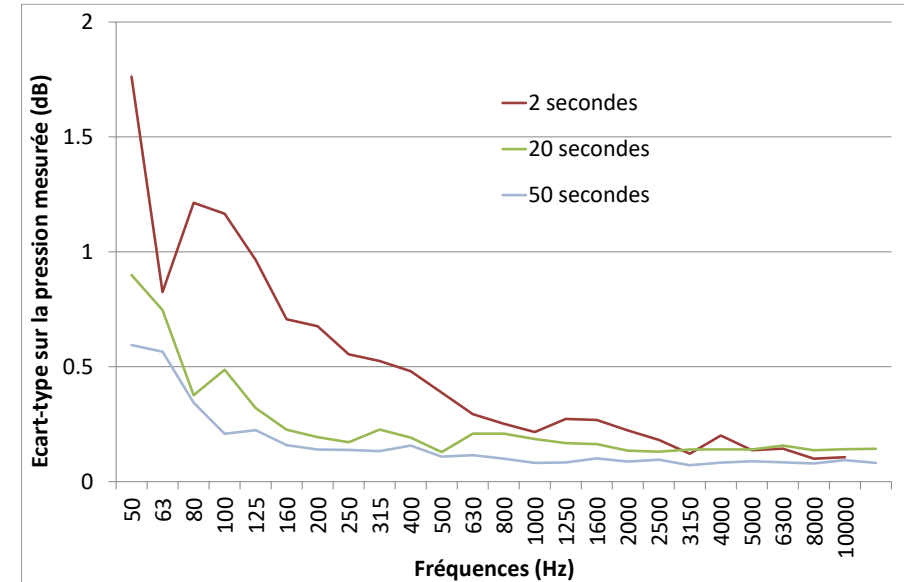
- Hétérogénéité du champ de pression dans l'espace (dispersion spatiale)
- Dispersion temporelle
- Incertitudes sur la mesure des temps de réverbération



# Mesures basses fréquences en salle réverbérante



6 microphones répartis dans la salle



Dispersion sur une série de mesure en un point

## Adapter les conditions de mesure :

- Multiplier les emplacements de mesures (utilisation d'au moins 6 microphones)
- Allonger les temps d'intégration (> 1 mn)
- Multiplier les mesures

# Mesures basses fréquences en salle réverbérante

## Mesure des temps de réverbération :

- Méthode du bruit interrompu
- Influence des modes de salle

## Adapter les conditions de mesure :

- Multiplier le nombre de configurations de mesures (positions de mesures x positions des sources x nombre de moyennes)

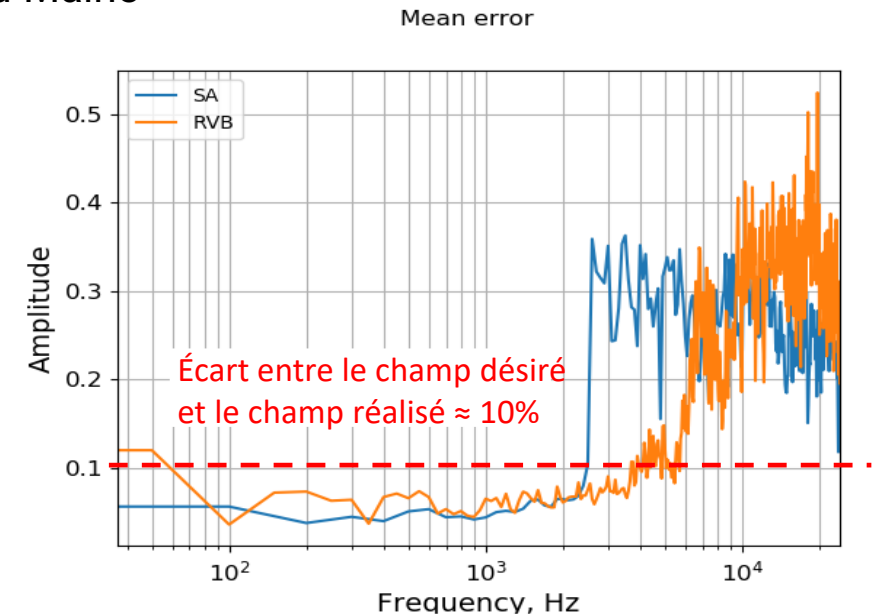
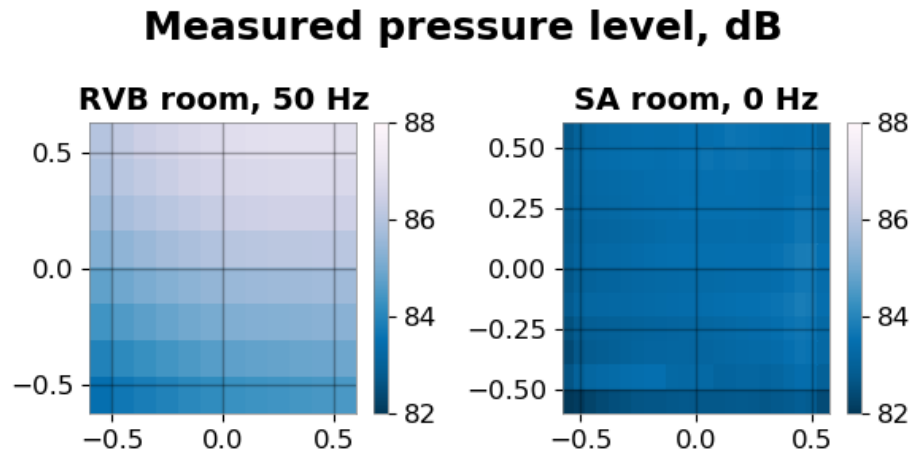


*Dispersion sur une série de mesures des temps de réverbération*

# Et la synthèse de champs acoustiques ...

## Reproduire un champ acoustique défini avec une antenne de haut-parleurs

- Champ diffus, onde plane progressive, ...
- Développement Almacoustic / Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Maine
- Applications :
  - mesures d'absorption acoustique in-situ
  - mesures d'isolation acoustique basses fréquences



*Interspectre entre micro de référence et micros d'antenne : écart théorie/mesures en salle réverbérante et avec un champ acoustique synthétisé*

# Et la synthèse de champs acoustiques ...

## Application aux mesures d'isolation acoustique basses fréquences

- Maîtrise du champ à l'émission : onde plane, champ diffus, ...
- Possibilité de générer des forts niveaux (haut-parleurs multiples en champ proche)
- Focalisation du champ de pression (limiter les transmission latérales)
- Développement en cours...

# Conclusions

- Les pompes à chaleur : un sujet acoustique complexe et incontournable aujourd'hui
- Mesures à l'octave 63 Hz = adaptation nécessaire des méthodologies de mesure et maîtrise des incertitudes
- Et pourquoi pas la synthèse de champs acoustiques ?

# Merci !



LES RENCONTRES DE L'INGÉNIERIE ACOUSTIQUE

\_Cinov GIAC