JOURNEES TECHNIQUES ACOUSTIQUE ET VIBRATIONS

Bruit du vent généré par les éléments de façade sur les bâtiments : Une méthode de mesure simple et études de cas

Thibaut BLINET
CSTB
(Centre Scientifique et Technique du Bâtiment)

IFSTTAR

Cerema DTerCE – Lyon 1 & 2 juin 2016

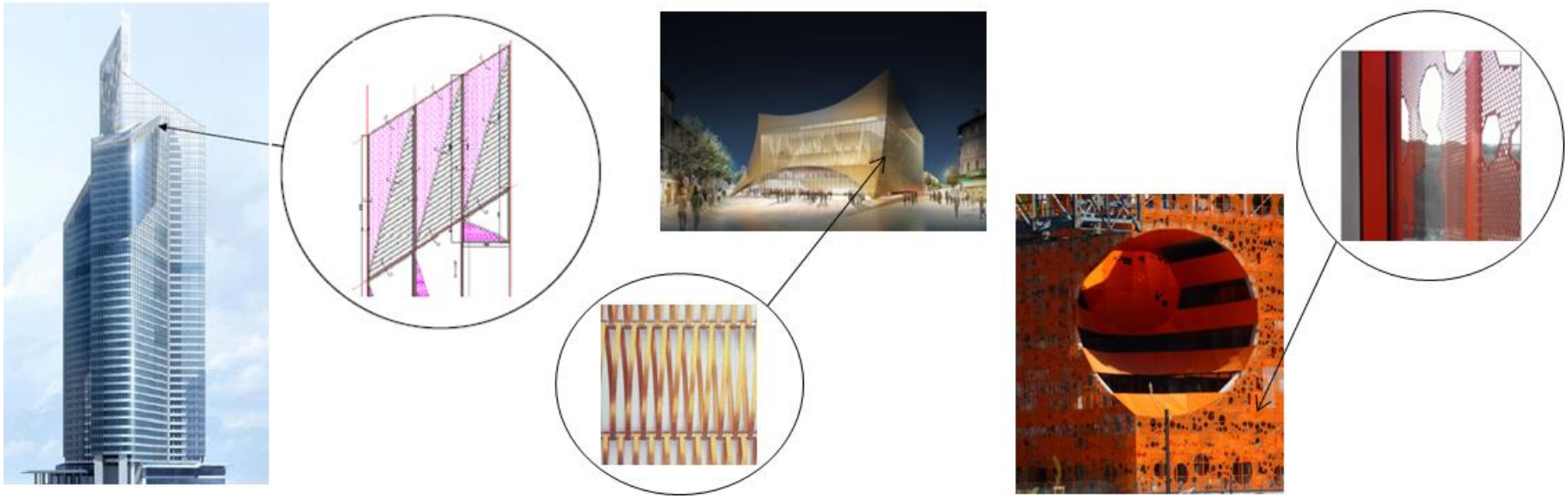
Cerema

Sommaire

1. Contexte – Illustration de la problématique
2. Phénomènes physiques et approches théoriques
3. Méthode de mesure
4. Investigations expérimentales et résultats
5. Conclusion et travaux futurs

1- Contexte – Illustration de la problématique

- Accroissement du nombre de projets à grande hauteur (IGH),
- Designs de plus en plus complexes (esthétique, matériaux « exotiques »…),
- Utilisation accrue des éléments de façades : écologie, confort d'été, etc. (brise-soleil, éoliennes urbaines …),
- Beaucoup de questions des constructeurs sur les phénomènes aéroacoustiques générés par des éléments de façade.

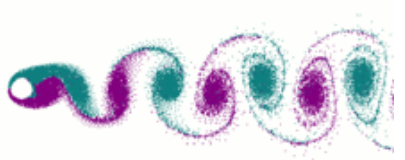


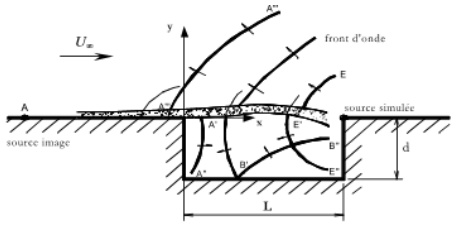
2- Phénomènes physiques

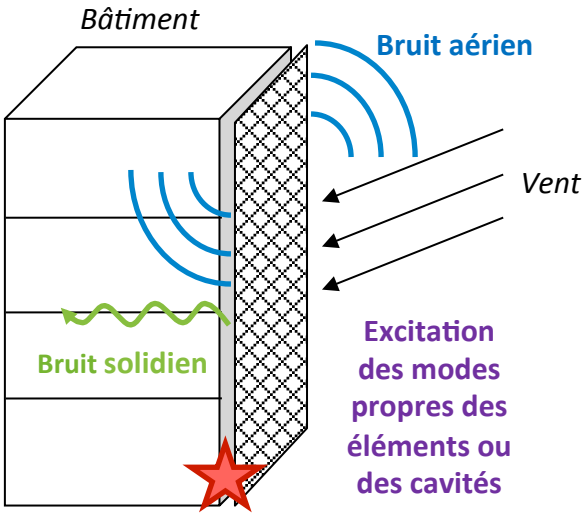
- **Bruits aériens d'origine aérodynamique**
  - **Sifflements (ou bruits à bande étroite)**

  - Objet dans un flux d'air créant des allées de Von karman

  - Couche limite turbulente affleurant une cavité
  - **Bruits large bande**
- **Transmissions solidiennes**
  - **Vibrations générées par le vent et transmises au bâti**
- **Bruits d'origines mécaniques**
  - **Chocs et frictions des éléments d'assemblage**
- **Résonance des éléments (bruits aériens et solidiens)**
  - **Tubes, cavités, barres ou plaques …**



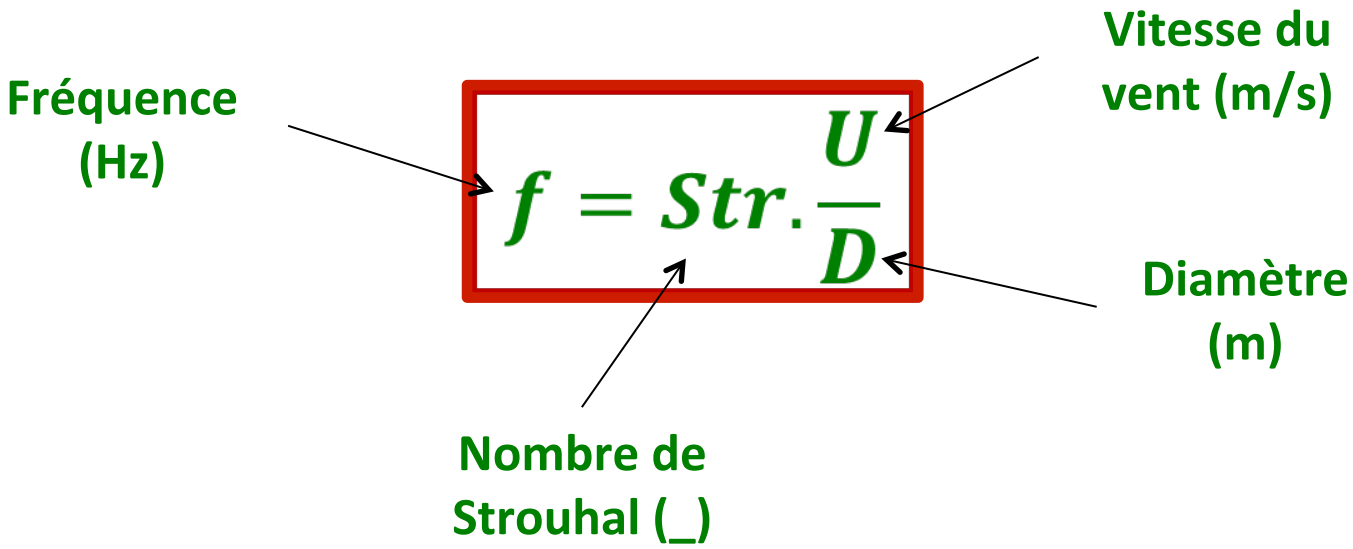




Bruit mécanique

2- Approches théoriques

- **Comportement aéroacoustique**



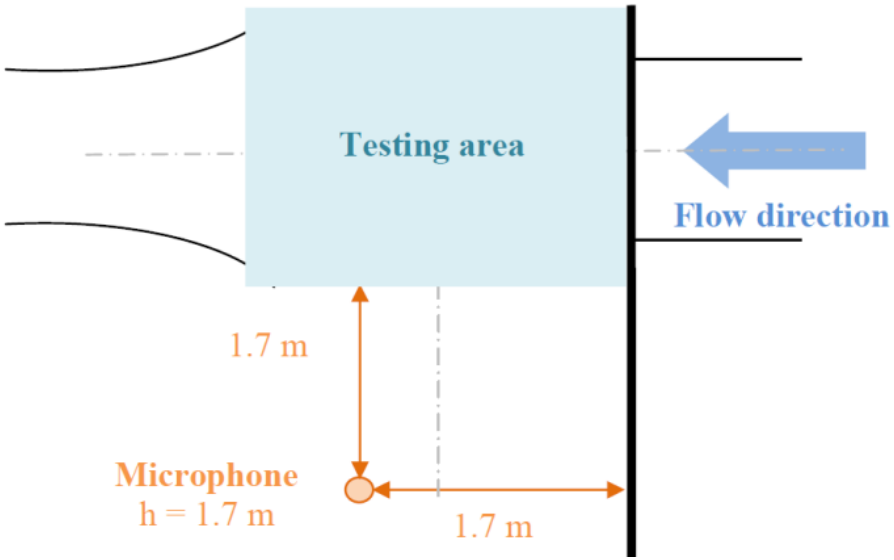
- **Normalement, Str ≈ 0,2 (cas d'un cylindre isolé dans un flux d'air)**

- **En pratique, 0,1 < Str < 0,4 (selon la géométrie et les obstacles de proximité)**

3- Méthode de mesure

➢ Mesures

- Réalisées dans le laboratoire historique d'Aérodynamique Eiffel à Paris (1912)
- Mesure des niveaux de pression acoustique Lp
  (mesures vibratoires possibles)
- ANALYSE QUALITATIVE :
  Comparaison Lp avec et sans (L_{Bdf}) l'élément testé dans la soufflerie
  => Estimation d'émergences



3- Méthode de mesure

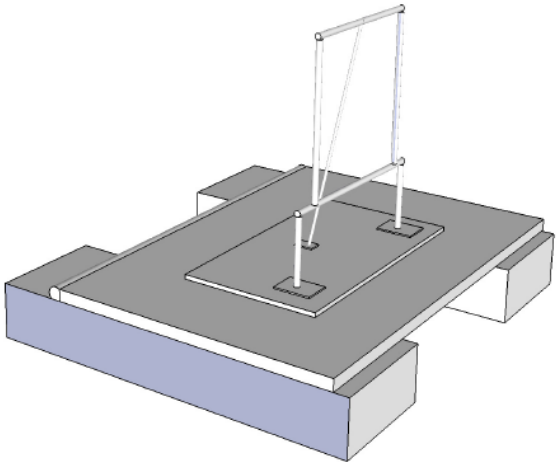
➢ Avantages

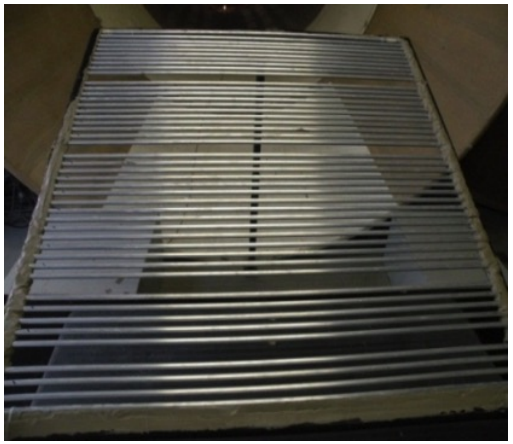
- Microphone hors du flux
- Bdf relativement faible (pour une soufflerie « non-acoustique »)
- Vitesse de flux allant de 0 à 30 m/s (~110 km/h)

➢ Désavantages

- Limitées à des maquettes < 2 m²
- Pertes de charge significatives impactant le niveau de bruit mesuré
- Problèmes pour mesurer des niveaux de puissance acoustique (demande des bureaux d'études)

4- Investigations expérimentales & résultats
- Réseaux de barres

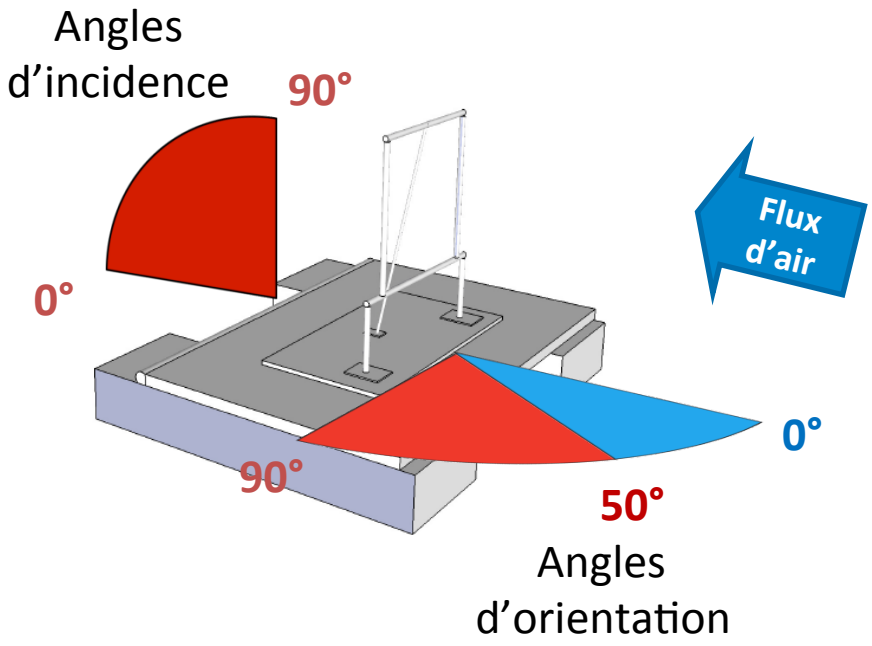




Réseau de barres	Diamétre Ø (mm)	Espace S (mm)
#1	10	20
#2	10	40
#3	10	80
#4	10	160
#5	20	40
#6	20	80
#7	20	160

4- Investigations expérimentales & résultats - Réseaux de barres

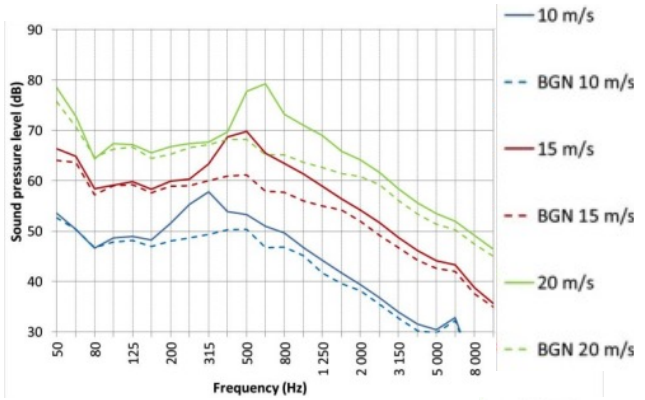
➢ Influence de l'incidence du vent

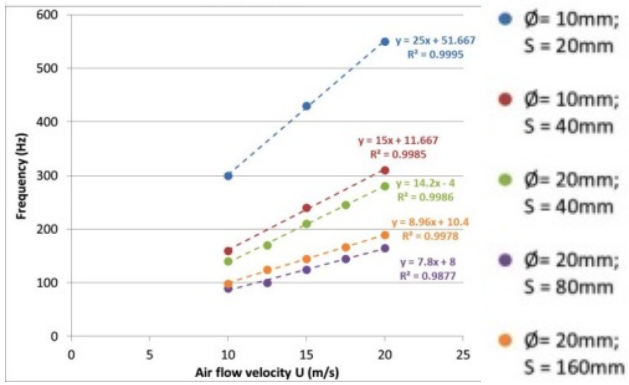


Pas de bruit émergent

Sifflements et bruits large-bande

➢ Influence de la vitesse U du vent

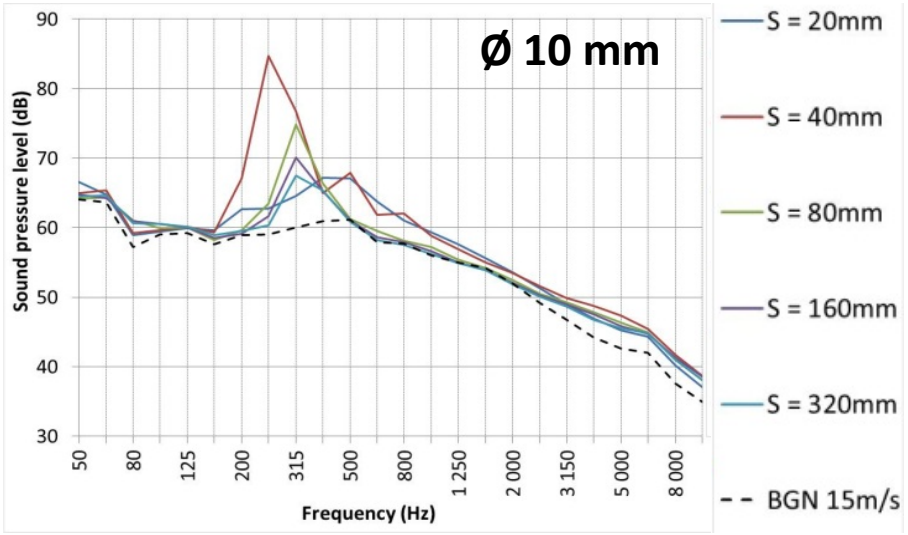


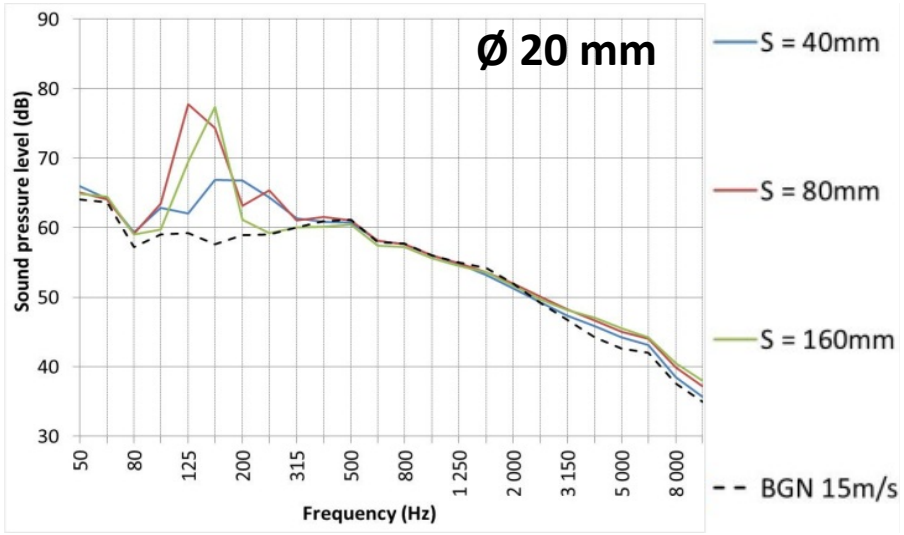


- **Les fréquences des phénomènes augmentent linéairement avec la vitesse du vent**

4- Investigations expérimentales & résultats - Réseaux de barres

➢ **Influence du diamètre Ø et de l'espace S**





- **Le fréquences des phénomènes augmentent lorsque Ø et S diminuent**

- **Influence importante du rapport (S/Ø)**

4- Investigations expérimentales & résultats - Réseaux de barres

➢ Corrélation des phénomènes avec le nombre de Strouhal Str

	Ø = 10 mm S = 20 mm S/Ø = 2	Ø = 10 mm S = 40mm S/Ø = 4	Ø = 20 mm S = 40mm S/Ø = 2	Ø = 20 mm S = 80mm S/Ø = 4	Ø = 20 mm S = 160mm S/Ø = 8
10 m/s	0,30	0,16	0,28	0,18	0,20
15 m/s	0,29	0,16	0,28	0,17	0,19
20 m/s	0,28	0,16	0,28	0,17	0,19

Str issue des résultats expérimentaux

	S/Ø = 2.5	S/Ø = 4
Incidence angle 20°	0.28	0.18
Incidence angle 30°	0.29	0.18

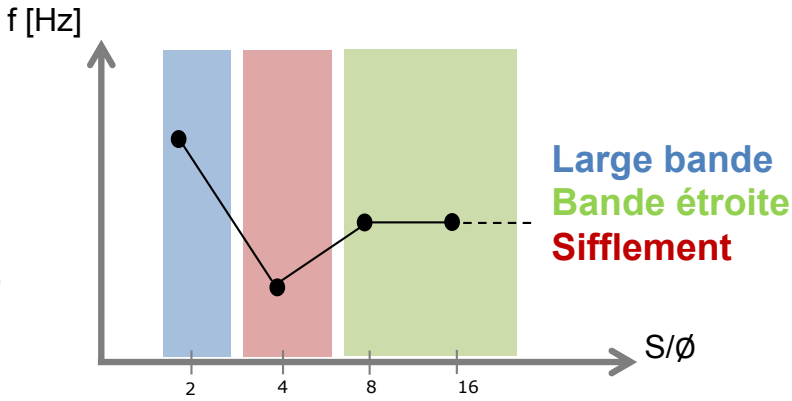
Str issue de la littérature[1] [2]

- **Pour S/Ø = 2 → Str est plus élevé (~0,3)**

Bruit à large bande

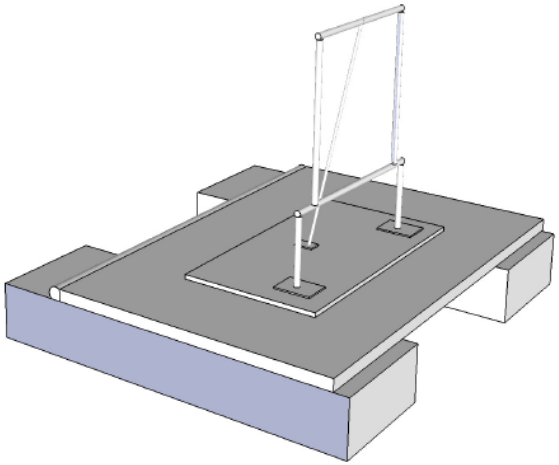
- **Pour S/Ø = 4 → Str est plus faible (<0,2)**

Sifflement



[1] D. SUMMER, M.D RICHARDS, O.O AKOSILE "Strouhal number data for two staggered circular cylinders" Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 96 (2008) 859–871
[2] D. SUMMER, "Two circular cylinders in cross-flow: A review", Journal of Fluids and Structures, 26, 849–899, (2010)

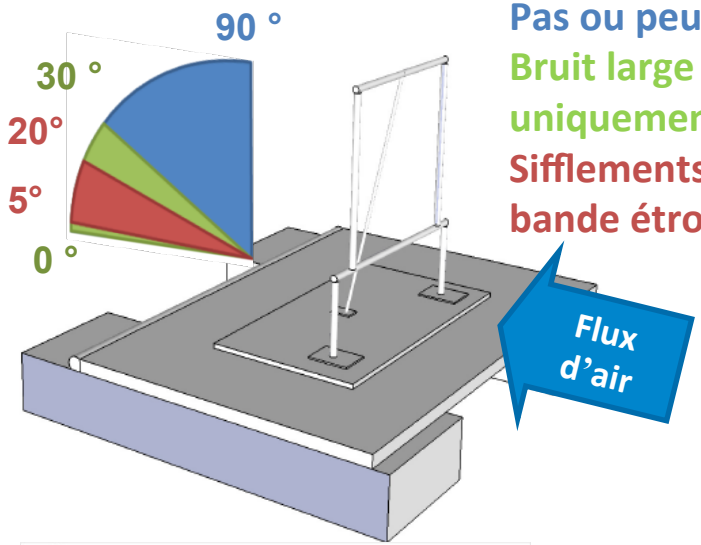
4- Investigations expérimentales & résultats
- Plaques perforées



Plaque	Epaisseur t (mm)	Diamètre de perforation Ø (mm)	Taux de perforation ϕ (%)
#5	2	8	40
#6	2	10	40
#7	2	20	40
#9	1,5	8	20
#12	1	8	40
#13	1,5	8	40
#18	2	16	40
#19	2	8	13

4- Investigations expérimentales & résultats - Plaques perforées

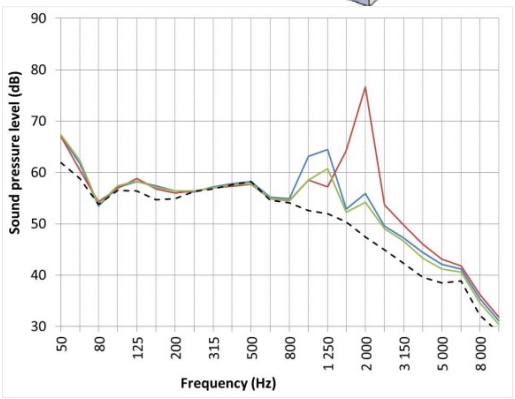
➢ Influence de l'incidence du vent

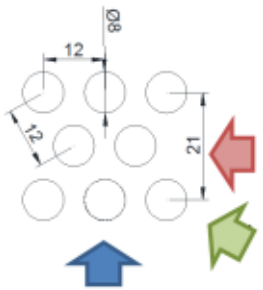


Pas ou peu de bruit

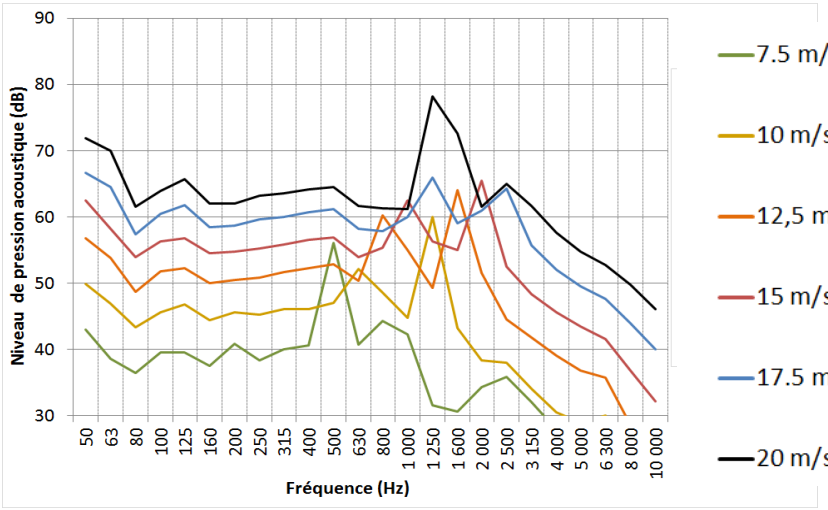
Bruit large bande uniquement

Sifflements ou bruits à bande étroite





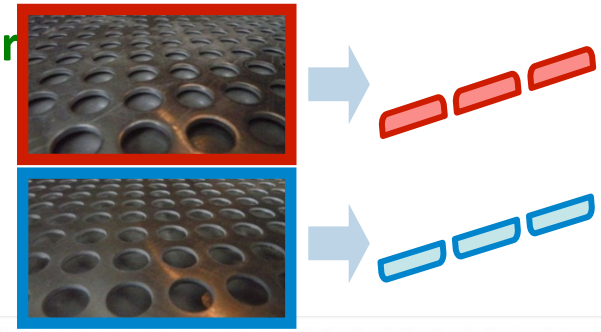
➢ Influence de la vitesse U du vent

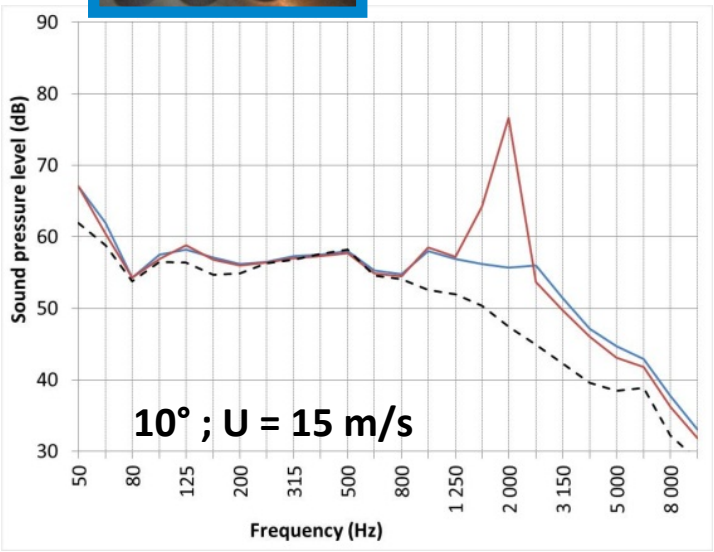


- **Les fréquences des phénomènes augmentent linéairement avec la vitesse du vent**

4- Investigations expérimentales & résultats - Plaques perforées

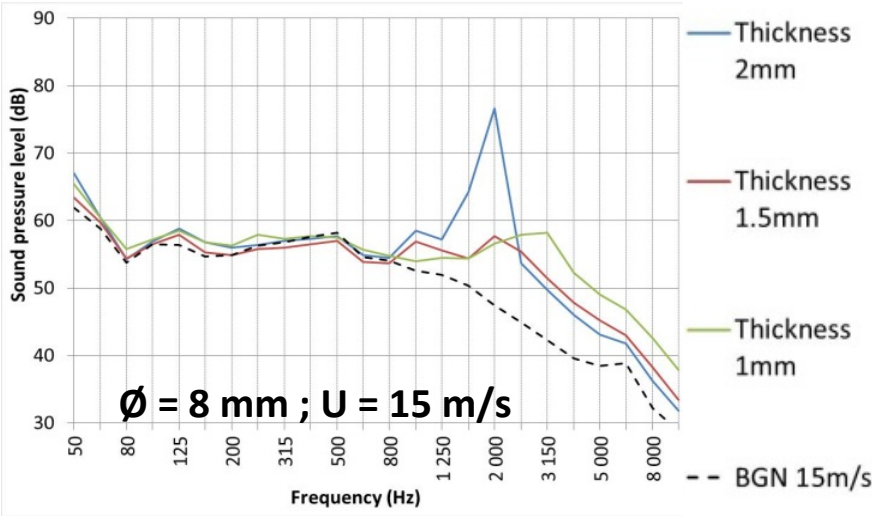
➢ Influence de l'arête de per





- Importance de la finition de la perforation

➢ Influence de l'épaisseur de plaque

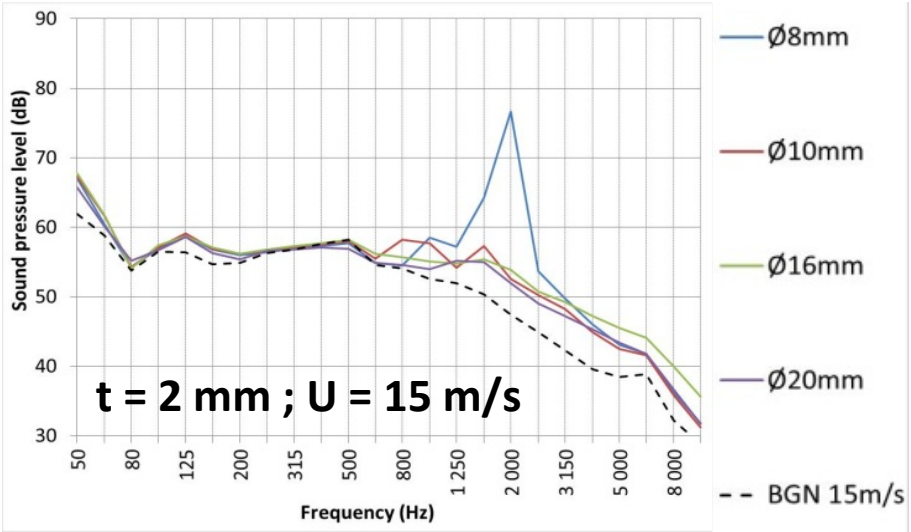


- Les phénomènes évoluent vers les hautes fréquences lorsque l'épaisseur de la plaque diminue
- Pour une plaque[3] : $D = t^* = \frac{\emptyset}{0.01} t$

[3] L. FENG, "Tone-like signal in the wind-induced noise of perforated plates", Acta Acustica United with Acustica, Vol 98, 188-194 (2012)

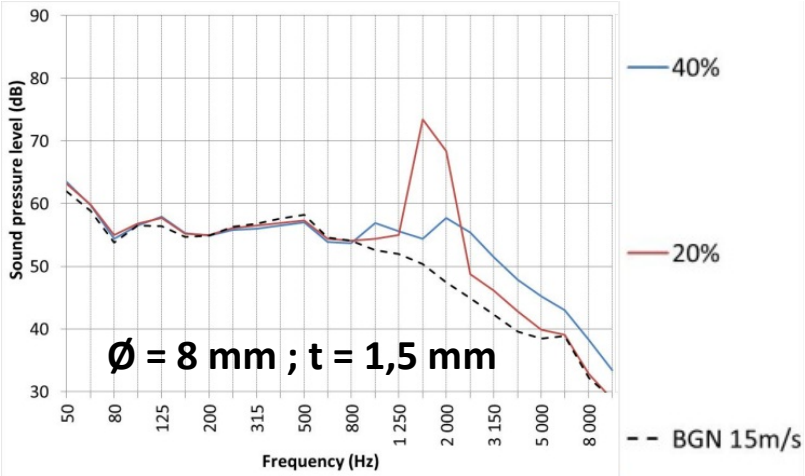
4- Investigations expérimentales & résultats - Plaques perforées

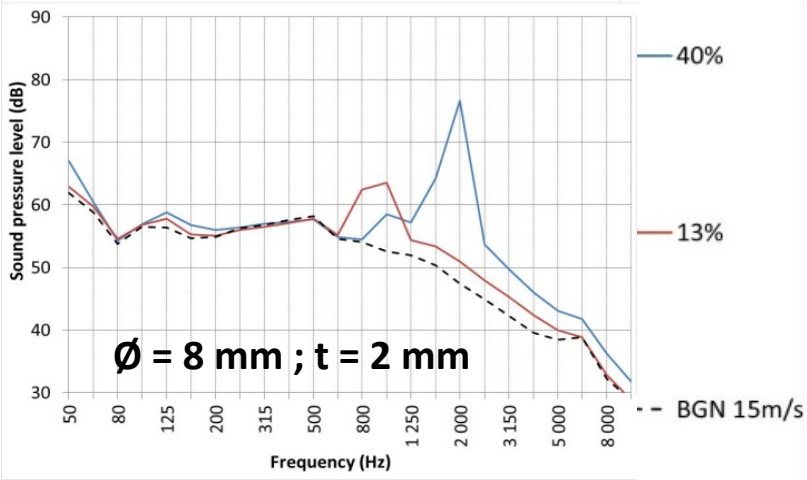
➢ Influence du diamètre Ø



- Influence importante du diamètre de perforation
- La fréquence diminue lorsque le diamètre de perforation augmente

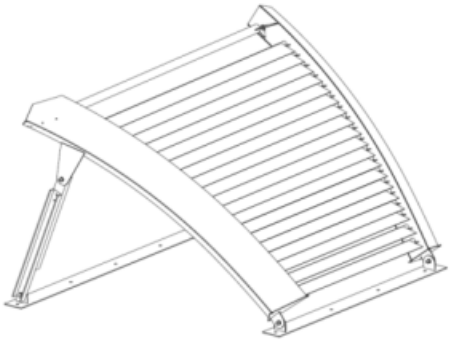
➢ Influence du taux de perforation

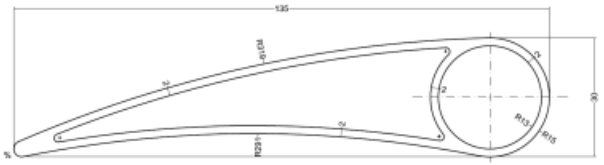




4- Investigations expérimentales & résultats - Elément de façade – Cas n°1

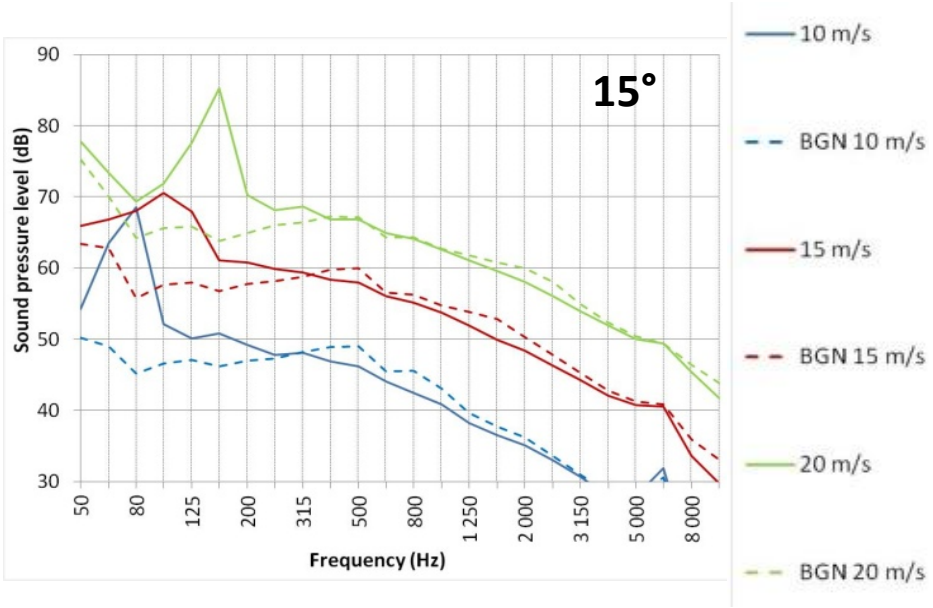
- **Ecran brise-soleil à lames métalliques**
  - **Structure en voûte de station de bus**
  - **Epaisseur de lame ~30 mm**





4- Investigations expérimentales & résultats - Elément de façade – Cas n°1

➢ Résultats de mesure



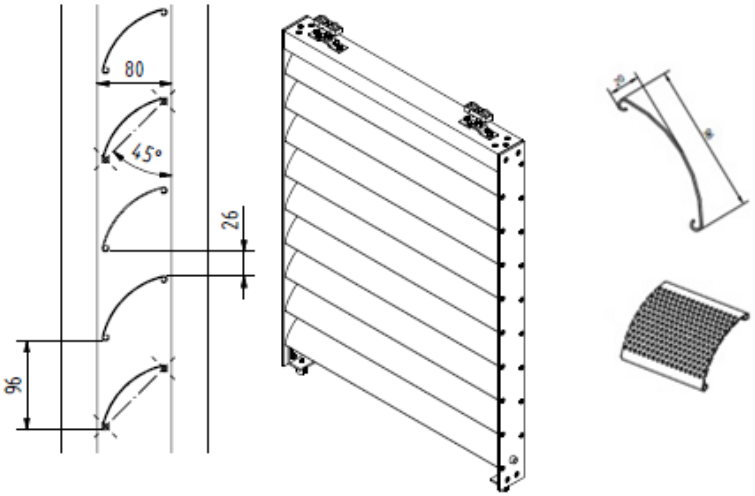
U (m/s)	Fréquence mesurée f_m (Hz)	Fréquence calculée f_c (Hz)
10	~80	67
15	~100	100
20	~160	130

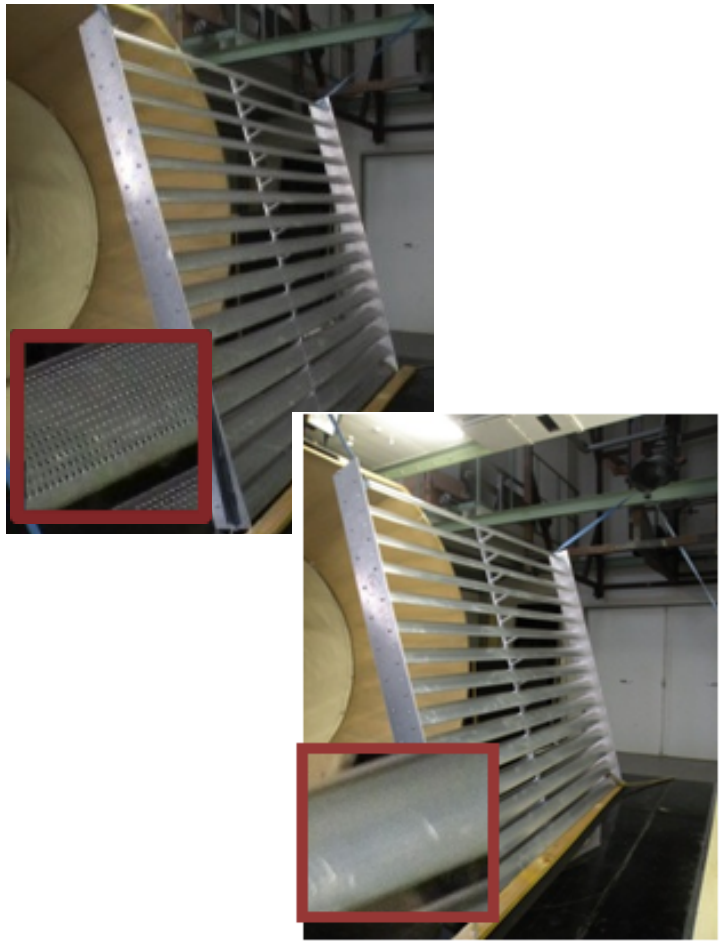
- Phénomène aéroacoustique en basses fréquences (type large-bande)
- Augmente avec la vitesse du vent
- Fréquences cohérentes avec l'équation de Strouhal

4- Investigations expérimentales & résultats - Elément de façade – Cas n°2

➢ **Brise-soleil vertical avec des lames en aluminium**

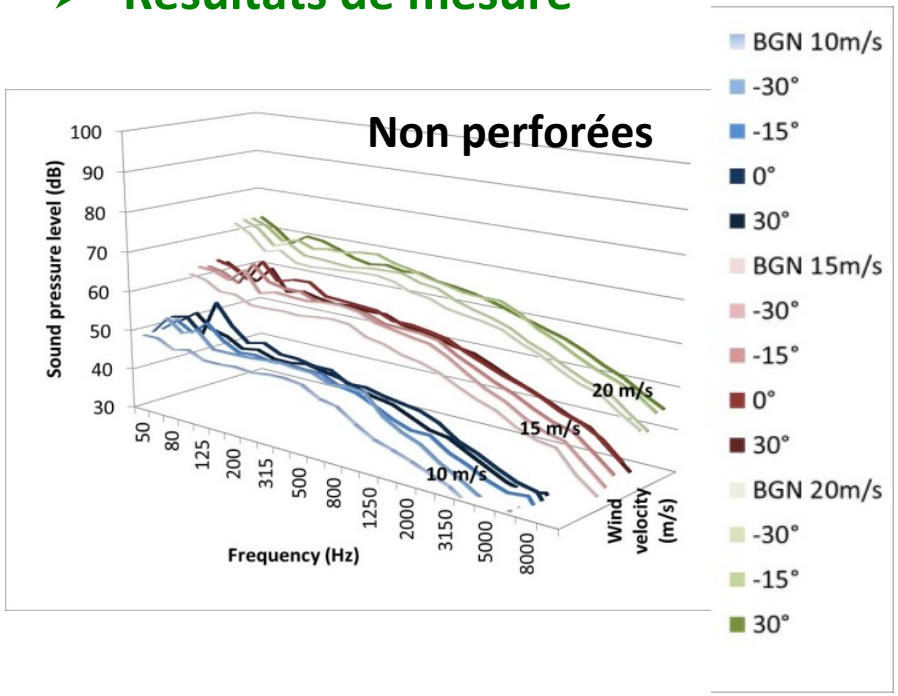
- Lames avec et sans perforation
- Lames inclinées à 45°
- Epaisseur de lame ~20 mm (ou plus)
- Diamètre Ø de perforation Ø~4 mm

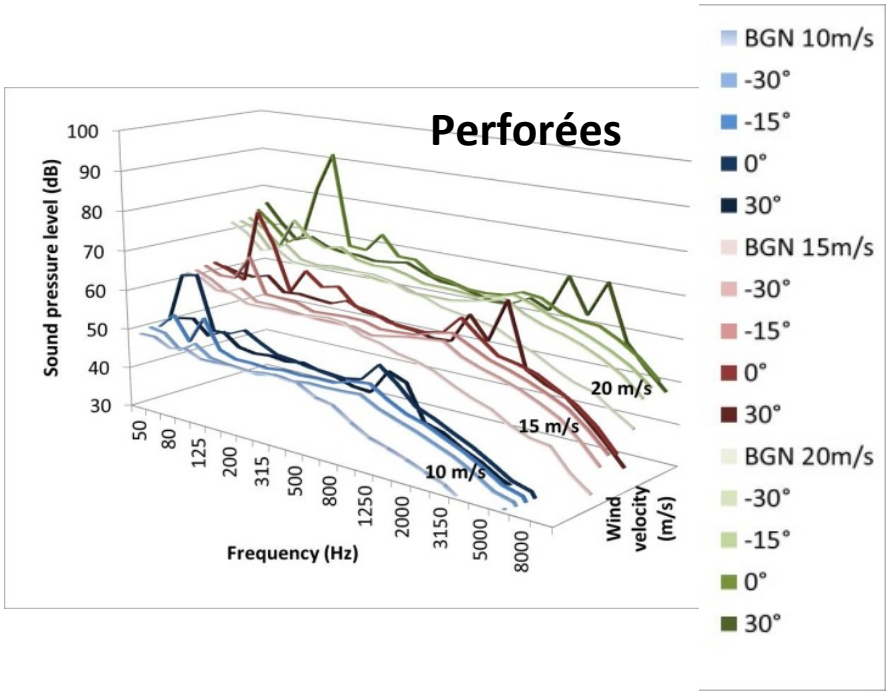




4- Investigations expérimentales & résultats - Elément de façade – Cas n°2

➢ **Résultats de mesure**





- **Phénomènes aéroacoustiques engendrés par les perforations**
- **Plus ou moins prononcés selon l'angle d'incidence**
- **Possibilité d'optimiser les caractéristiques des perforations**

5- Conclusion et travaux futurs

- Présentation d'une approche expérimentale concernant des mesures aéroacoustiques
- Méthode simple assez proche et représentative de la réalité
- Bonnes corrélations mesures/théorie
- Peut être utilisée sur des éléments de façade au profil de conception complexe
- Besoin de combiner avec une étude aérodynamique sur le terrain (rose des vents)

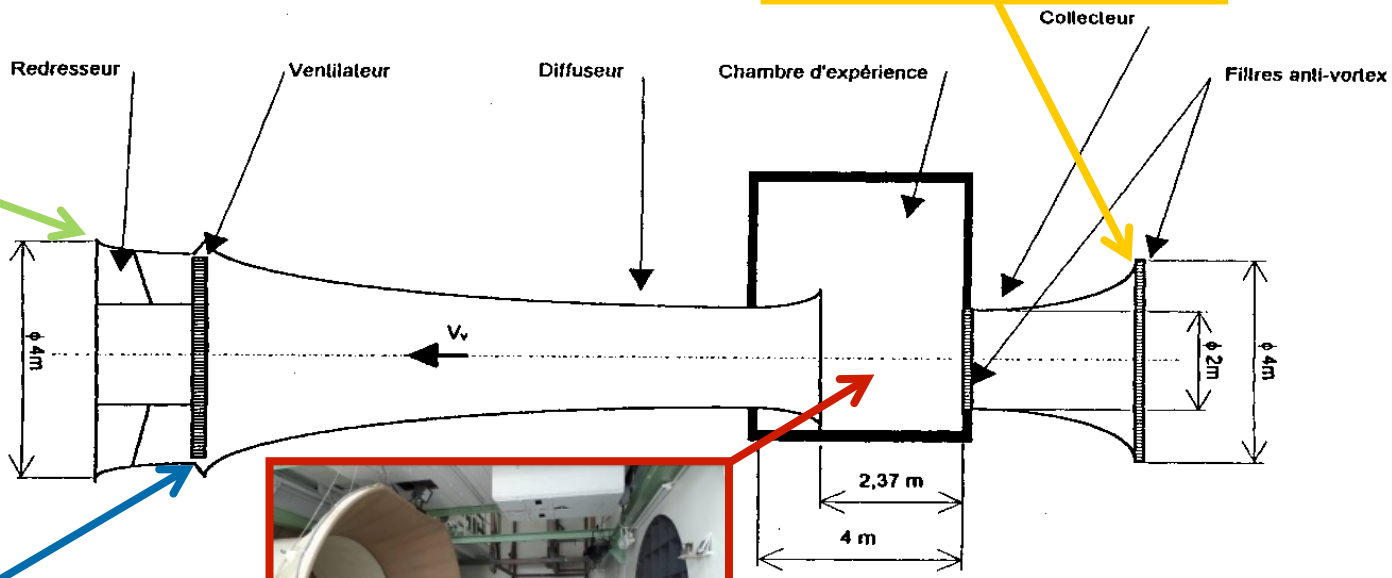
- Continuer d'alimenter la base de données d'essais en soufflerie sur des éléments simples (Poursuivre les investigations sur les réseaux de barreaux, tôles perforées et autres…)
- Mesurer les niveaux de puissance acoustique selon la norme ISO 3747
  - Mesure sur site
  - Uniquement possible pour des vitesses de vent faibles ou en hautes fréquences

Remerciements

- Le comité d'organisation du JTAV 2016 (CEREMA)
- Le CSTB (Pierre KERDUDOU, Jean-Baptiste CHENE et Gary JACQUS)
- Le laboratoire d'Aérodynamique Eiffel
- Les industriels CABROL et RENSON

Merci de votre attention

Thibaut BLINET
CSTB
84 avenue Jean Jaurès
Champs-sur-Marne
77447 Marne-la-Vallée Cedex 2
01 64 68 85 16/thibaut.blinet@▸cstb.fr

Annexe – Description Soufflerie EIFFEL (Paris)

- Caractéristiques techniques :
  - Section circulaire de Ø 2m,
  - 1 turbines à 20 pales,
  - Vitesse du flux reliée à la vitesse de rotation,
  - Retour libre par le hall…